

CS - 04771

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

ANNEE 2002



**La flore adventice dans le sud du Bassin arachidier (Sénégal) :
structure, dynamique et impact sur la production
du mil et de l'arachide**

Thèse

présentée et soutenue publiquement le 5 mars 2002 pour l'obtention du
Doctorat d'état en Sciences Naturelles

Par

M. Kandioura NOBA

Maître-assistant au Département de Biologie Végétale

MEMBRES DU JURY :

Président :

M. Antoine **NONGONIERMA**, Professeur titulaire, UCAD, Dakar

Examineurs :

M. Amadou Tidiane **BA**, Professeur titulaire, UCAD, Dakar, Rapporteur

M. Gilbert **BARRALIS**, Directeur de Recherche, INRA, Dijon, Rapporteur

M. Jean-Pierre **CAUSSANEL**, Chercheur avec HDR, INRA, Dijon, Rapporteur

M. Mouhamadou Lamine **THIAM**, Professeur titulaire, UCAD, Dakar

Mme Aminata **THIAM NDOYE**, Directeur de Recherche, ISRA, Dakar

DEDICACES

Je rends grâce à DIEU de m'avoir permis de mener à terme ce travail.

Je dédie ce travail :

A titre posthume à,

- mes pères Ansoumane, Sanoussi, Fodémoussa, Badioula, Maoudo, Bambo et Ansoumane,
- mon frère Papa Kéba,
- mes tantes Adja Daffa, Mamou Soukho, Mmi Djamba,
- mon correspondant à St-Louis Elhadj Malick GUEYE,
- mon oncle Karamokho Chérif.

(Que Dieu les accueille dans son paradis)

Ensuite à,

- ma mère,
- Fifi, Taslimi, Ansou, Daffa, Bafodé et Mamou dont les sacrifices et le soutien ont permis la réalisation de ce travail. Qu'ils veuillent bien me pardonner cette longue et périlleuse aventure que m'a fait entreprendre l'amour de la Science,
- mes frères, sœurs et cousins de Nobacounda, Sirifoucounda et Signatéounda,
- mes oncles et tantes et en particulier Néné Diakhaby,
- mes Beaux-frères et Belles-sœurs,
- la famille de feu Elhadj Malick GUEYE à St-Louis et aux voisins,
- Jean Benoît NDENE, mon maître à l'école Jean XXIII de Tamba,
- tous mes compatriotes de Tambacounda.

AVANT-PROPOS

Ce travail est le fruit d'une collaboration entre l'Université Cheikh Anta DIOP de Dakar (Sénégal) et l'INRA de Dijon (France). Pour arriver à son terme, il a bénéficié d'une somme d'efforts institutionnels, financier et de personnels qu'il me plaît ici de reconnaître.

Aussi, je remercie tout d'abord le Professeur Amadou Tidiane BA que j'ai eu la chance de rencontrer tout jeune et qui a guidé mes premiers pas dans la recherche. Il a su diriger successivement, selon une logique probablement bien établie, mes travaux de DEA et de doctorat de 3^{ème} cycle en systématique et écologie des herbacées et les recherches en malherbologie qui ont conduit à l'élaboration du présent document. J'ai pu apprécier pendant ces 18 années passées ensemble, toutes ses qualités humaines et scientifiques.

Monsieur Gilbert BARRALIS m'a accueilli pour la première fois en 1986 dans le laboratoire de Malherbologie de l'INRA de Dijon. Avec Monsieur CAUSSANEL et Fabrice DESSAINT, ils ont su m'écouter et ensemble, nous avons établi un protocole d'expérimentation qui répond à mes préoccupations. Je le remercie pour l'intérêt constant qu'il a manifesté à ce travail et pour l'avoir co-dirigé.

Je suis particulièrement redevable de M. Jean-Pierre CAUSSANEL pour avoir assuré avec M. BARRALIS l'encadrement extérieur de ce travail. Il a consacré beaucoup de son temps à ce travail et m'a fait des suggestions importantes pour l'orientation future de mes recherches. Je n'oublierai jamais les longues discussions que j'ai eues avec lui, même à distance, sur le manuscrit et les traitements statistiques.

Je suis très reconnaissant à Monsieur le Professeur Antoine NONGONIERMA d'avoir accepté, encore une fois, de présider mon jury de thèse.

Je suis heureux de pouvoir remercier le Professeur Mouhamadou Lamine THIAM d'avoir accepté de participer à ce jury, malgré ses multiples occupations.

Je suis très sensible à l'intérêt que Mme Aminata THIAM NDOYE a porté à ce travail en acceptant de participer au jury.

Je tiens à remercier Silvio et Vivienne GIANINAZZI ainsi que l'ensemble du personnel de l'UMR BBCE-IPM de l'INRA de Dijon pour leur accueil amical et leur aide précieuse.

Je remercie également Jacques GASQUEZ, Fabrice DESSAINT, Jean-Pierre LONCHAMP, René CHADOEUF (*in memoriam*), Louis ASSEMAT, Henri DARMENCY et l'ensemble du personnel administratif et technique du laboratoire de Malherbologie de l'INRA de Dijon, pour leurs conseils utiles et leur franche collaboration.

Mes remerciements vont également au Professeur Aboubackry SARR de l'Université de Paris Sud pour son aide précieuse et ses conseils.

M. Pascal MARNOTTE et Thomas Le BOURGEOIS du CIRAD de Montpellier m'ont offert la possibilité de consulter et de rassembler une importante bibliographie. Qu'ils veuillent bien trouver ici l'expression de ma grande reconnaissance.

Ce travail n'aurait jamais pu être réalisé sans l'appui financier de l'International Foundation of Science (IFS) et de AIRE-Développement. Que ces institutions veuillent bien trouver ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je remercie également les autorités rectorales et décanales pour avoir pris en charge le séjour des membres extérieurs du jury.

Mes remerciements vont également aux autorités de l'ISRA pour nous avoir permis de conduire les expérimentations dans la station expérimentale de Nioro du Rip. Nous y avons trouvé les structures et le personnel nécessaires pour mener à bien ce travail.

Le travail de terrain a été assuré par une équipe de techniciens qui est devenue indispensable en raison de sa parfaite connaissance des espèces et du milieu. Aussi, je renouvelle mon attachement et ma reconnaissance à Souleymane SAKHO, Moustapha

DIEBATE, Seydina TALL, Salif GUEYE, Elimane TOURE, Ababacar SOW et les chauffeurs Sana DIEME et DIAKHATE.

A la jeune équipe du laboratoire de Systématique-Biodiversité et Malherbologie, et à chacun d'eux (Aboubakry KANE, Mame Samba MBAYE, Raymond Sidy SARR, Jean Marie SAMBOU, Ngansoumana BA), je souhaite plein épanouissement et beaucoup de courage.

Je remercie également tous les collègues qui, par leur aide, conseils et encouragements, m'ont permis de mener à bien ce travail.

Enfin, j'associe à ces remerciements tout le personnel administratif et technique du Département de Biologie Végétale ainsi que l'ensemble du personnel de la bibliothèque universitaire pour leur franche et sincère collaboration.

LISTE DES ABBREVIATIONS

BSTID-NRC : Board on Science and Technology for International Development- National Research Council

ETP : Evapotranspiration potentielle

ETR : Evapotranspiration réelle

ETM : Evapotranspiration réelle maximale

FAO : Food and Agriculture Organisation

ICRISAT : International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics

IER : Institut d'Economie Rurale

ISRA : Institut sénégalais de recherches agricoles

PEG : Polyéthylène glycol

PRA : Politique de Recherche Agricole

LISTE DES FIGURES

FIGURES	Pages
Figure 1 : Sénégal, position géographique et limites administratives.....	2
Figure 2: Types de nuisibilité des mauvaises herbes dans les cultures.....	15
Figure 3 : Principales zones climatiques et isohyètes de la normale 1961-1990.....	16
Figure 4 : Tendances évolutives de la pluviométrie de Nioro du Rip, 1931-1996.....	16
Figure 5 : Le bassin arachidier du Sénégal.....	17
Figure 6 : Localisation des sites d'étude.....	17
Figure 7 : Morphologie du mil.	20
Figure 8 : Durée et différentes étapes du cycle biologique chez un mil de type hâtif...	23
Figure 9 : Position systématique et principaux caractères des types de mil	23
Figure 10 : Position systématique et principaux caractères des types d'arachide.....	32
Figure 11 : Différents types de ramifications chez les arachides cultivées.....	29
Figure 12 : Aspect général de l'inflorescence chez <i>A. hypogea</i>	30
Figure 13 : Cycle de développement d'une arachide de type Spanish.....	34
Figure 14 : Dispositif expérimental.....	42
Figure 15 : Différentes conditions de binages.....	43

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAUX	Pages
Tableau 1 : Pourcentage du temps consacré aux différentes opérations culturales dans les principales cultures vivrières en Afrique subsaharienne.....	5
Tableau 2 : les principaux herbicides sélectifs au Sénégal.....	10
Tableau 3 : Caractéristiques des zones climatiques du Sénégal.....	18
Tableau 4 : Données statistiques sur le mil au Sénégal.....	25
Tableau 5 : les principales opérations culturales du mil dans le Bassin arachidier...	27
Tableau 6 : Cycle et caractéristiques du cycle chez les arachides cultivées.....	34
Tableau 7 : Evolution des emblavements, de la production et des rendements de 1960 à 1996 au Sénégal.....	35
Tableau 8 : Principales opérations culturales de l'arachide dans le Bassin arachidier.....	38
Tableau 9 : Caractéristiques chimiques et physiques des sols en station et en milieu paysan.....	41
Tableau 10 : Calendrier des opérations culturales en fonction de l'année et de la culture.....	45
Tableau 11 : Liste des espèces recensées de 1992 et 1999 dans le sud du Bassin arachidier.....	46
Tableau 12 : Structure de la flore adventice dans le sud du Bassin arachidier.....	49
Tableau 13 : Répartition par famille des espèces adventices recensées dans le sud du Bassin arachidier comparativement à la flore vasculaire du Sénégal.....	49
Tableau 14 : Types biologiques des espèces recensées.....	52
Tableau 15 : Classement biogéographique des espèces recensées.....	53
Tableau 16 : Résultat des tests d'ANOVA.....	57
Tableau 17 : Taux (%) de germination : comparaison des moyennes.....	57
Tableau 18 : Données pluviométriques annuelles et dates des relevés floristiques....	65
Tableau 19 : Dates de relevées, quantité de pluie et répartition de la pluie entre 2 relevés de dynamique.....	66
Tableau 20 : Nombre de levées/m ² et importance des levées des différentes espèces (en %) en station dans les parcelles non azotées (N0) et azotées (N1) et en milieu paysan (AG1 et AG2) en fin de l'expérimentation en 1996.....	67
Tableau 21 : Chronologie du nombre total de levées et par m ² (NL) en station (N0 et N1) et en milieu paysan (AG1 et AG2) en fonction des dates de relevé.....	68
Tableau 22 : Distribution statistique du nombre total de levées (NL) en fonction de la date de levée et des conditions.....	68
Tableau 23 : Chronologie des levées (NL) des espèces principales et secondaires en fonction des dates de relevé et des conditions en 1996.....	71
Tableau 24 : Levées (en valeur absolue) et taux de levées (%) des différentes espèces en station dans les parcelles non azotées (N0) et azotées (N1) et en milieu paysan (AG1 et AG2) en fin de l'expérimentation en 1997.....	72
Tableau 25 : Chronologie du nombre total de levées et par m ² (NL) en station (N0 et N1) et en milieu paysan (AG1 et AG2) en fonction des dates de relevé en 1997...	73
Tableau 26 : Distribution statistique du nombre total de levées (NL) en fonction de la date de levées et des conditions.....	73
Tableau 27 : Chronologie des levées (NL) des espèces principales et secondaires en fonction des dates de relevé et des conditions en 1997.....	75

Tableau 28 : Nombre de levées (en valeur absolue) et taux de levées/m ² des différentes espèces en station dans les parcelles non phosphatées (P0) et phosphatées (P1) en fin de l'expérimentation en 1998.....	76
Tableau 29 : Chronologie du nombre total de levées et par m ² (NL) en station dans les parcelles non phosphatées (P0) et phosphatées (P1) en fonction des dates de relevé.....	77
Tableau 30 : Distribution statistique du nombre total de levées (NL) en fonction de la date de levées et des conditions.....	77
Tableau 31 : Chronologie des levées (NL) des principales espèce en fonction des dates de relevé et des conditions en 1998.....	77
Tableau 32 : Tableau d'ANOVA sur la moyenne de la longueur des épis.....	87
Tableau 33 : Effet de la fertilisation azotée et des traitement de concurrence sur la longueur des épis.....	87
Tableau 34 : Tableau d'ANOVA sur la moyenne du nombre d'épis.....	88
Tableau 35 : Effet de la fertilisation azotée et des traitements de concurrence sur le nombre d'épis.....	88
Tableau 36 : Tableau d'ANOVA sur la moyenne du nombre d'épis.....	90
Tableau 37 : Effet de la fertilisation azotée et des traitements de concurrence sur le nombre d'épis.....	90
Tableau 38 : Tableau d'ANOVA du nombre d'épis en 1997 et 1999.....	92
Tableau 39 : Tableau d'ANOVA sur la moyenne du nombre de gousses totales (NGS), de gynophores (GYN) et de gousses matures NGM.....	93
Tableau 40 : Comparaison des moyennes du nombre de gousses totales en fonction de la fertilisation et des traitements.....	94
Tableau 41 : Comparaison des moyennes du nombre de gynophores en fonction de la fertilisation et des traitements.....	95
Tableau 42 : Comparaison des moyennes du nombre de gousses matures en fonction de la fertilisation et des traitements.....	96

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES ADVENTICES DU SAHEL...	4
1.1. Les principales contraintes de la production agricole au Sahel.....	4
1.2. La place des adventices parmi les contraintes.....	4
1.3. Définition des adventices.....	6
1.4. Flore adventice potentielle et réelle.....	6
1.5. Cycle et types biologiques.....	10
1.6. Nuisibilité des adventices.....	14
CHAPITRE II. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES CULTURES DU BASSIN ARACHIDIÈRE.....	16
2.1. Le milieu.....	16
2.2. Le mil.....	19
2.3. L'arachide.....	28
CHAPITRE III : MÉTHODOLOGIES D'ÉTUDES ET DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX	39
3.1. Étude floristique.....	39
3.2. Étude du comportement germinatif des graines.....	40
3.3. Étude de la dynamique.....	41
3.4. Étude de la concurrence.....	42
CHAPITRE IV : FLORE ADVENTICE DES CULTURES VIVRIÈRES DANS LE SUD DU BASSIN ARACHIDIÈRE.....	46
4.1. Introduction.....	46
4.2. Résultats et discussions.....	46
4.3. Conclusion.....	53
CHAPITRE V : COMPORTEMENT GERMINATIF DES SEMENCES DES PRINCIPALES ADVENTICES DES CULTURES DE MIL ET D'ARACHIDE.....	55
5.1. Introduction.....	55
5.2. Résultats.....	56
5.3. Discussions.....	59
5.4. Conclusion.....	62
CHAPITRE VI : DYNAMIQUE DES COMMUNAUTÉS ADVENTICES DES CULTURES DE MIL ET D'ARACHIDE.....	64
6.1. Introduction.....	64
6.2. Résultats.....	65
6.3. Discussions.....	78
6.4. Conclusion.....	84
CHAPITRE VII - ÉTUDE DE LA CONCURRENCE ENTRE LE MIL, L'ARACHIDE ET LES MAUVAISES HERBES : ESSAI DE DÉTERMINATION D'UNE PÉRIODE CRITIQUE DE CONCURRENCE ET D'UN ITINÉRAIRE TECHNIQUE.....	86
7.1. Introduction.....	86
7.2. Résultats et Discussion.....	87
7.3. Conclusion.....	97
CHAPITRE VIII - DISCUSSIONS GÉNÉRALES ET CONCLUSIONS.....	98
8.1. Le problème et les objectifs visés.....	98
8.2. Principaux résultats obtenus et conséquences agronomiques.....	98
8.3. Les perspectives.....	104
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	109

RÉSUMÉ

Le mil et l'arachide sont les principales cultures vivrières au Sénégal. Mais leur production est limitée par l'impact des adventices qui constituent après l'eau la principale contrainte. Ce travail a été entrepris pour rechercher dans l'étude de la flore adventice, du comportement germinatif des graines, de la dynamique des levées et de la concurrence des adventices vis à vis du mil et de l'arachide, les informations utiles permettant de suggérer des itinéraires techniques qui allègent le travail des paysans et qui augmentent en même temps la productivité et la production agricole.

Dans le sud du Bassin arachidier où les investigations ont été menées, la flore adventice est constituée de 125 espèces réparties en 81 genres et 31 familles. Elle est paucispécifique, stable et dominée par des *Poaceae*, *Cyperaceae* et *Convolvulaceae*, qui avec les légumineuses et *Rubiaceae* herbacées constituent plus de la moitié des espèces. La structure de cette flore est caractéristique de celles des zones semi-arides où les thérophytes sont dominantes. 15 espèces constituent le noyau du cortège floristique avec deux espèces (*Kyllinga squamulata* et *Mitracarpus villosus*) dominantes en station et trois (*Kyllinga squamulata*, *Mitracarpus villosus* et *Eragrostis tremula*) en milieu paysan.

Les graines pour la majorité des espèces germent mieux quand elles sont âgées et peuvent être classées en trois groupes pour leur sensibilité vis à vis de la lumière. *Eragrostis tremula* en particulier ne peut germer qu'en présence de lumière. La dynamique de la levée des germinations est en rapport étroit avec la pluviométrie. En effet, quelle que soit la pratique culturale, les levées sont toujours plus importantes au moment des périodes pluvieuses, avec un effet stimulant de l'azote sur la germination et la levée des adventices.

De l'étude de la concurrence, il ressort que : 1/ la date critique de concurrence, qui succède à la période d'infestation de début de cycle, advient dans un délai variable selon les spéculations ; ce délai est de 15 à 20 jours pour l'arachide et est compris entre 20 et 40 jours pour le mil selon les traitements associés notamment en ce qui concerne l'apport d'engrais azotés ; 2/ une grande hétérogénéité de l'infestation qui semble être une caractéristique des agrosystèmes sahéliens ; 3/ l'infestation de début de cycle est favorable pour le mil.

L'analyse des résultats de la concurrence a permis en outre de noter que le meilleur itinéraire technique est de deux désherbages, le premier précoce, le second plus ou moins tardif selon les spéculations et les traitements. A défaut de deux désherbages, un seul situé à la date critique permet d'obtenir des rendements satisfaisants.

Les résultats obtenus permettent de faire des suggestions utiles pour la gestion des adventices et de dégager des perspectives permettant d'espérer par l'utilisation d'adventices améliorantes, du potentiel des mycorhizes et de la fixation biologique de l'azote, d'envisager une agriculture durable parce que intégrée.

Mots clés : adventices, flore, germination, dynamique, concurrence, mil, arachide, Bassin arachidier, Sénégal

INTRODUCTION

1. Le Sénégal pays sahélien

Le Sénégal (Fig.1) est un pays sahélien où l'agriculture constitue une des premières activités de production. Elle occupe 70% de la population. Les cultures les plus importantes sont le mil, l'arachide, le sorgho, le maïs, le niébé, le riz et le coton. Elles couvrent près de 90% des surfaces emblavées. Parmi ces spéculations, le mil et l'arachide occupent une place prépondérante. Le mil constitue la base de l'alimentation des populations rurales et l'arachide la principale culture commerciale et la principale source de rentrée de devises.

Malgré la prépondérance de sa place dans l'économie et les efforts financiers et humains consentis, l'agriculture sénégalaise a connu des contre performances qui se sont traduites par la paupérisation continue du monde rural et la dégradation des ressources naturelles (couvert végétal, sols) (ISRA, 1998).

Les mesures prises par le gouvernement dans le cadre de ses différentes politiques agricoles et leurs corollaires en matière de recherche agricole (PRAI et PRAII) n'ont pas permis la relance de la production agricole. Ces politiques et stratégies se sont révélées le plus souvent inopérantes, parfois mal inspirées à cause d'une part des fluctuations climatiques et de la sécheresse engendrée mais également à cause de la faiblesse du processus de planification due à une absence d'analyse profonde de la structure de l'exploitation paysanne, des pratiques culturales et des itinéraires techniques (FAO, 1997, ISRA, 1998).

Il est donc important d'envisager aujourd'hui une amélioration durable de ces cultures dans un contexte d'agriculture intégrée qui prenne en compte les besoins réels des paysans, les potentialités existantes aussi bien au plan des acquis de la recherche qu'au plan des ressources disponibles.

Le présent travail envisage d'étudier la flore adventice des cultures de mil et d'arachide et son impact sur la production du mil et de l'arachide dans le sud du Bassin arachidier. Il vise à réunir les informations utiles sur leur biologie et leur écologie qui permettent une utilisation optimale des méthodes de lutte en vigueur.

2. Les raisons de l'étude

La production comme la productivité dans les zones agricoles sont fortement limitées par les mauvaises herbes encore appelées adventices. Le but recherché de la lutte contre les mauvaises herbes est de réduire l'impact des adventices sur la production agricole.

Dans les pays développés, l'utilisation des herbicides est devenu indispensable (MAMAROT, 1985). La plupart des agriculteurs utilisent des herbicides chimiques souvent très efficaces. Mais leur usage inconsidéré, pour un désherbage chimique systématique, fait encourir de plus en plus de risques écologiques et sanitaires. Les résidus toxiques qui s'accumulent dans les plantes alimentaires et dans les eaux souterraines et de surface menacent la santé des hommes et des animaux (STROBEL, 1991). De plus, les moyens de désherbage mécanique, qui très longtemps ont assuré un désherbage non sélectif des mauvaises herbes, ont été remplacés par des herbicides de plus en plus sélectifs. Aussi, le comportement des différentes espèces adventices a varié, depuis de simples écarts de réponse aux doses normales utilisées se traduisant par des différences de phénologie ou de vigueur, jusqu'à des résistances très élevées dues à des systèmes de détoxification très efficaces ou à des mutations de cibles (DARMENCY & GASQUEZ, 1990). Aussi, dans ces zones, il est de plus en plus question de raisonnement du désherbage c'est-à-dire la prise en compte d'une bonne connaissance des interactions entre les principaux paramètres, sur laquelle devrait se fonder une décision cohérente de désherbage. Ces paramètres sont essentiellement les facteurs

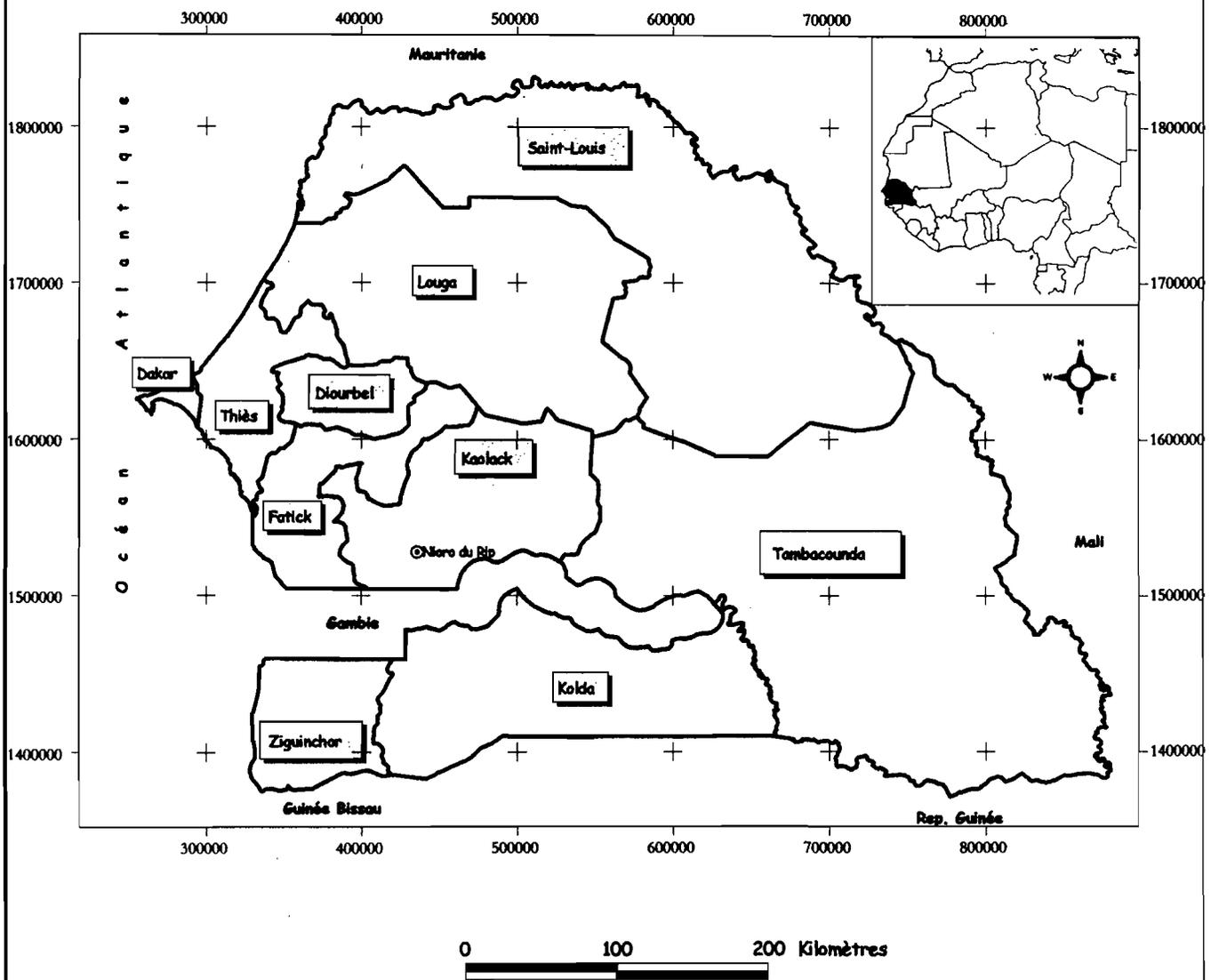


Figure 1 : Le Sénégal, position géographique et limites administratives.

cultureaux et pédo-climatiques, les propriétés des herbicides, la flore potentielle ou réelle, les facteurs humains et économiques (MAMAROT, 1985).

Dans les pays sous-développés, les systèmes traditionnels de lutte contre l'enherbement (longues périodes de jachère, rotation avec une culture sarclante, cultures associant la plante cultivée avec des légumineuses fourragères ou cultivées sous couvert, pâturage), ont été de plus en plus abandonnés (AKOBUNDU, 1991).

Les désherbages manuel et mécanique se révèlent de plus en plus inefficaces à cause du manque de main d'œuvre. L'utilisation des herbicides est devenue inévitable malgré les contraintes techniques (mode d'application, encadrement) et économiques (coût) (JAN, 1971; HERNANDEZ, 1978; FALL *et al.* 1978) et leur impact souvent négatif sur la qualité des sols et l'environnement. Le désherbage chimique de l'arachide par exemple permet de reculer la date du premier sarclage et l'économie de main-d'œuvre réalisée peut être utilisée pour l'entretien des autres cultures de l'exploitation (DEUSE & HERNANDEZ, 1978c, 1978d). En plus, elle présente un arrière effet sur la culture de l'année suivante. Une gestion rationnelle de ces avantages devrait permettre d'augmenter, de façon sensible, au moins la production de certaines cultures comme l'arachide. Mais cette gestion rationnelle suppose une bonne connaissance de la flore adventice et ses interactions avec les paramètres cultureaux, climatiques et pédo-climatiques et les conditions socio-économiques des paysans.

3. L'approche méthodologique du problème

Les recherches malherbologiques sur le mil et l'arachide dans le sud du Bassin arachidier du Sénégal (Fig. 5, Fig. 6) ont été conduites par plusieurs auteurs. Ces auteurs se sont surtout intéressés aux aspects liés la lutte chimique (JAN, 1971; DEUSE & HERNANDEZ 1978a, b, c, d ; FALL *et al.*, 1978 ; FONTANEL , 1988a), aux aspects taxonomiques, phénologiques et phytosociologiques (MERLIER 1972a, 1972b , DIALLO, 1981 ; FONTANEL ; 1986a, c, 1987a, 1987b, 1988b, 1988c ; NOBA & BA, 1998 ; WADE *et al.*, 1999) et sur la biologie (BA ,1983) et la lutte contre le *Striga*, (SAMB & CHAMEL, 1992). Ces travaux ont permis de préconiser des traitements herbicides et contribué à une meilleure connaissance de la flore et de la végétation adventices.

Toutefois, très peu d'études ont porté sur la biologie et l'écologie des adventices. Or, la connaissance de ces éléments notamment la structure réelle de la flore, le comportement germinatif des semences, la dynamique et la concurrence des adventices, apparaît comme étant un préalable à toute amélioration des techniques pour une gestion durable des infestations (BARRALIS & CHADDOEUF, 1980 ; BARRALIS & MARNOTTE, 1980 ; CHADEOUF-HANNEL, 1985 ; CAUSSANEL, 1989 ; DESSAINT *et al.*, 2001).

L'ensemble de ces connaissances devrait permettre de fournir, dans les agrosystèmes tropicaux notamment, un ensemble d'informations qui peuvent préciser les niveaux et dates d'interventions.

Le présent travail présente les résultats obtenus principalement sur les cultures de mil et d'arachide dans le sud du Bassin arachidier. Il est structuré de la manière suivante :

- le chapitre 1 est une synthèse bibliographique sur les adventices ; il fait le point sur les principales contraintes des cultures au Sahel et montre la place des adventices parmi ces contraintes ; il revient ensuite sur les notions de mauvaises herbes et d'adventices, de flore potentielle et de flore réelle, de cycles biologiques et précise la notion de nuisibilité adventice ;

- le chapitre 2 est une présentation du milieu physique du Bassin arachidier, zone d'étude, du mil et de l'arachide et des systèmes traditionnels de culture du mil et de l'arachide en vigueur dans le Bassin arachidier ;
- le chapitre 3 présente les méthodologies d'étude et les dispositifs expérimentaux ;
- Le chapitre 4 analyse la flore et la végétation adventices des cultures dans le sud du Bassin arachidier ;
- le chapitre 5 étudie l'effet de quelques facteurs exogènes sur le comportement germinatif des semences des principales adventices ;
- le chapitre 6 établit la dynamique de la flore de surface en rapport avec les facteurs agronomiques et climatiques ;
- le chapitre 7 donne des indications sur l'effet de la concurrence des adventices sur certains paramètres du rendement ;
- le chapitre 8 est une discussion et une conclusion générales des résultats de l'étude.

CHAPITRE I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES ADVENTICES DU SAHEL

1.1. Les principales contraintes de la production agricole au Sahel

Les contraintes à l'augmentation de la production agricole au Sénégal peuvent être ramenées à trois types principaux : les contraintes climatiques et édaphiques, les contraintes techniques et les contraintes économiques.

Les contraintes climatiques et édaphiques sont liées à la faiblesse et à l'irrégularité des pluies ainsi qu'à la pauvreté des sols. La raréfaction de la jachère ou la diminution de leur durée ainsi que l'expansion de l'aire de culture jusqu'aux terres encore plus marginales, ont accentué ce phénomène. Les plantes cultivées se sont donc trouvées dans des conditions de stress hydrique, de sols peu fertiles et sous des températures parfois très élevées (FAO, 1990).

Les contraintes techniques sont dues au fait que l'adoption de nouvelles technologies en matière de cultivars et de pratiques agronomiques a été faible à cause de la conduite d'activités de recherches mal conçues, d'une vulgarisation inadéquate ou à cause de la réticence des paysans. Ces nouvelles technologies acquises par la recherche, n'ont pas pris en compte suffisamment les contraintes de la culture en milieu paysan. Aussi, le rendement de l'investissement (capital, temps de travail etc.) dans la production agricole s'est révélé parfois moindre que celui obtenu dans une autre activité agricole ou non. Ces conséquences ont été dramatiques pour le monde paysan qui a connu, depuis quelques décennies, le phénomène de l'exode rural en direction des zones urbaines (ISRA, 1998).

Les contraintes économiques concernent les fluctuations des marchés intérieurs et extérieurs. La demande de plus en plus limitée sur le marché commercial a amené les paysans à n'utiliser qu'un minimum d'intrants tels que les engrais chimiques, les pesticides ou la main d'œuvre salariée.

L'analyse de ces différentes contraintes ainsi que les résultats découlant des activités de recherches jusqu'ici entreprises, ont permis de s'interroger sur la pertinence et la priorité donnée à certaines activités et de définir de nouveaux programmes plus cohérents (ISRA, 1998).

1.2. La place des adventices parmi les contraintes

Parmi les contraintes techniques, figurent en première place celles biotiques qui sont liées en particulier aux maladies cryptogamiques, aux insectes parasites et à la pression des adventices.

Les dégâts dus aux adventices constituent, après l'eau, la première contrainte à l'augmentation de la production agricole en Afrique subsaharienne (KOCH *et al.*, 1982 ; AKOBUNDU, 1991). En effet, les pertes dues à l'impact des adventices sont évaluées à 25% contre 5% dans les pays développés (PARKER & FRYER, 1975) mais elles peuvent être plus élevées et atteindre 56% selon CRAMER (1967), parfois aller jusqu'à la perte totale de la production par abandon de la culture (FONTANEL, 1988a, 1988b).

Aussi, la lutte contre les mauvaises herbes dans les cultures a toujours été en Afrique, plus que dans les autres régions du monde, un des soucis majeurs des paysans. En effet, le développement des plantes en climat chaud est plus rapide, les ressources chimiques du sol généralement plus faibles et la concurrence des adventices se fait sentir plus vite et plus violemment que dans les pays tempérés (DEAT, 1988 ; FONTANEL, 1988a). Ce phénomène est plus accentué dans les régions sahéliennes où la saison des pluies, très courte, oblige à des interventions rapides, si on veut éviter une perte quasi totale des récoltes.

Les effets les mieux connus de la pression des mauvaises herbes sont ceux des réductions de production, et ce sont souvent les seules prises en compte. Cependant contrairement aux ravageurs des cultures la flore adventice est toujours présente, sa contrainte est permanente. Cette contrainte impose un investissement en intrants ou en temps de travail parfois très important (Tab. 1)

Tableau 1 : Pourcentage du temps consacré aux différentes opérations culturales dans les principales cultures vivrières en Afrique subsaharienne (AKOBUNDU, 1991).

Culture	Pays	Préparation du sol et semis	Sarclage	Récolte	Proportion du temps consacré au sarclage
Mais	Ethiopie	21	39	12	54
	Ghana	54	43	16	38
	Malawi	26	57	36	48
	Nigeria	33	30	20	36
	Zambie	38	65	33	48
Sorgho	Burkina faso	25	42	11	54
	Nigeria	28	25	15	37
Arachide	Sénégal	28	63	35	50
	Nigeria	68	45	70	25
Manioc	Cameroun	159	120	125	30
	Nigeria	195	70	60	22

Cette demande de travail ou de ressources monétaires peut parfois empêcher le développement structurel des exploitations. Dans le Bassin arachidier du Sénégal par exemple, où l'enherbement constitue l'une des contraintes majeures de l'augmentation de la production agricole (ANGE & FONTANEL, 1986 ; BARON, 1991), le contrôle des mauvaises herbes constitue un coût en travail estimé à 50% de l'ensemble des opérations culturales (AKOBUNDU, 1991, FALL *et al.*, 1978). Il représente le véritable goulot d'étranglement qui peut bouleverser la planification de la conduite normale des cultures.

Dans ces zones, en dépit d'une pluviométrie normale voire excédentaire, les seules pertes de rendement dues aux adventices ont atteint 30% de la production agricole en 1994 (ISRA, 1994). Pour le mil, des baisses de rendements de 13% par rapport à la moyenne des années précédentes, ont été enregistrées. Cette baisse de rendement est, selon l'ISRA (1994), la conséquence du développement excessif des adventices suite aux fortes pluies du mois d'août.

L'accroissement des emblavements, que les paysans ont choisi pour compenser la baisse de la production, complique davantage la bonne réalisation des désherbages sur l'ensemble de l'exploitation familiale.

Aussi, il ressort de cette analyse succincte que les adventices :

- 1- constituent la contrainte majeure de la production dans les pays sahéliens ;
- 2- entravent la nutrition de la plante cultivée par rapport aux substances minérales, à l'eau et à la lumière ;
- 3- représentent une contrainte permanente dont le contrôle doit se faire le plus tôt possible dans le calendrier cultural ;

- 4- compliquent les opérations culturales ;
- 5- profitent mieux de la pluviométrie et de la fertilisation que la plante cultivée ;
- 6- gênent la récolte ;
- 7- représentent une cause de dégradation des ressources naturelles.

1.3. Définition des adventices

Adventice et mauvaise herbe ne sont pas à proprement parler des synonymes. On a cependant coutume à les confondre dans leur acception agronomique, c'est-à-dire « toute plante indésirable dans une culture ».

Pris au sens botanique, est adventice toute plante qui, pour des raisons diverses, est introduite spontanément dans une nouvelle région et vient donc s'ajouter à un peuplement végétal auquel elle est initialement étrangère (BOURNERIAS, 1969). Pour certains auteurs (HAMEL & DANSEREAU, 1949 ; GODINHO 1984), le terme adventice doit être compris au sens écologique, c'est-à-dire une plante qui se développe spontanément dans les milieux modifiés par l'homme. Les adventices caractérisent donc mieux l'ensemble des flores des milieux artificialisés en général, que les éléments introduits accidentellement. C'est dans ce sens que le terme « adventice » est utilisé dans la terminologie en malherbologie.

A l'inverse, on peut admettre avec HAMEL & DANSEREAU (1949) et GODINHO (1984) que les mauvaises herbes sont les éléments de cette flore adventice qui constituent un fléau dans les champs cultivés et qui sont donc indésirables. Indésirables, parce qu'elles entravent le développement, perturbent la croissance et affectent finalement le rendement d'une culture ; elles profitent en effet au mieux de l'eau et des substances minérales et organiques du sol au détriment de la culture, tout en rendant plus difficile la récolte.

Mais, pour de plus en plus d'auteurs (LE BOURGEOIS & MERLIER, 1995 ; JORDAN *et al.*, 2000), les adventices lorsqu'elles sont maintenues à des seuils tolérables de nuisibilité perdent leur statut de plantes indésirables et peuvent même dans certains cas devenir des plantes utiles pour le maintien de la fertilité minérale et biologique des sols. Cette acception rejoint la définition de ANDERSON (1977) selon laquelle les adventices sont des « *Plants for which man has not yet found a use* ».

Cette définition correspond mieux à la conception qu'ont les paysans des régions tropicales vis à vis de l'herbe qu'on rencontre dans les champs. La flore adventice présente de nombreuses utilités au plan ethnobotanique (GLIESSMAN, 1988 ; FAO, 1990 ; MBAYE *et al.*, 2001).

Les adventices ou mauvaises herbes selon leur acception forment une flore donnée, qui peut être potentielle ou réelle, et une communauté végétale typique.

1.4. Flore adventice potentielle et réelle

La flore adventice observée dans une culture est la conséquence de la conjugaison de deux facteurs déterminants :

- la présence dans le sol de semences viables et dormantes ;
- les conditions d'environnement favorables à la germination (après la levée de dormance) de ces semences, et à la levée et la survie des jeunes plants après préparation du sol et semis de la plante cultivée.

On distingue ainsi une flore potentielle liée au potentiel semencier et une flore réelle ou flore de surface qui se met en place à partir du potentiel semencier et qui se renouvelle plus

ou moins bien en fonction de la nature et de la date de semis de la plante cultivée, des techniques agronomiques et des facteurs climatiques et pédologiques.

La connaissance des relations entre ces deux paramètres et leurs variations dans l'espace et le temps est un élément important pour la prévision à long terme de l'évolution de la flore dans un système agricole donné et pour le raisonnement du désherbage (BARRALIS & CHADOEUF, 1988 ; BARRALIS *et al.*, 1996). Elle permet de déterminer la nature des enherbements, les taux et la chronologie des levées des mauvaises herbes au champ en fonction des facteurs environnementaux notamment les facteurs édaphiques et climatiques et des facteurs cultureux dont les plus importants sont la nature de la plante cultivée, le travail du sol, la fertilisation, le système de culture et le désherbage (MAMAROT, 1985).

1.4.1. Les facteurs environnementaux

L'effet des facteurs environnementaux dans la composition et l'abondance des espèces au sein des communautés adventices, a été montré par plusieurs auteurs (LE BOURGEOIS, 1993 ; FONTANEL, 1988a, b, c; TRAORE, 1991). En Afrique, la pluviométrie et le type de sol sont les facteurs de différenciation les plus importants à l'échelle régionale (FONTANEL 1988b). Ils interviennent également à une échelle plus localisée sur l'échelonnement des levées au cours de la saison pluviale.

Les levées au champs ne représentent que 5 à 10% du potentiel semencier d'une parcelle agricole (DESSAINT *et al.*, 1990b et c ; BARRALIS *et al.*, 1996 ; PAOLINI *et al.*, 1999). Toute modification des paramètres environnementaux et cultureux, aura pour effet un changement à plus ou moins long terme dans la nature et dans la densité des mauvaises herbes, avec une tendance marquée à la progression pour les espèces cosmopolites ou ubiquistes toujours mieux favorisées que les espèces aux exigences écologiques très strictes (BARRALIS, 1982).

1.4.2. Les facteurs cultureux

1.4.2.1. La nature de la plante cultivée

La nature de la plante cultivée, parfois du cultivar, est souvent importante dans le déterminisme du salissement présent d'un champ. Les cultures pérennes favorisent les espèces bisannuelles, pluriannuelles et vivaces alors que les cultures annuelles favorisent généralement les mauvaises herbes annuelles dont le cycle biologique est calqué sur celui de la culture, grâce à un apport régulier de leurs semences par dissémination avant la récolte ou éventuellement avec les semences des plantes cultivées (BARRALIS 1982 ; MAMAROT, 1985 ; GUILLERM *et al.*, 1990).

Au Sénégal, *Guiera senegalensis* par exemple, qui est actuellement très commun en Basse Casamance, est apparemment contemporain de l'introduction de la culture de l'arachide vers 1860. Les paysans âgés se souviennent encore de l'arrivée de l'arbuste dans leur village et sa diffusion rapide sur des terres cultivées de façon traditionnelle. *Guiera senegalensis* colonise les terres sablonneuses qui ont perdu leur fertilité par suite de pratiques culturelles maladroites dans les défrichements abandonnés après avoir été cultivés plusieurs années consécutives, sans que des engrais aient été apportés à la terre (VAN DER BERGHEN, 1998).

1.4.2.2. Le travail du sol

Le travail du sol, plus que tout autre facteur physique, a sur la flore adventice une influence marquée. Il conduit à un état du lit de semences et à un profil cultural plus ou moins favorable au développement des mauvaises herbes. Toute modification des techniques de

préparation du lit de semences entraîne une évolution sensible de la flore adventice (BARRALIS, 1982).

L'absence de travail du sol en modifiant la microtopographie parcellaire entraîne des changements dans les conditions d'humidification, de température ou d'éclairement des semences maintenues à la surface du sol, ce qui favorise certaines espèces au détriment d'autres (MIEGE & TCHOUME, 1963 ; BARRALIS 1982). Les espèces vivaces sont aussi favorisées dans ces situations (AYENI *et al.*, 1984).

Le retournement du sol enfouit à des profondeurs variables les semences qui se trouvent en surface. Dans le même temps, des semences plus anciennes sont remontées en surface et celles qui ont conservé leur viabilité trouvent des conditions favorables à leur germination (MONTEGUT, 1975). Le labour profond permet en général de réduire de 50% le potentiel semencier (DESSAINT *et al.*, 1990b et c, DESSAINT *et al.*, 1992) comparé à un travail superficiel dans lequel les semences, très légèrement enfouies, sont placées dans de bonnes conditions pour germer et lever. Ce qui est le cas au Sénégal (CHOPART, 1981 ; FONTANEL, 1988a) et au Burkina faso (TRAORE, 1991) où les labours généralement très superficiels ressemblent plus à un grattage qu'à un véritable labour. Ils entraînent une augmentation de la vigueur des plantes en début de cycle mais profitent mieux en réalité aux mauvaises herbes qu'à la plante cultivée.

BARON (1991) a montré que la préparation du sol et la fertilisation sont les facteurs agrotechniques qui déterminent le plus la précocité ou non du sarclage.

Dans les champs de mil cultivés de façon extensive (peu ou pas de sarclage) DE MIRANDA *et al.* (1979) montrent que l'évapotranspiration réelle (ETR) des adventices est très supérieure à l'ETR du mil. La pression des adventices dépendrait du système de culture intensif ou extensif. Ces résultats montrent, selon ces auteurs, l'intérêt et la possibilité de l'intensification dans l'agriculture pluviale en milieu tropical semi aride : elle augmente l'efficacité de l'utilisation de l'eau par la culture et joue un rôle important dans le stockage et le report interannuel de la réserve hydrique du sol.

Selon FONTANEL (1988a) les labours de début de cycle réduisent les peuplements adventices.

Les plantes cultivées, notamment l'arachide et le mil, réagissent mieux à la pression de concurrence si elles profitent d'un labour qui leur permet une meilleure colonisation du sol par des racines.

Le faux semis ou *Raadou*, pratique courante au Sénégal, a également une influence notable sur l'enherbement. En effet la flore adventice ne peut exprimer tout son potentiel de concurrence, une grande partie des semences ayant levée est éliminée lors de la mise en culture (WADE & FONTANEL, 1985).

De plus, le travail du sol et l'état de préparation du terrain avant semis déterminent selon MAMAROT (1985) et DEAT (1988) le type de traitement chimique. En l'absence de travail du sol, les traitements utilisés sont le plus souvent des traitements de présemis et postlevée. Le travail du sol conduit plutôt à une gamme plus variée de traitements.

1.4.2.3. La fertilisation

Le niveau de ressources selon plusieurs observations et expérimentations, joue un rôle important dans la mise en place et la sélection des communautés (TILMAN, 1982).

La fertilisation azotée est la plus répandue. Elle a une grande influence sur les communautés adventices (PYSEK & LEPS, 1991) et s'est considérablement accrue dans les

pays développés où il semble qu'elle a mieux profité aux mauvaises herbes qu'aux plantes cultivées (BARRALIS, 1982), ce qui a justifié en partie l'utilisation du désherbage chimique.

De manière directe, dans les systèmes de culture à fertilisation élevée, elle a favorisé l'extension de toutes les espèces nitrophiles et dans une moindre mesure la plupart des mauvaises herbes. Elle a eu un effet sur la diversité spécifique et les formes de croissance. Au Sénégal, FONTANEL (1988b) montre que la cartographie des enherbements peut se calquer sur le niveau d'artificialisation et en particulier des pratiques de fertilisation. Dans les relevés proches des "cases fumées" souvent en cultures de céréales continues, on retrouve la quasi totalité des nitrophiles comme *Trianthema portulacastrum*, *Boerhavia erecta*, *Amanranthus spinosus*, *Eleusine indica*, *Portulaca oleracea*. Ce groupe s'oppose à celui des parcelles de défriches récentes éloignées des villages ou des parcelles plus anciennes en succession arachide-mil non fumées où la baisse de la fertilité a entraîné l'installation d'espèces comme *Eragrostis tremula*, *Eragrostis cilianensis*, *Tephrosia pedicellata*, *Indigofera secundiflora* et des arbustes comme *Hoeria insignis* et *Combretum micranthum*.

De manière indirecte, l'apport d'une fertilisation azotée se traduit par l'augmentation de la compétition avec la plante cultivée. Mais, selon FONTANEL (1988a, b), les cultures valorisent mieux les fertilisations et sont alors capables de résister à la pression des adventices, en particulier lorsque cette fertilisation est combinée à un labour.

1.4.2.4. Le système de culture

Le système de culture, par le jeu des successions culturales, de la jachère et des cultures associées, joue un rôle important dans la sélection et l'évolution des peuplements adventices. En effet, le salissement présent du champ s'inscrit dans le salissement passé via les organes de conservation de l'espèce que sont les semences y compris les bulbes, les rhizomes etc.. Il détermine en grande partie le salissement futur.

Dans les pays d'agriculture intensive, l'accroissement des emblavures céréalières et la simplification des rotations, corrélativement au développement du désherbage chimique, ont eu pour conséquence l'extension des graminées annuelles (BARRALIS, 1982).

Dans la plupart des pays d'Afrique, plusieurs auteurs ont montré que la fréquence de cultures des céréales fait partie des paramètres les plus importants dans la différenciation des associations d'adventices (FONTANEL, 1988b ; WERBER *et al.*, 1997). Leur culture continue par exemple, est proscrite dans les parcelles infestées de *Striga* (SALLE & RAYNAL-ROQUES, 1989).

Au Sénégal, FONTANEL (1988a et b) montre que le sorgho comme précédent limite la majorité des espèces et la biomasse globale mais a un effet allélopathique déprimant sur la culture.

La jachère a un effet limitant sur le développement de certaines espèces à feuilles larges comme *Commelina*, *Cassia*, *Hibiscus* et *Spermacoce* (FONTANEL, 1988a et b).

Dans de nombreux pays en développement, le système de cultures associées, qui est l'une des pratiques les plus anciennes parmi les systèmes traditionnels d'agriculture, a permis de réduire les infestations. Mais, il existe peu de preuves résultant d'expériences pour appuyer ces observations (ICRISAT, 1981). Plusieurs facteurs parmi lesquels le cultivar, la période et la densité de semis, l'arrangement spatial, les ressources du sol, semblent déterminer la capacité de concurrence des mauvaises herbes dans les cultures associées.

De même, les microorganismes symbiotiques du sol (champignons endomycorhizogènes et *Rhizobium*), qui sont connus pour leur importance dans la nutrition et la protection des plantes contre différents stress, et dans l'amélioration de la qualité

Tableau 2 : les principaux herbicides sélectifs au Sénégal (Source : ISRA, 1978)

Culture	Région	Matière active	Dose g m.a./ha	Application	
				Epoque	Mode
Arachide	Centre Casamance S. Oriental	Pendiméthaline Trifluraline Dinitramine	1000 960 800	Pré-semis en sec Pré-semis en sec Pré-semis en sec	U.L.V. avec incorporation
	Sine-Saloum	Amétryne + Prométryne	600+ 600	Post-semis pré- émergence	U.L.V.
	Recherche Agronomique	Dinoseb + Naptalam	(a.e) 1050 + 208	"craking time"	400l/ha
Citron	Sine-Saloum Casamance Sénégal Oriental	Trifluraline Pendiméthaline	960 1000	Pré-semis en sec Pré-semis en sec	U.L.V. avec incorporation
	Recherche Agronomique	Propazine + Atrazine	500 + 500	Post-semis pré- émergence	400l/ha
Sorgho	Sine-Saloum	Alachlore + Atrazine	1500 500	Post-semis pré- émergence	180l/ha ou U.L.V.
Riz irrigué	Fleuve	Propanil	4200	Post semis 4-5 feuilles adventices	400l/ha
	Casamance	Propanil + 2.4.5. T.P.	2816 + (a.e.) 840	Post semis 4-5 feuilles adventices	400l/ha
	Fleuve	Oxadiazon	750	Pré-semis	En sec à 400l/ha avec incorporation dans lame d'eau de 3 à 4 cm
Riz pluvial	Casamance	Fluorodifène	3000	Post-semis préémergence	U.L.V.
	Sénégal Oriental	Butrazine	2000	Post-semis préémergence	U.L.V.
Mais	Sine-Saloum Casamance Sénégal Oriental	Atrazine	2500	Post-semis, ma's jusqu'à 2 feuilles	U.L.V.

biologique des sols (GIANINAZZI-PEARSON *et al.*, 1993 ; GIANINAZZI & SCHÜEPP, 1994), sont de plus en plus reconnus comme des éléments importants dans la présence et la dominance de certaines espèces adventices. Leur importance dans les systèmes de cultures (CAUSSANEL *et al.*, 1998) ainsi que leur rôle dans la maîtrise de l'infestation des mauvaises herbes, ont été jusqu'ici très peu évalués (JORDAN *et al.*, 2000).

De plus, l'apparition des parasites est considérablement réduite dans une culture en association. Elle permet de réduire également le nombre de *Striga* par rapport à la culture pure (IER - ICRISAT, 1987).

1.4.2.5. Le désherbage

En ce qui concerne le désherbage, le développement rapide et la généralisation du désherbage chimique dans les pays développés à l'ensemble des cultures, ont entraîné de profondes modifications de la flore adventice. Ces modifications se sont manifestées d'abord par la raréfaction et localement par la disparition des espèces peu fréquentes aux exigences écologiques strictes, contribuant ainsi à une baisse de la variabilité génétique des espèces, puis par la progression des espèces résistantes, insensibles aux matières actives mises en œuvre pour les détruire (BARRALIS, 1982 ; DARMENCY & GASQUEZ, 1990). Il est également à l'origine de nouvelles techniques de production comme la simplification de la préparation du lit de semences, l'accroissement de la fertilisation azotée, la simplification de la rotation.

Dans nos systèmes d'agriculture traditionnelle, le désherbage est souvent mal conduit et se traduit par de forts enherbements. Les causes en sont multiples et sont liées principalement au manque de main d'œuvre potentielle, à l'augmentation des surfaces cultivées, à l'importance des travaux dans l'exploitation familiale pendant le premier mois de culture et à l'inefficacité des méthodes de lutte (FALL *et al.*, 1978). Dans ces pays, l'utilisation des herbicides est plus récente et reste efficace pour la plupart des cultures (Tab.2) (DEUSE & HERNANDEZ, 1978a, 1978b, 1978c, 1978d ; ISRA, 1978). Mais du fait de leur coûts importants, leur rentabilité est parfois remise en cause (FONTANEL, 1986b, 1988a). Dans de tels systèmes, il est souvent très difficile de contrôler les adventices avec les moyens de lutte en vigueur. Leur bonne gestion suppose alors une connaissance de leur possibilité d'adaptation et leur cycle de vie.

1.5. Cycle et types biologiques

La flore adventice d'une zone est le résultat de plusieurs siècles de pratiques agricoles, des conditions écologiques et des plantes cultivées. Elle est constituée par une combinaison spécifique, relativement constante qui forme des associations végétales en équilibre avec la situation écologique, la nature de la plante cultivée et le calendrier cultural (BRAUN-BLANQUET, 1952 ; LORENZONI & LORENZONI, 1976).

Ces différentes conditions interfèrent souvent avec le cycle et le type biologiques des espèces pour éliminer certaines espèces. A ce processus initial d'exclusion des espèces lié à la compétition pour le partage des ressources, s'est supplantée la sélection d'espèces, qui en fonction de leur cycle vital, ont été capables d'assurer leur développement dans ce nouvel espace et de ce nouveau laps de temps créé par la pratique cultural (MAILLET, 1981 ; GUILLERM, 1990). Il apparaît donc ainsi une grande similarité entre les types et les cycles biologiques des plantes cultivées et des adventices.

Dans les pays tempérés, les études sur les cycles et les types biologiques des espèces adventices sont très nombreuses (MONTEGUT, 1983 ; JAUZEIN & MONTEGUT, 1983). Elles ont permis de mieux caractériser les infestations en fonction de leur cycle de

développement et des conditions mésologiques, et de suivre leur évolution en rapport avec les modifications récentes des pratiques agricoles comme l'utilisation des désherbants chimiques.

Dans les pays tropicaux et au Sénégal en particulier, les études sont plus rares (MERLIER & MONTEGUT, 1982 ; LE BOURGEOIS, 1993). Or, au plan agronomique, la connaissance de ces paramètres apparaît de plus en plus comme des éléments indispensables de prévision des infestations et de lutte contre les mauvaises herbes.

1.5.1. Cycle biologique

Les adventices comme les autres végétaux, peuvent être classées selon le cycle de développement. L'évolution des connaissances dans ce domaine (SCHNELL, 1971; BARKMAN, 1988 ; GUILLERM 1990) et leur application en milieu tropical (LEBRUN, 1966) et aux adventices tropicales (MERLIER & MONTEGUT, 1982 ; LE BOUGEOIS & MERLIER, 1995), permettent de diviser les adventices en deux groupes :

- les espèces monocarpiques qui ne fleurissent et ne fructifient qu'une seule fois et meurent par la suite ; selon la durée du cycle qui est au plus de deux années chez les espèces adventices, on peut distinguer les plantes annuelles et les plantes bisannuelles ;
- les plantes pérennes chez lesquelles on observe une succession d'états végétatifs et reproducteurs qui assurent la pérennité de la plante qui peut être de quelques années à plusieurs années ; ces pérennes sont subdivisées d'après leur faculté de dissémination en plantes pluriannuelles et en plantes vivaces.

Les adventices annuelles ont un cycle biologique qui s'achève en moins d'une année et se termine par la mort de tous les organes (MAROUF, 2000). La dissémination de la plante se fait alors par graine qui est le seul mode de survie de la plante. A ce titre, elles peuvent être considérées comme des monocarpiques qui ne vivent qu'une seule année au plus deux.

Les adventices bisannuelles sont, comme les annuelles, des monocarpiques mais dont le cycle est réparti sur deux années successives. La première année correspond à une période de végétation au cours de laquelle la plante emmagasine des réserves dans ses organes souterrains et se présente sous forme d'une rosette de feuilles. C'est dans cet état que la plante passera la mauvaise saison qui, selon les climats, se passe en hiver ou en saison sèche. Au cours de la seconde année, elle utilise ses réserves et produit une tige florifère généralement foliacée. Comme les annuelles, elles meurent après la fructification et la graine est la seule chance de survie de l'espèce. Elles présentent beaucoup d'affinités avec les annuelles d'hiver (JAUZEIN & MONTEGUT 1983; MONTEGUT, 1983) qui se présentent également en rosette à la différence que chez ces annuelles, la floraison intervient en moins d'un an après la germination initiale, alors que chez les bisannuelles la floraison se trouve décalée de plus de douze mois par rapport à leur germination.

Les plantes pérennes comprennent les pluriannuelles qui ne maintiennent leur pérennité qu'à l'aide de leurs graines alors que les vivaces peuvent se perpétuer en l'absence éventuelle de tout processus de reproduction sexuée grâce à leur capacité de reproduction végétative.

Les plantes vivaces sont peu aptes à se reproduire par germination de graines. Elles assurent plus efficacement leur pérennité et leur dissémination par voie asexuée grâce à leurs organes aériens et/ou souterrains.

Il apparaît ainsi que les plantes pérennes sont vivaces mais toutes les plantes vivaces ne sont pas pérennantes lorsqu'elles ne peuvent survivre pendant la mauvaise saison que grâce à leurs organes souterrains.

Cette relative confusion entre espèces pluriannuelles et vivaces a amené certains auteurs comme GUILLERM (GUILLERM, 1990) à ne reconnaître que des annuelles et des pérennes, distinction basée à la fois sur la durée de vie et la position des organes de survie. D'autres comme HARPER & WHITE (1974) et TILMAN (1982) prennent en compte l'existence de phénotypes "annuels" et de phénotypes "pérennes" c'est à dire toute plante issue respectivement de graine ou d'organes pérennes de régénération. Ces phénotypes "annuels" et "pérennes" de GUILLERM (1990) correspondent aux "genets" et "ramets" de HARPER & WHITE (1974) et aux "annuals" et "perennials morphs" de TILMAN (1982). Cette production de phénotypes annuels et pérennes permet aux adventices à la fois de conserver par autogamie les attributs de la plante mère mais également d'accroître leur variabilité génétique et leur adaptabilité par hétérogamie. Des différences peuvent apparaître au sein d'une même espèce entre populations dans la stratégie de développement et de mode d'infestation de l'espèce. C'est ce qui est probablement à l'origine des dormances pour les graines et donc à l'hétérogénéité des semences. Aussi, sous l'angle agronomique, la lutte contre les adventices doit pouvoir se faire à deux niveaux lorsqu'elles régénèrent par l'une des voies ou par les deux. En effet, ces plantes s'opposent sur le plan de la nuisibilité potentielle.

En général, l'évolution des flores adventices des cultures pérennes fait apparaître une plus-value en faveur des plantes vivaces et une régression des annuelles. A l'inverse, dans les cultures annuelles, il y'a une prédominance des annuelles au détriment des vivaces (GUILLERM, 1990).

Ainsi, il apparaît de plus en plus important de caractériser le cycle de développement des principales espèces adventices d'une culture ainsi que leur phénologie pour contrôler efficacement les infestations.

1.5.2. Les types biologiques

La végétation adventice d'une culture est caractérisée par sa physionomie et ses variations qui sont le résultat des types biologiques qui la composent. Cette physionomie peut être exprimée par le spectre biologique qui est la proportion des divers types biologiques. Comme chez les autres plantes, on distingue chez les adventices les cinq types fondamentaux reconnus par Raunkiaer (RAUNKIAER, 1934).

Les phanérophytes et nanophanérophytes sont représentées par des plantes (arbres, arbustes, arbrisseaux et lianes) dépassant 25 cm de hauteur.

Les chaméphytes sont formées de sous-arbrisseaux, herbes et plantes subligneuses ne dépassant pas 25 cm de hauteur.

Les hémicryptophytes regroupent des plantes basses à bourgeons pérennants situés au ras du sol.

Les géophytes constituent des plantes dont les organes de conservation sont souterrains (rhizomes, bulbes, tubercules).

Les thérophytes ou plantes annuelles passent la mauvaise saison à l'état de graine.

A ces types fondamentaux, on peut ajouter les hydrophytes ou plantes aquatiques à l'exception du plancton et les épiphytes arboricoles qui sont des plantes supérieures vivant sur les phanérophytes.

Les bisannuelles sont généralement incluses dans les hémicryptophytes et sont peu nombreuses sous les tropiques (MERLIER & MONTEGUT, 1982 ; LAVABRE, 1988 ; Le BOURGEOIS & MERLIER, 1995).

Les plantes pérennes peuvent appartenir selon le cas, aux hémicryptophytes, aux chaméphytes, aux nanophanérophytes ou aux géophytes.

La plupart des adventices tropicales sont des thérophytes (MERLIER & MONTEGUT, 1982 ; LE BOURGEOIS & MERLIER, 1995). Cependant, ces thérophytes peuvent être très différentes selon les possibilités de germination des graines. En effet, de nombreuses graines sont incapables de germer ou germent difficilement, même lorsque toutes les conditions nécessaires sont réunies. Les graines qui germent sont qualifiées de non dormantes, celles qui ne germent pas, bien qu'étant viables, ou qui germent lentement et de façon hétérogène, présentent une inaptitude à la germination habituellement appelée dormance (COME, 1983).

Chez les adventices, l'inaptitude à la germination existe généralement au moment de la récolte des graines ; il s'agit alors d'une dormance primaire. Une graine non dormante à la récolte, peut aussi dans certaines conditions, devenir incapable de germer. Cette perte de l'aptitude à germer est qualifiée d'inhibition à la germination ou de dormance secondaire (COME, 1983 ; CHADOEUF-HANNEL, 1985).

Selon ces auteurs, la dormance primaire s'installe généralement au moment de la formation et de la dissémination des graines. Elle peut résider dans l'embryon lui-même qui est incapable de germer, ou être due aux enveloppes qui entourent l'embryon non dormant. Dans le premier cas, il s'agit d'une dormance embryonnaire primaire et dans le second d'une inhibition tégumentaire.

La dormance secondaire est celle qui est induite après dissémination par les facteurs naturels ou artificiels. Dans les agrophytocénoses, ces dormances secondaires et inhibitions à la germination, selon CHADOEUF-HANNEL (1985), ont lieu à la surface du sol ou dans le sol et sont dues à la lumière, à la température, à l'environnement gazeux, à la présence de composés allélopatiques etc..

Sur la base de la variabilité du comportement germinatif, les graines des thérophytes ont été réparties en 8 types biologiques suivants (COME, 1983) :

- 1- les graines non dormantes qui ne posent aucun problème de germination ;
- 2- les graines récoltées mûres qui présentent une dormance primaire qui doit être levée avant que la germination ne soit possible ;
- 3- les graines non dormantes au moment de la dissémination qui peuvent perdre leur aptitude à germer et rentrer en dormance secondaire ;
- 4- les graines présentant une dormance primaire et qui peuvent entrer en dormance secondaire ;
- 5- les graines chez lesquelles il n'existe aucune dormance mais qui sont immatures et germent alors facilement dès qu'elles ont atteint leur maturité ;
- 6- les graines qui, après avoir achevé leur maturation, ne germent pas parce qu'elles sont dormantes ; il faut alors les soumettre à un traitement de levée de dormance ;
- 7- les graines non dormantes et mûres mais qui peuvent entrer en dormance secondaire;
- 8- les graines immatures et dormantes, comme dans le cas 6, mais chez lesquelles une dormance secondaire peut être induite après la levée de la dormance primaire.

Les types biologiques permettent de faire une appréciation quantitative de la végétation en rapport avec les conditions climatiques. Ils expriment, par le spectre biologique, l'adaptation aux divers milieux. Ainsi, le spectre biologique d'une forêt diffère de celui d'une

végétation adventice par la prédominance des phanérophyles, l'abondance des épiphytes, l'absence des géophytes (LEBRUN, 1966).

En revanche, dans les agrosystèmes, la végétation adventice est caractérisée par des thérophytes dans les cultures annuelles (TRAORE, 1991 ; LE BOURGEOIS, 1993) et par une plus grande proportion de chaméphytes, hémicryptophytes et nanophanérophyles dans les cultures pérennes (MAILLET, 1981).

1.6. Nuisibilité des adventices

La nuisibilité des mauvaises herbes ou « nuisibilité adventice » dans une culture se traduit par les effets négatifs sur la croissance et le développement de la plante cultivée. Cette notion recouvre deux éléments distincts (Fig. 2) en fonction de la nature de la flore (CAUSSANEL, 1989):

- une nuisibilité potentielle liée à la flore potentielle c'est-à-dire les infestations prévisibles d'une culture à partir du potentiel semencier et des semences viables par unité de surface ;
- une nuisibilité directe due à la flore réelle c'est-à-dire aux mauvaises herbes qui lèvent effectivement au cours du cycle de la culture ; en terme d'interactions biologiques, les effets de cette nuisibilité directe sont le résultat de la concurrence entre mauvaises herbes et plantes cultivées ; cette concurrence est due à deux principaux processus biologiques selon CAUSSANEL (1988) :
 - la compétition pour les mêmes sources d'énergie (eau, substances minérales et lumière) (NIETO *et al.*, 1968 ; WEAVER, 1984 ; CAUSSANEL *et al.*, 1990 ; ANGONIN *et al.*, 1996 ; PAOLINI *et al.*, 1999) ;
 - l'allélopathie qui entraîne une inhibition de la croissance de la plante cultivée ; elle est due à l'émission ou la libération de substances toxiques (CAUSSANEL, 1979).

Cette nuisibilité appelée primaire peut revêtir différents aspects selon ses effets directs ou indirects sur la quantité et la qualité des produits récoltés (GOURNAY, 1977). A cette nuisibilité primaire, peut s'ajouter une nuisibilité secondaire qui est appréciée, au niveau de la parcelle ou de l'exploitation familiale, par ses effets ultérieurs sur l'accroissement du potentiel semencier ou la création ou la multiplication de foyers d'infestation.

Si les études de dynamique ont pour but de prévoir les risques d'infestation, les études de concurrence visent, elles, à préciser la meilleure époque d'intervention en post-levée sur la flore réelle. De manière plus précise, les études de concurrence tendent à répondre aux questions suivantes :

- à partir de quel niveau d'infestation une baisse de rendement est-elle constatée ?
- à partir de quel niveau d'infestation est-il économiquement nécessaire d'intervenir ?
- la destruction complète des mauvaises herbes d'une parcelle cultivée est-elle toujours souhaitable ?

Le niveau d'infestation fait appel à deux paramètres, une densité et une période déterminées (BARRALIS, 1977b ; CAUSSANEL *et al.*, 1986 ; CAUSSANEL *et al.*, 1990) qui définissent la notion de seuil de nuisibilité (CAUSSANEL, 1988).

De nombreux travaux ont permis de déterminer la densité critique en relation ou non avec la période critique de concurrence. Ces travaux qui ont été initiés et conduits par

plusieurs auteurs (NIETO *et al.*, 1968 ; WEAVER, 1984 ; KHEDDAM *et al.*, 1988 ; CAUSSANEL *et al.*, 1990 ; ANGONIN *et al.*, 1996 ; PAOLINI *et al.*, 1999) ont permis de définir :

- un seuil de nuisibilité biologique, qui indique la densité à partir de laquelle une baisse de rendement est constatée et la période la plus favorable pour intervenir ;
- un seuil de nuisibilité économique, lorsque l'intervention devient économiquement rentable compte tenu de son prix de revient et la valeur de la récolte ; ce seuil économique se pose alors en terme de choix de la décision.

Dans les pays développés, la détermination des seuils de nuisibilité est un outil indispensable dans l'aide à la décision de traitement. Elle est considérée comme un élément de valeur prédictive important pour décider de l'opportunité d'un traitement et offre de nouvelles possibilités dans le raisonnement de la lutte intégrée en agriculture (CAUSSANEL & BARRALIS, 1973).

Dans les pays sous-développés, la détermination des seuils de nuisibilité a été très peu entreprise (KHEDDAM, 1975 ; KAFIZ, 1990). Elle devrait permettre de rechercher un mode de désherbage plus adapté aux pratiques culturales traditionnelles en proposant des itinéraires techniques qui réduisent le nombre d'interventions.

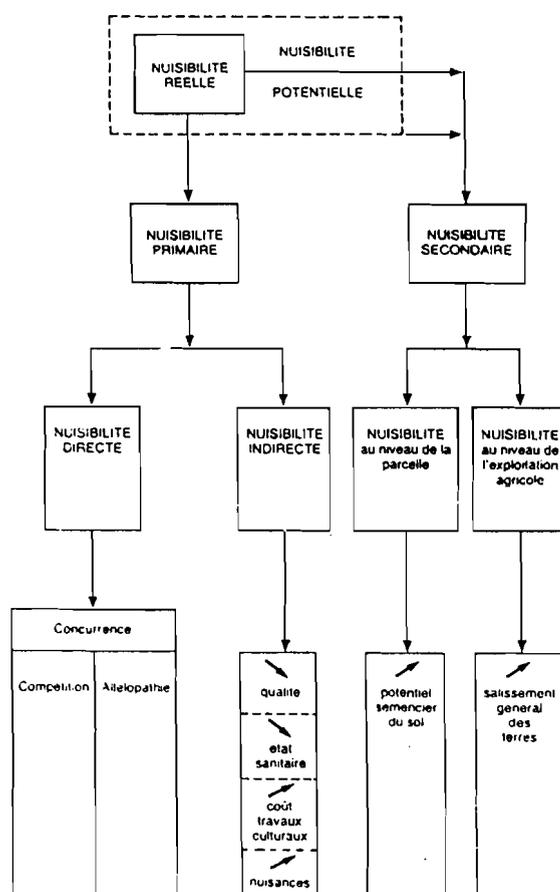


Figure 2: Types de nuisibilité des mauvaises herbes dans les cultures (d'après CHIARAPPA, 1981)

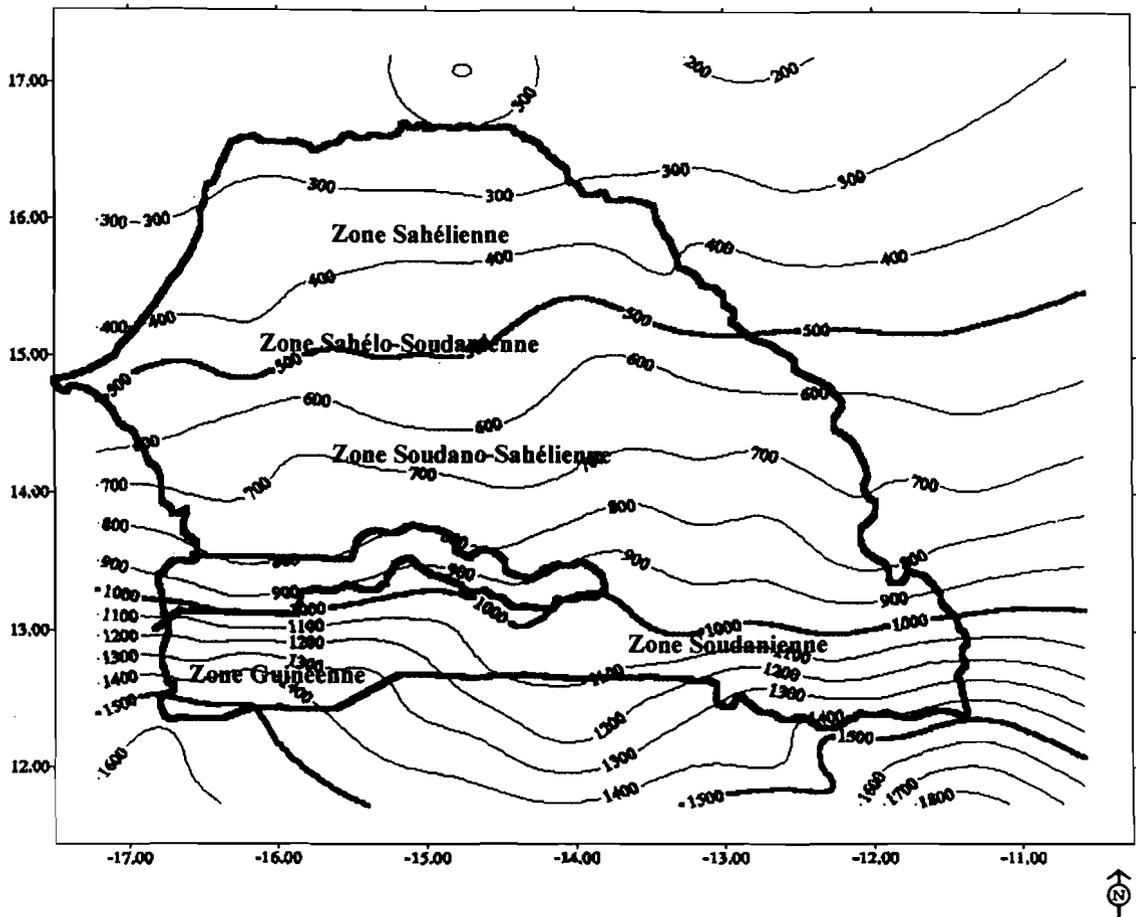


Figure 3 : Principales zones bioclimatiques et isohyètes de la normale 1961-1990 (Source : KONATE, 2000).

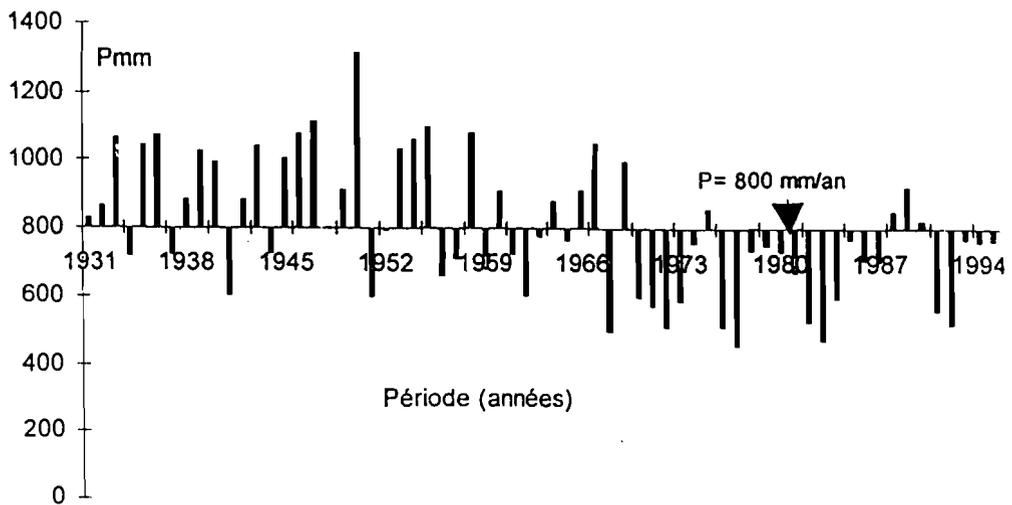


Figure 4 : Tendence évolutive de la pluviométrie de Nirop du Rip, 1931-1996.

CHAPITRE II. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES CULTURES DU BASSIN ARACHIDIÈRE

2.1. Le milieu

La zone du Bassin arachidière (Fig. 5) constitue une région charnière dans le développement du Sénégal en raison de l'importance de sa population qui compte environ le 1/3 de la population du Sénégal, du développement de son secteur rural et de la technicité de ses paysans. Elle réalise pour les deux principales cultures (mil et arachide) près des deux tiers de la production nationale (ANONYMES, 1977, 1983).

Cependant, depuis la fin des années 70, cette zone fait face à d'énormes difficultés de gestion de son espace agricole, particulièrement des ressources naturelles, à cause de la sécheresse (Fig. 4), de la croissance démographique et de la surexploitation des ressources par les populations.

Ces effets continuent de s'accroître, aggravant ainsi les processus de perte de fertilité et d'érosion éolienne et hydrique des sols.

La présente étude a été conduite dans le sud du Bassin arachidière (Fig. 5 et Fig. 6) sur un rayon d'environ 30 km² autour de Nioro du Rip (latitude: 13°44 N, longitude: 15°47 W). Les expérimentations ont été réalisées dans la station expérimentale de Nioro du Rip et les essais en milieu paysan dans les villages de Diamaguène et Darou Mougnauguène (Fig. 6).

Les exploitations paysannes sont constituées généralement par des champs de case à proximité immédiate des habitations, des champs autour du village et des champs de brousse. Les champs de case constituent les zones de culture en continu du mil et bénéficient régulièrement des apports d'ordures ménagères. C'est aussi le lieu de parcage nocturne des animaux domestiques : juments, ânes, petits ruminants (chèvres et moutons).

Les champs autour du village et les champs de brousse, qui correspondent traditionnellement aux nouvelles défriches, sont soit occupés par le mil à cycle long ou Sanio et le sorgho après deux à trois ans de jachère, soit réservés au mil à cycle court ou Souna et à l'arachide. Avec la réduction de la pluviométrie (Fig. 3 et Fig. 4), l'extension des surfaces arachidières à partir des années 1950-60 et la pression démographique, le système s'est réduit à une succession biennale mil/arachide.

2.1.1. Les sols

Les sols dans le Bassin arachidière sont de deux types : les Dior et les Deck.

Les Dior sont des sols ferrugineux tropicaux constitués sur des dunes au modèle atténué. Ce sont des sols sableux (85-95% de sables), sans drainage organisé, à profil homogène et à horizon humifère peu marqué (BONFILS & FAURE, 1956 ; CHARREAU & NICOU, 1971 ; CORNET, 1980). Ils couvrent la majorité des surfaces cultivées.

Dans les interdunes et dans quelques zones planes, se sont développés les Deck, sols peu évolués à hydromorphie temporaire de surface. Ils sont un peu plus argileux, avec des teneurs de 5 à 12%.

Les sols du Bassin arachidière sont jugés pauvres dans leur ensemble (CHARREAU & NICOU, 1971 ; NICOU, 1974 ; PIERI, 1976, 1989 ; DIOUF, 1990) et sont caractérisés par :

- une faible porosité, proche de la porosité texturale et peu favorable à l'enracinement ;
- une capacité de rétention en eau limitée : 75 mm d'eau utile sur 1m de profondeur (DANCETTE, 1978) ;

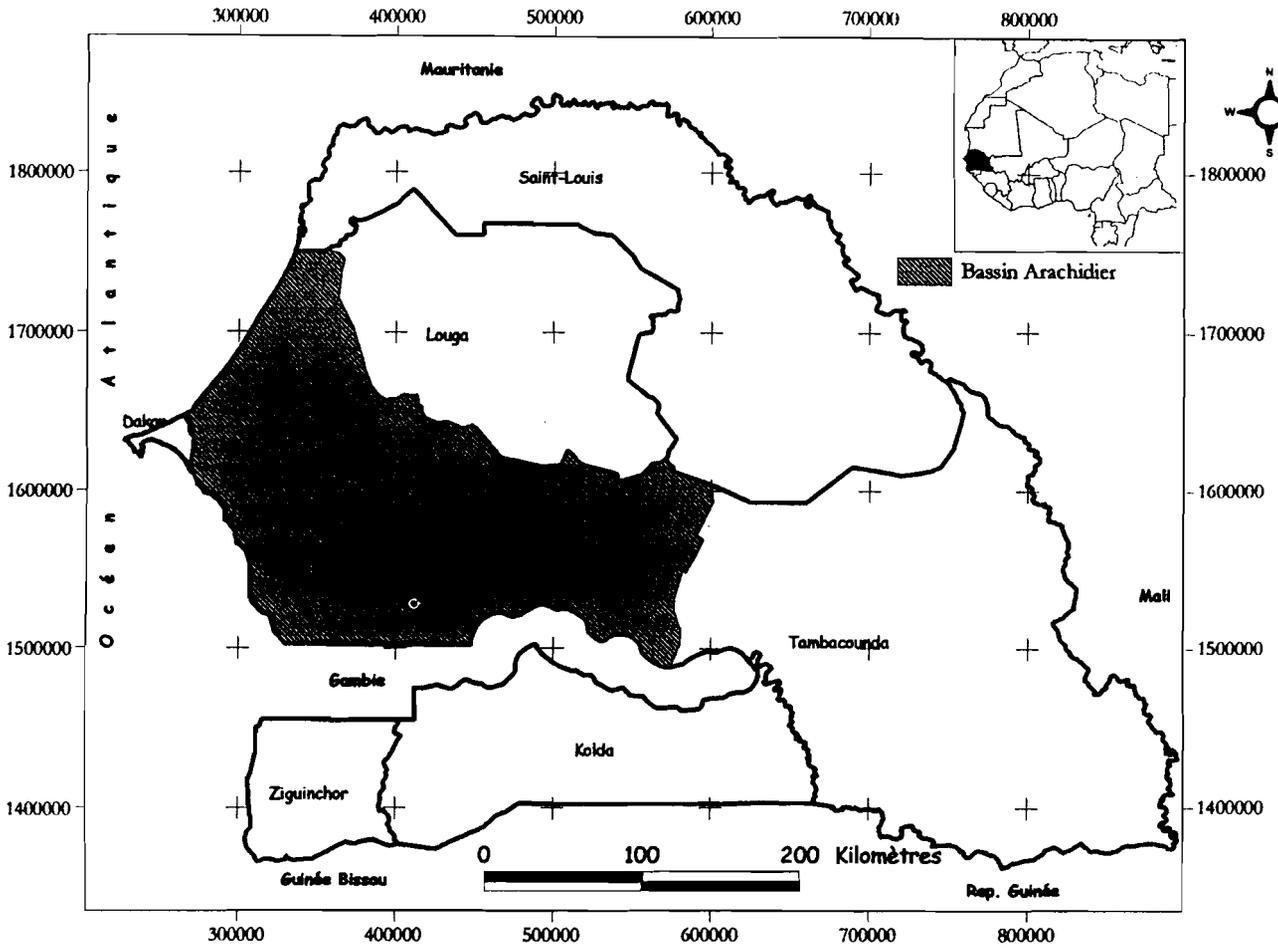


Figure 5 : Le Bassin arachidier du Sénégal

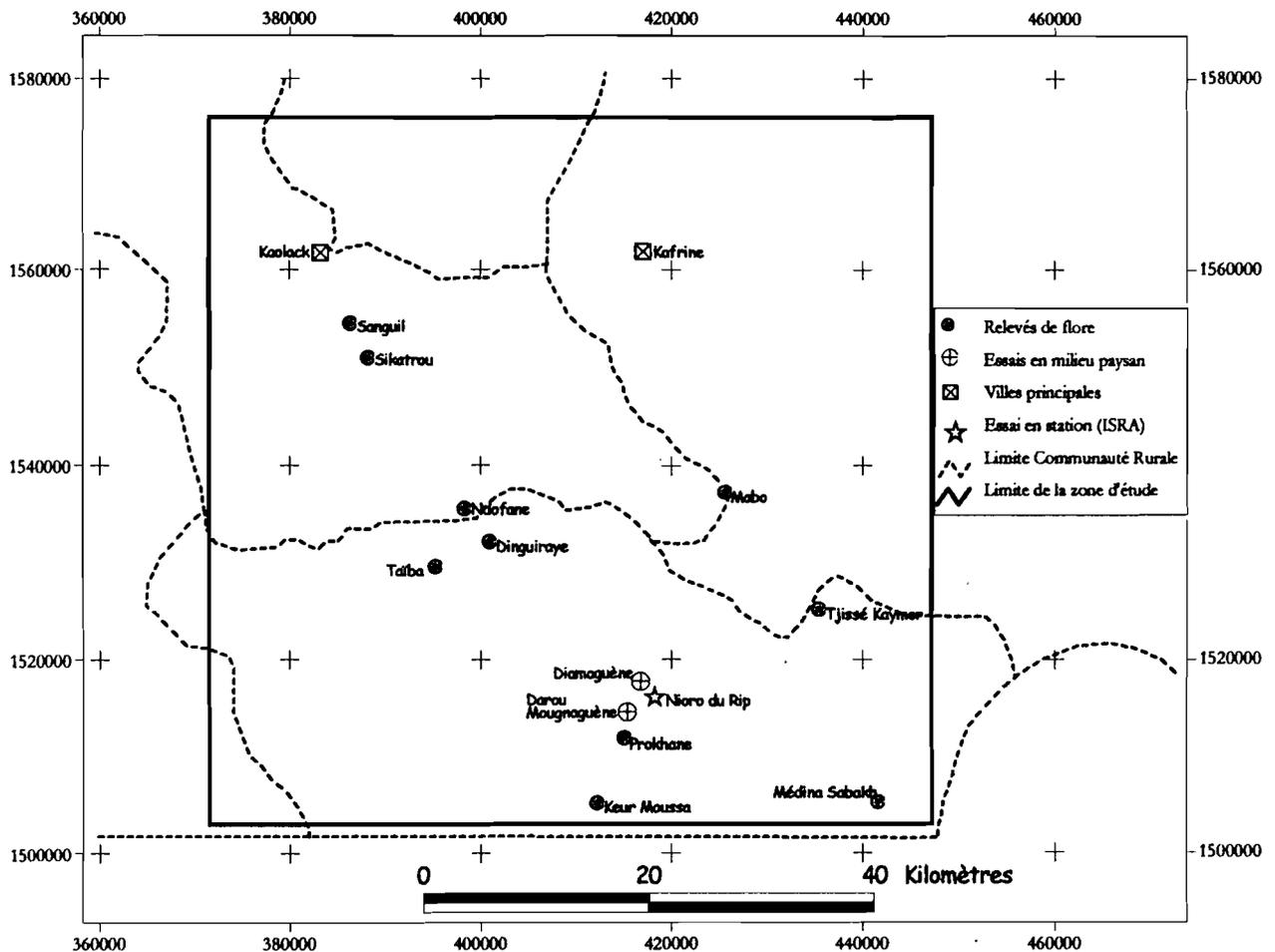


Figure 6 : Localisation des sites d'étude.

- une faible capacité d'échange et d'adsorption ajoutée à une carence phosphorée généralisée et à une acidité fréquente ;
- un pic de minéralisation en début de saison pluvieuse, libérant une grande quantité d'azote minéral dans le profil, mais presque totalement lessivé au bout d'une vingtaine de jours (BLONDEL, 1971).

2.1.2. Le climat

Le climat, de type sahélo-soudanien, est caractérisé par deux saisons : l'une pluvieuse, l'autre sèche. Le Bassin arachidier est compris entre les isohyètes 400-500 mm au nord à 800 à 1000 mm au sud (Fig. 3 et Fig. 4 et Tab. 3) (DANCETTE, 1979).

La saison pluvieuse, ou hivernage, dure de 2 à 4 mois, de juin à septembre au sud, d'août à septembre au nord. Les quantités de pluies et leur répartition sont très variables d'une année sur l'autre (Fig. 4) ou au cours de la saison (CHARREAU et NICOU., 1971).

Le mois le plus pluvieux est le mois d'août où, la pluviométrie est souvent supérieure à l'ETP (Evapotranspiration potentielle) journalière qui est réduite pendant l'hivernage (DANCETTE, 1979). Selon DIOUF (1990), il n'est pas rare que le bilan pluviométrique soit excédentaire au cours de cette période. Il en résulte un drainage important pouvant entraîner, au-delà des racines, des éléments minéraux du sol comme les nitrates ou les cations, ou un ruissellement susceptible de provoquer l'érosion du sol. Ce dernier phénomène peut s'exercer ponctuellement, en fonction de l'intensité de la pluviométrie, qui souvent, dépasse la vitesse d'infiltration ou les capacités de rétention hydrique du sol. L'érosion hydrique sévit surtout dans le sud du Bassin arachidier où la pluviométrie est plus importante.

Pendant la saison sèche qui s'étend d'octobre à mai/juin, les températures sont en moyenne plus élevées ; l'air est sec, l'éclairement est important. En avril/mai, l'ensemble du Bassin arachidier est souvent chaud et sec, avec des vents parfois violents qui provoquent une érosion éolienne. Ce phénomène est d'autant plus grave qu'à cette époque les paysans ont généralement commencé le sarclage des champs.

2.1.3. La végétation

La végétation est caractéristique du domaine sahélo-soudanien. Elle est représentée par une forme dégradée des forêts denses sèches (TROCHAIN, 1940). La strate ligneuse qui peut représenter jusqu'à 67,4% (AKPO, 1998) est marquée par la présence d'espèces telles que *Cordyla pinnata*, *Sterculia setigera*, sur sols ferrugineux à concrétions et cuirasses, parfois en mélange avec *Faidherbia albida*, *Dichrostachys cinerea*, *Parkia biglobosa*, *Adansonia digitata* et certaines espèces de *Combretum*. On y rencontre aussi d'autres espèces telles que *Pterocarpus erinaceus* et *Anogeissus leiocarpus*, colonisant les sols ferrugineux lessivés sablo-argileux et hydromorphes à pseudogley.

La disparition progressive de cette forêt, résultat des profondes modifications dues à la sécheresse, à l'action anthropique et éolienne, a laissé la place à de vastes champs et parcours sur des sols lessivés (Dior et Deck). Sur ces sols, s'installe une strate herbacée principalement constituée de graminées, de cypéracées, de rubiacées et de légumineuses annuelles qui représentent l'essentiel de la végétation adventice actuelle (NOBA & BA, 1998). Les espèces les plus communes sont représentées par les espèces des genres *Dactyloctenium*, *Digitaria*, *Cenchrus*, *Pennisetum*, *Cyperus*, *Kyllinga*, *Mitracarpus*, *Cassi*, *Indigofera*, etc..

Dans les bas-fonds, on rencontre principalement des espèces hygrophiles comme *Mitragina inermis*.

Tableau 3 : Caractéristiques des zones climatiques du Sénégal

Zones	Sahélienne		Soudanienne	
	Nord	Sud	Nord	Sud
Climats	(Semi)-aride	Semi-aride	Semi-aride/sub-humide	
Pluviométrie annuelle (mm/an)				
-Moyenne annuelle	150-350	350-600	600-900	900-1200
-Année sèche	75-200	200-425	425-750	750-1100
-1970-1990	100-200	200-425	425-750	750-1000
Température moyenne (°C)				
-Saison des pluies	31	30	29	28
Saison sèche	26	25	16	27
ETP (mm/an)	200-2500	1800-2300	1600-2000	<1600

2.2. Le mil

2.2.1. Systématique, morphologie et cycle biologique

2.2.1.1. Systématique

Appelé communément mil africain, mil pénicillaire ou mil chandelle, le mil ou *Pennisetum glaucum* est une céréale annuelle qui appartient à la famille des *Poaceae*, tribu des *Paniceae*, série des *Panicoideae*. Selon TOSTAIN & MARCHAIS (1993), le mil serait originaire d'Afrique de l'Ouest. Il regroupe plusieurs formes qui se distinguent principalement par la dimension et la densité des inflorescences, et la taille des caryopses (POILECOT, 1995, 1999).

Les différentes variétés ou cultivars de mil, qui ont été parfois considérées comme des espèces, se répartissent en deux groupes suivant la longueur de leur cycle (BERHAUT, 1967 ; PERNES, 1984). D'après ces auteurs, on distingue :

- les souna, variétés à cycle court (70 – 100 jours) ;
- les sanio, qui ont un cycle long (120 – 150 jours).

En plus de la longueur de leur cycle, ces variétés peuvent se distinguer par :

- la taille des grains,
- la morphologie des épis,
- la photopériodicité.

Le mil ou *P. glaucum* se retrouve sous plusieurs noms scientifiques synonymes comme *P. typhoides* (Burn.) Stapf & Hubb., *P. typhoidum* Rich., *P. spicatum* (L.) Koern, *P. americanum* (L.) Leeke (KUMAR, 1989 ; KUMAR & ANDREWS, 1993).

2.2.1.2. Morphologie

P. glaucum est une plante annuelle à **port** dressé, généralement touffue.

La tige est robuste, simple ou plus ou moins ramifiée. Il présente une villosité aux niveaux des nœuds et sous l'inflorescence. Sa section est cylindrique, pleine et peut atteindre 2 à 3 mètres de hauteur (BERHAUT, 1967 ; POILECOT, 1995, 1999 ; DIOUF, 2000). D'après CHOPART (1980a, 1980b) et SIBAND (1981), il existe un tallage assez important dont seulement une faible partie est productive.

Comme la plupart des espèces de *Poaceae*, le mil possède un **système racinaire** fasciculé.

Les feuilles généralement grandes peuvent atteindre 100 cm de long et 10 cm de large. Elles sont munies d'une gaine glabre ou pubescente, souvent ciliée au sommet. La ligule est réduite à un anneau cilié (POILECOT, 1995, 1999). Le limbe à base atténuée ou arrondie, à bords scabres souvent ondulés, et à sommet acuminé, est linéaire – lancéolé. Il est glabre ou lâchement pileux à la face supérieure où la nervure médiane est fortement saillante.

Toujours en position apicale, les **inflorescences** de *P. glaucum* sont en faux épis (panicule contractée) cylindriques, dressés, denses, longs de 5 – 40 cm et larges de 1 – 4 cm, densément hirsutes (POILECOT, 1995, 1999). Ces épis sont formés d'épillets solitaires ou groupés en 2 à 5, entourés par l'involucre. Ces épillets sont biflores avec une fleur inférieure mâle et une fleur supérieure femelle. La floraison mâle se fait avant la floraison femelle et la fécondation croisée est dominante.

Le **fruit** est un caryopse obovoïde de taille variable, jaune ou brun, visible entre la lemme et la paléole.

Les différentes parties du mil sont présentées sur la figure 7 (source, POILECOT, 1999).

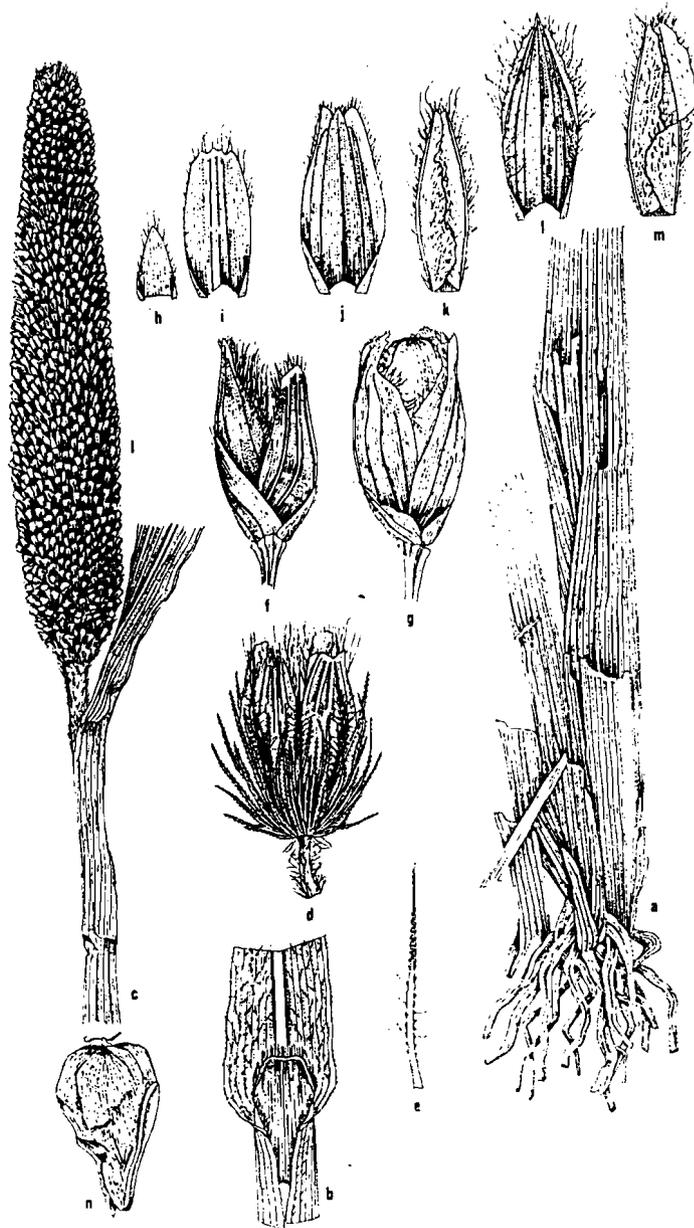


Figure 7 : Morphologie du mil.

Légende : a : base de la plante ; b : ligule ; c : inflorescence ; d : involucre ; e : soie interne ; f : épillet g : épillet et son caryopse ; h : glume inférieure ; i : glume supérieure ; j : lemme de la fleur inférieure ; k : paléole de la fleur inférieure ; l et m : lemme et paléole de la fleur supérieure ; n : caryopse.

2.2.1.3. Cycle biologique

Le mil est une plante en C4 (DOWTON & TREGUNA, 1968 ; POUZET & PUARD, 1972 ; MAITI & BISEN, 1990) caractérisée par une haute capacité d'assimilation du CO₂ (MCPHERSON & SLAYTER, 1973). Son cycle de développement (Fig. 8) peut être divisé en trois phases principales (FUSSEL & PEARSON, 1978 ; MAITI & BIDINGER, 1981) :

- la phase **végétative** qui s'étend de la levée à l'**initiation florale**,
- la phase de **reproduction** qui va de l'initiation florale à la **floraison**,
- la phase de **maturation** des grains allant de la floraison à la maturité physiologique.

La vitesse de développement entre le semis et la floraison est fonction du cumul des températures moyennes journalières (DIOUF, 2000).

Dans le cycle d'un mil à cycle court comme le Souna par exemple (Fig.8), on reconnaît les étapes suivantes : la germination-levée, le tallage, la montaison, l'épiaison et le floraison, la formation et le remplissage du grain et la maturation des grains.

2.2.1.3.1 Germination - Levée

Elle est particulièrement rapide et suit immédiatement l'imbibition du grain (DIOUF, 2000). Selon DANCETTE (1978), cette étape se réalise avec 6 à 10 mm de pluie suivant le type de sol. Elle se produit en 1 à 3 jours d'après CHOPART (1980a, 1980b) et JANSEN & GOSSEYE (1986) à une température optimale de 33 – 34°C (MOHAMED *et al.*, 1985), et les graines ne germent pas à une température inférieure à 12°C (FAYE, 1998).

Sur un sol Dior, CHOPART (1980a, 1980b) souligne que trois jours après la levée, la racine séminale peut atteindre 10 cm de long. Ce même auteur (CHOPART, 1983) rapporte que l'initiation des racines adventives débute dès 10 jours après la levée (JAL), et que les racines secondaires se mettent en place vers 15 JAL.

Par comparaison au sorgho, au riz et à l'arachide, le mil présente un système racinaire plus profond et mieux développé en profondeur (CHOPART, 1980a, 1980b).

2.2.1.3.2. Tallage

Il correspond à l'émission de tiges secondaires. Cette étape débute en général 3 semaines après la levée et se poursuit jusqu'à la 4^{ème} semaine (FAYE, 1998). La première talle émerge en même temps que la 6^{ème} ou 7^{ème} feuille du brin-maître (DIOUF, 2000) et le nombre de talles maximum est atteint aux environs de 37 JAL (SIBAND, 1981).

Le nombre de talles est fonction des techniques culturales et des conditions de nutrition azotée, carbonée et hydrique (BEGG, 1965 ; CARBERRY *et al.*, 1985a, 1985b).

2.2.1.3.3. Montaison

Ce stade phénologique correspond à l'allongement des entre-nœuds, au durcissement des tiges et à l'initiation de l'épi à la base de la tige. La hauteur de l'épi au stade 1 cm est assez difficile à observer.

2.2.1.3.4. Epiaison

Elle se produit à des périodes variables suivant les auteurs, 35 JAL selon CHOPART (1980a, 1980b), 45 JAL selon SIBAND (1981) avec ou sans apport de matière organique. CISSE (1986) rapporte que l'épiaison peut se produire respectivement à 38 JAL et à 43 JAL en présence ou en absence d'apport organique.

SIBAND (1981) souligne que c'est pendant l'épiaison que l'azote et le phosphore risquent d'être le plus souvent limitants.

2.2.1.3.5. Floraison

Après la sortie de l'épi et la transformation de l'apex végétatif en boutons floraux qui correspond à l'initiation florale, la floraison commence avec l'apparition de stigmates blancs et plumeux suivie 3 à 4 jours plus tard par des anthères jaunâtres. Elle est variable et se situe à 52 JAL (JANSEN & GOSSEYE, 1986), 54-57 JAL d'après CHOPART (1980) ou 64-67 JAL selon SIBAND (1981).

2.2.1.3.6. Formation et remplissage du grain

Le grain se développe à la suite de la fécondation. Son remplissage est assuré essentiellement par l'activité photosynthétique des 3-4 dernières feuilles (JACQUINOT, 1970).

2.2.1.3.7. Maturation

D'après SIBAND (1981) la maturité du grain se fait en trois étapes :

- la maturité laiteuse,
- la maturité pâteuse,
- la maturité complète ou physiologique.

Cette maturité complète est atteinte 25 à 55 jours après la fécondation suivant les variétés et les conditions climatiques (DEN BOER, 1987 ; JANSEN & GOSSEYE, 1986) rapportent que cette phase dure 30 jours dans la zone sahélienne pour les variétés à cycle court.

La durée allant du semis à la maturité complète est généralement fonction du génotype et des conditions écologiques.

Au Sénégal, DIOUF (1990) note que les variétés sont plus tardives en allant du nord au sud du pays. En bonnes conditions pluviométriques, le mil précoce donne un rendement inférieur à ceux du mil tardif. La production aléatoire de ce dernier type de mil fait que sa culture est associée au maïs, au mil précoce ou au niébé.

La figure 8 résume la durée et les différentes étapes du cycle chez la variété Souna III.

La figure 9 présente la position systématique et les principaux caractères des types de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.).

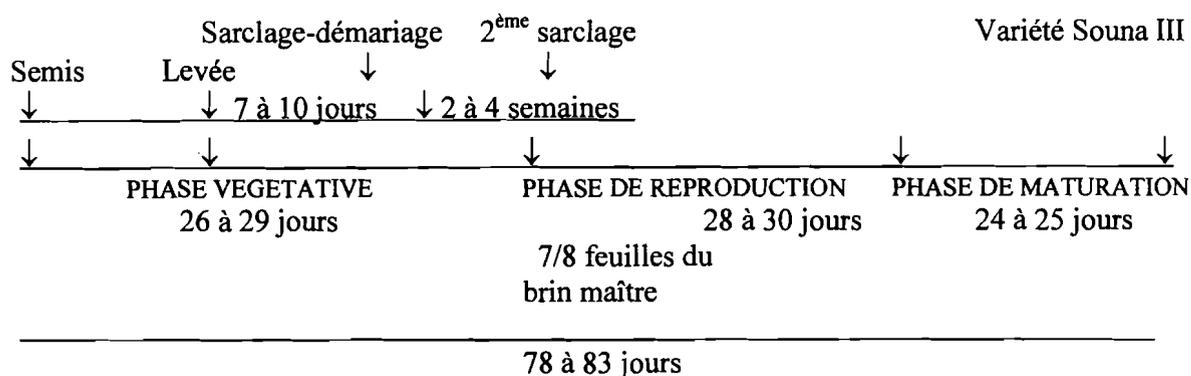
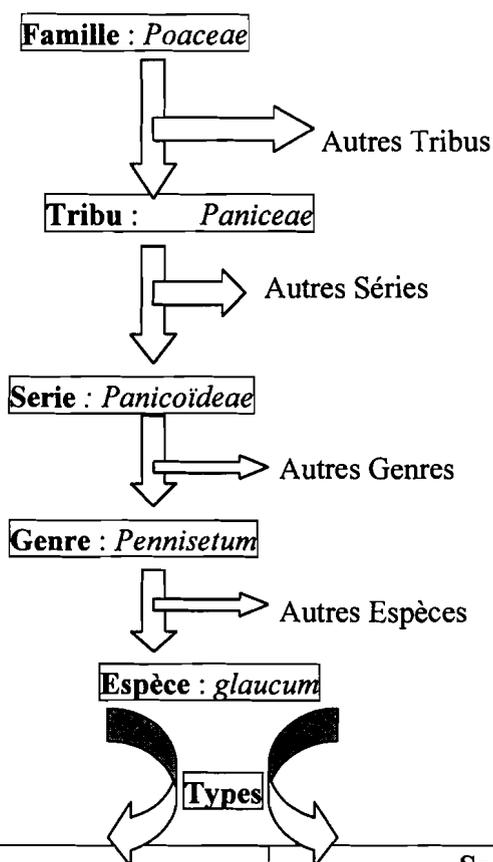


Figure 8 : Durée et différentes étapes du cycle biologique chez un mil de type hâtif (Souna III)



Caractères	Souna	Sanio
Taille des grains,	Petits	Gros
Morphologie des épis	Non aristés	Aristés
Sensibilité à la photopériodicité	Insensible (Jours courts et jours longs)	Sensible (Jours courts)
Cycle (en jour)	70 à 100	120 à 150

Figure 9 : Position systématique et principaux caractères des types de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.)

2.2.2. La production

2.2.2.1. La culture du mil

Le mil fait partie des cultures pluviales les plus importantes dans le monde. D'origine probablement africaine, il semble qu'il ait été domestiqué il y a environ 4000 ans, à partir d'une herbe sauvage africaine dans ce qui constitue aujourd'hui le cœur du Sahara. Il aurait ensuite gagné l'Afrique de l'Est puis l'Inde, centre de diffusion à travers toute l'Asie. Aujourd'hui, la culture de mil couvre des surfaces très importantes en Afrique et en Asie principalement, et on estime que 500 millions de personnes dépendent du mil pour leur survie (BSTID-NRC, 1996).

Le mil est considéré comme une des céréales qui tolère mieux des conditions climatiques extrêmes. Il est très adapté à la sécheresse, aux conditions d'aridité et de sols peu fertiles et à des températures très élevées. Pour cette raison, il constitue la céréale préconisée dans les zones marginales d'Amérique du Nord, d'Amérique Latine, de l'Asie Centrale et du Moyen Orient (BSTID-NRC, 1996).

2.2.2.2. Les rendements

Malgré son importance agronomique, les rendements de mil à l'ha sont très faibles et dépassent rarement 600 kg /ha au Sénégal (Tab. 4). Cette situation relève du manque de considération accordée au mil en matière de recherche et de politique viable de relance de sa production. Le mil a toujours été considéré comme une culture de subsistance des populations rurales. C'est pour ces raisons que plusieurs variétés locales, très adaptées aux conditions du secteur et très résistantes aux maladies, ont probablement disparu ou sont en voie de disparition (ISRA, 1975).

Le mil est cultivé pour son grain qui a une grande qualité nutritive. Le grain de mil contient environ 70% de carbohydrates et une grande quantité de protéines dans les mêmes proportions que les autres céréales (9 à 21%), des acides aminés divers, différents sels minéraux (Ca, Fe, etc.) et des vitamines (Vit A, flavine etc.). Il constitue la céréale de base de la sécurité alimentaire. Les contre-performances de la culture de mil dans les zones arides et semi-arides d'Afrique sont souvent synonymes de famine.

Au Sénégal, les populations cultivées de mil se divisent en deux grands groupes, qui se distinguent par la précocité qu'elles manifestent en période normale de culture pluviale :

- les formes tardives, ou Sanio (cycle de 120 à 150 jours) sont sensibles à une photopériode de jours courts et ne fleurissent que si la longueur du jour est suffisamment faible (12 h) ;
- les formes hâtives ou Souna (cycle de 70 à 100 jours), préfèrent les jours courts, mais peuvent fleurir en jours longs (PERNES, 1984).

Seul le Souna a bénéficié d'efforts soutenus de sélection qui ont abouti à la constitution d'une nouvelle population synthétique, le Souna III, ou IRAT P2 (ISRA, 1975 ; LAMBERT 1983a et b), au cycle moyen de 85 à 90 jours (semis-récolte). Il a été vulgarisé dès les années 1970 en milieu paysan. Depuis, le matériel a certainement fortement dégénéré et les intercroisements avec les Souna locaux pourraient constituer des populations mixtes de Souna. Le tableau 4 suivant donne les données statistiques sur le mil au Sénégal.

Tableau 4: Données statistiques sur le mil au Sénégal (source : FAO, 1997)

Population estimée, 1994 (en millions d'habitants)	8.1
Taux estimatif de croissance démographique, 1994-2010 (% an ⁻¹)	2.8
Part du mil dans les superficies cultivées en céréales, moyenne 92-94 (%)	75
Part du mil dans la production céréalière totale, moyenne 92-94 (%)	57
Consommation de mil par habitant, moyenne 1972-74 (kg an ⁻¹)	62.3
Consommation de mil par habitant, moyenne 1982-84 (kg an ⁻¹)	55.6
Consommation de mil par habitant, moyenne 1992-94 (kg an ⁻¹)	61.6
Taux de croissance des superficies cultivées en mil, 1975-84 (% an ⁻¹)	0.4
Taux de croissance des superficies cultivées en mil, 1985-94 (% an ⁻¹)	-1.2
Taux de croissance de la production du mil, 1975-84 (% an ⁻¹)	-2.1
Taux de croissance de la production du mil, 1985-94 (% an ⁻¹)	-1.8
Taux de croissance du rendement du mil, 1975-84 (% an ⁻¹)	-2.5
Taux de croissance du rendement du mil, 1985-94 (% an ⁻¹)	-0.6

Dans le Bassin arachidier, qui concentre 60% des surfaces cultivées en mil, le Souna est la principale culture céréalière (DIOUF, 1990). Dans cette zone, l'occupation du sol est de 0,8 ha de mil pour 1 ha d'arachide. Mais les rendements sont généralement faibles et compris entre 345 kg/ha à Louga (Nord Bassin arachidier) et 590 kg/ha à Kaolack (Sud Bassin arachidier).

2.2.2.3. La variabilité des rendements

2.2.2.3.1 Influence du régime pluviométrique

De nombreux auteurs ont tenté d'établir un parallélisme entre les variations de la pluviométrie et celles des rendements.

DANCETTE (1978) explique la variabilité des rendements moyens du mil et du sorgho dans le centre du Bassin arachidier entre 1964 et 1974 par l'importance des écarts de pluviométrie à la normale et par la quantité de " pluie utile " pour les cultures.

Auparavant FRANQUIN (1969) avait établi une relation entre le rendement du Sanio et la pluviométrie (P) à Bambey (Centre Nord du Bassin Arachidier) pendant la phase d'excédent climatique (P>ETP); elle expliquerait près de 50% de la fluctuation du rendement.

Ces observations sont appuyées par l'accroissement des rendements de mil du nord au sud du Sénégal selon un gradient climatique. Ces rendements peuvent atteindre 800 kg/ha en Casamance (Statistiques Ministère de l'agriculture).

La modélisation du bilan hydrique (FRANQUIN & FOREST, 1977) a permis d'affiner les relations rendements/variables climatiques, avec la prise en compte d'un indice de déficit hydrique (égal à 1- ETR/ETM). Cet indice semble expliquer au mieux la variabilité du rendement. Il prend en compte le taux de satisfaction des besoins en eau des plantes, en

particulier au cours de certaines phases de l'élaboration du rendement comme cela a été montré pour le sorgho (FOREST & LIDON, 1982).

Enfin, pour DIOUF (2000), la recherche d'une corrélation entre le rendement et la pluviométrie entre 1974 et 1997, fait apparaître que la quantité de pluie n'explique qu'en partie la variabilité des rendements ($r = 0.41$).

2.2.2.3.2. Influence de la conduite de culture

DE MIRANDA & FOREST (1979) ont montré que la variabilité des rendements ainsi que leur niveau dépendent plus des techniques culturales que des précipitations normales saisonnières.

Des augmentations significatives de rendement après un travail du sol de 10 à 15 cm au début de l'hivernage, ont été obtenues par POULAIN & TOURTE (1969) et CHARREAU & NICOU (1971). Cette opération améliore en effet l'enracinement du mil et augmente les capacités d'extraction de l'eau et des éléments minéraux par la plante.

FERRARIS (1973) indique que la compétition avec les mauvaises herbes réduit à la fois la disponibilité de l'eau, des éléments minéraux, la hauteur des tiges de mil, le potentiel de tallage, le nombre d'épis et le rendement en grains.

Concernant la fertilisation, GANRY *et al.* (1974) ont obtenu avec 120 kg /ha d'urée fractionnés en trois apports (1/5 au semis, 2/5 au démarrage et 2/5 à la montaison), un rendement de plus de 3 t/ha. De même POULAIN (1970) a montré, dans une rotation mil/arachide, qu'un apport de 400 à 800 kg de phosphate naturel et soluble, améliore le rendement du mil de 20%.

Sur le rôle de la matière organique, GANRY *et al.* (1974, 1978) ont constaté, sur un sol Dior de Bambey, un effet positif de l'enfouissement de pailles compostées sur le nombre d'épis et sur le rendement. FELLER *et al.* (1987) puis CISSE & VACHUD (1988) ont montré que les effets de l'incorporation de pailles compostées ou de fumier se manifestent par une amélioration sensible des stocks organiques et de la richesse minérale du sol, par un développement racinaire important et par une meilleure alimentation hydrique et minérale.

Enfin, dans une synthèse des résultats d'essais de longue durée menés en conditions contrôlées dans les régions semi-arides de l'Afrique de l'Ouest, PIERI (1989) souligne que les modifications d'itinéraires techniques tendant à améliorer le statut organique et minéral des sols, ou leur structure, entraînent en général une réduction de la variabilité des rendements. Il en est ainsi des apports d'engrais minéraux, surtout s'ils sont associés à des apports de fumiers ou à un travail du sol par traction animale.

Ces effets ne sont cependant pas obligatoirement tous transposables en milieu paysan. Il ne semble pas qu'ait été réalisé sur mil, un travail semblable à celui de MILLEVILLE (1972, 1974), qui a analysé sur arachide et coton (MILLEVILLE, 1976), une hétérogénéité intra-parcellaire et son influence sur la productivité de la parcelle.

2.2.3. Les techniques culturales

Les systèmes de culture du mil sont très variables selon la culture précédente et le type de sol (DIOUF, 1990).

Selon cet auteur, on distingue les étapes suivantes (Tab. 5) : le travail du sol, le semis, le démarrage, le sarclage, la fertilisation et la récolte.

le **travail du sol** dépend principalement du précédent cultural. Si le précédent est de l'arachide, il n'y a pas de préparation du sol. Au contraire, dans le cas d'un précédent mil, il y a

grattage superficiel manuel ou attelé. C'est une opération de nettoyage ou de déssouchage du champ ;

le semis se fait en poquet, en sec ou en humide selon le type de sol. En général, le semis en humide est surtout pratiqué sur des sols trop cohérents pour être travaillés avant les premières pluies. Le semis en sec est la pratique la plus courante. Elle est rendue possible grâce aux sols sableux. En cas de mauvaise levée ou de mortalité des plantules, à cause d'une sécheresse de début de cycle, le paysan peut procéder au moment du tallage, à un re-semis ou un remplacement des pieds manquants par repiquage.

Le **démariage** est réalisé manuellement et a pour but de réduire le nombre de plantules par poquet.

Le **sarclage** correspond à l'entretien et à la lutte contre les adventices. Il est effectué avec une houe, 2 à 3 séances selon le degré d'infestation du champ.

La **fertilisation** est soit organique grâce au pâturage des troupeaux de bovins ou des équidés ou à l'aide des ordures ménagères, soit chimique.

La **récolte**, dont la date est fonction du type de mil, se fait à la main.

Après séchage, les épis sont conservés dans les greniers ou battus et les graines conservées dans des sacs après traitement par un insecticide.

Le tableau 5 suivant résume sommairement ces différentes techniques culturales du mil menées dans le Bassin arachidier du Sénégal.

Tableau 5 : les principales opérations culturales du mil dans le Bassin arachidier selon DIOUF (1990)

Travail du sol	Semis	Démariage	Sarclage	Fertilisation	Récolte et Conservation
*manuel -houe sine ou hilaire *précédent mil -dessouchage -grattage superficiel *précédent arachide -aucune préparation	*en sec (avant pluie) -souna *en humide (1 ^{ère} pluie) -sanio *manuel ou mécanique -plusieurs graines/poquet *densité 10 000-13 000 poquets/ha	*opération manuelle *début : 10 JAL *3-7 plants/poquet *arrachage simultané des adventices	*manuel et/ou à la houe sine munie de raclette -avant démariage 10 JAL en début de montaison (30-40 JAL) en cas d'enherbement important (50-60 JAL) *dés herbage chimique très rare	*minérale 100 à 150kg/ha au démariage *organique -bovins -équidés *ordures ménagères (champ de case)	-récolte manuelle sur pied -85-90 JAL pour le souna -120-130 JAL pour le sanio -séchage (plusieurs semaines) - conservation -greniers -sac

2.3. L'arachide

2.3.1. Systématique, morphologie et cycle biologique

2.3.1.1. Systématique

Le genre *Arachis* L. appartient à la Super famille des *Leguminoeseae*, Famille des *Fabaceae*, Tribu des *Arachidineae* (BERHAUT, 1976).

Ce genre est subdivisé en cinq sections suivant la morphologie de la racine (GREGORY, 1956).

L'arachide cultivée (*Arachis hypogea* L.), qui constitue la seule espèce du genre au Sénégal, appartient à la section des *Axonomorphae* (Fig. 10). Cette section est caractérisée par des racines napiformes sans tubérisation, dépourvues de rhizomes et munies de rares racines adventives.

Cette espèce regroupe deux sous-espèces, *A. hypogea* subsp. *hypogea* qui correspond au type Virginia et *A. hypogea* subsp. *fastigiata* qui regroupe les types Valencia et Spanich. Ces types se distinguent principalement par le port, la ramification, l'insertion des fleurs sur la tige, la couleur du feuillage, le cycle biologique, la dormance des graines et le nombre de cavités des gousses.

L'espèce *A. hypogea* très cultivée dans les terres sableuses de l'Afrique Occidentale (BERHAUT, 1976) est tétraploïde ($2n = 40$).

2.3.1.2. Morphologie

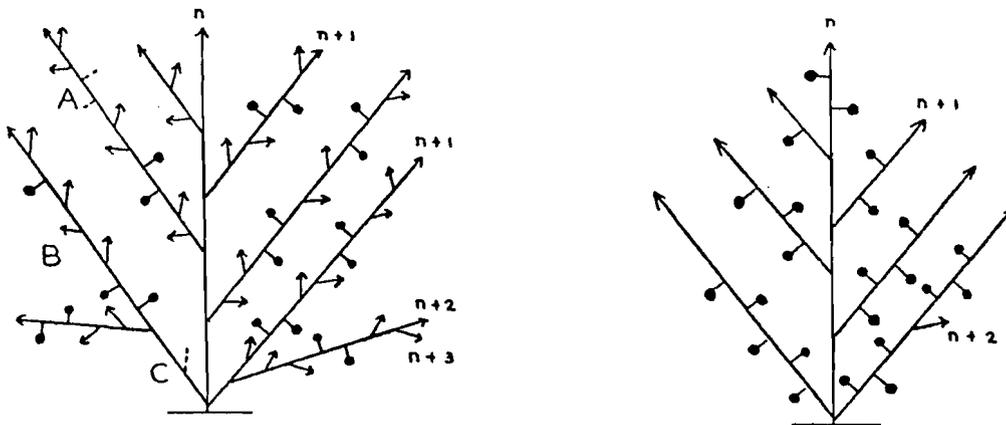
Les arachides cultivées sont à **port** érigé ou rampant. BERHAUT (1967) rapporte que cette espèce est généralement étalée.

La **tige** principale d'ordre n issue du bourgeon terminal est toujours érigée. Les ramifications suivantes (d'ordre $n+1$, $n+2$...) sont érigées ou genouillées-ascendantes suivant les formes.

D'après BUNTING (1955, 1958), la fréquence des ramifications d'ordre $n+2$ et $n+3$ et la disposition des rameaux végétatifs et des rameaux reproducteurs permettent de distinguer deux types (Fig. 11) :

- le type à ramifications alternes où on note 4 à 5 rameaux d'ordre $n+1$; les rameaux suivants atteignent un ordre élevé ; ce mode de ramification confère à la plante une allure buissonnante ;
- le type à ramifications séquentielles où les inflorescences apparaissent à plusieurs nœuds successifs des ramifications.

Cet auteur schématise ces différents types de ramifications de la manière suivante (Fig. 11):



Ramifications alternes

Ramifications séquentielles

Figure 11 : Différents types de ramifications chez les arachides cultivées

N.B. Le trait horizontal à la base de chaque diagramme correspond à la place des cotylédons.

n : tige principale

n+1 : rameaux d'ordre 1

n+2 : rameaux d'ordre 2

n+3 : rameaux d'ordre 3

A : rameaux reproducteurs avortés

B : remplacement de l'alternance 2 par l'alternance 3

→ axes végétatif

● axes reproducteurs

C : rameaux végétatif basal avorté

La longueur de la **tige** et des ramifications d'ordre n+1 varie de 0,20 à 0,70 m suivant les variétés et les conditions du milieu. Selon BERHAUT (1976), la plante est haute de 20 à 30 cm.

La forme de sa section et son contenu varient selon l'âge de la plante. Au stade jeune plant, la section est anguleuse avec une partie centrale pleine. En vieillissant, elle devient cylindrique et la moelle disparaît progressivement.

Comme les autres dicotylédones, le système **racinaire** de l'arachide est formé d'un pivot central. Cette racine principale peut s'enfoncer à plus de 1,30 m dans le sol, et des racines latérales naissent à diverses hauteurs.

L'hypocotyle, au contact du sol, peut donner naissance à des racines adventives.

Comme chez beaucoup d'espèces de la super famille des Légumineuses, les racines de *Arachis hypogea* sont pourvues de nodules qui apparaissent environ 15 jours après la levée. Ces nodules, issus de l'association symbiotique de la plante avec des bactéries fixatrices d'azote (*Rhizobium*), se localisent essentiellement sur les 15 premiers centimètres du sol.

Les **feuilles** de *A. hypogea* sont pennées avec deux paires de folioles portées par un pétiole de 4 à 9 cm de long. Ces dernières, subsessiles et elliptiques, sont de couleur variable selon les variétés. Elles sont glabres et munies de cils au niveau des bordures, mucronées et parfois émarginées (BERHAUT, 1967).

A la base du pétiole, se trouvent deux stipules lancéolées. BERHAUT (1976) rapporte que le pétiole est canaliculé et parsemé de longs poils.

Les folioles sont munies de stomates sur les deux faces et présentent un mésophylle spongieux. Elles s'étalent le jour et se replient la nuit.

Les **inflorescences** sont des épis qui prennent généralement naissance à l'aisselle des feuilles et comprenant 3 à 5 fleurs.

Le point de croissance de l'axe de l'inflorescence, peut dans certains cas, devenir végétatif et porter de nouvelles inflorescences.

Arachis hypogea présente des **fleurs** jaunes papilionacées, sessiles et cléistogames.

Le calice est constitué de cinq sépales connés pour former un tube calicinal.

La corolle caractéristique de la famille des *Fabaceae*, est formée de l'étendard, des ailes et de la carène. La pigmentation et l'ornementation de l'étendard sont des caractères très importants pour la distinction des types variétaux ou des variétés.

L'androcée est formé de dix étamines soudées en colonne staminale sur la moitié ou les 2/3 de la longueur.

Quant au pistil, il est longistylé et formé d'un carpelle simple sessile long de 0,5 à 1,5 mm, surmonté d'un style à stigmatte massue.

D'après GREGORY *et al.* (1951), l'inflorescence de *A. hypogea* se présente comme suit :

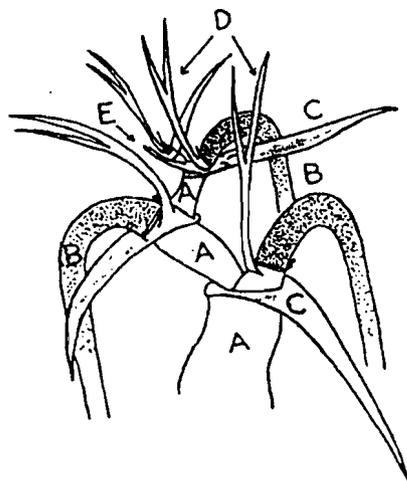


Figure 12 : Aspect général de l'inflorescence chez *A. hypogea* selon GREGORY (1956)

A = axe de l'inflorescence

B = axe de gynophore

C = bractées situées à la base de chaque branche florale

D = bractées bifides situées à la base de chaque fleur

E = bourgeon terminale de l'inflorescence

Après fécondation, la base de l'ovaire s'allonge pour former le **gynophore**. Celui-ci, à géotropisme positif, s'enfonce dans le sol et à partir de son extrémité, se développe en gousse. Contrairement au gynophore, la gousse présente une orientation horizontale.

Le **fruit**, qui correspond à une gousse bivalve, est constitué d'une coque enveloppant 1 à 4 graines. D'après BERHAUT (1976), un pied d'*Arachis hypogea* peut avoir 20 à 30 gousses.

La coque, encore appelé péricarpe, est composée de l'extérieur vers l'intérieur :

- d'un exocarpe,

- d'un mésocarpe sclérenchymateux,
- d'un endocarpe parenchymateux.

Elle présente à son extrémité basale les vestiges du gynophore, et à son extrémité apicale un bec qui montre la cicatrice du style. On observe en outre des constrictions plus ou moins nettes marquant la séparation des graines.

L'ornementation des rétrécissements et les caractères du bec sont très utilisés dans la classification.

Les **graines**, qui constituent l'élément économique le plus important, car riches en huile et en protéines, sont formées :

- d'un tégument séminal mince,
- d'un embryon bicotylédoné,
- d'un axe (proplantule) droit ; ce dernier comprend un épicotyle à trois bourgeons et une racicule massive ; le caractère droit de l'axe est générique.

La dimension, la forme et la couleur des graines, ainsi que leur proportion dans la gousse, sont des caractères de taille dans la distinction des variétés.

Les graines occupent 68 à 80% du volume de la cavité dans des conditions de cultures contrôlées éliminant les éléments de fluctuation autres que variétaux.

Au Sénégal, à côté des variétés classiques, plusieurs variétés ont été mises au point en fonction de leur adaptabilité à la sécheresse et aux différentes zones agro-écologiques du Sénégal. La 73-33 est la variété utilisée dans le cadre de ce travail.

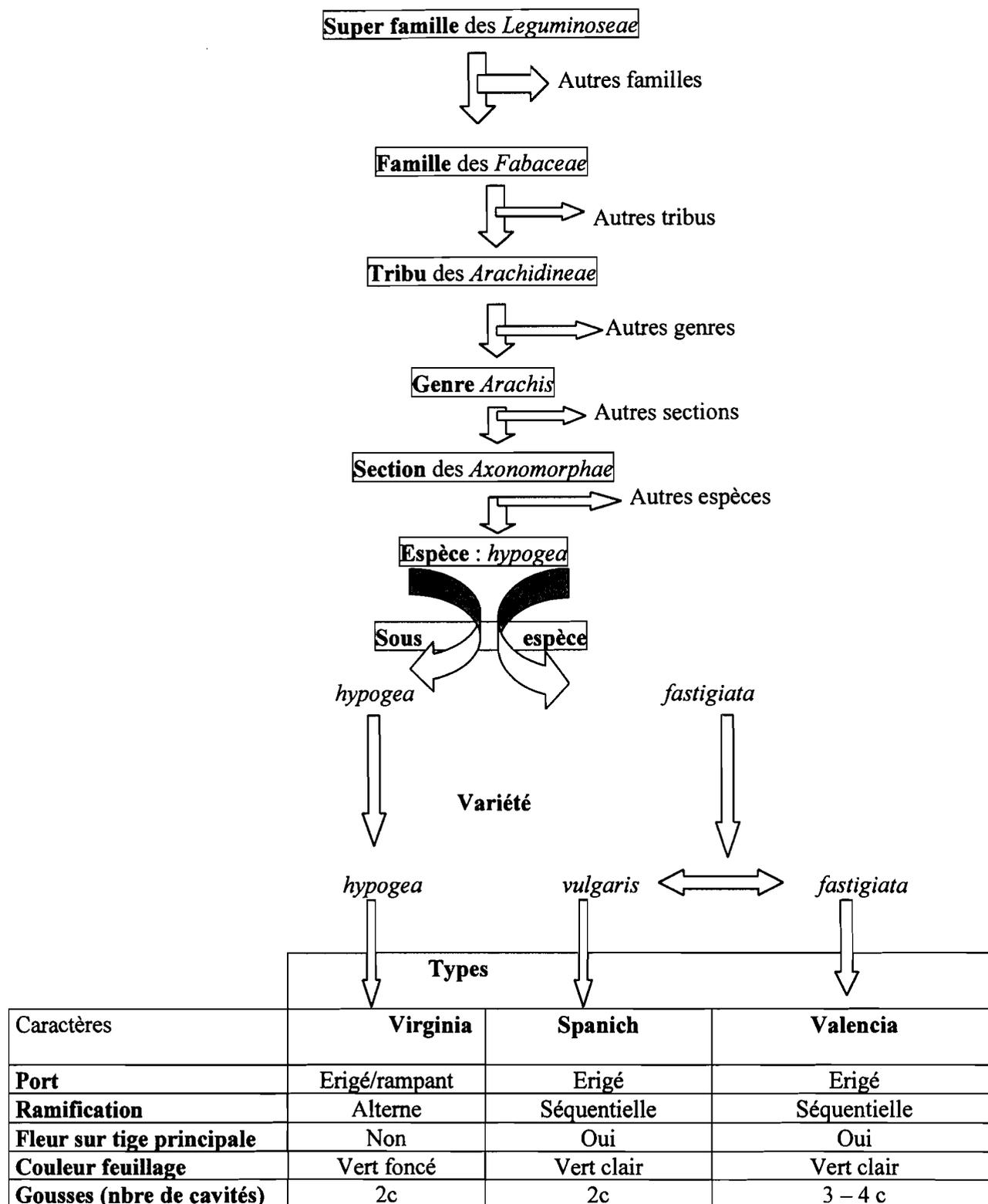


Figure 10 : Position systématique et principaux caractères des types d'arachide (*Arachis hypogea* L.)

2.3.1.3. Cycle biologique

2.3.1.3.1. Germination

La graine d'arachide, qui est une graine relativement grosse, ne germe qu'en présence d'une quantité d'eau importante. Le taux d'imbibition des graines mises à germer dans un sol humide est d'environ 30 à 40 % (GILLER & SILVESTRE, 1969).

En contact avec un sol humide, la graine gonfle et la radicule apparaît 24 à 48 h après une imbibition suffisante. Cette dernière se développe rapidement à une vitesse d'élongation de 10 à 20 mm par jour et portera des racines latérales après trois à quatre jours.

2.3.1.3.2. Croissance

L'arachide est une plante herbacée, annuelle. L'existence de différents pôles de développement (bourgeons cotylédonaire et tige principale) entraîne une certaine complexité dans l'expression de ce phénomène. La vitesse de croissance est fonction de la température.

D'une manière générale, on note deux grandes étapes de croissance :

- une première qui correspond à l'apparition des premières fleurs,
- une seconde au cours de laquelle apparaissent les gynophores.

2.3.1.3.3. Floraison et Fructification

Pour des conditions écologiques données, la durée de la période levée – floraison constitue une caractéristique variétale. Cette période reste très influencée par les facteurs climatiques. En zone tropicale chaude, elle varie de 15 à 25 jours. Elle peut atteindre 40 à 50 jours en climat tempéré.

Selon le type d'arachide, le nombre maximum de fleurs émises se situe entre le 40^{ème} et le 60^{ème} jour après le semis pour décroître régulièrement. Le nombre de fleurs produit par plante est aussi fonction du type d'arachide. Chez le type Spanich, le nombre de fleurs est de 600 à 700 alors que pour le type Virginia ce nombre peut atteindre 1000 (GILLER & SILVESTRE, 1969).

BOUFFIL (1947) rapporte que chez l'arachide cultivée (*A. hypogea*), il existe des fleurs aériennes et des fleurs souterraines. Ce dernier type de fleur se rencontre généralement chez les variétés hâtives.

Les fleurs, cléistogames, apparaissent généralement vers 16 h sous forme de boutons floraux pour atteindre leur taille normale vers 21h. La fécondation a lieu à partir de 4 h jusqu'à 10 h. La fleur qui s'est épanouie la nuit en laissant échapper les grains de pollen, commence à se faner vers midi.

Seules les fleurs formées durant les deux ou trois premières semaines de floraison donnent naissance à des gynophores et à des fruits.

Après fécondation, la base de l'ovaire s'allonge pour former le gynophore qui constitue l'élément indispensable au développement des organes fructifères. La pénétration du gynophore dans le sol se fait à l'obscurité et nécessite une certaine humidité.

2.3.1.3.4. Maturation

L'appréciation de la maturité des gousses d'arachide est assez imprécise en raison des nombreux critères utilisés notamment l'apparition de taches brunes à l'intérieur des coques, le poids maximal d'huile et le poids maximal de matière sèche.

Ces critères apparaissent simultanément chez les variétés hâtives et successivement chez les variétés tardives (GILLER & SILVESTRE, 1969).

La température constitue le principal facteur qui influe sur le cycle végétatif de l'arachide. Ce cycle est aussi fonction du type d'arachide cultivée.

En conditions écologiques caractérisées par des températures uniformes voisines de 30°C, le cycle se présente de la manière suivante (GILLER & SILVESTRE, 1969) (Tab. 6):

Tableau 6 : Cycle et caractéristiques du cycle chez les arachides cultivées

PHASES	Types hatifs		Types tardifs
	Spanich	Valencia	Virginia
	Durée (en jours)		
Semis – levée	4 – 5	4 – 5	4 – 5
Levée – première fleur	15 – 20	15 – 20	18 – 25
Floraison utile	20 – 25	20 – 25	30 – 40
Maturité	40 – 45	40 – 45	54 – 55
Cycle	79 – 95	79 – 95	106 – 125

D'après CATTAN (1996a, 1996b), la croissance de l'appareil végétatif se poursuit en même temps que celle de l'appareil reproducteur. Ce recoupement fait que l'appréciation du rendement en nombre de graines et en poids moyen d'une graine paraît insuffisante. Cette imprécision se justifie d'une part par le chevauchement de leur période d'élaboration et d'autre par la variation de la fin de la mise en place du nombre de graines. Aussi, le nombre de gousse par pieds apparaît comme étant une des composantes du rendement la plus importante qui doit être prise en compte.

Les observations sur les caractéristiques et les périodes d'élaboration des composantes du rendement chez une arachide de type Spanich sont présentées dans la figure 13 ci-dessous :

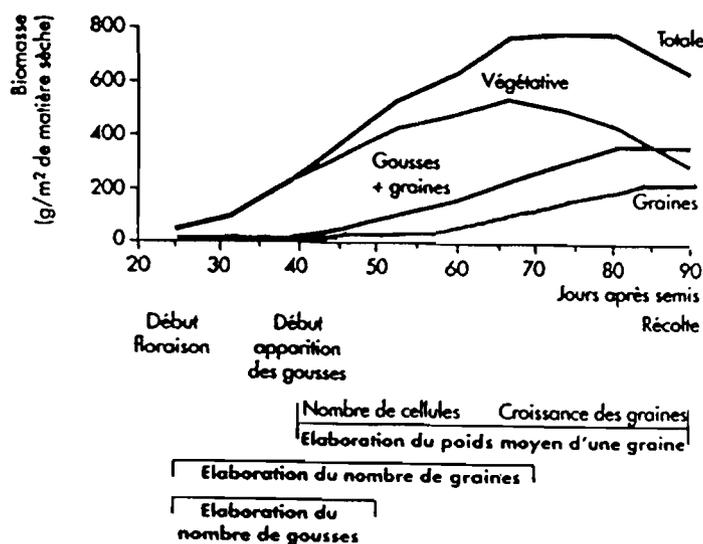


Figure 13 : Cycle de développement d'une arachide de type Spanich d'après CATTAN (1996b)

2.3.2. La production

2.3.2.1. La culture

L'arachide est originaire du Nouveau Monde. Son origine et l'histoire de sa distribution sont demeurées longtemps obscures. On admet actuellement qu'elle est originaire de la région du grand Chaco incluant les vallées du Paraguay et du Palamas (GREGORY, 1956 ; BERHAUT, 1976 ; ANONYME, 1983).

Les Portugais auraient ensuite introduit la plante au début du XVI^e siècle sur la côte occidentale d'Afrique. De leur côté, les Espagnols, à peu près à la même époque, l'auraient introduite aux Philippines à partir de la côte Ouest du Mexique. De là, la culture de l'arachide se serait étendue vers la Chine, le Japon, le Sud-Est Asiatique, l'Inde et la côte Est de l'Australie. Probablement à partir de Ceylan ou de la Malaisie, elle aurait atteint ensuite Madagascar et la côte orientale d'Afrique (GREGORY, 1956 ; GILLER & SILVESTRE, 1969).

Ainsi, l'Afrique serait un lieu de rencontre de deux voies différentes de diffusion de l'espèce. On admet aujourd'hui que l'arachide y a été introduite à partir de la côte occidentale avec le commerce des esclaves. Après la réoccupation du Sénégal par la France, l'attention de la France fût attirée sur la possibilité d'étendre la culture de l'arachide dans cette région pour importer des quantités de graines pouvant donner lieu à une utilisation industrielle (ANONYME, 1977, 1983).

2.3.2.2. Les rendements

Le Sénégal est devenu le premier producteur et le premier exportateur d'arachide en Afrique. Par le passé, la culture de l'arachide a été le moteur du développement de l'économie sénégalaise. Dans les années 1960, elle a assuré jusqu'à 80% des exportations et fourni la majeure partie des revenus monétaires en milieu rural.

Mais depuis les années 1990, on assiste à une véritable crise (Tab. 7) qui s'est traduite par une baisse de la production (FREUD *et al.*, 1997).

Tableau 7 : Evolution des emblavements, de la production et des rendements de 1960 à 1996 au Sénégal (FREUD *et al.*, 1997).

Moyenne par décennie	Superficie (en ha)	Production (en t)	Rendement (en kg/ha)
1960-70	1.050.000	930.000	885
1970-80	1.150.000	850.000	740
1980-90	900.000	665.000	740
1990-96	850.000	465.000	550

Les surfaces cultivées ont dépassé le million d'hectares en 1959-61 et ont augmenté depuis assez régulièrement jusqu'aux années 1980.

La collecte de l'arachide a été, par exemple, divisée par trois, passant en moyenne de 750.000 tonnes dans les années 1960 à moins de 250.000 tonnes, alors que la capacité de trituration de l'outil industriel est de 900.000 tonnes. Son poids à l'exportation a considérablement baissé, ne représentant plus que 10% de ce poste.

2.3.2.3. Crise et relance de la production

Selon FREUD *et al.* (1997), les raisons de la baisse de la production peuvent être classées en trois catégories : les facteurs qui ont entraîné une diminution de l'importance de

l'arachide dans les systèmes de production, ceux liés à la baisse des rendements et la politique des prix.

Les facteurs qui ont conduit à une diminution de l'importance de l'arachide dans les systèmes de production, sont les contraintes foncières, le manque de main-d'œuvre et d'équipement. Parmi ces causes, il semble que la diminution des surfaces emblavées est de loin la plus importante.

Les facteurs qui ont entraîné une baisse de rendements, estimée en moyenne de 25 à 30%, sont liés au climat, au sol, à la qualité et la quantité des semences distribuées aux paysans et aux pratiques culturales. A ce titre, il semble que la baisse du cumul pluviométrique et l'absence de fertilisation ont pu expliquer une légère baisse de la productivité mais il est surtout apparu que le non respect des itinéraires techniques, à savoir la date de semis et la qualité des travaux agricoles, a eu des répercussions sur la qualité et la quantité des semences.

La baisse de la production semble fortement corrélée avec la baisse du pouvoir d'achat des paysans qui a continuellement diminué depuis 1960 d'environ 40%. De même, depuis la dévaluation, l'avantage compétitif entre le prix du kg d'arachide d'une part et celui des céréales comme le riz et même le mil d'autre part, n'est plus en faveur de la culture de l'arachide. Face à l'érosion des revenus arachidiers, les paysans ont adopté différentes stratégies de diversification : substitution avec la culture de mil ou remplacement de l'arachide de bouche par l'arachide d'huilerie en particulier dans le Bassin arachidier, région à laquelle on impute jusqu'à 80% la chute de la production au Sénégal. Cette désaffectation de la culture arachidière s'est accentuée avec le nouveau dispositif de crédit aux intrants qui n'a pas été en mesure de desserrer les contraintes que sont la fourniture d'engrais et de semences et le renouvellement du matériel agricole.

Il semble que la relance de la production de l'arachide devrait passer par une augmentation de la productivité et une véritable politique incitative des prix. En outre, la restauration des surfaces initialement cultivées et l'augmentation des superficies cultivées en céréales devrait permettre d'assurer un meilleur respect des itinéraires techniques. Cette dernière garantit en même temps la nouvelle orientation en matière de sécurité alimentaire (FREUD *et al.*, 1997).

Cette augmentation de la productivité dépend selon FREUD *et al.* (1997) de trois facteurs essentiels : le respect de l'itinéraire technique, la qualité des semences et la fertilité des sols.

Le respect de l'itinéraire technique est fonction de l'intérêt que porte le paysan à sa culture. Une réévaluation du prix d'achat de l'arachide à un seuil qui ne remette pas en cause la culture du mil, devrait être à même de le remotiver.

La production de semences de qualité devrait être sous la responsabilité d'une structure spécialisée et non des paysans pour en assurer le bon renouvellement.

Enfin, l'ensemble de ces solutions ainsi que des technologies alternatives de gestion des espaces agraires comme la jachère et les cultures associées devraient permettre à la fois d'asseoir une politique hardie de relance de la consommation en intrants mais également de restaurer naturellement et durablement la fertilité des sols.

2.3.3. Les techniques culturales

L'augmentation des rendements constatée ces dernières années résulte de plusieurs facteurs dont principalement l'amélioration des techniques culturales.

Parmi ces dernières, on peut noter :

- la préparation du sol, qui constitue un facteur essentiel permettant l'amélioration du profil cultural, a pour effet :
 - de faire disparaître les résidus des cultures précédentes,
 - d'ameublir le sol,
 - de retarder la levée des adventices.
- le semis, dont la réussite est fonction :
 - de la préparation des semis,
 - de la date de semis,
 - du mode de semis,
 - de la densité des semis ;
 -
- l'entretien de la culture, qui selon le type de paysan, peut se faire :
 - mécaniquement/manuellement,
 - chimiquement ;
 - organique ;
 - chimique ;
- la fertilisation qui peut être :
 - organique ;
 - chimique ;
- la récolte qui se fait en quatre phases :
 - l'arrachage ,
 - le séchage,
 - le battage ou égoussage,
 - le stockage.

Le tableau 8 résume sommairement les activités culturales de l'arachide menées dans le Bassin arachidier du Sénégal.

Tableau 8 : Principales opérations culturales de l'arachide dans le Bassin arachidier

Préparation du sol avant le semis	Semis	Entretien de la culture	Fertilisation	Récolte et stockage
<p>*débroussailler -brûler *désoucher -hilaire *labourer -daba -charrue à versoir *billonnage -charrue à buttoir -à la main</p>	<p>*Préparation -décorticage à la main -décorticage peu avant semis -traitement des graines (insecticides et ou fongicides) *date des semis -pluviométrie (25 – 30 mm) -humidité sur 30 cm -semis précoce (moins parasité) *mode des semis -plat -billon -écartement 0,60 x 0,15 (Virginia) 0,40 x 0,15 (Valencia, Spanish) -profondeur 3 cm (optimale) ne doit pas dépasser 5cm -nombre de graines : une (1) -semoir : mécanique monorang (traction animale) * densité 110 000 gr/ha (Virginia) 170 000 gr/ha (Spanich et Valencia)</p>	<p>*mécanique et manuel -sarclage (weeder) -binage (houe rotative * chimique -sésone -falcone 44 E -dinitro</p>	<p>*minérale -NSP-K -SP *organique -jachère -résidus -divers composts</p>	<p>* arrachage -manuel -souleveuse -houe *séchage -moyette -péroquet -meules *battage -batteuse -batton -main *vanage *stockage -en gousse -en graine</p>

CHAPITRE III : METHODOLOGIES D'ETUDES ET DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

Les études ont été réalisées dans le sud du Bassin arachidier correspondant au Département de Nioro du Rip, entre 1992 et 1999, dans les cultures vivrières constituées principalement du mil, de l'arachide, du maïs et du sorgho.

Les méthodes utilisées ont trait à l'étude :

- de la flore adventice ;
- du comportement germinatif des graines des quelques espèces dominantes ;
- de la dynamique de la flore de surface ;
- de la concurrence.

3.1. Etude floristique

Le travail a consisté à faire des inventaires floristiques dans les exploitations paysannes réparties dans un rayon d'environ 30 km autour de Nioro (latitude: 13°44, Longitude: 15°47, Fig. 5 et Fig. 6), au nord, sur l'axe Nioro-Kaolack, au sud dans l'axe Nioro-Médina Sabakh, à l'ouest vers Keur Moussa et à l'est à Thyssé-kaymor et Sonkorong.

Les inventaires floristiques ont été réalisés dans les cultures de mil, d'arachide, de maïs et de sorgho. Elles ont eu lieu tous les 15 jours environ du début à la fin de la saison des pluies sur une moyenne de 60 champs par année soit en moyenne entre 15 à 20 champs par culture. Nous avons choisi la technique du "tour de champs" qui nous a paru la plus exhaustive. Elle consiste à parcourir la parcelle dans différentes directions et à inventorier toutes les espèces sur une surface d'observation définie en fonction de l'hétérogénéité des milieux prospectés.

BARRALIS (1976) préconise en France des surfaces d'observations allant de 1000 à 2000 m². Dans le Bassin arachidier, FONTANEL (1987 a et b) utilise une surface de 90 m², TRAORE (1991) au Burkina Faso choisit des parcelles de 120 m² à 5000 m². Le BOURGEOIS (1993) au Cameroun effectue ses observations sur des surfaces de 250 m². Cette technique de prospection itinérante a permis de dresser la liste floristique des espèces adventices des cultures vivrières. Dans cette caractérisation de la flore, nous n'avons pas tenu compte des arbres (phanérophytes) volontairement conservés par les paysans sauf lorsque l'espèce se présente sous forme d'arbustes adventices (nanophanérophytes).

Les déterminations des espèces ont été effectuées à l'aide :

- des flores (HUTCHINSON *et al.*, 1958 ; BERHAUT, 1967, 1971-1991, MERLIER & MONTEGUT, 1982 ; AKOBUNDU & AGYAKWA, 1987 ; Le BOURGEOIS & MERLIER, 1995) ;
- des travaux de notre laboratoire (NOBA & BA, 1992 ; NOBA *et al.*, 1994 ; SAMBOU, 2000 ; MBAYE *et al.*, 2001 ; SARR *et al.*, 2001) ;
- des échantillons des herbiers de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire (I.F.A.N.) et du Département de Biologie Végétale de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar.

La nomenclature employée est celle de LEBRUN (1973) et LEBRUN & STORK (1991, 1992, 1995, 1997).

Pour les types biologiques, nous avons utilisé la classification de RAUNKIER (1934) adaptée à la zone tropicale où la saison défavorable correspond à la saison sèche

(TROCHAIN, 1966 ; LEBRUN, 1966). Cette classification distingue 6 formes biologiques qui sont : les nanophanérophytes (P), les chaméphytes (C), les hémicryptophytes (H), les géophytes (G), les thérophytes (T), et les plantes parasites (Par.).

Pour la répartition géographique, les informations proviennent essentiellement de la flore de HUTCHINSON & DALZIEL (1972) et des travaux de TRAORE & MAILLET (1992).

3.2. Etude du comportement germinatif des graines

3.2.1. Origine du matériel végétal

Les graines ont été récoltées en 1993 et en 1996 dans des champs de mil ou d'arachide du Département de Nioro et conservées au sec à la température du laboratoire jusqu'à leur utilisation.

3.2.2. Tests de germination

Les tests de germination ont eu lieu en septembre 1996. Ils ont été réalisés sur papier buvard humide (Germaflor, Muller et Fils), en bacs de germination de type Jacobsen, à raison de 50 ou 100 graines, selon les espèces, par répétition. Il y a quatre répétitions par essai.

Pour l'étude de l'effet de la température et de la lumière, les bacs sont placés dans 4 enceintes climatisées à des températures constantes de 20, 25, 30 et 40°C, les uns en lumière continue, les autres à l'obscurité continue. La source lumineuse est constituée de tubes fluorescents (type Blanc Industrie, Philips).

La durée des tests est de 21 jours. Les comptages des graines germées sont effectués tous les jours. Le comptage des graines dans les tests réalisés à l'obscurité est effectué en lumière verte inactinique.

Le résultat des comptages est traduit en taux de germination des graines. Il traduit la capacité de germination dans des conditions expérimentales définies.

Nous avons considéré qu'une graine a germé lorsque la radicule est sortie des enveloppes (EVENARI, 1957 ; COME, 1968) et qu'il y a dormance lorsque des graines viables n'arrivent pas à germer ou germent difficilement dans un environnement habituellement favorable (COME, 1982).

3.2.3. Analyse statistique

Une analyse de variance (ANOVA) à 1, 2 ou 3 facteurs, selon les cas, a été réalisée sur les taux de germination après transformation angulaire des pourcentages. Le test est :

- très hautement significatif (***) si $p < 0,001$
- hautement significatif (**) si $0,001 < p < 0,01$
- significatif (*) si $0,01 < p < 0,1$
- non significatif (NS) si $p > 0,05$

La comparaison des moyennes a été établie à l'aide du test de Newman-Keuls ; les lettres a. b. c. d....., indiquent, pour des ensembles de comparaison, des valeurs significativement différentes.

**Tableau 9 : Caractéristiques chimiques et physiques des sols en station et en milieu paysan
(Diamaguène à titre d'exemple)**

Site		Station	Milieu paysan
Pâte	PH	5,0	5,2
Saturée	CE mmho/cm	0,24	0,29
Complexe Adsorbant En Meq/100g	Ca	0,40	0,51
	Mg	0,08	0,12
	Na	0,03	0,02
	K	0,03	0,08
	Somme	0,54	0,73
	T=CEC	1,34	1,15
	V=ST x 100	40	63
Carbone total ‰		2,04	2,64
Azote total ‰		0,14	0,21
C/N		15	13
Phosphore assimilable		27,5	20,6
Granulométrie % micron	Argile	2,06	3,04
	Limon fin ϵ-20	0,62	1,55
	Limon grossier 20-50	7,74	7,44
	Sable fin 50-200	49,2	53,2
	Sable grossier >2000	36,8	32,1
Texture		sable	sable

3.3. Etude de la dynamique

3.3.1. Expérimentations

Les expérimentations ont été conduites principalement au cours des années 1996 et 1997 en station et en milieu paysan. Un troisième essai a été conduit en 1998 uniquement en station. Ces essais ont été réalisés dans les mêmes que ceux de la concurrence soit :

- 1 essai en station (E1, Fig. 14a) à la station ISRA de Nioro sur des précédents jachère dans des parcelles fertilisées (N1 ou P1) ou non (N0 et P1); pour chaque conditions de fertilisation, les observations sont effectuées dans 4 parcelles (Fig. 14b);
- 2 essais chez deux agriculteurs différents (AG1 et AG2) en milieu paysan distants de 1 km environ (E2) et (E3) au niveau des champs situés autour du village ; pour chaque agriculteur, les observations sont effectuées dans 2 parcelles (Fig. 14c).

Les essais en milieu paysan ont été réalisés dans le village de Diamaguène en 1996 et dans le village de Darou Mounaguène en 1997. Ces villages sont situés respectivement au nord et à l'ouest de Nioro du Rip (Fig. 6).

Cette zone est caractérisée par :

- des sols (Tab.9) à pH plutôt acide et compris entre 5,0 et 5,2, sableux avec une faible capacité d'échange cationique (1,15 à 1,34), et pauvres en azote (0,14 à 0,21) et en phosphore assimilable (20,6 à 27,5) ;
- une très grande hétérogénéité du milieu qui se situe à 2 niveaux :
 - d'un site à un autre, cette hétérogénéité est liée à une différence topographique qui est probablement due à la géomorphologie ;
 - dans un site à l'intérieur des parcelles ou hétérogénéité intraparcellaire selon MILLEVILLE (1972, 1974, 1976) liée à plusieurs facteurs dont la microtopographie du milieu due à l'action cumulée des averses et du vent sur la surface du sol (MIEGE & TCHOUME, 1963).

En ce qui concerne les relevés, la méthode s'inspire de celle de BARRALIS *et al.* (1980). Cette méthode permet d'évaluer les levées des différentes espèces au champ et d'analyser les changements observés dans les différentes conditions au cours de la saison, en fonction de la date de semis, de la pratique culturale et de l'allure de la pluviométrie.

L'identification des plantules a été faite en utilisant les flores de MERLIER & MONTEGUT (1982), de LE BOURGEOIS & MERLIER (1995) et grâce aux travaux de notre laboratoire (NOBA *et al.*, 1995 ; SAMBOU, 2000 ; MBAYE *et al.*, 2001 ; SARR *et al.*, 2001).

Dès la levée de la plante cultivée, les plantules de mauvaises herbes sont identifiées périodiquement, dénombrées et éliminées successivement dans un échantillon de 17 rectangles permanents de 50 X 12 cm de côté (soit environ 1m²) implantées au hasard dans chaque parcelle. Au total 8 parcelles élémentaires en station (Fig. 14b) dont 4 en conditions fertilisées, azotées ou phosphorées (N1 ou P1) selon la culture et 4 en conditions non fertilisées (N0 ou P0). 4 parcelles en milieu paysan (Fig. 14c), réparties chez les 2 agriculteurs (AG1 et AG2), ont été inventoriées.

Les dénombrements sont effectués environ tous les 10 à 15 jours selon la culture. Quatre dénombrements ont été réalisés (cf tableau des dates de relevé, Tab. 10).

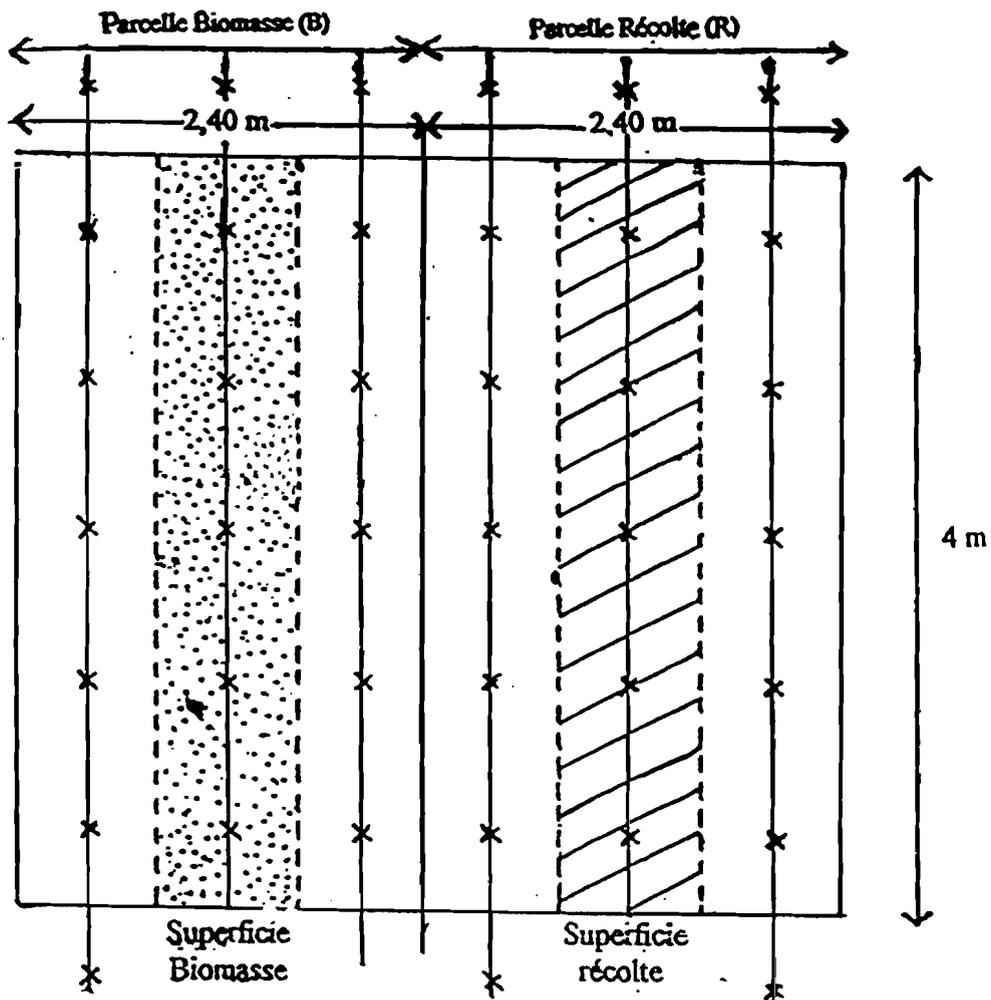


Figure 14a : Parcelle élémentaire

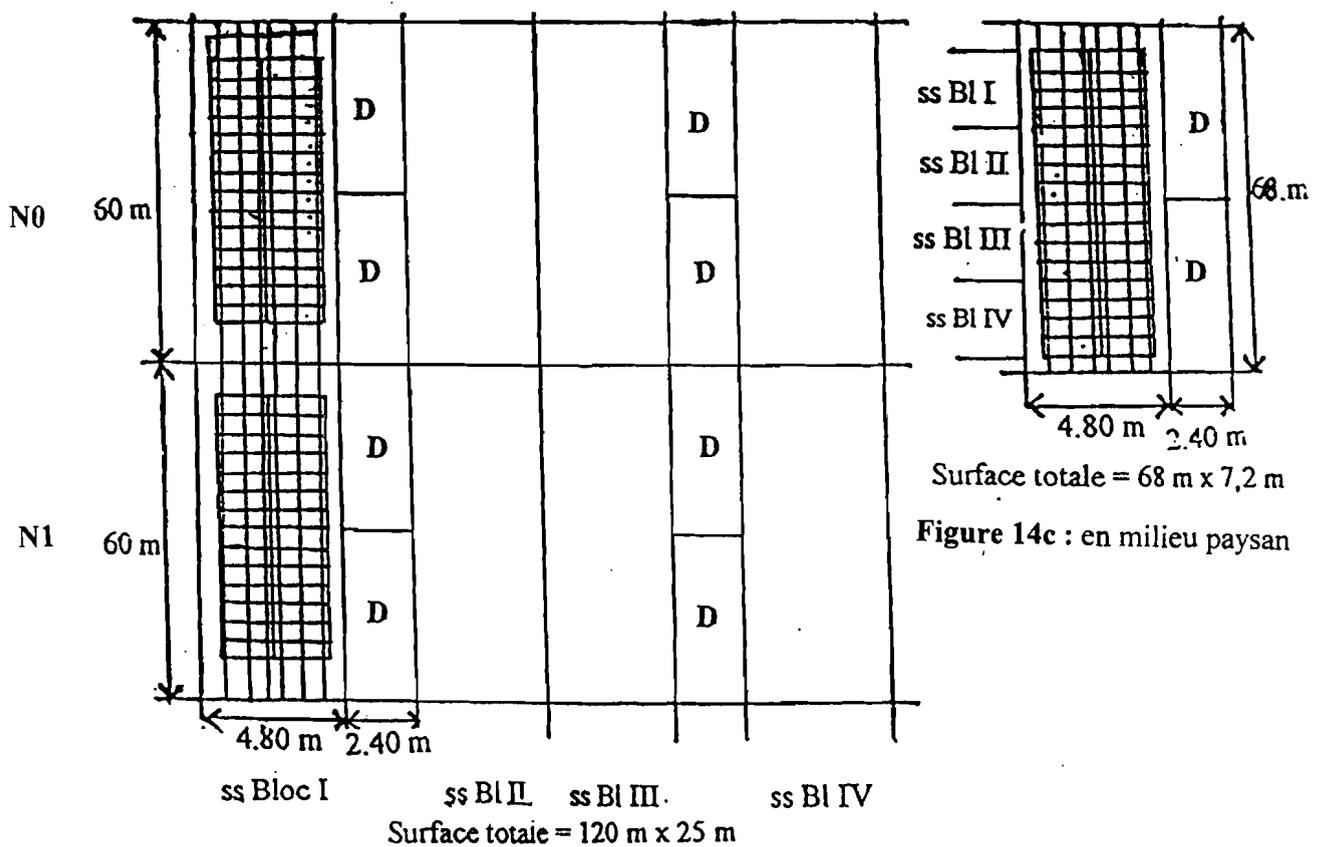


Figure 14c : en milieu paysan

Figure 14b : en station

N0 : pas d'azote, N1 : avec azote D : parcelle dynamique B : biomasse, R : Récolte Bl : bloc ssBl : sous bloc

Figure 14 : Dispositif expérimental

3.3.2. Observations et mesures

Pour chaque parcelle et chaque date de dénombrements, nous avons calculé :

- le nombre total de levées dans les 17 rectangles permanents qui font environ 1m²,
- la moyenne de levées des 4 parcelles de fertilisation différente en station et des 2 parcelles par agriculteur en milieu paysan.

Ces expériences permettent de déterminer pour les trois années successives :

- la composition spécifique,
- le nombre total de levées/m² de chaque espèce et par condition et leur importance relative,
- la chronologie des levées/m² et par espèce en fonction de la fertilisation ou de la pratique culturale et de l'allure de la pluviométrie, en station et en milieu paysan.

3.3.3. Traitement statistique

Le résumé statistique de la distribution du nombre de levées/m² a été obtenu en affectant à la moyenne du nombre de levées (NL) pour chaque condition et chaque espèce, le minimum (Min.), le premier quartile (25%), la médiane (Méd.), le troisième quartile (75%) et le maximum (Max.) de levée observées (DESSAINT *et al.*, 2001).

Cette méthode a été choisie en raison du nombre peu élevé d'échantillons. Elle permet de voir de manière simple l'amplitude de la variation de la moyenne du nombre de levées (NL) de chaque condition et de chaque espèce, en comparant les minima et maxima par rapport à la médiane.

3.4. Etude de la concurrence

Les expérimentations de concurrence ont été réalisées dans les mêmes essais que ceux de l'étude de la dynamique des levées, en 1996, 1997, 1998 et 1999 en station et en milieu paysan (Fig. 14b et 14c). Mais en raison de nombreuses contraintes phytopathologiques et techniques notamment, seuls les résultats en station (essai E₁- Fig. 14b) des années 1997 et 1999 pour le mil et ceux de 1999 pour l'arachide, ont été pris en compte.

3.4.1. Traitements

Les traitements (Fig. 15) sont effectués en fonction de 2 facteurs (Fig. 14b) :

- la fertilisation : azote (N₀ et N₁) pour le mil et phosphate (P₀ et P₁) pour l'arachide,
- les dates de binages qui sont d'environ tous les 10 jours pour le mil et tous les 15 jours pour l'arachide.

Pour la fertilisation : 2 conditions ont été réalisées :

1- pas de fertilisation (N₀ ou P₀), conditions équivalentes à l'agriculture traditionnelle ;

2- azote ou phosphore non limitant (N₁ ou P₁) aux doses préconisées par l'ISRA :

- pour le mil : urée en granulé à raison de 150 kg/ha en 2 épandages, au cours du binage-démariage B1D puis au 40^{ème} jour ;

- pour l'arachide : apport de la fraction phosphatée de la formulation 6-20-10 avant les semis.

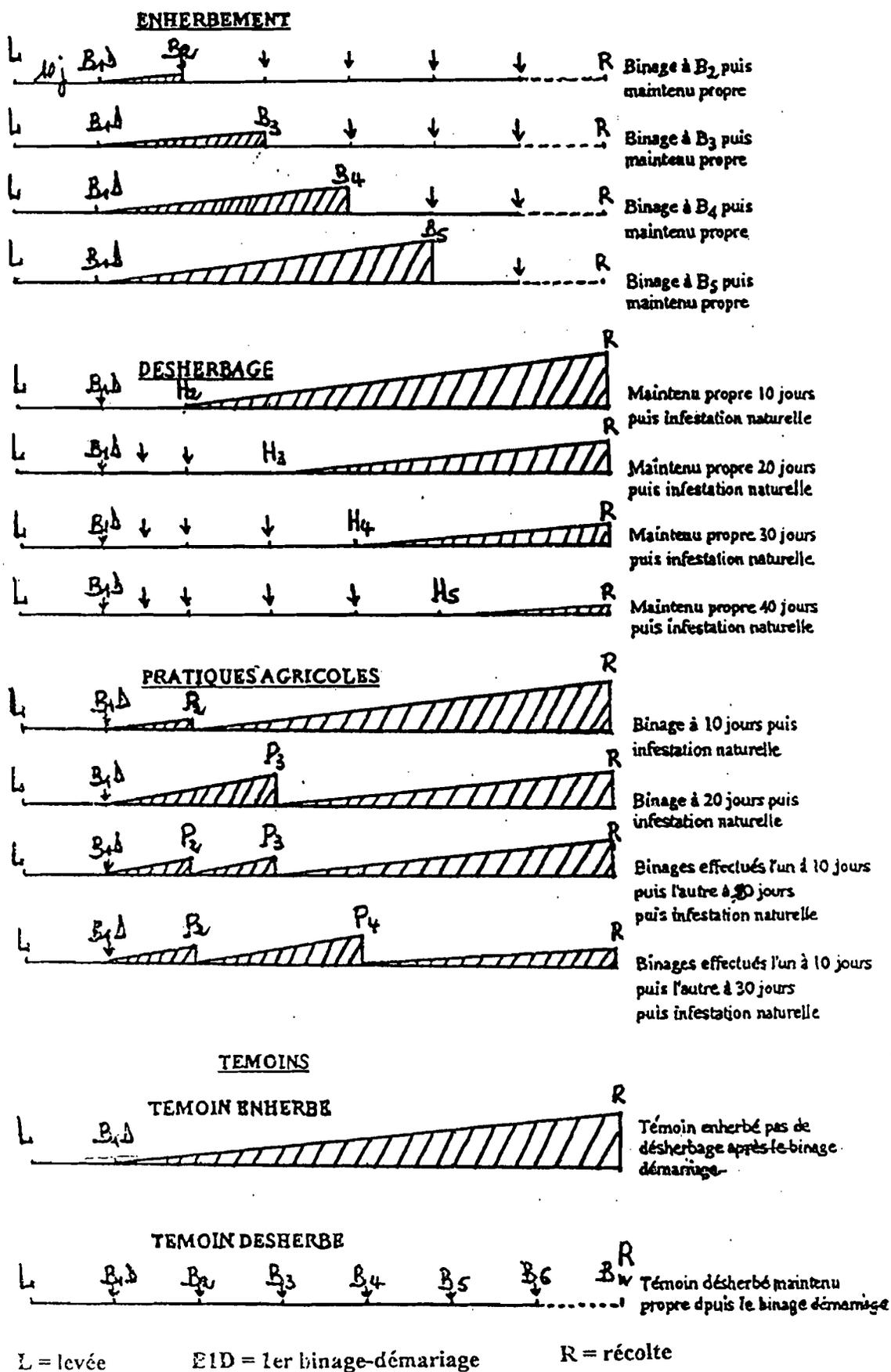


Figure 15 : Différentes conditions de binages

Pour les dates de binages qui sont effectués après le binage-démariage (B₁D) pour le mil et selon le calendrier établi dans le tableau 9 (cf tableau du calendrier des opérations), 14 traitements (Fig. 15) sont réalisés dont :

- 4 traitements d'enherbement (B2, B3, B4, B5) dans lesquelles la culture est laissée de plus en plus enherbée puis maintenue propre jusqu'à la récolte ;
- 4 traitements de désherbage (H2, H3, H4, H5) où la culture est maintenue propre au début puis laissée enherbée jusqu'à la récolte ;
- 4 traitements de pratiques agricoles (P2, P3, P2P3, P2P4) dans lesquelles sont simulées les pratiques paysannes de désherbage avec un seul désherbage précoce (P2) ou tardif (P3) ou 2 désherbages consécutifs, le second plus précoce (P2P3) ou plus tardif (P2P4);
- 2 traitements témoin : - 1 témoin propre (TP),
- 1 témoin enherbé (TE),

Les traitements d'enherbement (Bi) et de désherbage (Hi) permettent de déterminer la date et la période critique de concurrence (NIETO *et al.*, 1968) et incluent les témoins (TP et TE).

Les traitements de pratiques agricoles permettent de proposer un mode de désherbage adapté aux pratiques agricoles traditionnelles.

Pour l'arachide, nous avons préféré maintenir les mêmes appellations : B2, H2 et P2 pour désigner la 1^{ère} intervention, B3, H3 et P3 pour la seconde, B4, H4, P4 pour la 3^{ème} et B5 pour la 4^{ème} intervention.

3.4.2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental (Fig. 14 et Fig. 14b) est un split-plot où le facteur principal est la fertilisation azotée et le facteur subsidiaire la date de binage. Le plan d'expérimentation en station (Fig. 14b) est constitué de 192 parcelles soit 2 x 14 x 4 répétitions. Chaque parcelle (Fig. 14a) est divisée en 2 : une parcelle biomasse (B) et une parcelle récolte (R). Chacune de ces parcelles contient 3 lignes à raison de 5 pieds/lignes. Dans le cas du mil par exemple, la parcelle expérimentale mesure 4,8 m x 4 m (Fig. 14a).

3.4.3. Observations et Mesures

A chaque date de prélèvement, qui correspond à chaque date de binage, les observations et les mesures sur les paramètres de croissance du mil et de l'arachide, et sur les paramètres ayant trait aux adventices, sont effectuées dans la parcelle biomasse adjacente.

A la récolte, les mesures des composantes du rendement et le rendement du mil et de l'arachide sont effectuées sur les 4 parcelles récoltes.

Les observations et mesures suivantes sont effectuées sur le mil, l'arachide et les mauvaises herbes.

Pour le mil :

- les paramètres de croissance suivants ont été mesurés : le nombre de talles, la hauteur, la biomasse aérienne ;
- pour les composantes du rendement et le rendement, les mesures ont porté sur : la longueur des épis, le nombre d'épis, le poids des épis, le poids de 1000 graines et le rendement/parcelle.

Pour l'arachide :

- les paramètres de croissance suivants ont été mesurés : le nombre de ramifications, la biomasse aérienne et la hauteur ;
- pour les composantes du rendement et le rendement les mesures portent sur : le nombre de fleurs, le nombre total de gousses, le nombre de gynophores, le nombre de gousses matures, le poids des gousses matures, le nombre de graines, le poids des graines, le nombre de gousses monograines.

Pour les mauvaises herbes :

- l'espèce,
- biomasse aérienne par espèce et groupe d'espèces,

3.4.4. Traitement statistique

Le test statistique utilisé est l'analyse de la variance à 2 facteurs (essai E₁) pour les composantes et le rendement. La comparaison des moyennes a été établie à l'aide du test de Newman-Keuls ; Les lettres a. b. c. d....., indiquent pour des ensembles de comparaison des valeurs significativement différentes.

Le test est :

- très significatif (***) si $p < 0,0001$
- significatif (**) si $0,001 < p < 0,01$
- peu significatif (*) si $0,01 < p < 0,1$
- non significatif (NS) si $p > 0,05$

En raison du nombre unique de répétition, les paramètres de croissance n'ont pu être pris en compte qu'à titre informatif.

Pour les paramètres de rendement, les paramètres suivants ont été retenus :

- pour le mil :
 - la longueur des épis (LE) en 1997,
 - le nombre total d'épis (NE) en 1997 et en 1999 ; FERRARIS (1973) et DIOUF (1990) ont montré l'étroite relation entre ce paramètre et le rendement,
 - le poids de 1000 graines (PMG).
- pour l'arachide :
 - le nombre de gousses total (NGS),
 - le nombre de gynophores (GYN),
 - le nombre de gousses matures (NGM),
 - le poids des gousses matures (PGM).

Pour ces 2 années d'expérimentation, le calendrier et la nature des opérations culturales en station en fonction de l'année et de la culture sont indiquées dans le tableau 10 suivant :

Tableau 10 : Calendrier des opérations culturales en fonction de l'année et de la culture

Année d'expérimentation	1997	1999	
Culture	Mil	Mil	Arachide
Nature et dates des opérations			
Préparation du sol	28/6	11/7	11/7
Semis et Pose des rectangles permanents	28/6	15/7	15/7
Levée	16/7	21/7	19/7
Fertilisation			15/7
1 ^{er} apport (B1D)	25/7	30/7	
2 ^{ème} apport	19/8	6/9	
1 ^{er} sarclage (B2), (H2) ou (P2)	26/7	30/7	28/7
2 ^{ème} sarclage (B3), H3 ou (P3)	9/8	11/8	12/8
3 ^{ème} sarclage (B4), (H4) ou (P4)	18/8	23/8	26/8
4 ^{ème} sarclage (B5) ou (H5)	30/8	4/9	7/9
Récolte	17/9	10/10	30/10

CHAPITRE IV : FLORE ADVENTICE DES CULTURES VIVRIERES DANS LE SUD DU BASSIN ARACHIDIER

4.1. Introduction

Dans le Bassin arachidier (Fig. 5) qui est la principale zone de production agricole au Sénégal, plusieurs travaux ont contribué à une meilleure connaissance de la flore adventice des cultures de mil et d'arachide (MERLIER, 1972a, 1972b ; DIALLO, 1981 ; FONTANEL, 1986a, 1986c, 1987a, 1987b, 1988b ; NOBA & BA, 1998 ; WADE *et al.*, 1999). Ces travaux se sont surtout intéressés aux aspects taxonomiques, phénologiques et phytosociologiques. Toutefois, les travaux sur la composition floristique, le spectre biologique et la chorologie des espèces, qui déterminent pourtant la capacité d'accueil et le succès des espèces dans les agrosystèmes (GUILLERM, 1990), sont très peu nombreux. Dans ce travail, il nous a paru indispensable de revenir et de compléter les connaissances acquises dans la caractérisation de la flore et de la végétation adventices.

Le présent travail envisage d'étudier la flore adventice des cultures vivrières comme le mil, l'arachide, le sorgho et le maïs dans le sud du Bassin arachidier et se propose d'analyser la composition de la flore adventice, d'établir le spectre biologique et d'indiquer la distribution géographique des espèces inventoriées.

4.2. Résultats et discussions

4.2.1. Analyse floristique

La flore adventice dans le sud du Bassin arachidier est composée de 125 espèces (Tab.10) réparties dans 81 genres et 31 familles.

Tableau 11 : Liste des espèces recensées de 1992 et 1999 dans le sud du Bassin arachidier

Familles	Espèces	T.B	R. G.
<i>Acanthaceae</i>	<i>Asystasia gangetica</i> (L.) T. Anders.	T	Af
	<i>Monechma ciliatum</i> (Jacq.) Milne-Redh.	T	Af
	<i>Peristrophe bicalyculata</i> (Retz.) Nees.	T	As
<i>Amaranthaceae</i>	<i>Achyranthes aspera</i> L.	T	Cosm
	<i>Alternanthera sessilis</i> (L.) R. Br. ex DC.	T	Pt
	<i>Amaranthus hybridus</i> subsp. <i>cruentus</i> (L.) Thell.	T	Pt
	<i>Amaranthus spinosus</i> L.	T	Pt
	<i>Amaranthus viridis</i> L.	T	Pt
	<i>Celosia trigyna</i> L.	T	As
<i>Ampelidaceae</i>	<i>Ampelocissus multistriata</i> (Bak.) Planch.	T	Af
<i>Araceae</i>	<i>Stylochiton warnekei</i> Engl.	G	Af
<i>Asclepiadaceae</i>	<i>Leptadenia hastata</i> (Pers.) Decne.	T	Af
<i>Asteraceae</i>	<i>Acanthospermum hispidum</i> DC.	T	Pt
	<i>Bidens pilosa</i> L.	T	Cosm
	<i>Blumea aurita</i> (L.) DC.	T	Pt
	<i>Vernonia galamensis</i> (Cass.) Less.	T	Af
<i>Caesalpiniaceae</i>	<i>Cassia mimosoides</i> L.	T	Af
	<i>Cassia obtusifolia</i> L.	T	Pt
	<i>Cassia occidentalis</i> .	T	Pt
	<i>Piliostigma reticulatum</i> (DC.) Hochst.	P	Af
<i>Caryophyllaceae</i>	<i>Polycarpea linarifolia</i> DC.	T	Af
<i>Combretaceae</i>	<i>Combretum glutinosum</i> Perr.	T	Af

	<i>Combretum micrantum</i> G. Don.	T	Af
	<i>Guiera senegalensis</i> J.F. Gmel.	P	Af
<i>Commelinaceae</i>	<i>Commelina benghalensis</i> L.	T	As
	<i>Commelina forskalaei</i> Vahl.	T	Mas
	<i>Commelina nigriflora</i> var. <i>gambiae</i> (C.B. Clarke) Brenan	T	Mas
<i>Convolvulaceae</i>	<i>Ipomoea coptica</i> (L.) Roth	T	Asu
	<i>Ipomoea dichroa</i> (Roem. ex Sch.) Choisy	T	Asu
	<i>Ipomoea eriocarpa</i> R. Br.	T	Masu
	<i>Ipomoea kotschyana</i> Hochst.	T	Asu
	<i>Ipomoea pes-tigridis</i> L.	T	Asu
	<i>Ipomoea vagans</i> Bakker	T	Af
	<i>Jacquemontia tamnifolia</i> (L.) Griseb.	T	Am
	<i>Merremia aegyptiaca</i> (L.) Urban.	T	Af
	<i>Merremia pinnata</i> (Hochst.) Hallier.	T	Af
<i>Cucurbitaceae</i>	<i>Citrullus lanatus</i> (Thumb.) Mat. & Nakai	T	Cosm
	<i>Ctenolepis cerasiformis</i> (Stocks) Naud.	T	As
	<i>Cucumis melo</i> L. var. <i>agrestis</i> Naudin.	T	As
	<i>Momordica balsamina</i> L.	T	As
	<i>Mukia maderaspatana</i> (L.) Roem.	T	Asu
<i>Cyperaceae</i>	<i>Bulbostylis hispidula</i> (Vahl) Haines subsp. <i>Hispidula</i>	T	Af
	<i>Cyperus amabilis</i> Vahl	T	Pt
	<i>Cyperus esculentus</i> L.	G	Cosm
	<i>Cyperus rotundus</i> L.	G	Cosm
	<i>Fimbristylis exilis</i> Roem. et Sch.	T	Pt
	<i>Kyllinga squamulata</i> Thonning ex Vahl.	T	Am As
	<i>Mariscus squarrosus</i> (L.) C.B. Clarke	T	Pt
	<i>Pycneus polystachyos</i> (Rottb.) Beauv.	T	Pt
<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Euphorbia hirta</i> L.	T	Pt
	<i>Phyllanthus amarus</i> Schum. & Thonn.	T	Pt
<i>Fabaceae</i>	<i>Alysicarpus ovalifolius</i> (S. et Th.) Leon	T	Pt
	<i>Crotalaria cylindrocarpa</i> DC.	T	Af
	<i>Crotalaria goreensis</i> G. et Perr.	T	Af
	<i>Crotalaria retusa</i> L.	T	Pt
	<i>Crotalaria perrottetii</i> DC.	T	Af
	<i>Indigofera astragalina</i> DC.	T	Af
	<i>Indigofera dendroïdes</i> DC.	T	Af
	<i>Indigofera hirsuta</i> L.	T	Amu
	<i>Sesbania pachycarpa</i> DC.	P	Asu
	<i>Tephrosia pedicellata</i> Bak.	T	Af
	<i>Zornia glochidiata</i> Reichb.	T	Pt
<i>Icacinaceae</i>	<i>Icacina senegalensis</i> A. Juss.	G	Af
<i>Lamiaceae</i>	<i>Hyptis spicigera</i> Lam.	T	Am As
	<i>Hyptis suaveolens</i> Poir.	T	Am As
<i>Liliaceae</i>	<i>Scilla sudanica</i> A. Chev.	G	Af
<i>Malvaceae</i>	<i>Hibiscus asper</i> Hook. F..	T	Af
	<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.	T	Af
	<i>Sida alba</i> L.	T	Pt
	<i>Sida rhombifolia</i> L.	T	Pt

	<i>Sida stipulata</i> Cav.	T	Pt
	<i>Sida urens</i> L.	T	Pt
<i>Mimosaceae</i>	<i>Acacia ataxacantha</i> DC.	P	Af
	<i>Dichrostachys cinerea</i> (L.) Wight et Arn..	P	Af
	<i>Faidherbia albida</i> (Del.) A. Chiev.	P	Af
<i>Nyctaginaceae</i>	<i>Boerhavia diffusa</i> L.	T	Pt
	<i>Boerhavia erecta</i> L.	T	Pt
<i>Pedaliaceae</i>	<i>Ceratotheca sesamoides</i> Endl	T	Af
	<i>Sesamum indicum</i> L.	T	Af
<i>Poaceae</i>	<i>Andropogon gayanus</i> Kunth.	H	Af
	<i>Andropogon pseudapricus</i> Stapf.	T	Am
	<i>Aristida adscensionis</i> L.	T	Pt
	<i>Brachiaria lata</i> (Schum.) C.E. Hubb.	T	Pt
	<i>Brachiaria ramosa</i> (L.) Stapf.	T	Asu
	<i>Brachiaria villosa</i> (Lamarck) A. Camus	T	Pt
	<i>Brachiaria xantholeuca</i> (Hack. ex Sch.) Stapf.	T	Pt
	<i>Cenchrus biflorus</i> Roxb.	T	As
	<i>Chloris pilosa</i> Sch. et Thon.	T	As
	<i>Chloris prierii</i> Kunth.	T	As
	<i>Dactyloctenium aegyptium</i> Beauv.	T	Pt
	<i>Digitaria ciliaris</i> (Retz.) Koler	T	Pt
	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaert.	T	Pt
	<i>Eragrostis cilianensis</i> (All.) Vign.-Lutati	T	Pt
	<i>Eragrostis ciliaris</i> var. <i>ciliaris</i> (L.) R. Br.	T	Pt
	<i>Eragrostis ciliaris</i> var. <i>laxa</i> J. Berh.	T	Pt
	<i>Eragrostis tremula</i> (Lam.) Hoch. Ex Steud.	T	As
	<i>Eragrostis turgida</i> (Schum.) De Wild.	T	Asu
	<i>Mnesithea granularis</i> (L.) De Koen.& Sos.	T	Af
	<i>Pennisetum pedicellatum</i> Trin.	T	Asu
	<i>Pennisetum violaceum</i> (Lam.) L. Rich.	T	Asu
	<i>Schizachyrium exile</i> Stapf.	T	As
	<i>Schoenefeldia gracilis</i> Kunth.	T	As
	<i>Setaria pumila</i> (Poir.) Roem. & Sch..	T	Asu
	<i>Sporobolus indicus</i> (L.) R.Brown var. <i>pyramidalis</i> (Pal. de Beauv.) Veldkamp	T	Am
<i>Rubiaceae</i>	<i>Kohautia senegalensis</i> Cham. & Schk.	T	Af
	<i>Mitracarpus villosus</i> (SW.) DC.	T	Am As
	<i>Oldenlandia corymbosa</i> L.	T	Pt
	<i>Spermacoce chaetocephala</i> DC.	T	Af
	<i>Spermacoce radiata</i> (DC.) Sieb. & Hiern.	T	Af
	<i>Spermacoce stachydea</i> (DC.) H.	T	Af
	<i>Spermacoce velorensis</i>	T	Af
	<i>Spermacoce verticillata</i> (L.) G. F. Mey.	T	Af
<i>Scrophulariaceae</i>	<i>Striga gesnerioides</i> (Willd.) Benth.	Par	Pt
	<i>Striga hermontheca</i> (Del.) Benth.	Par	Mas
<i>Solanaceae</i>	<i>Physalis angulata</i> L.	T	Cosm
	<i>Physalis micrantha</i> Link.	T	Pt
	<i>Solanum nigrum</i> L.	T	Cosm
<i>Sterculiaceae</i>	<i>Waltheria indica</i> L.	C	Pt
<i>Tiliaceae</i>	<i>Corchorus aestuans</i> L.	T	Pt

	<i>Corchorus olitorius</i> var. <i>olitorius</i> L.	T	Pt
	<i>Corchorus tridens</i> L.	T	Asu
	<i>Triumfetta pentandra</i> A. Rich	T	Pt
<i>Verbenaceae</i>	<i>Lantana camara</i> L.	P	Pt
<i>Taccaceae</i>	<i>Tacca involucreta</i> Sch. & Th.	G	Af
<i>Tribulaceae</i>	<i>Tribulus terrestris</i> L.	T	Cosm

TB = Type Biologique (cf légendes Tab.14) ; RG = Répartition Géographique (cf légendes Tab.15)

Les dicotylédones représentent 69,6% des espèces, les monocotylédones 30,4%. Le tableau 11 donne des indications sur la structure de la flore.

Tableau 12 : Structure de la flore adventice dans le sud du Bassin arachidier

	Familles		Genres		Espèces	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Dicotylédones	26	83,9	57	70,4	87	69,6
Monocotylédones	5	16,1	24	29,6	38	30,4
Total	31	100	81	100	125	100

Comparée à la flore vasculaire du Sénégal (BA & NOBA, 2001) et du Burkina Faso (GUINKO, 1984), la flore adventice dans le sud du Bassin arachidier (Tab. 12) présente des proportions comparables entre dicotylédones et monocotylédones. Les dicotylédones représentent 69,6% contre 69,5 % et 71% respectivement au Sénégal et au Burkina Faso et les monocotylédones 30,4% contre 28,8 % et 29%. Ces monocotylédones représentées principalement par les *Poaceae* et les *Cyperaceae*, regroupent les espèces les plus dominantes dans les champs de mil (NOBA & BA, 1998).

Dans la flore adventice du sud du Bassin arachidier, cinq familles (Tab. 13) regroupent près de la moitié (48,9%) des espèces recensées. Ce sont les *Poaceae* (20,0%), les *Fabaceae* (8,8%), les *Convolvulaceae* (7,2%), les *Cyperaceae* (6,4%) et les *Rubiaceae* (6,5%). Viennent ensuite les *Amaranthaceae* (4,8%), *Malvaceae* (4,8%), *Cucurbitaceae* (4,0%), *Asteraceae* (3,2%), *Caesalpiniaceae* (3,2%), et *Tiliaceae* (3,2%). Elles constituent 23,2% de la flore adventice. Les Légumineuses (*Caesalpiniaceae*, *Mimosaceae* et *Fabaceae*) regroupent 14,4% des espèces soit 18 espèces au total.

Tableau 13: Répartition par famille des espèces adventices recensées dans le sud du Bassin arachidier comparativement à la flore vasculaire du Sénégal.

Familles	Flore adventice dans le sud du Bassin arachidier		Flore vasculaire du Sénégal	
	Nombre d'espèces	% Familles	Nombre d'espèces *	% Familles
<i>Poaceae</i> (M)	25	20,0	285	11,4
<i>Fabaceae</i> (D)	11	8,8	284	11,4
<i>Convolvulaceae</i> (D)	9	7,2	62	2,5
<i>Cyperaceae</i> (M)	8	6,4	188	7,5
<i>Rubiaceae</i> (D)	8	6,4	104	4,2
<i>Amaranthaceae</i> (D)	6	4,8	26	1,0
<i>Malvaceae</i> (D)	6	4,8	49	2,0
<i>Cucurbitaceae</i> (D)	5	4,0	25	1,0
<i>Asteraceae</i> (D)	4	3,2	96	3,8
<i>Caesalpiniaceae</i> (D)	4	3,2	46	1,8

<i>Tiliaceae</i> (D)	4	3,2	21	0,8
<i>Acanthaceae</i> (D)	3	2,4	51	2,0
<i>Combretaceae</i> (D)	3	2,4	34	1,4
<i>Commelinaceae</i> (M)	3	2,4	28	1,1
<i>Mimosaceae</i> (D)	3	2,4	49	2,0
<i>Solanaceae</i> (D)	3	2,4	16	0,6
<i>Euphorbiaceae</i> (D)	2	1,6	87	3,5
<i>Lamiaceae</i> (D)	2	1,6	29	1,2
<i>Nyctaginaceae</i> (D)	2	1,6	13	0,5
<i>Pedaliaceae</i> (D)	2	1,6	6	0,2
<i>Scrophulariaceae</i> (D)	2	1,6	52	2,1
<i>Ampelidaceae</i> (D)	1	0,8	23	0,9
<i>Araceae</i> (M)	1	0,8	18	0,7
<i>Asclepiadaceae</i> (D)	1	0,8	47	1,9
<i>Caryophyllaceae</i> (D)	1	0,8	9	0,4
<i>Icacinaceae</i> (D)	1	0,8	3	0,1
<i>Liliaceae</i> (M)	1	0,8	28	1,1
<i>Sterculiaceae</i> (D)	1	0,8	18	0,7
<i>Verbenaceae</i> (D)	1	0,8	30	1,2
<i>Taccaceae</i> (D)	1	0,8	1	0,0
<i>Tribulaceae</i> (D)	1	0,8	1	0,0
TOTAL	125	100	2499	100,0

*Nombre total d'espèces de la flore vasculaire du Sénégal selon BA & NOBA (2001)

D = Dicotylédones

M = Monocotylédones

Il ressort de cette analyse que la flore adventice du Sud du Bassin arachidier présente approximativement la même structure que la flore générale du Sénégal, à quelques différences près :

- certaines familles se trouvent en proportions plus importantes dans la flore adventice de cette région que dans la flore du Sénégal ; ce sont principalement les *Poaceae*, *Convolvulaceae*, *Rubiaceae*, *Amaranthaceae*, *Malvaceae*, *Cucurbitaceae* ;
- d'autres familles sont moins importantes dans la flore adventice du Bassin arachidier que dans la flore du Sénégal , notamment les *Fabaceae*, *Cyperaceae*, *Euphorbiaceae*, *Scrophulariaceae*, *Asteraceae* et *Asclepiadaceae* ;
- les deux familles *Taccaceae* et *Tribulaceae*, de la flore du Sud du Bassin arachidier comme de la flore générale du Sénégal, ne sont constituées chacune que d'une seule espèce adventice : *Tacca involucrata* et *Tribulus terrestris*.

L'importance relative des familles dans la composition floristique est semblable à la structure générale de la flore au Sénégal (BA & NOBA, 2001). La flore adventice dans le Sud du Bassin arachidier est caractéristique d'une végétation tropicale de type savane avec un spectre taxonomique qui présente une nette dominance de familles constituées essentiellement d'espèces annuelles herbacées comme les *Poaceae*, *Cyperaceae* et Légumineuses non ligneuses.

On peut par ailleurs noter que dans certaines familles principalement constituées d'espèces ligneuses, des espèces peuvent se retrouver comme adventices. C'est le cas des *Combretaceae* et des *Mimosaceae* arbustives. Elles constituent probablement des reliques de la végétation secondaire, qui selon TROCHAIN (1940) est une forme dégradée des forêts denses sèches caractéristiques du domaine soudanien, dans laquelle subsistent encore

quelques arbres comme *Cordyla pinnata*, *Parkia biglobosa*, et *Sterculia setigera*. La présence de ces *Combretaceae* et *Mimosaceae* arbustives suggérerait une savanisation progressive de la végétation due aux effets conjugués des facteurs climatiques et anthropiques et qui se traduit par la disparition des arbres et la formation d'un tapis discontinu d'espèces herbacées parsemé de quelques arbustes. Le cas de *Guiera senegalensis* est plus significatif car, selon VANDEN BERGHEN (1998), sa présence et son extension seraient liées à l'introduction et à la vulgarisation de la culture de l'arachide.

La comparaison de nos résultats à ceux de BA & NOBA (2001) en ce qui concerne la flore générale du Sénégal, montre que les familles des *Fabaceae*, *Cyperaceae*, *Euphorbiaceae* et *Asclepiadaceae* sont moins diversifiées dans le Sud du Bassin arachidier qu'elles ne le sont dans d'autres zones du Sénégal. Les *Cyperaceae* par exemple présentent une diversité spécifique plus importante dans les zones rizicoles plus humides (JOHNSON, 1997) et le nombre d'espèces d'*Asclepiadaceae* est plus élevé dans des zones plus sèches et semi-arides situées au nord du Bassin arachidier (TROCHAIN, 1940).

Si on compare nos résultats à ceux de DEUSE & HERNANDEZ (1978a, 1978b) et de FONTANEL (1987a, 1987b, 1988b) dans les cultures de mil et d'arachide dans la même zone, il apparaît qu'il n'y a pas eu en quelques années, une évolution sensible de la composition spécifique de la flore adventice.

De plus, l'analyse comparée de la flore adventice du sud du Bassin arachidier par rapport à celles des jachères de la même zone (MERLIER, 1972a, 1972b) indique que cette flore est plus pauvre. Les désherbages successifs dans ces champs où la jachère est quasi inexistante, ont probablement permis d'éliminer un certain nombre d'adventices en particulier les légumineuses herbacées. En revanche la flore adventice dans le Sud du Bassin arachidier présente beaucoup de ressemblances avec celles des cultures céréalières au Burkina Faso (TRAORE & MAILLET, 1992), des cultures cotonnières en Côte d'Ivoire (NGUESSAN, 1989) et des cultures de la partie sahélienne du Cameroun (LE BOURGEOIS & GUILLERM, 1995).

En ce qui concerne le nombre d'espèces, notre étude porte sur 125 espèces, mais ce nombre est variable dans les études réalisées par d'autres auteurs. Il semble que le nombre d'espèces est fonction de l'importance de la zone étudiée et du gradient climatique.

Dans les cultures de mil et d'arachide du Sud du Bassin arachidier (DEUSE & HERNANDEZ, 1978a, 1978b ; FONTANEL, 1987a, 1987b, 1988), dans les cultures cotonnières du Nord de la Côte-d'Ivoire (NGUESSAN, 1989), ou dans les cultures pluviales du Bénin (AHANCHEDE & GASQUEZ, 1995) le nombre d'espèces se situe entre 75 et 200 espèces. En revanche pour les études effectuées dans les céréales au Burkina Faso (TRAORE & MAILLET, 1992) et dans les cultures de coton au Cameroun (LE BOURGEOIS & GUILLERM, 1995), ce nombre peut aller de 200 à 300.

Toutefois si beaucoup d'espèces sont communes à ces différentes cultures et régions, il existe quelques particularités en fonction des zones climatiques en ce qui concerne l'importance relative des espèces. En zone humide de Côte-d'Ivoire et au Cameroun, les espèces les plus fréquentes sont respectivement, *Euphorbia heterophylla*, *Boerhavia diffusa* (NGUESSAN, 1989) et *Commelina bengalensis* et *Ipomoea eriocarpa* (LE BOURGEOIS, 1993). Ces espèces ne constituent pas dans le sud du Bassin arachidier du Sénégal et au Burkina Faso des préoccupations majeures (DEUSE & HERNANDEZ 1978a, 1978b ; FONTANEL, 1987a, 1987b, 1988 ; TRAORE & MAILLET, 1992 ; NOBA & BA, 1998). Elles sont probablement plus adaptées aux conditions écologiques des régions soudaniennes mais peuvent se révéler importantes dans le sud du Bassin arachidier lorsque la pluviométrie augmente ou dans les zones où le sol est riche en matières organiques.

4.2.2. Spectre biologique

Le tableau 13 indique que 85,6% des adventices sont des thérophytes. Ce sont les plus communes dans le Sud du Bassin arachidier et elles comprennent en particulier la plupart des espèces de *Poaceae*, de *Cyperaceae*, de *Fabaceae* et la totalité des espèces de *Rubiaceae* et de *Convolvulaceae*. Elles constituent avec les 2 espèces parasites du genre *Striga* (1,6%) les espèces annuelles.

Les autres espèces pluriannuelles ou vivaces ne représentent que 12,8% et sont regroupées dans les chaméphytes, géophytes, hémicryptophytes et nanophanérophytes. Les nanophanérophytes représentent environ la moitié (5,6%) et sont constituées principalement par les espèces de la famille des *Combretaceae* (*Combretum micranthum*, *C. glutinosum* et *Guiera senegalensis*) et des *Mimosaceae* (*Acacia ataxacantha*, *Dichrostachys cinerea* et *Faidherbia albida*). Elles sont suivies des géophytes (4,8%) au nombre de six : *Cyperus esculentus*, *C. rotundus* qui sont très gênantes dans les cultures vivrières et *Stylochiton warnekei*, *Icacina senegalensis*, *Scilla sudanica* et *Tacca involucrata* qui le sont bien moins. Les chaméphytes et Les hémicryptophytes sont en proportion faible.

Tableau 14: Types biologiques des espèces recensées

Formes biologiques	Nombre d'espèces	Proportion
Thérophytes (T)	107	85,6
Nanophanérophytes (P)	7	5,6
Géophytes (G)	6	4,8
Hémicryptophytes (H)	2	1,6
Parasites (Par)	2	1,6
Chaméphytes (C)	1	0,8
Total	125	100

Comme le montre le spectre biologique, la plupart des espèces sont des annuelles. Elles ont un cycle de vie très court, parfois de quelques semaines, comme chez les espèces du genre *Boerhavia* (NOBA *et al.*, 1994), *Amaranthus* (SARR *et al.*, 2001), *Eragrostis* (SAMBOU, 2000) et *Corchorus* (MBAYE *et al.*, 2001). Leur cycle est généralement synchrone avec celui des cultures pluviales annuelles de la zone avec lesquelles elles forment la même cohorte. Elles s'adaptent ainsi à la fois à l'instabilité climatique et à la pratique culturale. Le cycle de développement des principales cultures de la zone, la périodicité des labours ainsi que les conditions climatiques apparaissent comme étant les principaux facteurs qui déterminent la flore adventice de la zone (FONTANEL, 1987a, 1987b).

Les espèces pérennes sont rares. Elles sont essentiellement constituées de souches d'espèces ligneuses de la végétation originelle qui n'ont pu être arrachées par les paysans au cours des défrichements et du travail du sol à cause de leur enracinement profond, de légumineuses pérennes améliorantes qui ont été introduites comme *Faidherbia albida* et de quelques géophytes. De même, la faible proportion des chaméphytes et des hémicryptophytes pourrait indiquer qu'elles sont peu adaptées dans les cultures annuelles sarclées (MAILLET, 1981 ; TRAORE, 1991).

Ces pérennes ne constituent pas une contrainte importante. Leur impact est limitée en raison du type d'itinéraire technique caractérisé par le labour et les sarclages successifs (Maillet, 1981) et du mode des travaux agricoles réalisés manuellement ou à la traction animale (TRAORE, 1991). Il est possible que, dans les champs travaillés manuellement ou mécaniquement, l'implantation des chaméphytes, des hémicryptophytes et phanérophytes soit réduite à cause de leur appareil de reproduction végétatif au profit des thérophytes qui se

maintiennent grâce à leur stock de graines dont l'oxygénation et l'imbibition sont favorisées par les conditions créées par les cultures à savoir le labour, le sarclage et la fertilisation (MAILLET, 1981 ; KOMA, 1998).

4.2.3. Spectre chorologique

Les espèces pantropicales (32,8%) sont avec les espèces africaines (32,0%) les plus importantes (Tab. 15). Elles forment 64,8% des espèces recensées. Le reste des espèces est constitué essentiellement par des espèces afro-asiatiques et australiennes (9,6%), des espèces afro-asiatiques (9,6%) et des espèces cosmopolites (6,4%). Les autres espèces sont peu nombreuses, celles d'origine européenne ou assimilée, sont absentes.

Tableau 15 : Classement biogéographique des espèces recensées

	Nbre d'espèces	Proportion
Espèces Pantropicales (Pt)	41	32,8
Espèces Africaines (Af)	40	32,0
Espèces Afro-asiatiques (As)	12	9,6
Espèces Cosmopolites (Cosm)	8	6,4
Espèces Afro-américaines (Am)	3	2,4
Espèces Afro-américaines et Asiatiques (Am As)	4	3,2
Espèces Afro-asiatiques et australiennes (Asu)	12	9,6
Espèces Afro-malgaches et asiatiques (Mas)	3	2,4
Espèces Afro-américaines et australiennes (Amu)	1	0,8
Espèces Afro-malgaches asiatiques et australiennes (Masu)	1	0,8
TOTAL	125	100

Par rapport à la flore adventice du Burkina Faso (TRAORE & MAILLET, 1992), l'importance accrue des espèces pantropicales semble liée à la position géographique du Sénégal qui est plus occidentale et océanique. Il est probable que ces espèces soient plus adaptées aux conditions bioclimatiques du Sénégal que certaines espèces strictement africaines et continentales et que les espèces asiatiques et américaines soient introduites avec la culture de l'arachide principalement. La plupart de ces espèces ont dû être éliminées progressivement à cause de la sélection du climat et de la pauvreté du sol.

4.3. Conclusion

Ce travail a donc permis de caractériser qualitativement la flore adventice des cultures dans le sud du Bassin arachidier. Il montre en particulier que cette flore :

- apparaît comme paucispécifique, stable et composée essentiellement par des espèces de *Poaceae*, *Cyperaceae*, *Convolvulaceae*, Légumineuses herbacées et *Rubiaceae* qui forment plus de la moitié des espèces ;
- présente une structure identique à celle des flores et végétations des régions semi arides d'Afrique constituées selon BRENAN (1978) de "relics of forests disappearing in a sea of grass". Ces vestiges de forêts sont représentés principalement dans les agrocénoses par des espèces de *Combretaceae* et de *Mimosaceae* arbustives ;
- est caractérisée par l'importance des thérophytes, bien adaptées au climat, à la pratique culturale et aux cultures annuelles du Sénégal ;

- s'est enrichie en espèces pantropicales d'Inde et d'Amérique du Sud au détriment des espèces strictement africaines en raison de la position géographique du Sénégal et l'introduction depuis le début du 16^{ème} siècle de cultures comme l'arachide.

Les connaissances acquises dans ce travail sur la composition floristique adventice des principales cultures du sud du Bassin arachidier devraient permettre de prévoir les infestations, d'établir la chronologie des levées des adventices dominantes et de déterminer les périodes critiques de la flore adventice plurispécifique.

La prévision des levées suppose de pouvoir comprendre la variabilité des réponses germinatives des graines des adventices dominantes, variabilité liée à une hétérogénéité des états dormants des graines restées à la surface ou enfouies et qui constituent la flore potentielle. C'est l'objet du chapitre qui suit.

CHAPITRE V : COMPORTEMENT GERMINATIF DES SEMENCES DES PRINCIPALES ADVENTICES DES CULTURES DE MIL ET D'ARACHIDE

5.1. Introduction

La prévision des levées de mauvaises herbes est un élément indispensable pour évaluer les risques d'infestation dans les champs. L'objectif de ces recherches est de prévoir la dynamique des levées à partir des données sur le stock de semences du sol, les levées réelles dans les champs et le comportement germinatif des semences au laboratoire. Mais certaines de ces études n'ont pu donner que des résultats partiels à cause de la concordance insuffisante des résultats de laboratoire avec les situations réelles observées. En effet, des lacunes ont été notées sur la détermination précise du potentiel semencier et sur l'hétérogénéité des états dormants des semences (MONTEGUT, 1975 ; BARRALIS & CHADOEUF, 1980 ; CHADOEUF & BARRALIS, 1982, 1983 ; LONCHAMP *et al.*, 1984 ; CHADOEUF-HANNEL, 1985 ; DESSAINT *et al.*, 1992). Si ces études n'ont pas pu donner une valeur prédictive fiable des levées au champ, elles permettent néanmoins d'estimer les rapports entre le stock semencier et la flore levée (BARRALIS *et al.*, 1996).

A cause de l'absence de relation apparente entre les résultats de germination obtenus en laboratoire et les levées réelles observées sur le terrain, les travaux de recherche dans ce domaine ont plutôt été axés, ces dernières années, sur la précision de l'échantillonnage et l'élaboration de modèles simulant les levées de surface à partir des données disponibles sur le stock semencier (BARRALIS *et al.*, 1986 ; BARRALIS & CHADOEUF, 1987 ; ZANIN *et al.*, 1989 ; DESSAINT *et al.*, 1990a, b et c). Pourtant, une connaissance approfondie de la biologie de la germination des semences en conditions contrôlées paraît être une des données qui pourraient aider à apporter des précisions sur la levée et la chronologie des espèces au champ (MONTEGUT, 1975 ; JAUZEIN, 1986 ; CHADOEUF-HANNEL, 1985). De plus, la germination représente la première étape du développement de la plante, elle correspond au passage de la semence inerte à la jeune plante (COME, 1983).

En Afrique, au Sénégal en particulier, les études sur la germination des semences des adventices sont rares (MIEGE et TCHOUME, 1963 ; PALE, 1982 ; NOBA, 1990 ; DIEDHIOU, 1998). La plupart des études consacrées à la germination s'est plutôt intéressée aux semences de plantes forestières ou cultivées ou de plantes qui présentent un intérêt fourrager (SAINT-CLAIR, 1976, 1980 ; DANTHU *et al.*, 1992 ; ROUSSEL, 1978, 1995).

Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes surtout intéressés aux espèces adventices les plus fréquentes dans les agrosystèmes et qui présentent un intérêt économique. Nous avons évalué l'influence de la durée de la conservation, de la température et de la lumière sur la germination de quelques espèces dominantes identifiées dans les champs.

Cette première étude de la germination a porté sur 8 espèces adventices appartenant aux familles les plus représentatives chez les Monocotylédones et les Dicotylédones.

Les espèces étudiées sont :

- *Dactyloctenium aegyptium* et *Eragrostis tremula* parmi les *Poaceae* ;
- *Cassia obtusifolia*, *Indigofera hirsuta* et *Sesbania pachycarpa* parmi les légumineuses ;
- *Mitracarpus villosus* et *Spermacoce chaetocephala* parmi les *Rubiaceae* ;
- *Hibiscus asper* pour les *Malvaceae*.

5.2. Résultats

Le tableau 16 présente les résultats des ANOVA et le tableau 17 la comparaison des moyennes du taux de germination des 8 espèces étudiées sous l'effet de la durée de la conservation ou âge de la graine, de la température et de la lumière.

Spermacoce chaetocephala

Les résultats de l'ANOVA (Tab. 16) indiquent que :

- l'effet année est très hautement significatif,
- l'effet de la température et l'interaction température x lumière sont hautement significatifs,
- l'effet de la lumière et les interactions année x température et année x lumière ne sont pas significatifs.

Le taux de germination est toujours plus élevé pour les graines âgées de 3 ans que pour celles fraîchement récoltées.

Pour les graines fraîchement récoltées, le taux de germination est très faible (moins de 1% en moyenne) et identique quelles que soient la température et les conditions d'éclairement.

Pour les graines âgées de 3 ans, le taux de germination est supérieur à 85% à 25°C et 30°C quelles que soient les conditions d'éclairement. Il est légèrement plus faible à 20°C et 40°C selon les conditions d'éclairement : à 20°C, le taux de germination est plus élevé à l'obscurité qu'à la lumière alors qu'à 40°C il est plus élevé à la lumière qu'à l'obscurité.

Hibiscus asper

L'analyse du tableau d'ANOVA (Tab. 16) montre que l'effet année est très hautement significatif. L'effet de la température ainsi que celui de l'interaction année x température sont hautement significatifs. Les interactions année x lumière et température x lumière sont non significatifs.

Les graines âgées de 3 ans présentent un taux de germination plus élevé que les graines fraîchement récoltées dont le taux est inférieur à 0,5%.

Pour les graines âgées de 3 ans, ce taux reste faible (entre 1 et 13,5%) mais augmente significativement avec la température (2,0% en moyenne à 20°C et 11,2 % à 40°C) (Tab. 17).

La lumière n'a aucun effet sur la capacité de germination aussi bien pour les graines âgées de 3 ans que pour les graines fraîchement récoltées.

Dactyloctenium aegyptium

Pour cette espèce, les effets année et température ainsi que l'interaction année x température sont très hautement significatifs (Tab. 16). L'effet de la lumière ainsi que ceux des interactions année x lumière et température x lumière sont non significatifs.

Les graines âgées de 3 ans ont un taux de germination plus élevé (16,75% en moyenne) que celui des graines fraîchement récoltées (voisin de 0%) (Tab. 17).

Pour les graines âgées de 3 ans, le taux de germination est nettement plus élevé à 30°C (24,0%) qui correspond à la température optimale. Le taux de germination est très faible à 40°C (4,5%) (Tab.17).

La lumière n'a pas d'effet sur la germination quels que soient l'âge de la graine et la température.

Tableau 16 : Résultat des tests d'ANOVA(***) très hautement significatif, $p < 0,001$; (**) hautement significatif $0,001 < p < 0,01$; (*) significatif $0,01 < p < 0,05$; (NS) non significatif $p > 0,05$

	<i>Spermacoce</i>	<i>Hibiscus</i>	<i>Dactyloctenium</i>	<i>Indigofera</i>	<i>Eragrostis</i>	<i>Mitracarpus</i>	<i>Sesbania</i>	<i>Cassia</i>
Année	***	***	***	***	***	***	***	***
Température	**	**	***	***	NS	NS	***	*
Lumière	NS	NS	NS	NS	***	***	NS	NS
Année*Température	NS	**	***	***	*	NS	***	*
Année*Lumière	NS	NS	NS	NS	***	***	NS	NS
Température*Lumière	***	NS	NS	**	***	***	NS	*

Tableau 17 : Taux (%) de germination : comparaison des moyennes (Temp. : température, L : lumière, O : obscurité)

Année	Temp.	L/O	<i>Spermacoce</i>	<i>Hibiscus</i>	<i>Dactyloctenium</i>	<i>Indigofera</i>	<i>Eragrostis</i>	<i>Mitracarpus</i>	<i>Sesbania</i>	<i>Cassia</i>
1996	20	L	0.0 c	0.5 c	0.25 d	23.0 defg	0.50 de	2.00 def	8.5 cb	7.5 h
1996	20	O	0.5 c	0.0 c	0.00 d	45.0 b	0.00 e	5.25 bcd	9.0 cb	12.0 fgh
1996	25	L	1.0 c	0.5 c	0.00 d	22.5 defg	2.75 d	11.25 b	12.0 b	6.5 h
1996	25	O	0.5 c	0.5 c	0.00 d	10.0 h	1.00 de	0.00 f	5.5 cb	6.5 gh
1996	30	L	3.0 c	0.5 c	0.00 d	30.0 bcde	0.25 de	6.50 bc	8.0 cb	8.5 gh
1996	30	O	0.0 c	0.5 c	0.00 d	27.0 def	0.25 de	0.50 ef	7.5 cb	9.5 gh
1996	40	L	0.5 c	0.5 c	0.25 d	48.5 a	3.00 d	3.25 cde	39.0 a	11.5 f
1996	40	O	0.5 c	0.0 c	0.00 d	43.0 abc	0.50 de	0.00 f	43.0 a	8.5 gh
1993	20	L	54.0 b	2.5 c	24.25 a	14.0 fgh	49.50 b	1.00 ef	4.0 cb	21.0 f
1993	20	O	91.5 a	1.5 c	14.00 b	12.0 gh	2.50 de	1.00 ef	4.0 cb	18.0 fg
1993	25	L	85.5 a	1.0 c	19.00 ab	29.0 cde	58.50 b	3.00 cde	2.5 cb	33.5 e
1993	25	O	93.5 a	3.5 bc	19.75 ab	25.0 defg	1.75 de	17.75 a	1.5 c	53.5 d
1993	30	L	96.0 a	9.0 ab	26.50 a	24.5 defg	90.25 a	17.25a	3.0 cb	64.0 c
1993	30	O	93.5 a	4.5 bc	21.50 ab	16.0 efgh	2.00 de	9.75 b	4.0 cb	77.5 b
1993	40	L	95.5 a	13.5 a	4.75 c	33.0 bcd	14.75 c	3.00 cde	7.5 cb	92.0 a
1993	40	O	61.5 b	9.0 ab	4.25 c	35.0 abcd	0.25 de	0.25 f	3.0 cb	87.0 a

Indigofera hirsuta

Il existe un effet très hautement significatif de l'année, de la température et de l'interaction année x température. L'interaction température x lumière est hautement significative. L'effet de la lumière ainsi que celui de l'interaction année x lumière sont non significatifs (Tab. 16)

Pour cette espèce, les graines fraîchement récoltées ont un taux de germination plus élevé (31,1% en moyenne) que celui des graines âgées de 3 ans (23,6% en moyenne) (Tab.17).

Pour ces 2 lots de graines, l'augmentation de la température de 20 à 40°C a un effet positif sur le taux de germination.

Les meilleurs taux de germination sont obtenus à 40°C : 46% en moyenne pour les graines fraîchement récoltées et 34% pour les graines âgées de 3 ans (Tab. 16).

L'effet de la lumière sur la capacité de germination dépend de la température : pour les graines fraîchement récoltées, le taux de germination est plus faible à la lumière qu'à l'obscurité à 20°C, puis légèrement plus élevé à 25°C. Cependant, pour les graines âgées de 3 ans, on n'observe aucune différence.

Eragrostis tremula

Il existe un effet très hautement significatif de l'année de récolte et de la lumière sur le taux de germination de cette espèce. Les interactions année x lumière et température x lumière sont également très hautement significatives alors que l'interaction année x température est significative (Tab. 16).

Les graines âgées de 3 ans ont un taux de germination nettement plus élevé à la lumière qu'à l'obscurité contrairement aux graines fraîchement récoltées ne présentent pas cette différence. Ce taux est en moyenne de 3,2% à la lumière et de 1,1% à l'obscurité pour les graines fraîchement récoltées contre respectivement 53,2% et 3,2% pour les graines âgées de 3 ans (Tab. 17).

Le taux de germination des graines âgées de 3 ans est maximal à 30°C et à la lumière.

Mitracarpus villosus

Le tableau d'ANOVA (Tab. 16) indique que les effets de l'année et de la lumière sont très hautement significatifs. Les interactions année x lumière et lumière x température sont aussi très hautement significatives.

Le taux de germination est plus faible pour les graines fraîchement récoltées (11,25% au maximum) que pour les graines âgées de 3 ans (17,75% au maximum) (Tab. 17).

La lumière favorise la germination aux températures de 30 et 40°C.

Sesbania pachycarpa

Les résultats de l'ANOVA (Tab. 16) montrent que l'effet année, l'effet température et l'interaction année x température sont très hautement significatifs. La lumière ainsi que les autres interactions ne présentent pas d'effet significatif.

A 40°C, les graines fraîchement récoltées germent à un taux plus élevé que les graines âgées de 3 ans. Aux températures inférieures, cette différence n'apparaît pas (Tab. 17).

Les autres facteurs (température et lumière) n'ont aucun effet sur les possibilités de germination des graines de cette espèce quel que soit l'âge de la graine.

Cassia obtusifolia

Le tableau d'ANOVA (Tab. 16) indique qu'il existe un effet année très hautement significatif. L'effet de la température est significatif alors que celui de la lumière est non significatif. Les interactions année x température et température x lumière sont significatives.

Le taux de germination est significativement plus élevé pour les graines âgées de 3 ans (55,8% en moyenne) que pour les graines fraîchement récoltées (8,8%) (Tab.17).

Pour les graines fraîchement récoltées, le taux de germination ne varie pas avec la température, alors qu'il augmente avec la température pour les graines âgées de 3 ans : il atteint son maximum (89,5 %) à 40°C (Tab. 17). A 25°C et à 30°C, ce taux est plus élevé à l'obscurité qu'à la lumière.

En résumé, on constate que :

- l'âge de la graine a un effet significatif sur le taux de germination des 8 espèces étudiées,
- l'effet de la température est toujours très marqué sauf chez *Cassia obtusifolia*, mais il dépend de l'âge des graines et/ou de la lumière selon les espèces,
- la lumière n'a pas d'effet sur la germination des graines de *Hibiscus asper*, *Dactyloctenium aegyptium* et *Sesbania pachycarpa* ; son effet dépend de la température chez *Spermacoce chaetocephala*, *Indigofera hirsuta* et *Cassia obtusifolia*, de la température et de l'âge de la graine chez *Eragrostis tremula* et *Mitracarpus villosus*.

5.3. Discussions

5.3.1. Effet de l'âge des graines

Pour les 8 espèces étudiées, nos résultats montrent qu'il existe un effet de l'âge des graines sur la capacité germinative. Cet effet peut être :

- positif et se traduit par une augmentation du taux de germination chez les graines conservées depuis 3 ans par rapport à celles fraîchement récoltées ; c'est le cas de *Spermacoce chaetocephala*, *Cassia obtusifolia*, *Eragrostis tremula*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Mitracarpus villosus* et *Hibiscus asper* ;
- négatif et se traduit par un taux de germination plus élevé à certaines températures chez les graines fraîchement récoltées par rapport à celles âgées de 3 ans, cas de *Indigofera hirsuta* et *Sesbania pachycarpa*.

L'effet positif de l'âge des graines sur l'augmentation du taux de germination des adventices a été constaté par plusieurs auteurs (MONTEGUT, 1975 ; CHADOEUF & BARRALIS, 1982, 1983 ; COME, 1983). Il traduit, chez les graines de ces espèces, une inaptitude à germer immédiatement après la récolte ou dormance primaire. Cette dormance primaire s'installe généralement au cours de la formation et de la maturation des graines. Son installation joue un rôle important pour les adventices. Elle évite aux graines de donner naissance, dès leur dissémination, à des plantules susceptibles d'être détruites par des conditions climatiques défavorables à leur croissance. Elle dépend à la fois de facteurs génétiques et environnementaux notamment au moment de la formation et de la maturation des graines, mais aussi des caractéristiques morphologiques des graines et de leur production échelonnée dans le temps (EASTIN, 1981 ; CHADOEUF-HANNEL, 1985).

Dans nos essais, cette dormance primaire au moment de la récolte est nette chez *Spermacoce chaetocephala*, *Cassia obtusifolia* et *Eragrostis tremula* chez lesquels plus de

90% des graines peuvent germer après 3 ans de conservation sous des conditions favorables. Elle est moins marquée chez *Hibiscus asper*, *Mitracarpus villosus* et *Dactyloctenium aegyptium* chez lesquels le taux de germination des graines âgées de 3 ans reste inférieur respectivement à 14%, 18% et 27%.

L'importance du taux de germination des graines de *Spermacoce chaetocephala*, *Cassia obtusifolia* et *Eragrostis tremula* (pour cette dernière à la lumière seulement) âgées de 3 ans, et qui n'ont subi aucune scarification, permet de penser que, pour ces espèces, la plupart des graines sont encore viables au bout de 3 ans, ce qui est une des caractéristiques des adventices (CHADDOEUF & BARRALIS, 1983 ; BARRALIS & CHADDOEUF, 1988). De plus, ces graines ne semblent pas présenter au bout de 3 ans une inhibition tégumentaire et une dormance secondaire puisque la plupart d'entre elles peuvent germer si elles sont soumises à des conditions favorables. Pour ces 3 espèces, une durée de conservation de 3 ans lève progressivement la dormance primaire.

L'inaptitude à la germination des graines à la récolte de ces espèces est probablement liée à une inhibition tégumentaire et/ou à une dormance embryonnaire. EASTIN (1981) attribue la dormance primaire observée chez *Cassia obtusifolia* à une inhibition tégumentaire plus qu'à une dormance secondaire puisque la germination des graines non scarifiées n'augmente pas en présence d'acide gibbérellique, d'AIA ou de 2,4-D. EGLEY & CHANDLER (1978) et BASKIN *et al.* (1998) ont montré que cette inhibition tégumentaire chez *Cassia obtusifolia* est due à l'existence de deux types morphologiques liés à la couleur des graines. Selon ces auteurs, 90% à 95% des graines produites sont vertes et développent une inhibition tégumentaire alors que le reste est constitué de graines noires et non dormantes. Aussi, on doit admettre, que pour cette espèce, l'âge de la graine cumulée ou non à l'augmentation de la température, peut avoir le même effet que la scarification. Ces téguments sont probablement rendus plus friables avec l'âge et avec l'augmentation de la température ; l'effet de ces facteurs ne se retrouvent pas chez d'autres légumineuses comme *Indigofera hirsuta* par exemple (CANTILFFE *et al.*, 1980). Pour CREEL *et al.* (1968), la dormance observée chez *Cassia obtusifolia* peut être levée grâce des incubations à des températures de 40/25°C ou à la chaleur sèche de 80-100°C. Aussi, il nous semble plus probable que la dormance primaire observée à la récolte chez *Spermacoce chaetocephala* et *Eragrostis tremula* est plus liée à une dormance embryonnaire à cause des caractères de leurs graines à téguments fins, et plutôt à une inhibition tégumentaire chez *Cassia obtusifolia* qui présente pour 90%, des graines vertes à téguments plus épais (BASKIN *et al.*, 1998).

La difficulté à germer des graines de *Hibiscus asper*, *Mitracarpus villosus* et *Dactyloctenium aegyptium* âgées de 3 ans, pourrait être due soit une dormance primaire liée principalement à une inhibition tégumentaire ou à l'installation d'une dormance secondaire. Cette difficulté de germination semble plus importante chez *Hibiscus asper*, à cause probablement de l'épaisseur et de la dureté des téguments, que chez les autres espèces à téguments plus fins.

Chez *Dactyloctenium aegyptium*, BANSAL & SEN (1981) et SINGHAL & SEN (1981) ont observé des résultats comparables en ce qui concerne le taux de germination et l'existence d'une inhibition tégumentaire. Ces auteurs ont en outre montré la présence d'inhibiteurs de germination dans la graine, ce qui renforce l'hypothèse d'une dormance secondaire embryonnaire (GUPTA, 1973). Ces dormances, selon SILCOCK *et al.* (1990), sont plus nettes pour les graines fraîchement récoltées ou âgées de plus de 8 ans. Pour cette espèce, il semble que des phénomènes allélopathiques puissent également induire la germination des semences (NARWAL & SHARMAN, 1996).

L'effet négatif de la durée de la conservation sur la capacité de germination observée chez les graines de *Indigofera hirsuta* et *Sesbania pachycarpa* pourrait relever d'une dormance primaire moins accentuée. En effet, pour ces 2 espèces de légumineuses, les graines peuvent germer dès la dissémination. Mais le taux de germination qui n'atteint pas 50% laisse penser à une dormance primaire liée à une inhibition tégumentaire. CANTLIFFE *et al.* (1980) ont en effet noté que la scarification des graines d'*Indigofera hirsuta* par immersion dans de l'H₂SO₄ concentré pendant 20 à 30 mm ou dans l'eau chaude à 70-80°C pouvait permettre d'augmenter significativement le taux de germination. Cette dormance serait liée à la dureté des téguments au moment de la dissémination comme pour la plupart des légumineuses herbacées. Ces résultats se rapprochent de ceux cités par COME (1983) sur d'autres espèces de légumineuses des zones tempérées et par SHINDE *et al.* (1998), DHARMENDRA & PYARE (1999) et VEASEY *et al.* (2000) sur des espèces de *Sesbania* (*S. sesban*, *S. rostrata* et *S. exaltata*). Chez ces espèces, le faible taux de germination des graines âgées de 3 ans par rapport à celui des graines fraîchement récoltées, pourrait être liée à une inhibition tégumentaire qui s'accroît avec l'âge, ou à l'installation d'une dormance secondaire. Il pourrait s'agir aussi d'une perte progressive de la vitalité des graines qui est très variable selon les espèces, ce qui est en accord avec les observations et les hypothèses de CANTLIFFE *et al.* (1980), COME (1983), CHADOEUF-HANNEL, (1985) et CAMPBELL *et al.* (1997).

5.3.2. Effet de la température

Nos résultats indiquent que, selon les espèces, la température a une influence variable sur le taux de germination et que cet effet est souvent couplé avec l'âge des graines et/ou avec la lumière.

Pour les graines de *Hibiscus asper*, *Indigofera hirsuta*, *Sesbania pachycarpa* et *Cassia obtusifolia*, il y a un effet positif de l'augmentation de la température sur le taux de germination des graines aptes à germer dans les conditions optimales de conservation. L'augmentation de la température à 40°C permet d'obtenir les meilleurs taux de germination. Cette augmentation du taux de germination à des températures élevées est une caractéristique des graines d'adventices de climat tropical (MIEGE & TCHOUME, 1963 ; BILLE, 1973 ; MATSUO & KUBOTA, 1993). A l'inverse chez *Dactyloctenium aegyptium* le taux de germination diminue fortement à 40°C par rapport aux températures plus basses. Pour cette espèce, au delà de 30°C, l'activité métabolique peut être réduite ou même inhibée, probablement en raison de la faible épaisseur des téguments de ces caryopses, comparée aux téguments plus durs et épais des graines des espèces précédentes.

Les graines d'*Eragrostis tremula* et *Mitracarpus villosus* ont un optimum thermique de 30°C. A cet optimum thermique relativement élevé, la germination des graines est stimulée par la lumière. Cette stimulation de la germination par la lumière est plus nette chez *Eragrostis tremula* que chez *Mitracarpus villosus*.

En revanche, chez *Spermacoce chaetocephala*, la dormance primaire est levée dans une large gamme thermique qui assure une bonne germination des graines et une disparition presque complète de la sensibilité à la lumière sauf aux températures extrêmes (20 et 40°C).

La température agit sur les activités enzymatiques et sur le métabolisme de la graine, mais elle intervient surtout de façon indirecte en réglant l'apport d'oxygène à l'embryon (CORBINEAU & COME, 1980 ; COME, 1982 ; ROSA & CORBINEAU, 1986). L'exigence de températures relativement élevées pour la germination des graines sensibles à la lumière, ainsi que la différence de comportement aux basses températures et aux températures élevées selon la présence ou l'absence de lumière, ont été observées chez *Amaranthus retroflexus* (TAYLORSON & HENDRICKS, 1969) et *Oldenlandia corymbosa* (CORBINEAU & COME, 1985 ; COME, 1993).

5.3.3. Effet de la lumière

La lumière ne semble pas avoir une influence déterminante sur la germination des graines de la plupart des espèces étudiées à l'exception de celles de *Eragrostis tremula* et *Mitracarpus villosus*, chez lesquelles on note des taux de germination plus importants à la lumière.

Cet effet positif de la lumière est cependant plus marqué chez *Eragrostis tremula* que chez *Mitracarpus villosus* et particulièrement chez les graines âgées de 3 ans. Il est probable que les graines de ces 2 espèces présentent une dormance primaire qui est presque totalement levée avec la lumière chez *Eragrostis tremula* et partiellement chez *Mitracarpus villosus*. Pour cette dernière espèce, à cette dormance primaire s'ajouterait une dormance secondaire. Nos résultats sur *Eragrostis tremula* confirment en partie ceux obtenus à la lumière par BANSAL & SEN (1981). Ce comportement germinatif est comparable à celui de *Oldenlandia corymbosa* qui est considéré comme une plante photosensible (CORBINEAU & COME, 1980/81 ; CORBINEAU, 1983 ; COME, 1993). La réponse des plantes photosensibles à la lumière fait intervenir un pigment photorécepteur, le phytochrome dont la synthèse (NEGBI & KOLLER, 1964 ; TAYLORSON & HENDRICKS, 1971) et l'expression dans la germination des graines (KOLLER *et al.*, 1964 ; ROLLIN, 1972) sont étroitement liées à la température.

Deux facteurs semblent importants pour la germination des graines de *Eragrostis tremula* et *Mitracarpus villosus* : la lumière et l'âge de la graine. La température n'intervient que lorsque ces deux conditions sont réunies.

La différence de comportement observée par rapport à la lumière, à basse température et à température élevée, chez *Spermacoce chaetocephala* et *Indigofera hirsuta*, indique que sous certaines conditions de température, les graines de ces espèces peuvent être sensibles à la lumière. Il est alors possible, qu'à basse température, il y ait augmentation de la synthèse de phytochrome sous forme active et dégradation et réversion à température élevée. Il s'ensuit que les graines peuvent germer à l'obscurité après un conditionnement à basses températures et qu'à températures élevées, elles ont besoin d'un apport de lumière. Ces observations ont été faites par TAYLORSON & HENDRICKS (1969) chez *Amaranthus retroflexus* et CORBINEAU & COME (1988) chez *Oldenlandia corymbosa*.

5.4. CONCLUSION

On observe un effet généralement favorable de la durée de conservation sur la germination des graines étudiées puisque, pour deux espèces seulement, *Indigofera hirsuta* et *Sesbania pachycarpa*, les graines fraîchement récoltées germent légèrement mieux en moyenne que les graines plus âgées. Lorsque la dormance primaire est accentuée (*Spermacoce chaetocephala*, *Hibiscus asper*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Eragrostis tremula*, *Cassia obtusifolia*, et *Mitracarpus villosus*), il y a un effet positif de l'âge des graines sur la germination. La dormance observée à la récolte est liée plutôt à une dormance embryonnaire pour les graines à téguments fins (certaines Rubiacées et graminées adventices) et plutôt à une inhibition tégumentaire pour les graines à téguments plus épais (certaines légumineuses adventices) ; toutefois certaines espèces (*Hibiscus asper*, *Dactyloctenium aegyptium* et *Mitracarpus villosus*), malgré l'âge, ne présentent pas un taux de germination aussi élevé ; la dormance observée résulterait alors d'une inhibition tégumentaire qui se prolonge, et/ou d'une dormance secondaire. Lorsque la dormance primaire est moins accentuée (*Indigofera hirsuta* et *Sesbania pachycarpa*), il y a un effet négatif de l'âge des graines sur la germination des semences et la difficulté de germination des graines âgées de 3 ans est à attribuer à une inhibition tégumentaire qui se renforce et/ou à l'installation d'une dormance secondaire ou encore à une perte progressive du pouvoir germinatif.

L'étude de l'influence de la température a montré qu'en l'absence de dormance, liée à l'état de conservation de la graine, une augmentation de la température jusqu'à 30°C ou même 40°C (chez *Spermacoce chaetocephala*, *Hibiscus asper*, *Indigofera hirsuta*, *Sesbania pachycarpa*, et *Cassia obtusifolia*) favorise la germination des graines de la plupart de ces espèces tropicales. Toutefois, des comportements germinatifs variables peuvent être observés à basse ou haute température notamment lorsque les graines sont plus ou moins sensibles à la lumière.

En ce qui concerne l'effet de la lumière nos observations ont permis de montrer globalement que pour les espèces étudiées, il existerait 3 groupes :

- *Hibiscus asper*, *Dactyloctenium aegyptium* et *Sesbania pachycarpa*, indifférentes à la lumière ;
- *Eragrostis tremula* et *Mitracarpus villosus* sensibles à la lumière ;
- *Spermacoce chaetocephala*, *Indigofera hirsuta* et *Cassia obtusifolia*, indifférentes ou sensibles à la lumière selon la température.

Au plan agronomique, les résultats obtenus au cours de cette l'étude devraient permettre de mieux comprendre la germination des graines dans les conditions naturelles :

- toutes les espèces ont des graines qui ont une viabilité d'au moins 3 ans ;
- à cause des dormances, les graines qui germent sont plus souvent celles qui sont conservées dans le sol que celles qui sont récemment produites ; toutefois certaines espèces à dormance moins accentuée peuvent germer précocement, c'est-à-dire au cours de la même année ;
- la température n'est pas un facteur limitant ; certaines espèces exigent des températures relativement élevées pour germer, mais l'optimum se situe vers 30°C pour la plupart des espèces ;
- pour pouvoir germer, les graines de certaines espèces doivent être placées à la surface du sol ou très légèrement enfouies et subir l'action favorable de la lumière, d'où l'importance de la préparation du sol dans l'établissement et la dynamique des communautés adventices, objet du chapitre suivant.

CHAPITRE VI : DYNAMIQUE DES COMMUNAUTES ADVENTICES DES CULTURES DE MIL ET D'ARACHIDE.

6.1. Introduction

L'enherbement constitue l'une des contraintes majeures de l'augmentation de la production du mil et de l'arachide dans le Bassin arachidier (ANGE & FONTANEL, 1986 ; BARON, 1991). Son contrôle constitue un coût en travail qui peut bouleverser la planification de la conduite normale des cultures. L'accroissement des emblavements, qui constitue pour les paysans une des alternatives pour compenser la baisse de la production liée aux aléas climatiques et la pauvreté des sols, complique davantage la bonne réalisation des désherbages sur l'ensemble de l'exploitation familiale (FALL *et al.*, 1978 ; FONTANEL, 1987b).

Aussi, pour permettre un positionnement précis des sarclages dans le calendrier cultural, il est de plus en plus nécessaire de comprendre la biologie des adventices dominantes et en particulier leur dynamique saisonnière. Au Sénégal, la littérature scientifique est significative et variée, mais surtout en ce qui concerne la dynamique de la strate herbacée dans les végétations post-culturelles de jachère (MERLIER 1972a, 1972b; FLORET & PONTANIER, 1991; AKPO *et al.*, 1999), ou de repousses après abandon cultural (KOMA, 1998), des végétations de phytocénoses sahéliennes (BILLE, 1973, CORNET, 1981, NDIAYE, 1981, 1986), de végétations forestières (KAHLEM, 1981). Cependant, en dehors de l'importante contribution de MIEGE & TCHOUME (1963), très peu d'études ont porté sur la densité réelle des levées des différentes espèces dans les agrosystèmes, leur installation progressive au cours du cycle cultural et leur évolution à long terme. Or, il est établi, que la connaissance de ces éléments en rapport avec le stock semencier, les pratiques culturales, le comportement germinatif des semences et les conditions d'humidité, constitue un outil essentiel pour prévoir les infestations dans des champs.

L'analyse du stock semencier des sols cultivés a montré que ces sols pouvaient renfermer des quantités importantes de semences encore viables même lorsque le désherbage chimique est pratiqué régulièrement depuis de nombreuses années (ROBERTS & CHANCELLOR, 1986 ; ZANIN *et al.*, 1992, BARRALIS & CHADOEUF, 1987, BARRALIS *et al.*, 1996).

De même, l'établissement à la surface des différentes espèces et groupes d'espèces, à partir des semences viables, ainsi que leur importance relative et leur évolution à long terme est sous l'influence de l'ensemble des techniques culturales (DESSAINT *et al.*, 1990b et c, DESSAINT *et al.*, 2001) (BARRALIS & CHADOEUF, 1980 ; BARRALIS *et al.*, 1986 ; BARRALIS & CHADOEUF, 1987).

Cette influence se manifeste sur la répartition verticale des semences (CHADOEUF-HANNEL, 1985 ; DESSAINT *et al.*, 1990b et c) et le comportement germinatif des graines dans le sol (BOGDAN, 1964, LONCHAMP & GORA, 1980) qui, dans les zones tropicales notamment, dépend en grande partie de la répartition microspatiotemporelle de l'humidité (MIEGE & TCHOUME, 1963 ; BILLE, 1973 ; AFFHOLDER, 1994,) et des besoins hydriques des plantes cultivées et des adventices (VALET, 1978 ; FONTANEL 1990 ; BARON, 1991 ; GROUZIS, 1992).

L'ensemble de ces connaissances devrait permettre de fournir, dans les agrosystèmes tropicaux notamment, un ensemble d'informations qui pourraient préciser les niveaux et dates d'interventions.

Cette étude a été entreprise au cours des années 1996, 1997 et 1998. Elle présente les résultats sur la structure et la dynamique annuelle de la flore adventice de surface pour chaque

campagne correspondant chacune à une situation donnée dans une culture de mil ou d'arachide. Elle se propose :

- d'établir et de comparer la composition spécifique et la densité de levées des différentes espèces en milieu paysan et en station dans des conditions de fertilisation différentes pour identifier les adventices les plus dominantes ;
- de mettre en évidence la chronologie des levées de ces espèces dans les différentes conditions au cours de plusieurs cycles cultureux.

6.2. Résultats

6.2.1. Déroulement des essais

En 1996 et 1997 les essais ont été menés dans une culture de mil en station et en milieu paysan et en 1998 sur une culture d'arachide en station uniquement.

Les opérations culturales ont consisté en un labour profond en station et en un labour superficiel en milieu paysan. Le tableau 18 présente les quantités de pluie reçues au cours des hivernages 1996, 1997 et 1998, et les dates de relevé, le tableau 19, une synthèse de conditions climatiques qui caractérisent chaque année.

Tableau 18: Données pluviométriques annuelles et dates des relevés floristiques

Année d'expérimentation	1996	1997	1998
Pluviométrie en mm	512,4	617,2	582,1
Nbre de jours de pluies	47	59	46
Période d'installation de l'hivernage	1 ^{ère} décade juillet	1 ^{ère} décade de juin	2 ^{ème} décade de juillet
Culture	Mil	Mil	Arachide
Préparation du sol et semis	12/7	28/6	1/8
Levées des semis	26/7	16/7	9/8
1 ^{er} relevé	3/8	26/7	28/8
2 ^{ème} relevé	14/8	9/8	12/9
3 ^{ème} relevé	24/8	18/8	22/9
4 ^{ème} relevé	6/9	30/8	6/10

Les dates sont toujours décalées d'un jour en milieu paysan et aucun travail de sol n'a été effectué après semis en culture de mil, comme en culture d'arachide.

Tableau 19 : Dates de relevées, quantité de pluie et répartition de la pluie entre 2 relevés de dynamique.

Année	1996				1997				1998			
Date de relevé	3/8	14/8	24/8	6/9	26/7	9/8	18/8	30/8	28/8	12/9	22/9	6/10
Quantité de pluie en mm	78,8	16,5	87,8	95,9	33,5	16,5	92	133,5	230	64,2	71,7	41,4
Nbre de jours entre 2 dates de relevés	9	10	11	11	10	12	11	10	27	14	9	13
Nbre de jours de pluies entre 2 dates de relevés	7	4	7	8	4	4	8	9	16	7	6	6
Observations H= humide S= sèche	H1	S2	H3	H4	S1	S2	H3	H4	H1	H2	H3	H4

L'observation de ces séquences de pluie pour les 3 années d'expérimentation donne l'ordre suivant :

- pour l'année 1996 : H1-S2-H3-H4
- pour l'année 1997 : S1-S2-H3-H4
- pour l'année 1998 : H1-H2-H3-H4

Cette caractérisation globale des années montre :

- un début d'hivernage humide pour les années 1996 et 1998, sec pour l'année 1997 ;
- une fin d'hivernage humide pour les 3 années 1996, 1997, 1998 ;
- une phase intermédiaire sèche puis humide pour les années 1996 et 1997 et humide pour l'année 1998.

Cette caractérisation rejoint globalement celle de DIAGNE (2000) qui considère l'année 1997 comme déficitaire par rapport aux années 1996 et 1998, malgré un indice pluviométrique plus élevé.

6.2.2. Résultats des observations de 1996

6.2.2.1. Structure de la flore de surface

Le nombre de levées/m² et l'importance des levées des différentes espèces en station et en milieu paysan sont indiqués dans le tableau 20.

La flore adventice de surface est composée de 31 espèces.

En station, six (6) espèces forment à elles seules au moins 95% des levées. Ces 6 espèces sont *Kyllinga squamulata*, *Mitracarpus villosus*, *Cyperus amabilis*, *Mariscus squarrosus*, *Digitaria ciliaris* et *Dactyloctenium aegyptium*. Sur ces 6 espèces, 70% environ des levées sont constituées par 2 espèces dominantes *Kyllinga squamulata* (49,4 à 49,8 %) et *Mitracarpus villosus* (19,7 à 21,9 %). En valeur absolue, il y a plus de levées dans les

parcelles azotées (N1) (1733) que dans les parcelles non azotées (N0) (1398) mais les espèces se comportent dans les mêmes proportions en N0 qu'en N1.

En milieu paysan, les levées sont plutôt caractérisées par la dominance de trois (3) espèces principalement : *Mitracarpus villosus* (31,6 à 43,4 %), *Eragrostis tremula* (18,8 à 21,6 %) et *Cyperus amabilis* (12 à 18,1 %). Elles forment ensemble entre 63 et 83 % des levées. Viennent ensuite *Kyllinga squamulata* (7,7 à 11,1 %), *Digitaria ciliaris* (4,5 à 8 %), et *Mariscus squarrosus* (4,5 à 6,8 %) et dans une moindre mesure *Cenchrus biflorus* (0,4 à 2,4 %), *Spermacoce chaetocephala* (0,2 à 1,9 %). Le nombre de levées est plus important chez le premier agriculteur (AG1) (1662) que chez le second (AG2) (1002) mais les proportions, pour chaque espèce, chez l'un ou l'autre agriculteur, sont comparables.

Les autres espèces sont présentes mais à des proportions négligeables.

Tableau 20 : Nombre de levées/m² et importance des levées des différentes espèces (en %) en station dans les parcelles non azotées (N0) et azotées (N1) et en milieu paysan (AG1 et AG2) en fin de l'expérimentation en 1996.

Conditions Espèces	Station				Milieu paysan			
	N0		N1		AG1		AG2	
	Nbre Levées	taux (%)	Nbre Levées	taux (%)	Nbre Levées	taux (%)	Nbre Levées	taux (%)
<i>Kyllinga squamulata</i>	703	49,4	863	49,8	128	7,7	112	11,1
<i>Mitracarpus villosus</i>	275	19,3	380	21,9	721	43,4	317	31,6
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	85	6,0	109	6,3	0	0,0	0	0,0
<i>Digitaria ciliaris</i>	77	5,4	44	2,5	133	8,0	46	4,5
<i>Mariscus squarrosus</i>	113	7,9	150	8,7	75	4,5	69	6,8
<i>Cyperus amabilis</i>	104	7,3	139	8,0	200	12,0	182	18,1
<i>Cenchrus biflorus</i>	13	0,9	8	0,4	41	2,4	13	1,3
<i>Eragrostis tremula</i>	1	0,0	1	0,0	313	18,8	217	21,6
<i>Spermacoce chaetocephala</i>	3	0,2	6	0,3	30	1,8	20	1,9
<i>Fimbristylis exilis</i>	8	0,5	5	0,3	4	0,2	4	0,4
<i>Hibiscus asper</i>	6	0,4	9	0,5	0	0,0	1	0,0
<i>Indigofera hirsuta</i>	6	0,4	1	0,1	0	0,0	0	0,0
<i>Pennisetum pedicellatum</i>	8	0,5	3	0,1	10	0,6	20	2,0
Autres espèces	21	1,8	15	1,1	7	0,6	1	0,7
TOTAL/m²	1423	100	1733	100	1662	100	1002	100

En résumé, il apparaît que :

- la flore adventice est composée de 31 espèces dont 9 importantes qui sont *Kyllinga squamulata*, *Mitracarpus villosus*, *Cyperus amabilis*, *Mariscus squarrosus*, *Digitaria ciliaris*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Eragrostis tremula*, *Cenchrus biflorus*, *Spermacoce chaetocephala*, et 4 secondaires représentées par *Fimbristylis exilis*, *Hibiscus asper*, *Pennisetum pedicellatum* et *Indigofera hirsuta*;
- en station, l'infestation est caractérisée par une dominance bispécifique constituée par *Kyllinga squamulata* et *Mitracarpus villosus* qui représentent à elles seules 70 % environ des levées
- en milieu paysan, la dominance est trispécifique et constituée de *Mitracarpus villosus*, *Eragrostis tremula* et *Cyperus amabilis* ;

Ainsi, il existe une grande hétérogénéité du nombre de levées aussi bien en station qu'en milieu paysan. Toutefois la structure de la flore de surface apparaît plus homogène en station où elle est formée principalement de 2 espèces. En station, la fertilisation azotée a probablement un effet positif sur le nombre de levées mais ne présente pas d'effet sur la structure générale de la flore de surface.

6.2.2.2. Chronologie des levées

6.2.2.2.1. Chronologie en fonction des conditions

Le tableau 21 présente les résultats de la chronologie des levées totales, obtenus en station et en milieu paysan et le tableau 22 la distribution statistique du nombre total de levées par date et par condition.

Tableau 21 : Chronologie du nombre total de levées et par m² (NL) en station (N0 et N1) et en milieu paysan (AG1 et AG2) en fonction des dates de relevé

	3-août	%	14-août	%	24-août	%	6-sept	%	Total/m ²	%
N0	769	54,0	409	28,8	122	8,6	123	8,6	1423	100%
N1	1186	68,4	284	16,4	114	6,6	149	8,6	1733	100%
AG1	896	53,9	466	28,0	101	6,0	201	12,1	1662	100%
AG2	549	54,7	287	28,6	49	4,9	118	11,8	1002	100%

Tableau 22 : Distribution statistique du nombre total de levées (NL) en fonction de la date de levée et des conditions

Date	Conditions	Mi	0,25	Méd.	0,75	Max.	NL
		n					
3-août	N0	390	290	763	869	1159	769
	N1	875	483	968	1449	1932	1186
	AG1	877	229	896	686	914	896
	AG2	456	160	549	481	641	549
14-août	N0	226	128	450	384	512	409
	N1	233	136	257	408	544	284
	AG1	425	127	466	380	506	466
	AG2	249	81	287	243	324	287
24-août	N0	89	42	117	125	167	122
	N1	38	55	99	164	219	114
	AG1	89	28	101	84	112	101
	AG2	42	14	49	42	56	49
6-sept	N0	91	41	119	122	163	123
	N1	101	56	135	169	225	149
	AG1	174	57	201	170	227	201
	AG2	100	34	118	102	136	118

De manière générale, il y'a plus de levées en début de cycle qu'en fin de cycle (Tab.21). L'ampleur de ces levées diminue progressivement avec le déroulement de la saison. On constate que les plus fortes levées ont lieu à la première date, c'est-à-dire 10 jours après la levée des semis. Ces levées diminuent très rapidement entre le 10^{ème} et le 20^{ème} jour et de manière constante à partir du 20^{ème} jour, sauf en milieu paysan, où une légère augmentation s'observe en fin de cycle.

L'importance des levées en N1 (1733) par rapport à N0 (1423) est due principalement aux levées de début de cycle. En milieu paysan, les taux de levées en AG1 (1662) par rapport à AG2 (1002) sont similaires.

De même, l'examen du tableau 22 sur la chronologie des levées montre des écarts très importants entre les minima et les maxima par rapport à la médiane aussi bien en station qu'en milieu paysan

Il existe donc :

- une explosion de levées toutes conditions confondues avec l'installation des cultures, c'est-à-dire dans les 10 jours qui suivent les levées du mil;
- ces levées diminuent progressivement avec le déroulement de la saison, avec une légère remontée en milieu paysan en fin de cycle ;
- en station comme en milieu paysan les levées sont plus importantes en début de cycle ;
- en station, ces levées sont d'autant plus élevées que les parcelles sont fertilisées (N1) ;
- en milieu paysan, l'infestation apparaît identique d'un champ à un autre.

Pour mieux rendre compte de la dynamique de cette flore adventice de surface, il nous a paru nécessaire de suivre la chronologie des levées de chacune des principales espèces adventices.

6.2.2.2 Chronologie en fonction des espèces

Le tableau 23 présente le nombre de levées (NL) obtenu pour l'ensemble des espèces. Nous avons retenu, pour cette étude, les espèces les plus dominantes dans les parcelles. Il s'agit de : *Kyllinga squamulata*, *Mitracarpus villosus*, *Cyperus amabilis*, *Mariscus squarrosus*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Digitaria ciliaris*, *Eragrostis tremula*, *Cenchrus biflorus*, *Fimbristylis exilis*, *Spermacoce chaetocephala*, *Hibiscus asper*, *Pennisetum pedicellatum* et *Indigofera hirsuta*.

L'analyse de la chronologie des levées s'est faite en comparant le nombre et la tendance générale des levées, au cours du cycle cultural, en station dans les conditions de fertilisation différentes et en milieu paysan chez 2 agriculteurs différents. Pour les 9 espèces principales on arrive aux regroupements d'espèces ci-après:

- les espèces qui lèvent très précocement et qui n'apparaissent plus au deuxième relevé :
 - *C. biflorus* ;
- les espèces qui lèvent précocement et qui n'apparaissent quasiment plus au troisième relevé :
 - *D. aegyptium*,
 - *D. ciliaris*,
 - *S. chaetocephala*,
 - *E. tremula* ;

- les espèces qui lèvent précocement en diminuant progressivement en nombre mais en se maintenant bien jusqu'au dernier relevé :
 - *M. squarrosus*,
 - *C. amabilis* ;
- les espèces qui lèvent précocement en diminuant rapidement en nombre mais en présentant une légère remontée en fin de cycle :
 - *K. squamulata*,
 - *M. villosus*.

Tableau 23 : Chronologie des levées (NL) des espèces principales et secondaires en fonction des dates de relevé et des conditions en 1996.

Espèces et dates de relevé	Station N0					N1					Milieu paysan									
											AG1					AG2				
	03/8	14/8	24/8	6/9	T/m	03/8	14/8	24/8	6/9	T/m	03/8	14/8	24/8	6/9	T/m	03/8	14/8	24/8	6/9	T/m
<i>Kyllinga squamulata</i>	343	222	64	74	703	606	123	55	79	863	55	42	8	22	128	61	27	6	17	112
<i>Mitracarpus villosus</i>	148	81	27	19	275	228	79	37	37	380	428	131	38	124	721	190	69	17	41	317
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	70	15	1	0	85	95	14	0	0	109	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Digitaria ciliaris</i>	60	9	6	2	77	34	5	2	3	44	93	3	30	8	133	25	3	12	6	46
<i>Mariscus squarrosus</i>	53	37	11	12	113	101	27	9	13	150	34	26	5	10	75	38	17	4	10	69
<i>Cyperus amabilis</i>	49	34	10	11	104	93	25	8	12	139	90	69	14	28	200	100	45	10	27	182
<i>Cenchrus biflorus</i>	13	0	0	0	13	8	0	0	0	8	40	1	0	0	41	13	0	0	0	13
<i>Spermacoce chaetocephala</i>	2	0	0	1	3	3	2	0	1	6	22	3	5	0	30	10	2	0	8	20
<i>Eragrostis tremula</i>	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	126	181	1	6	313	91	117	0	9	217
<i>Fimbristylis exilis</i>	6	1	0	0	8	0	4	0	2	5	3	1	0	0	4	4	0	0	0	4
<i>Hibiscus asper</i>	6	0	0	0	6	8	1	0	0	9	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>Indigofera hirsuta</i>	4	1	2	0	6	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pennisetum pedicellatum</i>	0	8	0	0	8	0	2	0	0	3	0	8	0	2	10	17	3	1	0	20
Autres espèces	15	0	1	4	21	9	2	3	2	15	5	1	0	1	7	0	4	0	0	1
TOTAL/m²	769	409	122	123	1423	1186	284	114	149	1733	896	466	101	201	1662	549	287	49	118	1002

6.2.3. Résultats des observations de 1997

6.2.3.1. Structure de la flore de surface

Au total 28 espèces ont été inventoriées dans les 4 conditions de station et de milieu paysan (Tab. 24).

Tableau 24 : Levées (en valeur absolue) et taux de levées (%) des différentes espèces en station dans les parcelles non azotées (N0) et azotées (N1) et en milieu paysan (AG1 et AG2) en fin de l'expérimentation en 1997.

Conditions Espèces	Station				Milieu paysan			
	N0		N1		AG1		AG2	
	Nbre Levées	Taux (%)	Nbre Levées	Taux (%)	Nbre Levées	Taux (%)	Nbre Levées	Taux (%)
<i>Mitracarpus villosus</i>	319	54,8	256	36,8	55	16,4	1214	62,6
<i>Kyllinga squamulata</i>	121	20,8	162	23,3	79	23,6	177	9,1
<i>Cyperus amabilis</i>	18	3,1	26	3,7	128	38,2	290	15,0
<i>Digitaria ciliaris</i>	31	5,3	78	11,2	7	2,1	41	2,1
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	31	5,3	100	14,4	0	0,0	0	0,0
<i>Mariscus squarrosus</i>	20	3,4	27	3,9	48	14,3	109	5,6
<i>Eragrostis tremula</i>	12	2,1	13	1,9	3	0,9	25	1,3
<i>Fimbristylis exilis</i>	8	1,4	6	0,9	6	1,8	36	1,9
<i>Hibiscus asper</i>	12	2,1	14	2,0	1	0,3	1	0,1
<i>Cenchrus biflorus</i>	1	0,2	1	0,1	0	0,0	22	1,1
<i>Penisetum pedicellatum</i>	2	0,3	0	0,0	0	0,0	14	0,7
Autre espèces	7	1,2	12	1,8	8	2,4	9	0,5
TOTAL/m²	582	100	695	100	335	100	1938	100

En station, 8 espèces forment 95 % environ des levées. Il s'agit de : *Mitracarpus villosus*, *Kyllinga squamulata*, *Cyperus amabilis*, *Mariscus squarrosus*, *Digitaria ciliaris*, *Dactyloctenium aegyptium* et *Eragrostis tremula* et *Hibiscus asper*. En valeur absolue, le nombre de levées est plus élevé dans les parcelles fertilisées en azote (N1) (695) comparé aux parcelles non fertilisées (N0)(582). Pour la plupart des espèces, les proportions de levées sont comparables entre les parcelles azotées (N1) et non azotées (N0), à l'exception de *Mitracarpus villosus* dont le taux de levée est plus important dans les parcelles non fertilisées (N0), et de *Digitaria ciliaris* et *Dactyloctenium aegyptium*, dont les proportions sont plus élevées dans les parcelles fertilisées en azote (N1).

En milieu paysan, le groupe d'espèces composée par *Mitracarpus villosus*, *Cyperus amabilis* et *Kyllinga squamulata* forment ensemble 75% environ des levées. En valeur absolue, les levées sont beaucoup plus importantes chez AG2 (1938) que chez AG1 (335).

Aussi, il ressort de ces résultats que :

- la flore adventice apparue en 1997 est constituée de 28 espèces dont 6 importantes et 5 secondaires ;
- en station, les adventices les plus dominantes sont constituées par *Mitracarpus villosus* et *Kyllinga squamulata* qui représentent 60,1 à 75,6% des levées ;
- en milieu paysan la flore adventice est dominée principalement par *Mitracarpus villosus* et *Cyperus amabilis*, auxquelles on peut ajouter *Kyllinga squamulata* et *Mariscus squarrosus* ; le nombre de levées est beaucoup plus élevé chez AG2 (1938) que chez AG1(334).

6.2.3.2. Chronologie des levées

6.2.3.2.1. Chronologie en fonction des conditions

L'analyse du tableau 25 ci-dessous montre que pour les 4 conditions étudiées, les levées sont plus importantes en fin de cycle qu'en début de cycle mais leur chronologie est très variable selon les conditions.

Tableau 25 : Chronologie du nombre total de levées et par m² (NL) en station (N0 et N1) et en milieu paysan (AG1 et AG2) en fonction des dates de relevé en 1997

	26-juillet	%	09-août	%	18-août	%	30-août	%	Total/m ²	%
N0	24	4,1	214	36,8	21	3,6	323	55,5	582	100%
N1	182	26,2	148	21,3	59	8,5	306	44,0	695	100%
AG1	22	6,6	51	15,2	14	4,2	248	74,0	335	100%
AG2	510	26,3	0	0	117	6,0	1311	67,7	1938	100%

Tableau 26 : Distribution statistique du nombre total de levées (NL) en fonction de la date de levées et des conditions

Date	Condition	Mi	0,25	Méd.	0,75	Max.	NL
26-juil	N0	13	8	25	24	32	24
	N1	97	56	203	169	225	182
	AG1	16	7	22	21	28	22
	AG2	356	166	510	497	663	510
09-août	N0	144	72	210	217	289	214
	N1	95	54	140	161	215	148
	AG1	45	14	51	42	56	51
	AG2	0	0	0	0	0	0
18-août	N0	18	6	21	17	23	21
	N1	16	43	25	128	171	59
	AG1	12	4	14	12	16	14
	AG2	115	30	117	89	119	117
30-août	N0	132	136	311	407	542	323
	N1	166	134	262	401	534	306
	AG1	238	64	248	193	257	248
	AG2	624	500	1311	1499	1998	1311

En station, en N1 comme en N0, il y a 2 pics qui correspondent aux plus fortes levées. En N1, le premier est situé en début de cycle, le second en fin de cycle. En N0, le premier pic est situé au 20^{ème} jour environ, le second en fin de cycle. En fin de cycle, le nombre de levées est de 16% plus important en N1 qu'en N0.

En milieu paysan, on remarque également qu'il existe 2 pics qui sont situés le premier au 10^{ème} jour chez AG2 et au 20^{ème} jour chez AG1, le second à la fin du cycle chez AG1 et AG2. Les proportions des levées par rapport au nombre total de levées, sont comparables entre AG1 et AG2. Mais en valeur absolue, le nombre de levées est beaucoup plus important en AG2 (1938) qu'en AG1 (335).

De manière générale, on constate que les écarts entre les minima et les maxima par rapport à la médiane (Tab. 26) sont très élevés.

Ces résultats permettent de retenir que :

- les levées sont plus importantes en fin de cycle pour toutes les conditions ;
- en station comme en milieu paysan, il y a une variabilité de l'infestation qui se manifeste notamment en début de cycle.
- cette variabilité des levées se traduit par une hétérogénéité dans l'importance de l'établissement et la chronologie des levées notamment dans les 20 premiers jours après l'installation des cultures et en fin de cycle ;

La chronologie des levées espèce par espèce permet de rendre compte qualitativement de ces variations constatées en début de cycle notamment, sur la dynamique des levées.

6.2.3.2.2. Chronologie en fonction des espèces

Parmi les 28 espèces recensées, seules 11 dont la densité représente environ 90 à 95% des levées ont été utilisées pour cette analyse (Tab. 27). Il s'agit de : *Mitracarpus villosus*, *Kyllinga squamulata*, *Cyperus amabilis*, *Mariscus squarrosus*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Digitaria ciliaris*, *Eragrostis tremula*, *Frimbristylis exilis*, *Hibiscus asper*, *Cenchrus biflorus* et *Pennisetum pedicellatum*.

L'analyse des résultats permet de faire les regroupements d'espèces suivants en fonction des tendances observées sur la chronologie des levées :

- les espèces à levée plutôt précoce :
 - *D. aegyptium*,
 - *H. asper* ;
- des espèces présentant 2 pics de germination, un précoce et un tardif :
 - *K. squamulata*,
 - *M. villosus* ;
- Des espèces à levée plutôt tardive :
 - *C. amabilis*,
 - *M. squarrosus*,
 - *F. exilis*,
 - *C. biflorus*,
 - *P. pedicellatum* ;
- Des espèces de comportement de levée très irrégulier selon les situations :
 - *D. ciliaris*,
 - *E. tremula*.

Tableau 27 : Chronologie des levées (NL) des espèces principales et secondaires en fonction des dates de relevé et des conditions en 1997.

Espèces/Date de relevé	N0					N1					AG1					AG2				
	26/7	09/8	18/8	30/8	T/m ₂	26/7	09/8	18/8	30/8	T/m ₂	26/7	09/8	18/8	30/8	T/m ₂	26/7	09/8	18/8	30/8	T/m ₂
<i>Mitracarpus villosus</i>	5	111	5	198	319	14	42	22	178	256	13	21	2	19	55	498	0	84	632	1214
<i>Kyllinga squamulata</i>	1	34	6	80	121	38	30	10	84	162	1	6	4	68	79	0	0	1	176	177
<i>Cyperus amabilis</i>	0	5	1	12	18	6	5	2	13	26	1	10	6	111	128	1	0	2	287	290
<i>Digitaria ciliaris</i>	3	11	3	14	31	30	20	19	9	78	1	3	0	3	7	2	0	8	31	41
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	3	25	0	3	31	67	28	1	4	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mariscus squarrosus</i>	0	6	1	13	20	6	5	2	14	27	0	4	2	42	48	0	0	1	108	109
<i>Eragrostis tremula</i>	0	12	0	0	12	0	11	1	1	13	2	1	0	0	3	2	0	4	19	25
<i>Fimbristylis exilis</i>	0	4	1	3	8	2	2	0	2	6	0	2	0	4	6	2	0	4	30	36
<i>Hibiscus asper</i>	6	2	3	1	12	10	1	2	1	14	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1
<i>Cenchrus biflorus</i>	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	4	0	7	11	22
<i>Penisetum pedicellatum</i>	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	11	14
Autres espèces	6	1	1	0	7	9	3	0	0	12	3	4	0	1	8	0	0	3	6	9
TOTAL/m²	24	214	21	323	582	182	148	59	306	695	22	51	14	248	335	510	0	117	1311	1938

6.2.4. Résultats des observations de 1998

6.2.4.1. Structure de la flore de surface

Au cours l'année 1998, 20 espèces (Tab. 28) ont été dénombrées en station dont les 8 principales représentent plus de 98% environ des levées. Il n'y a pas de différence majeure entre les levées en P0 (536) et P1 (498).

Tableau 28 : Nombre de levées (en valeur absolue) et taux de levées/m² des différentes espèces en station dans les parcelles non phosphatées (P0) et phosphatées (P1) en fin de l'expérimentation en 1998.

	P0		P1	
	Nbre Levées	Taux (%)	Nbre Levées	Taux (%)
<i>Kyllinga squamulata</i>	161	30,0	159	32,0
<i>Mitracarpus villosus</i>	98	18,3	68	13,7
<i>Cassia obtusifolia</i>	65	12,1	99	19,9
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	61	11,4	67	13,5
<i>Fimbristylis exilis</i>	75	13,9	27	5,3
<i>Mariscus squarrosus</i>	27	5,0	27	5,3
<i>Cyperus amabilis</i>	25	4,6	25	4,9
<i>Digitaria ciliaris</i>	16	2,9	17	3,3
Autres espèces	8	1,8	9	2,1
TOTAL/m ²	536	100	498	100

On peut donc relever que :

- la flore adventice en station est principalement composée de 20 espèces dont les plus importantes sont au nombre de 8 : *Kyllinga squamulata*, *Mitracarpus villosus*, *Cassia obtusifolia*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Fimbristylis exilis*, *Mariscus squarrosus*, *Cyperus amabilis* et *Digitaria ciliaris*.
- parmi ces 8 espèces, *Kyllinga squamulata* est l'espèce la plus dominante suivie de *Mitracarpus villosus*, *Cassia obtusifolia*, *Dactyloctenium aegyptium* et *Fimbristylis exilis*;
- *Cassia obtusifolia* est présent à une proportion relativement élevée en particulier en P1;
- certaines espèces comme *Eragrostis tremula* sont quasiment absentes;
- la fertilisation phosphatée ne semble pas avoir d'effet sur la structure de la flore.

6.2.4.2. Chronologie des levées

6.2.4.2.1. Chronologie en fonction des conditions

La chronologie du nombre total de levées dans les différentes conditions ainsi que leur distribution statistique sont indiquées dans les tableaux 29 et 30.

Le nombre des levées est plus élevé en début de cycle puis diminue ensuite progressivement jusqu'à la fin du cycle. Les plus importantes levées ont lieu entre la première et la 2^{ème} dates de relevé. La chronologie des levées est comparable entre P0 et P1.

Tableau 29 : Chronologie du nombre total de levées et par m² (NL) en station dans les parcelles non phosphatées (P0) et phosphatées (P1) en fonction des dates de relevé

	Station								Total	%
	28-août	%	12-sept	%	24-août	%	06-oct	%		
P0	381	71,1	92	17,2	41	7,5	23	4,2	536	100
P1	306	61,4	113	22,6	50	10,0	30	6,0	498	100

Il existe donc une explosion des levées en début de cycle principalement entre le 10^{ème} et le 20^{ème} jour. Elles diminuent ensuite pour s'atténuer en fin de cycle.

Cette chronologie d'ensemble est le résultat de la chronologie de chacune des espèces en particulier les plus importantes.

Les écarts entre les minima et maxima par rapport à la médiane (Tab. 30) ne sont relativement importants qu'en début de cycle où le nombre de levées est élevé.

Tableau 30 : Distribution statistique du nombre total de levées (NL) en fonction de la date de levées et des conditions

Date	Conditions	Min	0,25	Méd.	0,75	Max.	NL
28-août	P0	322	110	381	329	439	381
	P1	134	119	306	358	477	306
12-sept	P0	91	23	92	69	92	92
	P1	107	30	113	89	119	113
24-août	P0	34	12	41	36	48	41
	P1	41	15	50	44	59	50
06-oct	P0	20	7	23	20	26	23
	P1	29	8	30	23	30	30

6.2.4.2.2. Chronologie en fonction des espèces

L'analyse de la chronologie en fonction des espèces (Tab. 31) a porté sur les 8 espèces les plus dominantes que sont : *Kyllinga squamulata*, *Mitracarpus villosus*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Cassia obtusifolia*, *Fimbristylis exilis*, *Mariscus Squarrosus*, *Cyperus amabilis* et *Digitaria ciliaris*.

Tableau 31 : Chronologie des levées (NL) des principales espèce en fonction des dates de relevé et des conditions en 1998

Espèces/Date de relevé	P0					P1				
	28/8	12/9	24/9	06/10	T/m ²	28/8	12/9	24/9	06/10	T/m ²
<i>Kyllinga squamulata</i>	117	29	12	3	161	106	39	11	3	159
<i>Mitracarpus villosus</i>	59	24	7	9	98	29	24	10	6	68
<i>Cassia obtusifolia</i>	30	14	15	7	65	41	25	20	15	99
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	55	6	1	0	61	57	9	1	1	67
<i>Fimbristylis exilis</i>	62	8	2	3	75	22	2	2	2	27
<i>Mariscus squarrosus</i>	19	5	2	1	27	18	6	2	1	27
<i>Cyperus amabilis</i>	18	4	2	1	25	16	6	2	1	25
<i>Digitaria ciliaris</i>	15	1	0	0	16	13	2	2	0	17
Autres espèces	6	1	0	0	8	4	0	0	1	9
TOTAL/m²	381	92	41	23	536	306	113	50	30	498

L'analyse de la chronologie des levées permet de faire les regroupements d'espèces suivants :

- les espèces qui lèvent précocement et qui n'apparaissent quasiment plus au troisième relevé :
 - *D. aegyptium*,
 - *F. exilis*,
 - *M. squarrosus*,
 - *C. amabilis*,
 - *D. ciliaris* ;
- les espèces qui lèvent précocement en diminuant progressivement en nombre mais en se maintenant bien jusqu'au dernier relevé :
 - *Cassia obtusifolia* ;
- les espèces qui lèvent précocement en diminuant rapidement en nombre jusqu'en fin de cycle :
 - *K. squamulata*,
 - *M. villosus*.

6.3. Discussions

6.3.1. Effet de la dynamique sur la structure spécifique

Il ressort de l'analyse comparée de la flore adventice de surface apparue pendant 3 années successives d'observation que, malgré une légère variabilité, cette flore adventice est globalement stable d'une année à une autre et est constituée de 20 à 31 espèces. Ces résultats sont proches de ceux obtenus par MIEGE & TCHOUME (1963) dans des conditions expérimentales comparables en ce qui concerne la richesse spécifique mais en diffère par la présence ou l'absence de certaines espèces liée sans doute aux facteurs climatiques.

Toutefois cette structure montre quelques différences lorsqu'on compare celle observée en station et celle en milieu paysan.

Au plan de la diversité spécifique, la flore adventice est plus diversifiée en station qu'en milieu paysan probablement à cause du précédent jachère qui a dû favoriser l'apparition progressive des espèces sensibles aux techniques culturales en particulier aux sarclages répétés des cultures d'arachide qui constituent le précédent dans les rotations mil/arachide dans le Sud du Bassin arachidier.

C'est cette diversité spécifique élevée, observée dans les jachères ou les végétations post-culturelles (MERLIER, 1972a, 1972b ; KOMA, 1998), qui se répercute l'année suivante dans les champs de cultures. Ces observations sont comparables à celles de DESSAINT *et al.* (1990b) sur l'installation d'espèces "opportunistes" dans les parcelles non désherbées par rapport aux parcelles désherbées.

Il est cependant bon de noter que, dans leur évolution vers des situations de végétations secondaires et climacique, la diversité spécifique de ces végétations post-culturelles augmente d'abord rapidement pendant les premiers stades, puis tend généralement à baisser en raison de la diminution progressive des adventices de cultures et de leur remplacement par d'autres espèces herbacées et ligneuses (BELL, 1970, GUEVARA & GOMEZ-POMPA, 1972, in KELMAN, 1973 ; ADEDEJI, 1984 ; KOMA, 1998).

C'est surtout au plan quantitatif qu'on observe les modifications plus importantes. La dominance de la communauté adventice est réalisée par quelques espèces seulement, *K.*

squamulata et *M. villosus* en station, *Eragrostis tremula*, *Cyperus amabilis* et *M. villosus* en milieu paysan. Il est possible alors que, en rapport avec leur biologie particulière, les graines de ces espèces, qui sont de petite taille, soient produites en plus grande quantité au cours des saisons précédentes et qu'elles s'imbibent plus facilement pour germer que les autres espèces formant la communauté adventice. Cette observation a également été faite par LOWE *et al.* (1998) chez *K. squamulata*. Cette dominance par un nombre réduit d'espèces est fréquente dans les agrosystèmes (DESSAINT, 1990b ; DESSAINT, 2001) comme dans les écosystèmes forestiers (ENRIGHT, 1985) et s'expliquerait par l'importance de leur part dans le stock semencier dans le sol (DESSAINT, 1990a).

En ce qui concerne les différences observées entre la station et le milieu paysan, elles peuvent être attribuées à la qualité du travail du sol, à l'importance relative des graines produites ainsi qu'à leurs exigences germinatives.

Le labour profond agit sur la répartition verticale des graines. Il est probable que, par une concentration en profondeur de la plupart des graines issues de la jachère, ce soit les graines des espèces à haut potentiel semencier qui soient mises en surface ou très légèrement enfouies dans le sol. Ce labour profond, en homogénéisant ensuite la couche arable, crée les conditions d'une meilleure porosité du sol qui seraient plus favorables à la germination en station, des graines des espèces comme *Kyllinga squamulata* qui nécessitent un potentiel hydrique élevé (LOWE *et al.*, 1999 ; HSU & CHIANG, 2000) et les espèces plus ou moins sensibles à la lumière comme *M. villosus*. Au contraire, en milieu paysan, le labour superficiel, en répartissant les graines à la surface ou dans les premiers centimètres du sol, permet la mise en place des espèces dont les graines sont produites en grande quantité et qui sont sensibles à la lumière, ou des espèces dont les graines lèveraient difficilement lorsqu'elles sont profondément enfouies dans le sol à cause de leur petite taille. C'est le cas probablement des espèces comme *Eragrostis tremula*, *Cyperus amabilis* et *M. villosus* en milieu paysan. Ce serait alors des espèces dont les graines ont une grande capacité à germer dans des conditions de faible humidité de sol. Ces hypothèses sont corroborées par l'effet positif de la lumière sur la germination de *Eragrostis tremula* et *Mitracarpus villosus*. Mais il est également possible, comme le signale FONTANEL (1987b), que la prédominance de ces 2 dernières espèces en milieu paysan soit due à la pauvreté des sols caractéristiques du Bassin arachidier.

Ces observations sont en accord avec celles de DESSAINT *et al.*, (1990a) sur l'importance du travail du sol sur la répartition verticale des graines et celles de BOGDAN (1964), LONCHAMP & GORA (1980) et SARR (1999) sur l'effet négatif de la profondeur d'enfouissement sur la germination des graines des adventices.

Les résultats sur la structure de la flore révèlent qu'en définitive, l'enherbement peut être ramené à 15 espèces principales que sont : *Kyllinga squamulata*, *Mitracarpus villosus*, *Cyperus amabilis*, *Mariscus squarrosus*, *Digitaria ciliaris*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Eragrostis tremula*, *Cenchrus biflorus*, *Spermacoce chaetocephala*, *Cassia obtusifolia*, *Fimbristylis exilis*, *Hibiscus asper*, *Indigofera hirsuta*, *Pennisetum pedicellatum* et *Spermacoce stachydea*. Ces espèces peuvent être considérées comme les plus fréquentes et les plus nuisibles dans nos sites. Elles sont toutes annuelles et issues du stock semencier. Leur présence et leur dominance sont variables en fonction de la valeur spécifique de leur graine dans le stock semencier du sol et des conditions environnementales favorables à la germination des graines et la levée de leurs plantules.

6.3.2. Effet de la dynamique sur le nombre de levées en fonction des conditions

En ce qui concerne le nombre de levées, nos résultats montrent qu'il existe une grande variabilité des levées d'une année à une autre dans les différentes conditions de station et de milieu paysan.

En station, en 1996 comme en 1997, les levées sont de 18% plus élevées dans les parcelles fertilisées en azote que dans les parcelles non fertilisées. Ce résultat indique que l'ion nitrate aurait une influence favorable sur la germination des graines en conditions naturelles. Plusieurs auteurs ont montré l'effet positif de la fertilisation azotée et de l'ion nitrate sur la levée des adventices en champs (KARSSSEN, 1980/81 cité par CHADOEUF-HANNEL, 1985 ; SHIM *et al.*, 1998 ; CARMONA & MURDOCK, 1998) ou sur la production future de graines (WIGG *et al.*, 1973 ; DWIVEDI *et al.*, 1991 ; JORNSGARD *et al.*, 1996 ; RAMAMURTHY *et al.*, 1998) et à terme sur la communauté adventice. On pense que les mécanismes qui sont les plus impliqués, sont liés à l'accumulation des composés cyanogéniques dans les cellules des graines, composés connus pour leur rôle dans la cinétique des divisions cellulaires (YOSHIYAMA *et al.*, 1996). Mais il semble que la germination des graines en conditions contrôlées en présence de nitrates est variable selon les espèces (KASERA & SEN ; 1992, KHANDELWAL & SEN, 1994 ; AKANDA *et al.*, 1996). Il est possible que ce phénomène soit en plus sous le contrôle de plusieurs facteurs dont le pH et la température du sol (CARMONA & MURDOCK, 1998), la nature chimique et la dose d'azote (SHIM *et al.*, 1998), la lumière (HILTON, 1984) et le potentiel hydrique (BERES & SARDI., 2000).

Comparée à la fertilisation azotée, la fertilisation phosphatée ne semble pas avoir un effet sur les levées de surface dans nos conditions expérimentales, probablement à cause de la faible biodisponibilité du phosphore dans le sol (COMPAORE *et al.*, 2001).

Cependant nos résultats indiquent que, dans des conditions expérimentales comparables, il y a plus de levées au total en 1996, année jugée plus humide, qu'en 1997. La plupart des inhibitions à la germination sont probablement supprimées lorsque le sol est suffisamment humide et les graines bien imbibées, contrairement aux conditions de stress hydrique. L'importance des levées, dans les conditions où l'eau ne constitue pas un facteur limitant, est en accord avec les observations faites sur quelques adventices tropicales étudiées en conditions contrôlées par BOGDAN (1964) et en conditions naturelles par ROBERTS (1984) et PROHMCHUM (1993).

L'importance relative de *Cassia obtusifolia*, qui apparaît de manière notable en 1998 comparé aux années précédentes, c'est-à-dire une année sur trois dans nos conditions expérimentales, semble liée principalement à des conditions cycliques imputables à cette espèce plus qu'aux conditions climatiques. Ce temps est probablement le temps nécessaire à la destruction des téguments et à la levée des diverses inhibitions à la germination des graines qui demeurent encore viables, comme semblent le refléter les résultats de la germination des graines et l'écologie de cette espèce (CREEL *et al.*, 1968 ; OLIVIER & BARARPOUR, 1996, BASKIN *et al.*, 1998). L'importance des levées en P1 par rapport au P0 laisse penser à un effet positif de la fertilisation phosphatée sur les levées de cette espèce qui est une légumineuse, contrairement aux autres espèces.

En milieu paysan, les différences constatées dans le nombre de levées entre 2 champs différents d'un même village, sont probablement à mettre sur le compte de la situation topographique des champs. Les champs qui sont situés en bas de pente comme AG1 en 1996 et AG2 en 1997 ont un stock semencier probablement plus élevé et offrent des conditions de germinations plus favorables liées à une plus grande humidité du sol que les champs situés sur les plateaux (AG2 en 1996 et AG1 en 1997). Cette hétérogénéité spatiale est très fréquente en

zone tropicale. Elle a déjà été constatée par plusieurs auteurs dont BILLE (1973), CORNET (1981); KAHLEM (1981), NDIAYE (1981, 1986), FLORET & PONTANIER (1991) dans les écosystème en zone tropicale sèche comme à Fété-Olé au Sénégal.

Cette hétérogénéité des levées est plus atténuée en station en raison du labour de début de cycle réalisé mécaniquement à l'aide du tracteur qui homogénéise la surface du sol. Les différences observées entre les parcelles azotées et non azotées sont à mettre sur le compte de l'effet de l'azote sur les levées.

Par ailleurs, des écarts importants ont été constatés dans le nombre de levées entre parcelles de même condition, aussi bien en station qu'en milieu paysan, écarts que l'analyse statistique n'a pas permis de prendre en compte. L'importance de ces écarts suggérerait l'existence d'une microhétérogénéité qui est perceptible en champs et qui serait due à des différences dans la microtopographie des parcelles. Il semble, en effet, qu'il est fréquent de constater des différences de microtopographie dans les agrosystèmes (MIEGE & TCHOUME, 1963) ou végétations post-culturelles (AKPO *et al.*, 1999) à cause de l'effet du ruissellement et du vent sur la répartition horizontale des graines en surface et de leurs conditions de germination.

Ainsi, dans ces zones, l'infestation est généralement caractérisée par son hétérogénéité spatiale. Pour MIEGE & TCHOUME (1963) l'action du ruissellement se traduit par un effet d'entraînement des semences par les grosses pluies et leur accumulation dans les zones les plus basses. La texture du sol, plus fine en bas de pente, permet un dessèchement moins rapide et une meilleure imbibition des graines qui sont maintenues par de fines particules de terre auxquelles elles sont mêlées. Le vent jouerait un rôle complémentaire de même ordre, en balayant les parties supérieures plus sèches et plus exposées aux alizés et en concentrant les semences dans les parties inférieures plus humides.

L'ensemble de ces observations complète celles de BRAUN BLANQUET (1957), GUILLERM (1990), FONTANEL (1987a, 1987b, 1988b) et GROUZIS (1992) sur l'importance des facteurs culturels, des facteurs spécifiques intrinsèques, de la topographie et de la microtopographie dans la sélection et l'établissement des espèces les plus fréquentes et probablement les plus nuisibles. En effet, après une première différenciation exercée par la latitude, ce sont principalement ces facteurs qui ont probablement dû influencer sur la nature des espèces et la densité des levées ainsi que sur la chronologie des levées en station et en milieu paysan.

Mais l'observation comparée des levées en 1996, 1997 et 1998 révèle également l'existence d'une variabilité temporelle dans la mise en place progressive des levées. Cette hétérogénéité chronologique se traduit selon les années par une différence dans la densité progressive des levées qui relève de la chronologie des levées en fonction des conditions.

6.3.3. Chronologie des levées en fonction des conditions

En année humide, comme en 1996 et 1998, les plus fortes levées ont lieu globalement en début de cycle et les plus faibles en fin de cycle quelles que soient les conditions expérimentales, en particulier dans les parcelles fertilisées en azote.

A l'inverse, en année sèche comme en 1997, les plus fortes levées ont lieu en fin de cycle, les plus faibles en début de cycle.

La date d'installation de la culture semble jouer un rôle important dans la mise en place de la flore de surface. Lorsque l'installation de la culture coïncide avec une période humide (H1), comme c'est le cas en 1996 et en 1998, la plupart des espèces qui sont des annuelles peuvent germer après les semis quel que soit le type de préparation du sol et le

précédent cultural. Le maintien d'une humidité suffisante en début de cycle, même s'il est suivi d'une période de sécheresse (S2) comme en 1996, peut permettre la germination et la levée de la plupart des semences enfouies dans les premiers centimètres du sol. Ce phénomène est d'autant plus accentué que les sols sont fertilisés en azote.

Ces germinations peuvent se poursuivre mais en diminuant d'intensité jusqu'à la fin du cycle, à moins probablement qu'un sarclage ultérieur, ne remette en surface d'autres semences viables. Aussi, il est probable que, dans ces situations, on puisse assister à un effet de compétition très élevé entre adventices et les plantes cultivées dans les champs.

En revanche, lorsque la mise en culture coïncide avec une période sèche (S1) comme en 1997, la sécheresse de début de cycle, notamment lorsqu'elle se poursuit encore pendant 10 jours (S2), peut empêcher les levées en début de cycle quels que soient les itinéraires techniques ou le précédent cultural. Le stock semencier ne peut s'exprimer complètement à cause probablement d'une inhibition de la germination ou d'une absence de levée de la plupart des espèces pendant la même période. Les germinations ne peuvent reprendre qu'avec l'installation progressive mais sûre de l'hivernage ou du cumul pluviométrique (H3, H4) mais avec des différences de comportement selon les espèces.

Les expériences antérieures effectuées sur la dynamique des levées ont également montré l'importance et la relation étroite qui existe entre l'humidité du sol et la fréquence du travail du sol sur la levée et la dynamique des levées (ROBERT, 1984 ; PROHMCHUM, 1993), notamment en zone tropicale et au Sénégal où la quantité de pluie et sa répartition le long de la saison peuvent être variables selon l'année et selon la localité (MIEGE & TCHOUME, 1963 ; BILLE, 1973 ; MERLIER 1972a, et b). En général, lorsqu'une période sèche suit un travail de sol, le nombre de plantules qui émerge est fortement réduit à cause du manque d'humidité qui empêche la germination et l'établissement des plantules (ROBERT & RICKETS, 1979 cités par ROBERT, 1984). Deux cas sont alors possibles :

- le travail du sol a pu lever les dormances en amenant les graines en surface, mais les graines de la plupart des espèces ne peuvent germer et lever à cause d'une imbibition insuffisante,
- les graines rentrent dans une dormance secondaire qui n'est levée que lorsque des conditions optimales sont réalisées.

Toutefois, tous ces auteurs s'accordent pour admettre qu'il est souvent difficile d'évaluer expérimentalement le niveau de l'humidité dans le sol qui permet de lever les dormances et d'induire la germination. Il dépendrait de plusieurs facteurs dont les caractéristiques physiques et chimiques (BILLE, 1973) du sol mais également de celles propres aux graines. C'est ainsi que MERLIER (1972a, b) montre l'action déterminante de la pluie utile dans le démarrage de la végétation adventice. Pour MERLIER (1972b), plus cette pluie est précoce, plus la végétation peut être soumise à des périodes de sécheresse qui entraînent une modification sélective de la composition floristique de la végétation.

Mais de plus en plus d'auteurs utilisent le bilan hydrique, qui prend en compte la pluviométrie, le taux de satisfaction des besoins hydriques des plantes et les caractéristiques du sol, pour rendre compte des relations entre l'humidité, le sol et les différentes espèces végétales (FRANQUIN & FOREST, 1977, DE MIRANDA & FOREST, 1979 ; CHOPART, 1980b ; FONTANEL, 1990 ; BARON, 1991, AFFHOLDER, 1994).

6.3.4. Chronologie des levées en fonction des espèces

La dynamique des levées dans les différentes conditions est le résultat de la biologie de la germination de chacune des espèces et en particulier des espèces dominantes.

En 1996 et en 1998, la plupart des espèces ont une chronologie comparable en station comme en milieu paysan. L'explosion des levées en début de cycle consécutive à une pluviométrie favorable est le résultat de la précocité de la germination et la levée de la plupart des graines de toutes les espèces qui forment alors un seul cortège en début de cycle. Mais en fonction de l'échelonnement des levées, on distingue :

- les espèces qui disparaissent très tôt comme *Cenchrus biflorus* ,
- les espèces qui se maintiennent plus ou moins bien, au moins jusqu'au troisième relevé comme *Dactyloctenium aegyptium* *Digitaria ciliaris*, *Eragrostis tremula* et *Spermacoce chaetocephala* ;
- les espèces qui se maintiennent continuellement comme *Kyllinga squamulata* et *Mitracarpus villosus*
- des espèces à levée précoce mais à échelonnement irrégulier selon les années : *M. squarrosus*, *C. amabilis*.

Ces différences de comportement sont dues probablement à une hétérogénéité des graines liée à des dormances plus ou moins prolongées. Nos résultats sont identiques à ceux de ELBERSE & BREMAN, 1990 en ce qui concerne *Cenchrus biflorus* et à ceux de LOWE *et al.* (1999) qui ont montré que les graines de *K. squamulata* pouvaient germer continuellement. Chez *Dactyloctenium aegyptium*, il est probable que l'échelonnement des levées soit lié à la destruction progressive des substances qui sont à l'origine de l'inhibition à la germination et de la dormance des graines (CANTORIA & GACUTAN, 1972).

Dans ces conditions, les semences des espèces à levée plus échelonnée pourraient être produites à des proportions plus importantes que celles des espèces à levée moins prolongée.

En 1997, en situation de déficit hydrique, l'échelonnement des levées est plus variable. On distingue dans nos conditions expérimentales, les groupes d'espèces suivants :

- celles dont les graines pourraient ne pas être sensibles à un déficit hydrique et qui peuvent germer précocement comme *Dactyloctenium aegyptium* et *Hibiscus asper* par exemple ;
- celles dont les graines pourraient être sensibles au déficit hydrique et germent plus ou moins tardivement à cause d'une insuffisance de l'humidité du sol et en fonction de l'importance des séquences pluviométriques, notamment *Cenchrus biflorus*, *Cyperus amabilis*, *Mariscus squarrosus* et *Fimbristylis exilis* ;
- celles, comme *Kyllinga squamulata* et *Mitracarpus villosus*, qui présenteraient les 2 types de graines et qui ont ainsi un comportement intermédiaire en rapport probablement avec l'hétérogénéité de leurs graines ;
- celles, enfin, à comportement très irrégulier probablement en fonction de l'interaction de différents facteurs qui agissent sur les graines comme *Eragrostis tremula* et *Digitaria ciliaris*.

Ces phénomènes sont bien connus chez les plantes des zones sèches et chez les adventices, comme des mécanismes d'adaptations à la sécheresse. En général deux modalités sont observées chez les thérophytes : elles peuvent germer dès les toutes premières pluies pour boucler rapidement leur cycle de vie ou rentrer dans une dormance qui n'est levée que lorsque les conditions hydriques permettant la germination et la croissance future de la plante sont réunies (ATTIMS, 1972 ; MERLIER 1972a, 1972b ; MONTEGUT, 1975 ; CHADOEUF & BARRALIS, 1982 ; GROUZIS, 1992). Dans la plupart des cas ces levées ne peuvent se

produire que parce que la période de la sécheresse et de fraîcheur a précédé l'hivernage (MIEGE & TCHOUME, 1963).

On peut donc admettre que l'importance et la chronologie des levées sont sous la dépendance de la quantité et de la répartition de la pluie. Mais les levées constatées en surface sont également l'expression du stock de semences dans le sol, du comportement germinatif des semences et des pratiques culturales.

6.4. Conclusion

L'étude qui a été entreprise, et dont la méthodologie peut être améliorée, a permis d'établir et de caractériser la chronologie des levées au cours des années 1996, 1997, et 1998. Il ressort de l'ensemble de nos observations que :

- la flore adventice étudiée dans les conditions expérimentales mentionnées est une flore pauvre ;
- en raison des facteurs culturaux, cette flore apparaît plus homogène en station qu'en milieu paysan ;
- en station, elle est dominée par 2 espèces *Kyllinga squamulata* et *Mitracarpus villosus* ;
- en milieu paysan, elle est caractérisée et dominée par *Mitracarpus villosus*, *Eragrostis tremula* et *Cyperus amabilis* et l'importance de moins en moins accrue de *Kyllinga squamulata* ;
- la fertilisation azotée augmente le nombre de levées ;
- il existerait une hétérogénéité spatiale des levées due à la topographie et à la microtopographie, et à l'action cumulée du ruissellement et du vent sur la répartition spatiale des semences et leurs conditions de levées ;
- à cette hétérogénéité spatiale, s'ajoute une variabilité temporelle des levées ;
- cette variabilité temporelle est :
 - soit annuelle et saisonnière et liée au régime des pluies notamment au moment de la mise en culture, à l'hétérogénéité des semences et à leur possibilité de germination, et aux facteurs culturaux tels que la profondeur du labour, le précédent cultural principalement et partiellement la fertilisation azotée;
 - soit inter annuelle et due à des facteurs cycliques intrinsèques à certaines espèces comme *Cassia obtusifolia* ;
- lorsque la pluviométrie est favorable, il y a une forte explosion des levées en début de saison à partir des semences qui sont mises à la surface ; la flore de surface qui s'installe est généralement dominée par quelques espèces qui constituent le cortège d'espèces dans le lequel on retrouve plus ou moins la même structure tout le long de la saison ;
- en situation de déficit hydrique, les espèces n'ont pas la même réponse adaptative ; elles peuvent ou non lever en fonction de leurs possibilités de germination notamment la durée de leur dormance, résultat d'une hétérogénéité physiologique des semences.

Une meilleure connaissance de la nature des dormances, des facteurs de levée de dormance, des phénomènes de compétition intra et inter-spécifique sur la production des semences, permettrait sans doute une meilleure compréhension des phénomènes observés.

Aussi, le chapitre qui suit, étudie l'effet de la concurrence de cette flore plurispécifique de surface sur les paramètres de rendement du mil et de l'arachide.

CHAPITRE VII - ETUDE DE LA CONCURRENCE ENTRE LE MIL, L'ARACHIDE ET LES MAUVAISES HERBES : ESSAI DE DETERMINATION D'UNE PERIODE CRITIQUE DE CONCURRENCE ET D'UN ITINERAIRE TECHNIQUE

7.1. Introduction

Pour permettre une réalisation précise des sarclages dans le calendrier cultural à partir des données de la flore réelle, il est utile de préciser à la fois les densités critiques de concurrence (BARRALIS & MARNOTTE, 1980 ; CAUSSANEL & KAFIZ, 1990 ; CAUSSANEL *et al.*, 1993) et les périodes critiques de concurrence (NIETO *et al.* 1968 ; KHEDDAM *et al.*, 1988 ; CAUSSANEL *et al.*, 1988), en somme la structure spatiotemporelle du peuplement adventices/plante cultivée (CAUSSANEL *et al.*, 1990 ; DUNAN *et al.*, 1996 ; BLACKSHAW & HARKER, 1998). Ces 2 paramètres, qui semblent déterminer le seuil de nuisibilité, dépendent pour une grande partie des espèces dominantes de la flore adventice (CAUSSANEL & KAFIZ, 1986) et de leurs interactions avec la plante cultivée et le cultivar (LEMAIRE & SALETTE, 1984b ; MONDRAGON *et al.*, 1989 ; CHRISTENSEN, 1994), de l'arrangement spatial (WEAVER, 1984 ; MEDD *et al.*, 1985), des ressources du sol et en particulier le niveau et la date de fertilisation (ANGONIN *et al.*, 1996 ; PAOLINI *et al.*, 1999), la dynamique de prélèvement de l'azote (LEMAIRE & SALETTE, 1984a ; JUSTE *et al.*, 1994) et les pratiques de désherbage (CAUSSANEL *et al.* 1988 ; CAUSSANEL *et al.*, 1993 ; CHRISTENSEN, 1994). Ces deux paramètres peuvent également aider à l'interprétation des effets de concurrence sur les composantes du rendement (CAUSSANEL *et al.*, 1993 ; ANGONIN, 1995).

Les études portant sur la détermination des densités et périodes critiques de concurrence des cultures vivrières en Afrique subsaharienne ont été menées principalement sur l'arachide (CARSON, 1976 ; DRENNAN & JENNINGS, 1977 ; HAMDOUN, 1977 ; CHOUDHARY, 1983 ; HAMADA, 1988 ; HAMADA *et al.*, 1988 ; OSMAN & ELAMIN, 1996 ; SESSAY, 1997), le sorgho (HAMDOUN, 1977 ; OKAFOR & ZITTA, 1991), le coton (HAMDOUN, 1977 ; DOUTI, 1997) et sur le blé (AVAV & OKEREKE, 1997). Très peu d'études ont été entreprises sur le mil. Au Sénégal, ces études sur la détermination des seuils de nuisibilité des principales cultures vivrières n'ont jamais fait l'objet de travaux de recherche consistants. Elles sont souvent restées à l'état de recommandations (SASSER *et al.*, 1972 ; MARNOTTE, 1997) ou de projet d'investigation (FONTANEL, 1990).

Or cette détermination, en précisant les relations entre perte de rendement et niveaux d'infestation, peut permettre d'améliorer les itinéraires techniques et d'optimiser les désherbages (NIETO *et al.*, 1968 ; CAUSSANEL, 1989, ANGONIN, 1995).

Ce travail présente, à différentes dates, les résultats préliminaires obtenus des effets de concurrence de la flore adventice plurispécifique dans le sud du Bassin arachidier sur certains paramètres du rendement du mil et de l'arachide.

Ces études ont été entreprises sur mil (Souna III) puis sur arachide (73-33) dont les cycles de développement sont les mieux adaptés aux conditions climatiques de la zone agroécologique du Sud Bassin arachidier.

Ces recherches visent à mettre à la disposition du paysan un ensemble d'informations lui permettant de mieux gérer la contrainte de l'enherbement notamment par :

- la détermination de la période critique de compétition des mauvaises herbes,
- la recherche d'un mode de désherbage plus adapté aux pratiques agricoles traditionnelles,

- l' influence de la fertilisation azotée dans le raisonnement du désherbage traditionnel.

7.2. Résultats et Discussion

7.2.1. Etude de la concurrence sur le mil

7.2.1.1. Résultats des observations pour l'année 1997

7.2.1.1.1. Effet sur la longueur des épis

Les résultats de l'ANOVA et de l'effet de la fertilisation azotée et des différents traitements de concurrence sur la longueur des épis sont présentés dans les tableaux 32 et 33.

Tableau 32 : Tableau d'ANOVA sur la moyenne de la longueur des épis

	Longueur épis
Fertilisation azotée	NS
Traitements concurrence	NS
Interaction Fertilisation azotée x Traitements de concurrence	NS

Tableau 33: Effet de la fertilisation azotée et des traitement de concurrence sur la longueur des épis

Trait. Conc.	Longueur des épis/cm		
	N0	N1	MOY.
TP	35,8	37,2	36,5
TE	43,6	47,3	45,4
B2	41,8	42,8	42,3
B3	44,4	43,2	43,8
B4	37,6	41,1	39,4
B5	49,9	46,8	48,4
H2	48,9	51,5	50,2
H3	44,5	45,7	45,1
H4	43,3	42,6	43,0
H5	41,1	48,7	44,9
P2	48,1	46,3	47,2
P3	50,0	42,2	46,1
P2P3	45,3	44,1	44,7
P2P4	48,8	41,7	45,3
MOY	44,5	44,4	44,4

Il ressort de ces résultats que la longueur des épis n'augmente pas avec la fertilisation azotée. Il n'y a pas un effet de la nutrition azotée sur la longueur des épis. En outre, la compétition avec les mauvaises herbes n'influe pas non plus sur la longueur de l'épi.

La longueur de l'épi est probablement un caractère morphogénétique variétal indépendant de la fertilisation et de la compétition des mauvaises herbes. Toutefois, il existe une variabilité entre pied à l'intérieur de la variété (en moyenne entre 36,5 cm à 50,2 cm) et probablement entre variétés de mil, variabilité qu'il serait utile de préciser par les méthodes d'investigation biosystématique.

7.2.1.1.2. Effet sur le nombre d'épis

Les tableaux 34 et 35 présentent les résultats obtenus de l'effet de la fertilisation azotée et des traitements de concurrence sur le nombre d'épis et le résultat de l'ANOVA.

Tableau 34 : Tableau d'ANOVA sur la moyenne du nombre d'épis

	Nombre d'épis/m ²
Fertilisation azotée	**
Traitements concurrence	NS
Interaction Fertilisation azotée x Traitements de concurrence	NS

Tableau 35 : Effet de la fertilisation azotée et des traitements de concurrence sur le nombre d'épis

Trait. Conc.	Nombre d'épis/m ²	
	N0	N1
TP	6,2	11,6
TE	5,5	6,3
B2	4,3	8,7
B3	3,7	7,3
B4	7,4	7,7
B5	4,6	6,8
H2	5,4	6,6
H3	4,6	8,2
H4	5,1	9,3
H5	5,8	6,2
P2	4,6	8,1
P3	4,4	11,0
P2P3	4,7	10,0
P2P4	5,2	10,1
MOY	5,1a	8,4b

L'analyse de ces résultats montre que la fertilisation azotée a un effet très significatif sur le nombre d'épis qui passe de 5,1 épis en moyenne en N0 à 8,4 en moyenne en N1.

Dans nos conditions expérimentales, il n'apparaît pas de différence entre les traitements de concurrence dans chacune des conditions de fertilisation (N0 et N1). Le nombre d'épis/m² est compris entre 4,3 à 7,4 en N0 et 6,2 à 11,6 en N1.

L'interaction entre la fertilisation azotée et les différents traitements de concurrence ne montre pas non plus de différence significative.

L'effet positif de la fertilisation azotée sur le nombre d'épis est en accord avec les résultats de FERRARIS (1973) et DIOUF (1990) qui ont montré qu'un stress azoté pendant la montaison consécutif à une absence de fertilisation, à un épuisement des réserves pendant le tallage ou à un apport tardif, réduit le nombre d'épis/m².

L'absence de l'effet des différents traitements de concurrence sur le nombre d'épis pourrait être liée au démariage à un pied au niveau de chaque poquet ou au binage-démariage réalisé à 10 jours environ après la levée. Ces 2 facteurs ont dû réduire considérablement la compétition entre pieds à l'intérieur d'un même poquet d'une part, mais également entre les poquets d'autre part.

Toutefois, on remarque que globalement, le nombre d'épis semble relativement plus élevé chez le témoin propre que pour les autres traitements. Le classement des nombres d'épis/m² des différents traitements de concurrence se présente comme suit :

- en N0 : B4, TP, H5, TE, H2, P2P4, H4, P2P3, P2=B5=H3, P3, B2, B3 ;
- en N1 : TP, P3, P2P4, P2P3, H4, B2, H3, P2, B4, B3, B5, H2, TE, H5.

Ce classement permet de dégager quelques tendances générales dans les parcelles non fertilisées et fertilisées, tendances qui restent cependant à confirmer.

Dans les parcelles non fertilisées (N0) :

- le nombre d'épis le plus élevé est obtenu pour le traitement B4, TP et H5;
- le traitement TE présente un nombre d'épis plus élevé que dans les conditions de pratique paysannes simulées en station (P2P4, P2P3, P2 et P3) et de désherbages (H2 et H4);

Dans les parcelles fertilisées (N1) :

- à l'exception des traitements H5 et H2 le nombre d'épis est plus élevé pour le traitement TP que pour le traitement TE,
- le nombre d'épis est globalement meilleur dans les traitements de pratiques agricoles (P3, P2P4, P2P3) et de désherbages (H4, H3) que dans les traitements d'enherbement (B4, B3, B5)
- le meilleur itinéraire permettant d'obtenir un nombre d'épis élevé est de 1 à 2 désherbages plus ou moins rapprochés (P3, P2P4 et P2P3)

Ces résultats montrent qu'il existe une grande variabilité du nombre d'épis en fonction des différents traitements notamment dans les parcelles non fertilisées. Ces résultats pourraient s'expliquer par une plus grande hétérogénéité des levées de mauvaises herbes dans les parcelles non fertilisées (N0) par rapport aux parcelles fertilisées (N1). Aussi, en l'absence de fertilisation azotée, après le binage-démariage, le mil semble présenter une grande capacité de tolérance à l'enherbement et à produire une importante quantité de biomasse, comme semble le montrer le résultat du nombre d'épis dans le traitement TE. Ces hypothèses semblent se rapprocher des observations de GANRY *et al.* (1974).

En l'absence de fertilisation, l'importance du nombre d'épis pour le traitement B4 pourrait être lié au fait que ce traitement correspond à un désherbage au moment de la montaison qui constitue une phase importante pour la définition du nombre d'épis selon DIOUF (1990). Cependant dans les conditions de fertilisation adéquate, l'effet de ce traitement pourrait être réduit par la concurrence des mauvaises herbes sur le mil avant cette période.

Tout se passe comme si en condition de stress nutritif et hydrique, le mil développait sa propre stratégie qui est favorisée par le maintien d'une certaine couverture adventice.

Aussi la date critique de concurrence pourrait se situer :

- dans les parcelles non fertilisées, au 40^{ème} jour (B4) c'est-à-dire 30 jours après le binage démariage au 10^{ème} jour, période qui correspond à la montaison du mil;
- dans les parcelles fertilisées, au 30^{ème} jour (P3) après le binage-démariage ;

Le meilleur itinéraire permettant d'obtenir un nombre d'épis satisfaisant est :

- dans les parcelles non fertilisées, un désherbage au 40^{ème} jour après le binage démariage au 10^{ème} jour ou maintenir la parcelle propre au moins pendant les 30 premiers jours (TP, H5, H2, H4) ;
- dans les parcelles fertilisées, 2 désherbages, le premier au 20^{ème} jour, le second au 40^{ème} (P2P4) ou au 30^{ème} jour (P2P3).

7.2.1.2. Résultats des observations pour l'année 1999

7.2.1.2.1. Effet sur le nombre d'épis

Les résultats obtenus de l'ANOVA et de l'effet de la fertilisation azotée et des traitements de concurrence sur le nombre d'épis et sont présentés dans les tableaux 36 et 37.

Tableau 36: Tableau d'ANOVA sur la moyenne du nombre d'épis

	Nombre d'épis /m ²
Fertilisation azotée	**
Traitements concurrence	*
Interaction Fertilisation azotée x Traitements de concurrence	NS

Tableau 37 : Effet de la fertilisation azotée et des traitement de concurrence sur le nombre d'épis

Trait. Conc.	Nombre d'épis/m ²	
	N0	N1
TP	8,0ab	13,7ab
TE	6,4ab	9,3b
B2	8,5ab	13,7ab
B3	5,3b	11,4ab
B4	8,7ab	11,9ab
B5	6,1b	11,4ab
H2	6,2b	15,0ab
H3	7,3ab	14,4ab
H4	9,8ab	12,2ab
H5	6,7ab	13,6ab
P2	6,4ab	10,8ab
P3	8,4ab	13,5ab
P2P3	8,0ab	21,2a
P2P4	12,7a	14,9ab
MOY	7,8a	13,4b

La comparaison des moyennes du nombre d'épis montre une différence significative entre les parcelles non fertilisées (N0) 7,8 épis et les parcelles fertilisées (N1) 13,4 épis. Ces résultats montrent qu'en 1999 la fertilisation azotée augmente le nombre d'épis.

En outre, il existe une différence significative entre certains traitements dans chacune des conditions de fertilisation (N0 et N1). Dans les parcelles non fertilisées (N0) le nombre d'épis le plus élevé est obtenu pour le traitement P2P4 ; ce nombre est significativement plus élevé que celui obtenu dans les traitements B3, B5 et H2. Dans les parcelles fertilisées (N1) le nombre d'épis le plus élevé est obtenu pour le traitement P2P3, le plus faible pour le traitement TE. Les autres traitements ne présentent pas de différence aussi bien en N0 qu'en N1.

Dans nos conditions expérimentales, l'interaction entre la fertilisation et les différents traitements de concurrence ne montre pas de différence significative.

La comparaison entre les différents traitements indique que le meilleur itinéraire serait:

- dans les parcelles non fertilisée, de 2 désherbages dont le second est plus tardif (P2P4) et;
- dans les parcelles fertilisées, de 2 désherbages dont le second est plus précoce (P2P3) à cause sans doute d'une éventuelle reprise de l'infestation liée à l'effet positif de la fertilisation sur les levées de mauvaises herbes.

Pour avoir une idée de la date critique de concurrence, nous avons procédé au classement de nombre d'épis des différents traitements dans l'ordre décroissant. Ce classement se présente comme suit :

- en N0 : P2P4, H4, B4, B2, P3, TP, P2P3, H3, H5, TE, P2, H2, B5, B3
- en N1 : P2P3, H2, P2P4, H3, TP=B2, H5, P3, H4, B4, B5, P2, TE

Il ressort de ces résultats que, en N0 comme en N1, le nombre d'épis est très variable et est lié probablement à une très grande hétérogénéité de l'infestation au niveau des parcelles; c'est ce qui expliquerait le nombre relativement plus élevé entre les traitements TE, P2 et H2 en N0 d'une part et B4 et B5 par rapport au P2 en N1 d'autre part. Mais en dehors de ces résultats, on peut retenir globalement que :

- dans les parcelles non fertilisées (N0), après le P2P4, les traitements H4 et B4 présentent un nombre d'épis plus satisfaisant; ces observations suggèrent de maintenir le mil propre jusqu'au 40^{ème} jour ou à défaut, d'intervenir au 40^{ème} (B4) après un binage-démariage au 10^{ème} jour;
- dans les parcelles fertilisées (N1), après le P2P3, les nombres d'épis les plus élevés sont obtenus aux traitements H2, P2P4 et H3 notamment, ce qui suggère de maintenir les parcelles propres jusqu'au 20^{ème} jour (H2) ou au plus jusqu'au 30^{ème} jour (H3) en raison de la pression des adventices due à la fertilisation.

Afin de dégager des constantes, une analyse comparée du nombre d'épis a été réalisée.

7.2.1.2.2. Comparaison de l'effet de la fertilisation et des traitements de concurrence sur le nombre d'épis en 1997 et 1999

Le tableau d'ANOVA (Tab. 38) qui compare le nombre d'épis obtenus au cours des 2 années (1997 et 1999) indique une différence très significative entre années.

De même l'effet de la fertilisation sur le nombre d'épis est très significatif entre les 2 années. L'interaction entre l'année et la fertilisation est peu significative. Il y a un effet significatif des différents traitements de concurrence sur le nombre d'épis. Les interactions entre les différents traitements et l'année d'une part et la fertilisation d'autre part ne sont pas significatives.

L'analyse comparée de ces résultats fait ressortir que d'une année à une autre, le nombre d'épis peut être plus ou moins élevé, probablement à cause des conditions climatiques, de l'efficacité de la nutrition azotée et du degré d'infestation des mauvaises herbes. Ces résultats montrent que la fertilisation azotée augmente le nombre d'épis indépendamment de l'année. On peut penser que l'effet positif de la fertilisation sur le nombre d'épis et les mauvaises herbes, est d'autant plus accru que l'année est favorable. Dans le cas précis, on note par exemple que la fertilisation azotée a eu un impact plus important en 1999 qu'en 1997.

Tableau 38 : Tableau d'ANOVA du nombre d'épis en 1997 et 1999

	Nbre d'épis/m ²
Année	***
Fertilisation azotée	***
Interaction Année x Fertilisation azotée	*
Traitements concurrence	**
Interaction Année x Traitements concurrence	NS
Interaction fertilisation azotée x Traitements concurrence	NS

De même, le classement effectué des différents traitements de concurrence ainsi que les dates critiques de concurrence et itinéraires techniques définis, peuvent être décalés d'une année à une autre. Aussi, il n' existe pas une date de concurrence ou un itinéraire fixés à priori. Cependant, il serait utile de dégager des tendances générales ou d'en préciser la variabilité.

La comparaison entre années permet de retenir globalement que :

- en ce qui concerne la date critique de concurrence :
 - elle est identique dans les parcelles non fertilisées et située environ autour du 40^{ème} jour (B4) c'est-à-dire au moment de la montaison ;
 - elle est plus précoce dans les parcelles fertilisées et se situerait entre le 20^{ème} et le 30^{ème} jour selon l'année (P3 en 1997 , H2 et H3 en 1999); cette précocité de la date critique de concurrence en rapport avec la fertilisation a été montrée par plusieurs auteurs dont OKAFOR & ZITTA (1991) sur le sorgho ;
- en ce qui concerne les itinéraires techniques :
 - dans les parcelles non fertilisées, il faut 2 désherbages dont le second est plus tardif (P2P4) en 1999 alors qu'en 1997, un seul désherbage au 40^{ème} jour (B4) après le binage-démariage peut suffire à défaut de pouvoir maintenir les parcelles propres au moins jusqu'au 40^{ème} jour (TP, H5, H4) ou jusqu'au 20^{ème} jour (H2) ;
 - dans les parcelles fertilisées, il faut nécessairement 2 désherbages, le premier au 20^{ème} jour, le second plus précoce au 30^{ème} (P2P3) ou plus tardif au 40^{ème} jour (P2P4) selon l'importance de l'enherbement dans les parcelles ;
 - toutefois, le mil présenterait une grande capacité à réagir à l'enherbement notamment à l'absence de fertilisation, comme s'il y'avait à un certain degré d'infestation, un effet bénéfique sur l'augmentation du nombre d'épis.

En résumé, les résultats préliminaires de l'étude de la concurrence des adventices sur le mil ont permis de montrer que:

- la longueur des épis ne constitue pas un critère important à prendre en compte dans les phénomènes de compétition à la différence avec le maïs (KHEDDAM *et al.*, 1988) ; son effet dans l'élaboration du rendement, en relation avec l'état de la nutrition et le désherbage est nul ;
- la production d'épis est bien meilleure dans les parcelles fertilisées (N1) que dans les parcelles non fertilisée (N0) ;
- la date critique de concurrence pourrait être fixée à 40 jours dans les parcelles non fertilisées, elle est plus précoce dans les parcelles fertilisées en azote où elle se situerait entre 20 et 30 jours ;

- le meilleur itinéraire possible pour le paysan est de 2 désherbages après le binage-démariage, l'un au 20^{ème} jour et l'autre au 30^{ème} ou au 40^{ème} jour selon que la parcelle est fertilisée ou non ; cet itinéraire pourrait permettre d'améliorer encore plus les rendements ;
- cependant, à défaut de 2 désherbages, un seul désherbage, après le binage-démariage, effectué entre le 30^{ème} et le 40^{ème} jour dans les parcelles non fertilisées et entre le 20^{ème} et le 30^{ème} jour dans les parcelles fertilisées, suffit et peut permettre d'obtenir un rendement acceptable en réduisant le nombre d'interventions; de plus cet itinéraire montre l'importance du binage-démariage dans la conduite de la pratique culturale du mil ;
- selon les conditions environnementales de l'année liées probablement à la quantité et à la répartition de la pluie, ces dates critiques et itinéraires techniques peuvent varier ;
- il existerait une grande hétérogénéité interparcellaire en ce qui concerne l'infestation, en particulier dans les parcelles non fertilisées comme l'a déjà constatée MILLEVILLE sur arachide (1972, 1974) et sur coton MILLEVILLE (1976) ; ce qui rend difficile la détermination précise de la période critique de concurrence et des itinéraires techniques ;
- le mil présenterait cependant une grande capacité de tolérance à l'enherbement et à produire une importante quantité de biomasse ; il tirerait un meilleur profit que les adventices à la fertilisation azotée à cause probablement de son port dressé DANCETTE (1983) ;
- en dessous d'un seuil de nuisibilité, la présence d'un couvert végétal adventice peut favoriser la production d'épis à cause probablement de la limitation de l'érosion et de l'amélioration de la qualité du sol.

7.2.2. Etude de la concurrence sur l'arachide

Les résultats obtenus de l'analyse de la variance de ces 3 variables retenus sont présentés dans le tableau 39. Les effets de la fertilisation phosphatée et des traitements de concurrence sur la moyenne du nombre de gousses (NGS), du nombre de gynophores (GYN), du nombre de gousses matures (NGM) sont indiquées dans les tableaux 38, 39 et 40.

Tableau 39 : Tableau d'ANOVA sur la moyenne du nombre de gousses totales (NGS), de gynophores (GYN) et de gousses matures NGM;

	NGS	GYN	NGM
Fertilisation phosphatée	NS	NS	NS
Traitements de concurrence	***	***	***
Interaction fertilisation phosphatée x concurrence	NS	NS	NS

L'effet de la fertilisation phosphatée pour l'ensemble des 3 paramètres du rendement n'est pas significatif. De même, il n'y a pas d'interaction entre la fertilisation phosphatée et les traitements de concurrence. En revanche, l'effet des différents traitements de concurrence est hautement significatif pour les 3 paramètres.

L'absence d'un effet de la fertilisation phosphatée sur les paramètres retenus est probablement lié au fait que le phosphore est difficilement assimilable en particulier pour les adventices qui sont pour la plupart constituées de graminées et de cypéracées (COMPAORE, 2001).

7.2.2.1. Effet sur le nombre total de gousses

Le nombre total de gousses est très variable selon les traitements (Tab. 40) et est significativement plus élevé pour le traitement H5, TP, B2, P2P4, H3 que pour les traitements TE, B4, et B5. Le traitement B2 est significativement différent des traitements TE, B4 et B5. Les autres traitements sont comparables.

Tableau 40: Comparaison des moyennes du nombre de gousses totales en fonction de la fertilisation et des traitements

Trait. Conc.	Nombre total de gousses /m ²		
	P0	P1	MOY.
TP	782,2a	718,9ab	750,6ab
TE	426,7b	350,0c	388,3d
B2	803,3a	597,8abc	700,6ab
B3	576,7ab	565,6abc	571,1abcd
B4	417,8b	488,9bc	453,3cd
B5	413,3b	542,2abc	477,8cd
H2	641,1ab	598,9abc	620,0abc
H3	645,6ab	738,9ab	692,2ab
H4	766,7a	656,7abc	711,7ab
H5	734,4a	847,8a	791,1a
P2	667,8ab	635,6abc	651,7abc
P3	480,0ab	577,8abc	528,9bcd
P2P3	640,0ab	640,0abc	640,0abc
P2P4	790,0a	602,2abc	696,1ab

L'analyse de ces résultats montre qu'il existe une grande variabilité de la réponse à l'enherbement liée probablement à une hétérogénéité interparcellaire. Toutefois, le nombre de gousses diminue lorsque la parcelle est laissée enherbée. Cette diminution est perceptible à partir du 15 jour (B2). La date critique de concurrence pourrait commencer au 15^{ème} jour environ après la levée.

Le classement dans l'ordre décroissant de la moyenne du nombre total de gousses en fonction de la fertilisation et de la concurrence se présente comme suit : H5, TP, H4, B2, P2P4, H3, P2, P2P3, H2, B3, P3, B5, B4, TE.

Le meilleur itinéraire semble être le P2P4 c'est-à-dire un désherbage plus précoce à 15 jours suivi d'un second au 45^{ème} jour environ.

7.2.2.2. Effet sur le nombre gynophores

Le nombre de gynophores (Tab. 41) est significativement plus élevé pour les traitements H5, TP, H3 que pour les traitements TE, B4 et B5. De même, pour les traitements d'enherbement, le traitement B2 présente un nombre de gynophores supérieur à ceux des traitements B4 et B5. Les autres traitements sont comparables.

Tableau 41: Comparaison des moyennes du nombre de gynophores en fonction de la fertilisation et des traitements

Trait. Conc.	Nombre gynophores par m ²		
	P0	P1	MOY.
TP	328,9	303,3	316,1ab
TE	162,2	142,2	152,2cd
B2	331,1	224,4	277,8abc
B3	192,2	217,8	205,0bcd
B4	108,9	163,3	136,1d
B5	105,6	158,9	132,2d
H2	275,6	233,3	254,4abcd
H3	265,6	324,4	295,0ab
H4	290,0	254,4	272,2abc
H5	293,3	404,4	348,9a
P2	278,9	254,4	266,7abc
P3	164,4	205,6	185,0bcd
P2P3	246,7	222,2	234,4abcd
P2P4	326,7	232,2	279,4abc

Il ressort de l'analyse de ces résultats que le nombre de gynophores est d'autant plus élevé que la parcelle est maintenue propre (H5, TP). Une infestation de plus de 15 jours entraîne une diminution du nombre de gynophores. L'absence de différence entre les autres traitements est probablement liée à une hétérogénéité de l'infestation.

La moyenne du nombre de gynophores décroît selon l'ordre décroissant suivant en fonction de la fertilisation et de la concurrence : H5, TP, H3, P2P4, B2, H4, P2, H2, P2P3, B3, P3 ; TE, B4, B5.

Le meilleur itinéraire pour obtenir un nombre de gynophores plus élevé semble être le P2P4, soit un premier désherbage à 15 jours suivi d'un second au 45^{ème} jour environ.

7.2.2.3. Effet sur le nombre de gousses matures

Le nombre de gousses matures (Tab. 42) diminue significativement entre les traitements H5, H4, TP, B2, P2P4, P2P3, H3, P2, B3, H2 qui sont comparables et le traitement TE. Entre le traitement TE et les traitements B4, B5 et P3, on ne note pas de différence.

L'analyse de ces résultats indique que les nombres les plus élevés sont obtenus lorsque les parcelles sont maintenues propres dès le début du cycle (H5, H4, TP). Le nombre est relativement constant pour un certain nombre de traitements, ce qui est à lier au caractère hétérogène de l'infestation mais aussi probablement à l'imperfection du mode de récolte par arrachage à la main. Toutefois, on remarque une diminution du nombre de gousses mature au-delà de B4 c'est-à-dire au 45^{ème} jour.

Tableau 42: Comparaison des moyennes du nombre de gousses matures en fonction de la fertilisation et des traitements

Trait. Conc.	Nombre gousses matures g par m ²		
	P0	P1	MOY.
TP	453,3	415,6	434,4a
TE	264,4	207,8	236,1b
B2	472,2	373,3	422,8a
B3	384,4	347,8	366,1a
B4	308,9	325,6	317,2ab
B5	307,8	383,3	345,6ab
H2	365,6	365,6	365,6a
H3	380,0	414,4	397,2a
H4	476,7	402,2	439,4a
H5	441,1	443,3	442,2a
P2	388,9	381,1	385,0a
P3	315,6	372,2	343,9ab
P2P3	393,3	417,8	405,6a
P2P4	463,3	370,0	416,7a

La moyenne du nombre de gousses matures des différents traitements se classe dans l'ordre décroissant suivant : H5, H4, TP, B2, P2P4, P2P3, H3, P2, B3, H2, B5, P3, B4, TE.

Ce classement montre que le B2 est plus proche du H5, H4 et TP que ne l'est le P3 par rapport au B4 et au TE. Ce qui suggère que la diminution du nombre de gousses commence à partir du B2 c'est-à-dire au 15^{ème} jour environ.

Le meilleur itinéraire pour obtenir un nombre de gousses matures satisfaisant est le P2P4 suivi du P2P3 dans lesquels un premier désherbage est nécessaire au 15^{ème} jour suivi d'un second, de préférence au 45^{ème} jour environ (P2P4), ou au 30 jour (P2P3).

Au total, il ressort de l'ensemble de ces observations préliminaires sur la concurrence des mauvaises herbes vis à vis de l'arachide que :

- la fertilisation phosphatée n'a aucune incidence sur la concurrence des mauvaises herbes dont les plus nuisibles sont principalement constituées par des graminées et des cypéracées ;
- dans nos conditions expérimentales, la date critique de concurrence se situe entre le 15^{ème} (B2) et le 20^{ème} jours, ce qui correspond au début de l'élaboration du nombre de gousses et de graines (CATTAN, 1996b) ;
- le meilleur itinéraire pour le paysan est de 2 désherbages, le premier au 15^{ème} jour et le second au 45^{ème} jour ;
- dans les conditions paysannes, une infestation de courte durée jusqu'au 15^{ème} jour (B2) semble plus bénéfique qu'un désherbage de début de cycle (H2) comme le montre la production de gousses et de gynophores qui est toujours plus élevée en B2 qu'en H2 ;
- l'infestation est très hétérogène entre les parcelles, ce qui ne permet pas de différencier nettement l'effet de la concurrence et en particulier la date critique de concurrence.

Nos observations sur les itinéraires techniques sont comparables à celles de SESAY (1997) en Sierra Leone, qui propose 2 désherbages, le premier au 15^{ème} jour, le second au 25^{ème} jour ou à défaut un seul désherbage au 20^{ème} jour. HAMADA (1988), au Nigéria, trouve qu'un effet dépressif des mauvaises est constaté lorsque l'arachide est laissée enherbée pendant 4 à 6 semaines après la levée de l'arachide. Au Soudan, à défaut de 3 désherbages, une augmentation significative de rendement par rapport au témoin enherbé, est obtenue avec 2 désherbages, le premier au 30^{ème} jour, le second au 45^{ème} jour après la levée (HAMDOUN, 1977).

7.3. Conclusion

L'étude de la concurrence a permis de montrer qu'il existe une grande hétérogénéité de l'infestation dans les cultures de mil et d'arachide, ce qui semble être une caractéristique générale des agrosystèmes sahéliens. Cette hétérogénéité rend difficile les expériences de compétition.

Contrairement à ce qu'on peut penser, le mil et l'arachide profiteraient tous les deux d'une infestation de début de cycle. Ces observations avaient déjà été émises par DANCETTE (1983) en ce qui concerne les besoins en eau du mil en comparant la couverture de la biomasse aérienne de plusieurs variétés de mil Souna.

Cette infestation de début de cycle a probablement l'avantage de réduire l'évapotranspiration et l'érosion du sol grâce à la couverture de la biomasse végétale adventice et des plantes cultivées.

La période de cette infestation dépend de la capacité de tolérance à l'infestation de ces deux cultures. Elle équivaut globalement à la date critique de concurrence qui est plus courte pour l'arachide que pour le mil qui a une capacité de tolérance à l'enherbement plus élevée probablement en raison de son port érigé.

La date critique de concurrence serait située entre le 15^{ème} et le 20^{ème} jours pour l'arachide, elle est plus longue pour le mil et située au 40^{ème} jour ou entre le 20^{ème} et le 30^{ème} jours selon l'intensification ou non de la culture par apport d'engrais azotée.

L'apport d'azote, contrairement au phosphore, profite plus au mil qu'à l'arachide dans leur capacité à tolérer l'infestation. Il raccourcit néanmoins la date critique de concurrence de 10 à 20 jours dans les parcelles fertilisées de mil. Par contre, dans les cultures d'arachide, cet apport d'engrais azoté pourrait mieux profiter aux adventices qui sont constituées principalement par des graminées et des cypéracées herbacées.

Enfin, dans les conditions d'agriculture traditionnelle, le meilleur itinéraire est de 2 désherbages, le premier plus précoce, le second plus tardif ou à défaut un seul désherbage à la date critique de concurrence. Dans les systèmes semi-intensifiés avec fertilisation, le second désherbage pourrait être plus précoce.

CHAPITRE VIII - DISCUSSIONS GENERALES ET CONCLUSIONS

Au terme de ce travail, il nous a semblé utile de revenir sur le problème et les objectifs visés, de discuter les principaux résultats obtenus pour en tirer les conséquences agronomiques et de dégager des perspectives d'étude.

8.1. Le problème et les objectifs visés

Au Sénégal et dans le Bassin arachidier en particulier, qui est la principale zone de production agricole, le mil et l'arachide constituent les principales cultures vivrières et les mauvaises herbes, l'une des principales contraintes de la production.

Dans cette zone, la lutte contre les mauvaises herbes occupe près de 50% du calendrier de travail. Malgré l'importance du temps consacré au désherbage qui est essentiellement manuelle et/ou mécanique, la production reste limitée du fait de la faible efficacité de la méthode. Dès lors, l'option était prise d'orienter les recherches vers la mise au point de désherbage chimique (ISRA, 1978 ; FONTANEL, 1987c). Mais la plupart des technologies issues de ces études (DEUSE & HERNANDEZ, 1978a, b, c, d ; DEUSE *et al.*, 1978a, b ; ISRA, 1978 ; DIALLO, 1992 ; DIALLO & JOHNSON, 1997) n'ont pas été adoptées par les paysans à cause du coût élevé des herbicides, de leur utilisation jugée parfois trop draconienne ou de leur efficacité souvent remise en cause (Tab.2). Aussi l'herbicide est devenu, pour la plupart des paysans, une solution de remplacement pour pallier le manque de main-d'œuvre ou d'équipement (FALL *et al.*, 1978).

Cette faiblesse de la productivité ainsi que l'inefficacité des méthodes traditionnelles de lutte et les préoccupations économiques et environnementales ont rendu de plus en plus pressante la demande de méthodes alternatives de gestion des adventices. Ces alternatives existent dans les pays développés (EL TITI, 1988) comme dans les pays sous-développés (AKOBUNDU, 1991), mais elles sont relativement peu utilisées car elles nécessitent une plus grande connaissance de la biologie et l'écologie des adventices et leur interaction avec les plantes cultivées.

C'est dans cette optique qu'il nous a paru utile d'optimiser les méthodes de lutte en vigueur, en nous appuyant sur les connaissances acquises sur la diversité et la structure de la communauté adventice, la germination des graines, la dynamique des levées et la concurrence des espèces adventices vis à vis des plantes cultivées, pour gérer au mieux les inconvénients et mettre à la disposition du paysan un ensemble d'informations qui permettent de mieux faire face à la contrainte de l'enherbement notamment en précisant les niveaux et dates d'intervention pour en réduire le nombre.

8.2. Principaux résultats obtenus et conséquences agronomiques

8.2.1. La flore et la végétation adventices

L'étude de la flore et de la végétation adventices à partir d'inventaires floristiques effectués entre 1992 et 1999 a montré que cette flore est pauvre en espèces à cause de la pauvreté des sols et de la conduite des pratiques culturales, en particulier des sarclages répétitifs.

L'analyse comparative avec la flore du Sénégal a montré que cette flore adventice est caractéristique des flores et végétations des régions semi-arides. Les espèces les plus représentatives sont constituées essentiellement de thérophytes (85,6%) appartenant pour plus de 50% aux familles des Poaceae, Cyperaceae et Légumineuses non ligneuses. Les espèces pérennes plus rares (12,8%) sont représentées par des nanophanérophytes, composés de Combretaceae et Mimosaceae arbustives qui sont des témoins de la savane antérieure.

En raison de la situation géographique du Sénégal et depuis l'introduction de nouvelles cultures vivrières, cette flore a subi beaucoup de modifications marquées par l'augmentation des espèces pantropicales (32,8%) au détriment des espèces strictement africaines (32%).

Cette flore est comparable à celles des zones géographiques similaires de cultures du mil et de l'arachide. Aussi, elle ne changera pas fondamentalement aussi longtemps que les pratiques culturales ne changeront pas et s'il n'y a pas d'introduction de cultures nouvelles ou si les conditions climatiques n'évoluent pas fondamentalement.

Toutefois l'évolution possible des techniques culturales tant dans le type de culture, la préparation du sol et l'entretien des cultures en particulier la fréquence des sarclages que dans les rotations culturales ou l'intensification du système de culture, pourrait entraîner une modification de la flore.

La monoculture céréalière ou arachidière par exemple peut se traduire par une baisse de la richesse floristique liée à la baisse de la fertilité des sols.

En revanche, l'intensification des systèmes de production qui est une des voies possibles de développement de notre agriculture, notamment par l'utilisation d'engrais et d'herbicides et par la mécanisation progressive, peut être à l'origine de changements floristiques importants (BRAUN-BLANQUET, 1952 ; LORENZONI & LORENZONI, 1988). Les espèces sensibles à ces nouvelles techniques culturales pourraient disparaître et être supplantées ou remplacées par des espèces plus "résistantes" et plus adaptées. Ces phénomènes sont connus comme un processus de compensation (HOLZNER, 1977, 1978). Il pourrait s'agir alors d'espèces autochtones présentes qui se développent et occupent la niche écologique laissée libre ou, moins souvent, par un apport d'apophytes ou de néophytes, qui varie en fonction des conditions agro-environnementales. Dans le Montpellierais par exemple, la pratique de la "non culture" avec utilisation exclusive de désherbage chimique et abandon de tout travail mécanique du sol dans les vignobles, a eu pour conséquence, le remplacement à long terme des annuelles par les vivaces autochtones, l'implantation de nouvelles espèces du milieu environnant, l'apparition de résistance aux herbicides au sein de certaines espèces (MAILLET, 1981 ; GUILLERM & MAILLET, 1984).

On peut donc s'attendre, avec l'utilisation des herbicides, à une augmentation du nombre des espèces géophytes (MAILLET, 1981) et à une diminution des annuelles à germination précoce qui seront remplacées principalement par des graminées et des cypéracées à germination plus tardive, comme cela s'est passé dans les cultures céréalières au sud de l'Italie (LORENZONI & LORENZONI, 1988).

De même l'utilisation des engrais peut entraîner l'installation de plantes rudérales et nitrophiles (BARRALIS 1982) comme c'est le cas actuellement des flores adventices des champs de bordure de case (FONTANEL, 1987a et b, FONTANEL, 1988b).

Mais à moyen terme, cette évolution de la flore sous l'influence du désherbage chimique, sera probablement plus marquée dans la densité relative des levées que dans la diversité spécifique et la structure de la végétation (DESSAINT *et al.*, 1990). L'établissement de ces levées en champs et leur chronologie dépendent en grande partie des possibilités de germination des graines des adventices qui sont pour la plupart constituées de thérophytes et sont celles qui contribuent le plus au salissement des parcelles. Elles sont considérées sous les tropiques comme les véritables mauvaises herbes des cultures céréalières (TRAORE, 1991 ; LE BOURGEOIS, 1993).

La prévision des levées suppose alors de pouvoir comprendre la variabilité des réponses germinatives des graines des adventices dominantes, variabilité liée à une

hétérogénéité des états dormants des graines restées à la surface ou enfouies qui constituent la flore potentielle.

8.2.2. La germination

L'étude de la germination des graines en conditions contrôlées a montré que les graines âgées de 3 germent mieux que les graines fraîchement récoltées à l'exception de celles de *Indigofera hirsuta* et *Sesbania pachycarpa*. Aux conditions de conservation optimales, l'élévation des températures ne constitue pas un facteur limitant. Une augmentation de la température à 40°C permet même d'obtenir un meilleur taux de germination notamment chez *Hibiscus asper*, *Cassia obtusifolia*, *Sesbania pachycarpa* et *Indigofera hirsuta*. Pour les autres espèces, l'optimum thermique est situé autour de 30°C. Ces températures élevées font donc partie des conditions requises au moment de la germination. De telles conditions de températures sont généralement réalisées dans nos champs où elles sont rarement déterminantes (BILLE, 1973). En revanche, pour les espèces à graines photosensibles comme *Eragrostis tremula* notamment, une absence de lumière peut inhiber la germination des graines (MIEGE & TCHOUME, 1963), ce qui est contraire aux observations de BILLE (1973) en ce qui concerne les graines de quelques espèces sahéliennes dont *Aristida mutabilis* et *A. funiculata*, *Chloris priourii* et *Zornia glochidiata*. Toutefois, en rapport avec le métabolisme du phytochrome, cet effet inhibiteur de la lumière dépendrait en partie de la température chez *Spermacoce chaetocephala* et *Indigofera hirsuta*.

La dormance embryonnaire et les inhibitions tégumentaires constitueraient les principales causes de la dormance primaire observée chez les graines fraîchement récoltées alors que chez les graines âgées de 3 ans, la dormance est probablement due à des inhibitions tégumentaires et/ou à une dormance secondaire. Ces caractéristiques sont celles des adventices adaptées au climat tropical et aux pratiques culturales des cultures annuelles des zones sahéliennes (GROUZIS, 1992 ; TRAORE & MAILLET, 1992 ; LE BOURGEOIS & GUILLERM, 1995).

Dans les cultures du Sud du Bassin arachidier, nos résultats semblent indiquer que ces dormances peuvent être levées progressivement dans le temps avec la conservation, la lumière et les variations de température notamment l'augmentation de la température à des niveaux relativement élevés au cours de la saison sèche.

Au total, la germination des graines peut varier en fonction des conditions édaphoclimatiques qui règnent autour des graines enfouies ou de surface.

L'impact agronomique des résultats de la germination peut se résumer à l'effet du travail du sol et sa fréquence avant et après le semis, sur l'enfouissement et le mouvement des graines, leur hydratation et les conditions microclimatiques qui les entourent et qui peuvent induire ou lever les différentes dormances. Ces différents facteurs peuvent avoir une influence sur la structure de la communauté adventice notamment sur la densité des levées et se traduire par des différences d'enherbement entre cultures, différences qui tiennent surtout à la qualité et à la périodicité des labours et aux facteurs climatiques.

En milieu paysan, où le labour est très superficiel, ou parfois absent notamment dans les cultures de mil à semis direct, il est possible que ce soient les graines issues de la dernière saison et qui sont à la surface, qui vont imprimer à la flore de surface sa structure. Dans ce cas, il est à prévoir que l'enherbement de début de cycle qui est la plus nocive, sera surtout marqué par la prédominance d'espèces à graines à dormance moins accentuée comme *Indigofera hirsuta* dont les inhibitions diverses à la germination auront été levées et par les espèces à graines sensibles à la lumière comme *Eragrostis tremula* qui sont laissées intactes à la surface du sol.

Au contraire, lorsque le labour existe et que les semis sont précédés d'un retournement plus ou moins profond du sol, comme c'est généralement le cas des cultures d'arachide, ce sont les graines des années précédentes ramenées en surface et sensibles à la lumière qui donneront à la flore de surface sa physionomie. Ces observations rejoignent celles de ROBERTS (1981).

Toutefois dans les 2 cas, cette structure de la flore peut changer en fonction de la fréquence et de la qualité des sarclages successifs.

Ainsi donc, les façons culturales peuvent, dans les conditions naturelles, enfouir ou non les semences disséminées à la surface du sol. Il est donc possible que des graines de certaines espèces puissent germer mais il semble que très peu de graines germent juste après leur production et leur dissémination à cause des diverses dormances (CHADOEUF-HANNEL, 1985). Ces phénomènes sont observés chez les plantes annuelles des zones tempérées (BASKIN & BASKIN, 1976 ; ROBERTS & LOCKETT, 1976 ; LONCHAMP *et al.*, 1984) comme chez les plantes des zones tropicales (MIEGE & TCHOUME, 1963 ; BILLE, 1973 ; GROUZIS, 1992).

En zones tempérées, les dormances sont levées principalement par 4 facteurs : la lumière, l'alternance de température, la stratification et les ions nitrate. L'aptitude des graines à germer ultérieurement semble revêtir un caractère cyclique (ROBERTS, 1981 ; KARSEN, 1982).

En zone tropicale, c'est surtout l'absence d'humidité en saison sèche et l'installation de la saison des pluies qui jouent un rôle important dans les phénomènes d'entrée et de levées des dormance analogue à celui du froid dans les régions tempérées et froides. Ce fait a déjà été signalé par LLOYD (1958a et b) en Californie dans les régions désertiques de Coachelle Valley et par MIEGE & TCHOUME (1963) dans la région de Dakar. Il est en effet remarquable de constater que des arrosages répétés en saison sèche ne provoquent qu'une augmentation régulière et progressive des levées alors qu'il y a une véritable explosion des levées dès que les pluies s'installent. Les pluies assurent une germination bien supérieure aux aspersions artificielles répétées en saison sèche (MIEGE & TCHOUME, 1963). De même, ces dormances observées chez les graines des plantes annuelles semblent obéir également à un caractère cyclique et sont supprimées aux mêmes époques et par les mêmes facteurs environnementaux qui les ont induites (CHADOEUF-HANNEL, 1985 ; GROUZIS, 1992).

Ce facteur de la sécheresse s'exprime en fonction des conditions d'imbibition des graines dans le sol. Il est considéré par BILLE (1973) comme une condition rigoureuse et générale dans les écosystèmes sahéliens alors que les autres facteurs, comme la lumière, la température et les ions nitrate, sont plus ou moins importantes selon les espèces.

L'ensemble de ces facteurs a probablement une influence sur la présence, la dominance mais surtout l'installation progressive des espèces dans les champs.

A ce stade de développement de la plante, un contrôle efficace des infestations suppose qu'on puisse réduire ou empêcher la germination et la production de graines des adventices dominantes par des sarclages très précoces et réguliers ou par l'utilisation d'herbicides de synthèse ou naturels (LAVABRE, 1988 ; BENNETT & SHAW, 2000 ; CLAY & GRIFFIN, 2000).

L'utilisation de certains herbicides de synthèse comme l'oxadiason ou le sulfentrazone, le diuron, le metribuzin ou l'atrazine, le glyphosate et le pendimethalin a déjà permis d'avoir respectivement de bons résultats sur le contrôle en préémergence de certaines espèces dominantes comme *Kyllinga squamulata* (BUNNELL *et al.*, 2001), *Dactyloctenium*

aegyptium (GILL *et al.*, 2000), *Cassia obtusifolia* (ROMAGNI *et al.*, 2000 ; WATTS *et al.*, 1997) et *Digitaria ciliaris* (GOWDA *et al.*, 1994).

L'inhibition de la germination par incorporation au moment des labours de substances allélopathiques de synthèse en pré émergence, ou ayant une action inhibitrice sur la germination des graines permet un contrôle efficace de *Digitaria ciliaris* (XUAN & TSUZUKI, 2001 ; LI XIANG *et al.*, 2000 ; YANG *et al.*, 1998).

Nos études dans ce domaine ont montré que les extraits aqueux de *Lawsonia inermis* (Lythraceae) et *Vetivera nigritana* (Poaceae) pouvaient avoir, en conditions contrôlées, des propriétés antigerminatives sur les graines de *Eragrostis tremula*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Cenchrus biflorus*, et *Chloris prierii* (FALL *et al.*, 2000).

8.2.3. La dynamique des communautés adventices

Les résultats de l'étude de la dynamique ont montré que 15 espèces étaient importantes dans les conditions de notre expérimentation. Ce sont : *Kyllinga squamulata*, *Mitracarpus villosus*, *Cyperus amabilis*, *Mariscus squarrosus*, *Digitaria ciliaris*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Eragrostis tremula*, *Cenchrus biflorus*, *Spermacoce chaetocephala*, *Cassia obtusifolia*, *Fimbristylis exilis*, *Hibiscus asper*, *Indigofera hirsuta*, *Pennisetum pedicellatum* et *Spermacoce stachydea*.

Toutefois des changements quantitatifs entre la station et le milieu paysan d'une part et entre années d'autre part, peuvent intervenir au sein de la communauté.

En station la flore adventice est constituée de 2 principales espèces *Kyllinga squamulata* et *Mitracarpus villosus* auxquelles il faut ajouter *Cyperus amabilis* et *Eragrostis tremula* en milieu paysan. Les labours permettent ainsi une meilleure homogénéisation de la couche arable en station (DESSAINT *et al.*, 1990b).

Malgré cette homogénéisation apparente, il existe cependant une hétérogénéité spatiale des levées due à l'action cumulée des averses, du vent, de la topographie et de la microtopographie sur la répartition spatiale des graines et sur leur conditions de germination (MIEGE & TCHOUME, 1963 ; BILLE, 1973).

Les changements interannuels observés portent sur la chronologie des levées et l'importance relative de certaines espèces. Ils sont liés aux conditions climatiques et à des caractères spécifiques intrinsèques comme c'est le cas pour *Cassia obtusifolia* dont l'importance est particulièrement remarquable en 1998. En année humide, comme en 1996 et 1998, il y a une forte explosion des levées en début de saison de la plupart des espèces. Ces résultats sont conformes à ceux de MERLIER (1972a) après une pluie de 20 mm dans les jachères au Sénégal. En 1997, année déficitaire, les espèces n'ont pas la même réponse adaptative. Elles peuvent ou non germer et lever en fonction de leurs possibilités de germination en situation de stress hydrique. Les espèces comme *Dactyloctenium aegyptium*, *Spermacoce chaetocephala*, *Eragrostis tremula* et *Hibiscus asper* lèvent plus ou moins précocement en début de cycle. On peut donc en déduire qu'elles sont peu sensibles au stress hydrique. Les autres espèces comme *Mitracarpus villosus*, *Kyllinga squamulata*, *Cyperus amabilis*, *Mariscus squarrosus*, *Cenchrus biflorus*, *Digitaria ciliaris* et *Fimbristylis exilis* lèvent plus tardivement. Il est possible qu'elles soient plus sensibles au stress et ne lèvent que lorsque les conditions pluviométriques deviennent favorables. MERLIER (1972a) a également constaté que l'étalement de la période de levée est d'autant plus important que la pluie est faible et surtout plus tardive.

Dans le premier cas, l'imbibition des graines en année pluvieuse apparaît suffisant pour permettre la germination et la levée de la plupart des espèces qui forment alors un seul cortège en début de cycle.

Dans le second cas, le stress hydrique peut induire des dormances qui ne sont levées que lorsque la pluviométrie ou son cumul est suffisamment importante pour permettre la germination et la levée des graines.

Ces levées sont d'autant plus accentués que les parcelles sont fertilisées en azote à cause de l'effet positif de l'azote sur la germination des graines (CHADOEUF-HANNEL, 1985).

Il existe donc une relation étroite entre la pluviométrie et l'importance et la chronologie des levées qui ont lieu au moment ou après les périodes humides. Ces résultats confirment ceux de ROBERTS (1984).

De plus, la plupart de ces levées n'apparaissent, selon MIEGE & TCHOUME (1963), qu'après la régularisation du climat à la fois par un réchauffement et par une humidification de l'air et les germinations les plus nombreuses ne peuvent se produire que parce que la période de sécheresse et de basses températures a précédé l'hivernage. Ces observations rejoignent celles de BILLE (1973).

8.2.4. La concurrence

Nos résultats préliminaires dans ce domaine, ont montré que la période critique de concurrence pour le mil commencerait au 30^{ème} jour après le binage-démariage effectué au 10^{ème} jour. Cette période correspond à la phase végétative et au début de la phase reproductrice au cours desquels s'élaborent le nombre de talles et d'épis, et la montaison (SIBAND, 1981 ; DIOUF, 1990).

Pour l'arachide, cette période critique débiterait au 15^{ème} jour environ. Elle correspond comme pour le mil, à la phase végétative et juste avant la phase reproductrice en particulier à l'élaboration des gousses et des graines (CATTAN, 1996a et b).

L'itinéraire technique proposé est de 2 désherbages, le premier précoce, le second plus tardif ou à défaut un seul désherbage au début de période critique de concurrence. Cet itinéraire, tout en maintenant une certaine infestation de début de cycle bénéfique en particulier le mil, permet d'éliminer la concurrence avant la montaison chez le mil et le début de l'élaboration des gousses chez l'arachide, phases cruciales qui déterminent les rendements (SIBAND, 1981 ; DIOUF, 1990 ; CATTAN, 1996a et b).

C'est probablement à ce niveau que réside le dilemme dans les exploitations familiales constituées généralement au moins d'un champ de mil et d'un champ d'arachide et dans un contexte où les saisons des pluies sont courtes et déficitaires. Pour éviter une perte sensible de la récolte, le paysan, tout en maintenant une certaine infestation adventice de début de cycle, devra effectuer dans les 45 premiers jours, l'ensemble des opérations suivantes:

- le binage-démariage du mil au 10^{ème} jour ;
- une première intervention dans la culture de l'arachide au 15^{ème} jour (P2) soit 5 jours environ après le binage-démariage ;
- une seconde intervention dans le champ de mil au 20^{ème} jour (P2), soit 5 jour ou moins après la première intervention dans la culture d'arachide ;
- une seconde intervention dans la culture de mil au 40^{ème} jour (P4) soit 20 jours environ après la seconde intervention ;

- une seconde intervention dans la culture de l'arachide au 45^{ème} jour (P4) soit 5 jours après la 3^{ème} intervention dans la culture de mil.

Le problème peut être ramené à une gestion de l'enherbement entre le 10^{ème} et le 15^{ème} jour et entre le 40 et le 45^{ème} jour c'est-à-dire entre le binage-démariage du mil et le premier désherbage de l'arachide d'une part et la dernière intervention qui correspond à la période qui précède la montaison du mil et l'élaboration des gousses et des graines chez l'arachide d'autre part.

Le binage démariage et la montaison constituent en effet chez le mil les phases les plus importantes au cours desquelles s'élabore le rendement. SIBAND (1981) montre qu'un retard de démariage entraîne une diminution du nombre de talles primaires qui serait due à la compétition entre les plantes au sein du poquet. Une augmentation du nombre de plantes par poquet est compensée par une diminution de nombre d'épis par plante. LAMBERT (1983a) montre même que le nombre d'épis par poquet est équivalent dans les poquets à 3 pieds et à 1 pied.

De même, la plupart des travaux cités font état de l'influence de diverses techniques culturales en particulier la fertilisation, la densité et la date de semis, sur le nombre d'épis ou sur le pourcentage de talles herbacées qui montent. Les facteurs mis en cause dans l'élaboration du nombre d'épis qui montent sont l'alimentation hydrique, la lumière et la nutrition minérale.

Un stress hydrique pendant la montaison réduit le nombre d'épis par plantes (HENSON & MAHALAKSHMI, 1985, MAHALAKSHMI & BIDINGER, 1985a et b).

La compétition pour la lumière est d'autant plus intense que la densité de tiges est élevée (CARBERRY & CAMPBELL, 1985; CARBERRY *et al.*, 1985 ; ONG & MONTEITH, 1985).

SIBAND (1981) souligne que c'est surtout pendant la montaison que l'azote et le phosphore risquent d'être le plus souvent limitants.

Chez l'arachide, CATTAN (1996b) montre que le nombre de gousses s'élabore à la même période que la biomasse végétative. Leur faible production s'explique par les mêmes facteurs qui affectent la croissance de la plante en particulier les fanes et est due à une contrainte à l'alimentation hydrique et la pauvreté chimique des sols.

Enfin, il paraît évident, en rapport avec les résultats obtenus de l'impact de la fertilisation azotée sur les adventices, que dans un tel système de culture, les formulations d'engrais à base d'azote dans les cultures d'arachide sont à déconseiller puisqu'elles profitent mieux aux adventices comparée au phosphore qui leur est beaucoup moins disponible (COMPAORE *et al.*, 2001), ce qui complique d'avantage l'entretien des parcelles.

8.3. Les perspectives

Les études envisagées devront préciser dans les différentes zones agroécologiques et pour les différentes spéculations, les études suivantes sur la flore, la germination, la dynamique et la concurrence.

8.3.1. Au plan de la flore

A court terme, les études phénologiques initiées déjà par MERLIER (1972a) doivent être poursuivies pour :

- comprendre le cycle végétatif des adventices afin de modéliser la production et la dissémination des graines ;

- estimer les risques d'infestation et d'évolution de la flore pour promouvoir des pratiques agricoles qui empêchent ou réduisent la production et la dissémination des graines.

A plus ou moins long terme, le degré d'infestation des différentes espèces en fonction de certains paramètres cultureux et climatiques notamment devrait être établi à plus grande échelle.

8.3.2. Au plan de la germination

Les conditions de germination des espèces dominantes comme *Kyllinga squamulata*, *Cyperus amabilis*, *Mariscus squarrosus*, *Fimbristylis exilis* et *Cenchrus biflorus*, devront être étudiées en conditions contrôlées et en fonction des pratiques culturales pour préciser l'origine exacte de ces dormances.

De même, il serait intéressant d'établir, au plan physiologique, la photosensibilité supposée des graines de *Eragrostis tremula* et *Mitracarpus villosus* et de déterminer l'origine de la dormance secondaire observée chez *Mitracarpus villosus* dans une gamme de température plus large.

De plus, des investigations sur l'utilisation limitée d'herbicides de synthèse ou de substances allélopathiques comme herbicides naturels qui auraient un effet inhibiteur sur la germination ou la croissance des principales adventices pourraient conduire à une des solutions alternatives pour le contrôle et la gestion des enherbements notamment en début de cycle comparativement aux études effectuées principalement en Inde pour réduire le coût des herbicides de synthèse (KHANDELWAL & SEN, 1994 ; KANDASAMY & CHANDRASEKHAR, 1998 ; SUBRAHMANYAN & ARULMOZHI, 1998).

En conditions contrôlées, les expériences de germination pourront être couplées avec les exigences hydriques des graines des adventices dominantes en simulant le stress hydrique en présence de polyéthylène glycol (PEG) pour mettre en évidence les conditions favorables au bon établissement des plantules et les conditions de leur survie.

8.3.3. Au plan de la dynamique

Il est évident que la dynamique de la végétation adventice ne peut être comprise après une étude aussi courte car les effets des facteurs climatiques et biotiques, par leur incidence sur le nombre de levées et la vigueur des individus, se répercutent sur le stock de semences dont l'abondance se manifeste l'année suivante, et sans doute à long terme.

Aussi, les recherches sur la dynamique devront être poursuivies sur plusieurs années et dans des conditions réelles de pratique agricole paysanne caractérisées par des sarclages périodiques.

Les causes de l'établissement et de l'échelonnement des levées doivent être recherchées d'abord au niveau des facteurs climatiques, en particulier l'irrégularité de la quantité et de la répartition des précipitations. Par ailleurs, elles devront tenir compte, au même titre que les plantes cultivées, des besoins en eau des adventices, des notions de premières pluies utiles (MERLIER, 1972a et b) et de bilan hydrique (DANCETTE, 1983 ; AFFHOLDER, 1994) en présence ou en absence d'azote. Ces différents paramètres climatiques, écophysiologicals et nutritionnels, devraient être appliqués aux adventices pour préciser les périodes propices de démarrage de la végétation adventice et leur capacité à résister à la sécheresse. Il est possible que ces conditions de croissance aient une influence sur la production de graines.

Au regard des résultats obtenus, il apparaît également nécessaire de pouvoir évaluer et établir l'hétérogénéité et la microhétérogénéité spatiale des levées qui est probablement à l'origine de la variabilité des réponses obtenus dans l'étude de la concurrence des adventices vis à vis des cultures et de la difficulté d'entreprendre de tels travaux dans les agrosystèmes sahéliens.

Ces expériences devront être menées enfin pour évaluer le stock semencier du sol et comprendre son évolution afin d'établir les corrélations possibles entre flore potentielle (stock semencier) et flore réelle (flore de surface) par la connaissance du comportement germinatif des graines.

8.3.4. Au plan de la concurrence

Les études ultérieures devraient préciser la période critique de concurrence et améliorer la pratique paysanne de désherbage en réduisant le nombre d'interventions dans les conditions suivantes :

- Pour le mil :

- comparer les résultats obtenus dans le cas d'un démariage à un pied avec ceux obtenus par la pratique paysanne de démariage à 3 ou 4 pieds pour évaluer l'effet de la concurrence entre pieds sur les paramètres de la croissance, les composantes du rendement et le rendement ;
- évaluer l'impact du binage-démariage sur la période critique de concurrence en supprimant le binage (qui est plus long et plus fastidieux) au cours de l'opération binage-démariage, afin de réduire à terme le nombre d'interventions ;
- prendre en compte les autres composantes du rendement et le rendement tels que le poids de 1000 graines, le nombre de graines par épi et par m², afin d'établir un modèle d'élaboration du rendement en situation de concurrence ;
- augmenter le nombre de répétitions, en ce qui concerne les paramètres de croissance et la biomasse des mauvaises herbes, pour affiner et améliorer l'analyse statistique des résultats ;

- Pour l'arachide :

- effectuer les expérimentations sur plusieurs années pour établir l'influence de la variabilité des conditions climatiques
- prendre en compte d'autres paramètres de croissance et de rendement dans des conditions où le nombre de répétitions puissent permettre une analyse statistique des paramètres de croissance ;
- préciser l'impact des amendements à base d'azote et/ou de phosphore dans les interactions adventices/plante cultivée.

Ces études envisagées sur la flore, la germination, la dynamique et la concurrence sont indispensables pour l'acquisition de données indispensables à la modélisation des risques d'infestation des cultures et aux mesures à prendre pour un bon désherbage. Elles permettront sans doute une meilleure compréhension des phénomènes observés.

Ces études devraient permettre à court terme d'améliorer les méthodes de lutte paysanne en définissant une approche de lutte basée sur la détermination précise des seuils de nuisibilité et des dates d'intervention. Les objectifs, à moyen terme, devraient viser une utilisation limitée des herbicides au moins sur les adventices les plus dominantes dont la densité et la période critique de concurrence auront été suffisamment étudiées. A long terme,

les résultats devraient permettre l'amélioration de la production et l'augmentation des surfaces cultivées grâce à une gestion préventive et à une lutte plus efficace et peu coûteuse contre les mauvaises herbes.

Ces recherches doivent être menées en collaboration avec les agroclimatologues et les spécialistes des systèmes agraires, pour mieux rendre compte des interactions entre les plantes cultivées, les adventices, les pratiques culturales et les conditions de nutrition hydrique et minérale. Elles pourraient permettre d'établir des modèles plus fiables de prévision de la production agricole préconisés par plusieurs auteurs (PIERI, 1979 ; DE MIRANDA & FOREST, 1979 ; CHOPART, 1980a et b ; GARIN & WEY, 1985 ; FONTANEL, 1990 ; BARON, 1991, AFFHOLDER, 1994).

En définitif, il apparaît évident que, en raison des contraintes socio-économiques et climatiques des exploitations familiales actuelles dans le Sud du Bassin arachidier comme dans la plupart des pays sahéliens (AKOBUNDU, 1991), le système traditionnel de gestion des agrosystèmes est devenu inapproprié.

En effet, l'augmentation des surfaces cultivées consécutive à une augmentation de la démographie a accentué l'incidence des adventices.

La rareté de la jachère et l'absence de fertilisation ont conduit à une baisse progressive de la fertilité des sols et de la productivité (GANRY *et al.*, 1974 ; GANRY *et al.*, 1978 ; PIERI, 1990). Les nombreuses années de sécheresse ont eu des conséquences néfastes sur les écosystèmes et leurs composantes notamment sur la flore et la fertilité des sols.

Il est donc important d'envisager aujourd'hui la production de ces cultures dans un contexte d'agriculture durable en développant une approche spécifique, localement adaptée, dans la recherche de solutions aux contraintes majeures de développement dans les agrosystèmes dans le Sud du Bassin arachidier. La restauration de ces composantes peut être assurée par la préservation de la flore liée en particulier à la fertilité des sols associée au développement d'un système d'élevage intégré et durable. La réalisation de cette nouvelle approche pluridisciplinaire et participative nécessite :

- la connaissance des adventices les plus nuisibles et leur contrôle aux périodes critiques de concurrence c'est-à-dire aux dates correspondants à une demande accrue en nutriments du sols (SHIVAKUMAR *et al.* 1994) ;
- des pratiques culturales combinant un apport de fertilisation adéquate et l'introduction d'un pâturage dans un système où l'herbe n'est plus un facteur limitant (GANRY *et al.*, 1974 ; GANRY *et al.*, 1978) ;
- l'utilisation d'espèces adventices et/ou cultivées améliorantes maintenues à leur seuil de nuisibilité en cultures associées avec les plantes cultivées (DANCETTE, 1983) ;
- une pratique de désherbage intégrant de manière judicieuse le désherbage manuelle et mécanique avec une utilisation limitée d'herbicides de synthèse ou de substances allélopathiques ;
- l'utilisation de variétés améliorées dans un système de rotation culturale, et de technologies post-récolte appropriées.

Ces méthodes alternatives devraient avoir plus de chance de succès dans les pays sahéliens que les modèles de pays développés avec sa lourde mécanisation et ses divers produits.

Elles devraient permettre :

- la conservation des espèces fixatrices d'azote et/ou mycorrhizogènes, des parents sauvages des espèces cultivées et des espèces à diverses propriétés ethnobotaniques ;
- la diminution des surfaces emblavées pour les cultures comme l'arachide ;
- l'amélioration de la fertilité des sols ;
- la redynamisation d'une activité pastorale intégrée et durable au sein de l'exploitation familiale.

Les résultats attendus de ces travaux devraient permettre l'élaboration et la mise en œuvre d'un plan d'aménagement intégrant les activités agricole et pastorale dans le cadre d'une politique de conservation de la biodiversité.

Sans cette approche, on pourrait se trouver devant de graves problèmes difficilement solubles qui pourraient être à l'origine de déséquilibres pour l'agriculture sénégalaise en situation déjà très précaire.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADEDEJI F.O., 1984** - Population dynamics of *Aspilia africana* in lowland bush fallows following shifting agriculture in Southern Nigeria. *Oecol. Plant.* **5** (19) : 315-320.
- AFFHOLDER F., 1994** - Influence de la fertilisation et du contrôle de l'enherbement sur la réponse des rendements du mil pluvial à un indice hydrique synthétique. In, *Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale*, Ed. John Libbey Eurotext. Paris, pp. 191-203.
- AHANCHEDÉ A. & GASQUEZ J., 1995** - Mauvaises herbes des cultures pluviales au nord-est du Bénin. *Agricultures et Développement* **7** : 22-29.
- AKANDA R.U., MULLAHEY J.J. & SHILLING D.G., 1996** - Environmental factors affecting germination of tropical soda apple (*Solanum viarum*). *Weed Science* **44** (3) : 570-574.
- AKOBUNDU I.O. & AGYAKWA C.W., 1987** - A handbook of West Africa weeds. IITA Publication, Nigéria; 521 p.
- AKOBUNDU I.O., 1991** - Weeds in human affairs in Sub-saharian Africa : implications for sustainable food production. *Weed technology* **5** : 680-690.
- AKPO L.E., 1998** - Effet de l'arbre sur la végétation herbacée dans quelques phytocénoses au Sénégal : variation selon un gradient climatique. Thèse de doctorat d'état en Sciences Naturelles. 131p.
- AKPO L.E., GROUZIS M., BADA F., PONTANIER R. & FLORET C., 1999** - Effet du couvert ligneux sur la structure de la végétation herbacée de jachère soudanienne. *Sécheresse* **10** (4) : 253-261.
- ANDERSON W.R., 1977** - Weed science : Principles. West Publishing Co., New York
- ANGE A. & FONTANEL P., 1986** - La contrainte enherbement et sa gestion dans le Sud Saloum au Sénégal. Une analyse du travail et de ses résultats agronomiques.
- ANGONIN C., 1995** - Compétition de quelques adventices annuelles dans un blé d'hiver : influence de la conduite de la fertilisation azotée. Thèse de Doctorat, INA-PG. 143 p.
- ANGONIN C., CAUSSANEL J.P. & MEYNARD J.M., 1996** - Competition between winter wheat and *Veronica hederifolia* L. : influence of weed density and the amount and timing of nitrogen application. *Weed Research* **36** : 175-187.
- ANONYME, 1977** - Atlas National du Sénégal. Paris, IGN, 147p.
- ANONYME, 1983** - Les Atlas Jeune Afrique : Sénégal. Paris, 4^{ème} Ed. Jeune Afrique, 72p.
- ANONYME, 1994** - Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale; vers une gestion des flux hydriques par le système de cultures. Actes séminaire, Bamako, Décembre 1991, Ed. John Libbey Eurotext, Paris, 415p.
- AVAV T. & OKEREKE O.U., 1997** - Effect of spatial arrangement and weeding regime on weed growth in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Crop Research* **14**: 2, 199-204.
- AYENI A.O., DUKE W.B. & AKODUNDU I.O., 1984** - Weed interference in maize, cowpea and maize /cowpea intercrop insubhumid tropical environment. III : Influence of land preparation. *Weed Research* **24** : 439-448.
- BA A.T. & NOBA K., 2001** - Flore et Biodiversité végétale au Sénégal. *Sécheresse* **12** (3) : 149-155.
- BA A.T., 1983** - Biologie du parasitisme chez deux Scrophulariaceae *Striga hermonthica* (Del.) Benth. et *Striga gesnerioides* (Wild.) Vatke. Thèse de Doctorat d'Etat, Dakar, 139p.
- BANSAL R.P. & SEN D.N., 1981** - Differential germination behaviour in seeds of Indian arid zone. *Folia & Phytotaxonomica* **16** (2) : 317-330.

- BARKMAN J.J., 1988** – New systems of plant growth forms and phenological plant types. In : M.J.A. Werger, P.J.M. Ven Der Hart, H.J. During and J.T.H. Verhoeven, Academic Publishing The Hague, pp. 7-43
- BARON C., 1991** – Exploration d'Enquêtes en milieu paysan pour une approche agroclimatique du rendement du Mil – Base de données Prodclim. Projet Espace. Rapport d'évaluation, pp. 73-95.
- BARRALIS G., 1976** - Méthodes d'études des groupements adventices des cultures annuelles : application à la Côte-d'Or. C. R. *Vème Coll. Inter. Ecol. Biol. Mauvaises Herbes*, Dijon, 59-68.
- BARRALIS G., 1977a** - Répartition et densité des principales mauvaises herbes en France. Doc. INRA-SFPP, 22p.
- BARRALIS G., 1977b** - La nuisibilité directe. *Phytoma. Défense des cultures* : 11-15.
- BARRALIS G., 1982** – La flore adventice des cultures et son évolution. *Bull. Tech. Inf.*, 370/372 : 463-466.
- BARRALIS G. & CHADOEUF R., 1980** - Etude de la dynamique d'une communauté adventice : I- Evolution de la flore adventice au cours du cycle végétatif d'une culture. *Weed Research* 20 : 231-237.
- BARRALIS G. & CHADOEUF R., 1987** - Potentiel semencier des terres arables. *Weed Research* 27 : 417-424.
- BARRALIS G. & CHADOEUF R., 1988** - Relations entre flore potentielles et flore réelle des champs cultivés. *VIIIème C.R. Coll. Inter. Ecol. Biol. Syst. Mauvaises Herbes*, Dijon, 43-52.
- BARRALIS G., CHADOEUF R. & GOUET J-P., 1986** - Essai de détermination de la taille de l'échantillon pour l'étude du potentiel smencier d'un sol. *Weed Research* 26 : 291-297.
- BARRALIS G., DESSAINT F. & CHADOEUF R., 1996** - Relation flore potentielle - flore réelle de sols agricoles de Côte d'Or. *Agronomie* 16 : 453-463.
- BARRALIS G. & MARNOTTE P. 1980** - Contribution à l'étude de la concurrence plante cultivée et mauvaises herbes. C.R. *VIème Coll. Int. sur l'Ecol. la Biol. et la Syst. des Mauvaises Herbes*, Montpellier, pp. 443-450.
- BASKIN J.M., NAN XIAOYING & BASKIN C.C., 1998** - A comparative study of seed dormancy and germination in an annual and a perennial species of *Senna* (Fabaceae). *Seed Science Research* 8 (4) : 501-512.
- BASKIN J.W. & BASKIN C.C., 1976** - Hight temperature requirement for after-ripening in seeds of winter annuals. *New Phytol.*, 77 : 619-624.
- BEGG J.E., 1965** – The growth and development of crop or bulrush millet (*P. typhoides* S. et H.). *J. Agric. Sci.*, 65 : 341-349.
- BENNETT A.C. & SHAW D.R., 2000** - Effect of preharvest desiccants on weed seed production and viability. *Weed Technology* 14 (3) : 530-538.
- BERES I. & SARDI K., 2000** - Interaction of nitrates and drought stress on the germination of weed species. *Zeitschrift fur Pflanzenkrankheiten und Planzenschutz* 17 : 139-142.
- BERHAUT J., 1967** – Flore du Sénégal. 2^{ème} Ed. Clairafrique, Dakar, 257 p.
- BERHAUT J., 1971-1991** – Flore illustrée du Sénégal. Ed. Gouvernement du Sénégal, MDR/DEF, 10 tomes.
- BILLE J.C., 1973** - Graines et diaspores des plantes herbacées du Sahel, production et dynamique. ORSTOM, Doc. Ronéot., 54p.

- BLACKSHAW R.E. & HARKER K.N., 1998** - *Erodium cicutarium* density and duration of interference effects on yield of wheat, oilseed rape, pea and dry bean. *Weed Research* **38** : 55-62.
- BLONDEL D., 1971**—Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote minéral en sol sableux (Dior) au Sénégal. *Agron. Trop.*, **26** : 1303-1333.
- BOGDAN A.V., 1964** - A study of the depth of germination of tropical grasses : a new approach. *J. brit. Grassland Soc.* **19** (2) : 251-254.
- BONFILS P. & FAURE J., 1956** – Les sols de la région de Thiès. *Bull. Agron.* **16** : 5-92.
- BONNEFOND PH. & COUTY PH., 1988** – Sénégal : passé et avenir d'une crise agricole. *Rev. Tiers Monde* **29** (114) : 319-340.
- BOUFFIL F., 1947** – Biologie, écologie et sélection de l'arachide au Sénégal. Paris. Ministère de la France d'outre-mer. *Bull. Sci.*, n° 1, 112 p.
- BOURNERIAS M., 1969** - Plantes adventices. *Encyclopedia universalis* : 259-260.
- BRAUN-BLANQUET J., 1952** – Phytosociologie appliquée. *SIGMA* **116** : 157-161.
- BRENAN J.P.M., 1978.** – Some aspects of the phytogeography of tropical Africa. *Ann. Missouri Bot. Gard.* **65** : 437-478.
- BSTID-NRC, 1996** - Lost crops of Africa. Vol. 1 Grains. National Academy Press, Washington, 383p.
- BUCHANAN G.A. & HAUSER E.W., 1980** - Influence of Row spacing on competitiveness and yield of peanut (*Arachis hypogea*). *Weed Science* **28** : 401-409.
- BUNNELL B.T., MCCARTY L.B., LOWE D.B. & HIGINGBOTTOM J.K., 2001** - *Kyllinga squamulata* control in bermudagrass turf. *Weed Technology* **15**-(2) : 310-314.
- BUNTING A.H., 1955** – A classification of cultivated groundnuts, Oxford. *Emp. J. Exp. Agric.* **23** (91-92) : 158-170.
- BUNTING A.H., 1958** – A further notes in the classification of cultivated groundnuts, Oxford. *Emp. J. Exp. Agric.*, **26** (103) : 254-258.
- CAMPBELL M.H. & NICOL H.I., 1997** - Effect of age on the germination of *Cassinia arcuata* seeds in storage and buried in soil. *Weed Research* **37** : 103-109.
- CANTILFFE D.J., TANG A.C. & GUEDES A.C., 1980** - Seed traitment of hairy indigo (*Indigofera hirsuta* L.) to overcome hard seed dormancy. *Hortscience*, **15** (4) : 518-520.
- CANTORIA M. & GACUTAN V. C, 1972** - Germination behaviour of *Gynura crepidioides* Benth., *Portulaca oleracea* L. and *Dactyloctenium aegyptium* (L.) Aschess and Schwein.. *Plant Physiology* **49**: 14.
- CARBERRY P.S. & CAMPBELL L.C., 1985** – The growth and development of pearl millet as affected by photoperiod. *Field Crop Res.*, **11**: 207-217.
- CARBERRY P.S., CAMPBELL L.C. & BIDERGER F.R., 1985** – The growth and development of pearl millet as affected by plant population. *Field Crop Res.*, **11**: 193-205.
- CARMONA R. & MURDOCH A.J., 1998** - Effects of dormancy-relieving chemicals on seeds in soil. *Aspects of Applied Biology* **51** : 179-186.
- CARSON A. G., 1976** - Weed competition and control in groundnuts. (*Arachis hypogaea* L.). *Ghana Journal of Agricultural Science.* **9**: 169-173.
- CATTAN P., 1996a** – Contribution à la connaissance du fonctionnement d'un peuplement d'arachide (*Arachis hypogea* L.) : Proposition d'un schéma d'élaboration du rendement. Thèse de Doctorat, INAPG, Paris, 180 p.

- CATTAN P., 1996b – Les composantes du rendement de l'arachide. *Agriculture et développement* 11 : 33-38.
- CAUSSANEL J.P., 1979 – Effets non compétitifs entre le chénopode blanc (*Chenopodium album* L.) et le maïs (INRA 258). *Weed Research* 19 : 123-135.
- CAUSSANEL J.P., 1988 - Biological threshold assessment and postemergence weed control in wheat, corn and tomato. *Proc. of meeting of The EC Expert' group*, Stuttgart : 245-256.
- CAUSSANEL J.P., 1989 - Nuisibilité et seuils de nuisibilité des mauvaises herbes dans une culture annuelle : situation de concurrence bispécifique. *Agronomie* 9 : 219-240.
- CAUSSANEL J.P. & BARRALIS G., 1973 - Les phénomènes de concurrence entre végétaux. *C.R. IV^{ème} Coll. Int. Ecol. Biol. Mauvaises herbes*, Marseille, 202-238.
- CAUSSANEL J.P., BARRALIS G., VACHER C., FABRE E., MORIN C. & BRANTHOME X., 1986 - La détermination des seuils de nuisibilité des mauvaises herbes. *Perspectives agricoles* 108 : 58-65.
- CAUSSANEL J.P., BOUHACHE M., MENNAN H. & TROUVELOT A., 1998 - Biological and economical aspects in integrated management of some Umbelliferae and Leguminosae weeds in dry land cereals. VI th *Mediterranean Symposium, EWRS*, Montpellier, 281- 289.
- CAUSSANEL J.P., BRANTHOME X., MAILLET J. & CARTERON A., 1990 - Influence de la densité et de la période de concurrence de *Solanum nigrum* L. sur la tomate de semis direct, en relation avec le désherbage. *Weed Research* 30 : 341-354.
- CAUSSANEL J.P. & KAFIZ B., 1986 - Une méthode de détermination des seuils de nuisibilité d'une espèce adventice dans une céréale (*Avena* sp. x Blé de printemps). *Proc. EWRS Symposium 1986, Economic Weed Control*, pp. 83-90.
- CAUSSANEL J.P., KAFIZ & CARTERON A., 1988 - Analyse expérimentale des effets de concurrence d'une graminée adventice dans un blé de printemps en relation avec le désherbage. *Weed Research* 28 : 309-322.
- CAUSSANEL J.P., KAFIZ & CARTERON A., 1993 - Yield response of spring wheat to increasing densities of spring oats and various forms of post-emergence weed control. *Agronomie* 13 : 815-827.
- CAUSSANEL J.P. & KUNESCH K., 1979 – Etude quantitative et qualitative des inhibiteurs de croissance présents dans les exsudats de racines de chénopode blanc (*Chenopodium album* L.) au début de sa floraison en culture hydroponique et sous conditions contrôlées. *Z. Pflanzenphysiol. Bd.* 93 : 229-243.
- CHADOEUF R. & BARRALIS G., 1982 – Influence de différents régimes hydriques sur la croissance végétative, le poids et la germination des graines d'une mauvaise herbe cultivée en serre : *Amaranthus retroflexus* L. *Agronomie* 2 : 835-841.
- CHADOEUF R. & BARRALIS G., 1982 - Comportement germinatif des graines d'*Amaranthus retroflexus* L. récoltées dans les conditions naturelles. *Weed Research*, 22 : 361-369.
- CHADOEUF R. & BARRALIS G., 1983 – Evolution de l'aptitude à germer des graines d'*Amaranthus retroflexus* L. récoltées dans différentes conditions au cours de leur conservation. *Weed Research* 23 : 109-117.
- CHADOEUF R. & MONIN, J. 1980 - Recherche des causes possible de l'hétérogénéité germinative des graines d'*Amaranthus retroflexus* L. récoltées dans les conditions naturelles. *Bull. Soc. Ecophysiol.* 5 (2) : 149-154.
- CHADOEUF-HANNEL R., 1985 - La dormance chez les semences de mauvaises herbes. *Agronomie* 5 (8) : 761-772.

- CHARREAU C. & NICOU R., 1971** – L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche Ouest-Africaine et ses incidences agronomiques. *Agron. Trop., Bull. Agron.*, n°23.
- CHIARAPPA L., 1981** – Crop loss Assessment Methods., Supl. 3, FAO and CAB, Farnham Royal, UK.
- CHOPART J.L., 1980a** – Etude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales au Sénégal (arachide, mil, sorgho, riz pluvial). Inst. Nat. Polytech., Toulouse Doctorat Ing., 160 p.
- CHOPART J.L., 1980b** – Caractéristiques et effets du labour en sec et en milieu paysan dans le département de Bambey, Résultats 1980 (ISRA, CNRA Bambey).
- CHOPART J.L., 1983** – Etude du système racinaire du mil (*Pennisetum typhoides*) dans un sol sableux au Sénégal. *Agron. Trop.*, **18** (1) : 37-46.
- CHOUDHARY A.H., 1983** - Weed control in groundnut in irrigation projects in Nigerian savanna. *Tropical Pest Management*. **29**: 3, 277-283.
- CHRISTENSEN S., 1994** - Crop weed competition and herbicide performance in cereal species and varieties *Weed Research* **34** : 29-36.
- CISSE L. & VACHUD G., 1988** – Influence d'apport de matière sur la culture de mil et d'arachide sur un sol sableux du Nord Sénégal. I – Bilans de consommation, production et développement racinaire. *Agronomie*, **8** (4) : 315-326.
- CISSE L., 1986** – Etudes des effets d'apport de matière sur les bilans hydriques et minéraux et la production du mil et de l'arachide sur un sol sableux dégradé du Centre Nord du Sénégal. INP de Lorraine, Doctorat, 184 p.
- CLAVEL D. & GAUTREAU J., 1997** - L'arachide. In *L'amélioration des plantes tropicales*. Ed. CIRAD, ORSTOM, pp. 61-82.
- CLAY P.A. & GRIFFIN J.L., 2000** - Weed seed production and seedling emergence responses to late-season glyphosate applications. *Weed Science* **48** (4) : 481-486.
- COME D., 1968** – Problèmes de terminologie posés par la germination et ses obstacles. *Bull. Soc. Fr. Physiol. Vég.* **14** (1) : 3-9.
- COME D., 1982** - Germination. In *Mazliak P. : Croissance et développement. Physiologie Végétale II*, Hermann, pp 129-225.
- COME D., 1983** - Aspects fondamentaux de la germination et conséquences pratiques. *COLUMA*, pp 657-678.
- COME D., 1993** - Apports de la recherche à l'amélioration de la qualité germinative des semences. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, **79** (2) : 35-46.
- COMPAORE E., FARDEAU J-C, MOREL J-L. & SEDOGO M.P., 2001** - Le phosphore biodisponible des sols : une des clés de l'agriculture durable en Afrique de l'Ouest. *Cahiers Agricultures* **10** : 81-85.
- CONLIN K.A. & TEEM D.H., 1980** - Biology and control of hairy indigo, primary host of cowpea witchweed in Florida. *Proc. of 33rd Annual Meeting of the Southern Weed Science Society*. p. 186.
- CORBINEAU F., 1983** - Recherche sur l'origine de la dormance et le mécanisme de la germination des graines photosensibles d'une espèce tropicale (*Oldenlandia corymbosa* L. Rubiacées). Thèse de Doct. Etat, Paris, 190p.
- CORBINEAU F. & COME D., 1980** - Rôle de l'oxygène et de la température dans la germination des graines de *Oldenlandia corymbosa* L. (Rubiacee tropicale). *Physiologie végétale*, **18** : 2756-287.

- CORBINEAU F. & COME D., 1980/81** - Some particularities of the germination of *Oldenlandia corymbosa* L. seeds (Tropical Rubiaceae). *Isr. J. Bot.* **29** : 157-167.
- CORBINEAU F. & COME D., 1985** - Effect of temperature, oxygen and gibberellic acid on the development of photosensitivity in *Oldenlandia corymbosa* L. seeds during their incubation in darkness. *Plant Physiol.* **79** : 411-414.
- CORBINEAU F. & COME D., 1988** - Primary and secondary dormancies in *Oldenlandia corymbosa* L. seeds. *Plant Physiol.* **7** : 35-39.
- CORNET A., 1980** - Observations sur la capacité de rétention, ses relations avec les valeurs de potentiel et
- CORNET A., 1981** - Le bilan hydrique et son rôle dans la production de la strate herbacée de quelques phytocénoses sahéennes au Sénégal. Thèse Doctorat Ingénieur, USTL Montpellier, 353p.
- COUSENS R., 1985** - A simple model relation yield loss to weed density. *Annals of Applied Biology* **107** : 239-252.
- COVARELLI G. & TEI F., 1984** - Compétition entre tournesol et *Sinapis arvensis* à différents niveaux d'infestation. VI^{ème} C. R. Coll. Intern. Biol. Syst. Mauvaises herbes, Montpellier 1 : 323-330
- CRAMER H.H., 1967** - Plant protection and world crop production. *Pflanzenschutz Nachrichten Bayer* **20** : 1-524.
- CREEL J.M., HOVELAND C.S. & BUCHANAN G.A., 1968** - Germination, growth and Ecology of Sicklepod. *Weed Science* **16** : 396-400.
- DANCETTE C., 1978** - Besoin en eau et adaptation du mil à la saison des pluies au Sénégal. In Proc. Agroclimatological Res. Needs of the Semi-Arid Tropic. ICRISAT, Nov. 1978, 211-226.
- DANCETTE C., 1979** - Agroclimatologie appliquée à l'économie de l'eau en zone soudano-sahélienne. *Agron. Trop.*, **34** (4), 331-355.
- DANCETTE C., 1983** - Besoin en eau du mil au Sénégal, adaptation en zone semi-aride tropicale. *L'agronomie tropicale*, **38** (4) : 267-280.
- DANTHU P., ROUSSEL J., DIA M. & SARR A., 1992** - Effect of different pretreatments on the germination of *Acacia senegal* seeds. *Seed Science and Technology* **20** : 111-117.
- DARMENCY H. & GASQUEZ J., 1990** - Résistances aux herbicides chez les mauvaises herbes. *Agronomie* **6** : 457-472.
- DE MIRANDA E. & FOREST F., 1979** - Une analyse de la variabilité de la production du mil en milieu réel (MARADI-NIGER) par la simulation du bilan hydrique. Opération DGRT/LAT/Maradi. 25p.
- DEAT M., 1988** - Plantes indésirables et herbicides. *Afrique Agriculture* **158** : 36-37.
- DEN BOER L., 1987** - Entomologie appliquée Tome 1 département de Formation en Protection des Végétaux, CILSS/Centre Aghrymet, Niamey Niger 130 pp.
- DESSAINT F., CHADOEUF R. & BARRALIS G., 1990b** - Etude de la dynamique d'une communauté adventice : II. Influence à long terme des techniques culturales sur le potentiel semencier *Weed Research* **30** : 297-306.
- DESSAINT F., CHADOEUF R. & BARRALIS G., 1990c** - Etude de la dynamique d'une communauté adventice : III. Influence à long terme des techniques culturales sur la composition spécifique du stock semencier *Weed Research* **30** : 319-330.

- DESSAINT F., CHADOEUF R. & BARRALIS G., 2001** - Diversité des communautés de mauvaises herbes des cultures annuelles de Côte-d'Or (France). *Biotechnol. Agron. Environ.* **5** (2) : 91-98.
- DESSAINT F., BARRALIS G., BEURET E., CAIXINHAS M.L., POST B.J. & ZANIN G., 1990a** - Etude coopérative EWRS : La détermination du potentiel semencier : I. Recherche d'une relation entre la moyenne et la variance d'échantillonnage. *Weed Research* **30** : 421-429.
- DESSAINT F., BARRALIS G., BEURET E., CAIXINHAS M.L., POST B.J. & ZANIN G., 1992** - Etude coopérative EWRS : la détermination du potentiel semencier : Estimation de la précision relative sur la moyenne à partir de composites, *Weed Research* **32** : 91-101.
- DEUSE J.P.L. & HERNANDEZ S., 1978a** – Essais de désherbage chimique du sorgho au Sénégal. *Agronomie tropicale*, **35** (1): 64-68.
- DEUSE J.P.L. & HERNANDEZ S., 1978b** – Essais de désherbage chimique du mil nain au Sénégal. *Agronomie tropicale*, **35** (1) : 68-74
- DEUSE J.P.L. & HERNANDEZ S., 1978c** – Essais de désherbage chimique de l'arachide au Sénégal. *Agronomie tropicale* **35** (1): 74-79.
- DEUSE J.P.L. & HERNANDEZ S., 1978d** – Essais de différentes formulations pour le désherbage de l'arachide au Sénégal. *Agronomie tropicale*, **35** (1): 79-83.
- DEUSE J.P.L., HERNANDEZ S. & DIALLO S., 1978a** - Essai de désherbage chimique du riz pluvial au Sénégal. *Agronomie tropicale* **35** (1) : 41-47.
- DEUSE J.P.L., HERNANDEZ S., AUBIN J.P. & KEITA L., 1978b** - Essai de lutte chimique contre les riz sauvages annuels au Sénégal. *Agronomie tropicale* **35** (1) : 47-53.
- DHARMENDRA K. & PYARE L., 1999** - Improving germination of *Sesbania rostrata* green manure crop. *Seed Research* **27** (1) : 20-24.
- DIAGNE A.L., 2000** - Impact d'un déficit pluviométrique sur le fonctionnement hydrique foliaire de *Acacia tortilis* en zone semi-aride (Ferlo-Nord, Sénégal). Thèse de Doctorat de 3^{ème} cycle, Université C.A.DIOP, Dakar. 111 p.
- DIALLO S., 1981** – Les mauvaises herbes des cultures pluviales dans le secteur Centre-Nord du Sénégal: aspects taxonomique, agronomique et écologique. Mémoire CNEARC-ESAT. 95p.
- DIALLO S., 1992** – Désherbage chimique et lutte contre les mauvaises herbes du riz au Sénégal., *C. R. 2^{ème} séminaire sur la lutte intégrée contre les ennemis des cultures vivrières dans le Sahel*. Institut du Sahel, Bamako, Mali 1983, pp. 245-256.
- DIALLO S. & JOHNSON D. E., 1997** – Les adventices du riz au Sahel et leur contrôle. ADRAO, pp. 311-323.
- DIEDHIOU I., 1998** - Réponses écologiques et écophysiologicals à l'aridité de deux suffrutescentes de la zone sahélienne du Sénégal : *Indigofera oblongifolia* Forssk. et *Indigofera tinctoria* L. Thèse doctorat de 3^{ème} cycle, Institut des Sciences de l'Environnement, UCAD, Dakar, 135 p.
- DIOUF M., 1990** – Analyse de l'élaboration du rendement du mil (*Pennisetum typhoides* Staph et Hubb.). Mise au point d'une méthode de diagnostic en parcelles paysannes. Thèse de Doctorat, INAPG, Paris, 227 p.
- DIOUF O., 2000** – Réponses agrophysiologiques du mil (*Pennisetum glaucum*) (L.) R. Br.) à la sécheresse : influence de la nutrition azotée, Thèse de Doctorat, Université libre de Bruxelles. 159 p.
- DOUTI P.Y., 1997** - Cotton crops versus weeds : when is the competition periode. *Agriculture et Développement*. May, 11-16..

- DOWTON W.J.S. & TREGUNA E.B., 1968** – Carbon dioxide compensation, its relation to photosynthetic carboxylation reactions of graminæ and leaf anatomy. *Can. J. Bot.*, **46**: 207-246.
- DRENNAN D.S.H. & JENNINGS E.A., 1977** - Weed competition in irrigated cotton (*Gossypium barbadense*)
- DUNAN C.M., WESTRA P., MOORE F. & CHAPMAN P., 1996** - Modelling the effect of duration of weed competition, weed density and weed competitiveness on seeded , irrigated onion. *Weed Research* **36** : 259-269.
- DUPORIEZ H., 1982** – Paysans d’Afrique Noire. Terres & Vie, Nivelles (Belgique), 256 p.
- DWIVEDI G.K., SINHA N.C., TOMER P.S. & DIXIT O.P., 1991** - Nitrogen economy, seed production efficiency and seed vigour of *Panicum maximum* by intercropping of pasture legumes. *Journal of Agronomy & Crop Science* **166** (1) : 58-62.
- EASTIN E.F., 1981** - Sicklepod germination as influenced by seed treatment and température. *Miscellaneous Publication*, N° MP-1481, 7pp.
- EGLEY G.H. & CHANDLER J.M., 1978** - Germination and viability of weed Seeds after 2,5 years in a 50 –years buried seed study. *Weed Science* **26** (3): 230-238.
- EL TITI A., 1988** - Conclusions and recommandations. Ed. R. Cavalloro & A. El Titi . *Proc. Of a Meeting of the experts' group on Weed control in vegetable production* , october 1986, Stuttgart, pp. 291-295.
- ELBERSE W.T. & BREMAN H., 1990** - Germination and establishment of Sahelian rangeland species. II.
- ENRIGHT N., 1985** - Existence of a soil seed bank under rainforest in New Guinea. *Australian Journal of Ecology*, **10** : 67-71.
- EVENARI M., 1957** – Les problèmes physiologiques de la germination. *Bull. Soc. Fr. Physiol. Vég.* **3** : 105-124.
- FALL I., BA A.T. & NOBA K., 2000** - Etude des propriétés herbicides de deux extraits naturels de plantes tropicales : *Lawsonia inermis* L. (Lythraceae) et *Vetivera nigriflora* Stapf. (Poaceae). *A.J.S.T.*, **1** (3) : 70-77.
- FALL M., HERNANDEZ S., PIROT R., POTHIER G. & TCHAKERIAN E., 1978** - Utilisation des herbicides au Sénégal: principales contraintes et possibilités d'introduction en milieu paysan. *3ème symposium sur le désherbage des cultures tropicales*, Dakar, Sept, pp 31-45.
- FAO, 1990** - The major significance of minor forest products. The local use and value of forest in the West African humid forest zone. Ed. Koppell C. R. S. FAO 232 p
- FAO, 1997** - L'économie mondiale du sorgho et du mil : faits, tendances et perspectives. FAO, Rome, 68p
- FAYE P.M., 1998** – Etude diagnostique des contraintes de la culture du mil “ Sanio ” en parcelles paysannes : enquêtes et observation parcellaires ; identification des contraintes avec l’approche IPM. Mémoire de l’ENSA, Thies, 72p.
- FELDMAN S.R., ALZUGARAY P.S., TORRES & LEWIS P., 1997** - The effect of different tillage systems on the composition of the seedbank. *Weed Research* **37** : 71-76.
- FELLER J.L., CHOPART F. & DANCETTE C., 1987** – Effet de divers modes de restitution de pailles de Mil sur le niveau et la nature du stock organique dans deux sols tropicaux (Sénégal). *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, **23**(3), 237-252.
- FERRARIS R., 1973** - Pearl Millet (*Pennisetum typhoides*). Rev. Series n°1. Com. Bur. Of Pastures and fields Crops.

- FLORET C. & PONTANIER R., 1991** - Recherches sur la dynamique de la végétations des jachère en Afrique tropicale. In La Jachère en Afrique de l'Ouest, atelier Int. Montpellier, Décembre 1991, Ed. ORSTOM, 33p.
- FONTANEL P., 1986a** - Etats des végétations de parcours dans la communauté rurale de Kaymor (Sud Saloum, Sénégal) : effets de la pression anthropique dans les différents milieux et capacités de récupération. CIRAD, DSP/86/N°28, 41p.
- FONTANEL P., 1986b** - Résultats de 2 années (1984 et 1985) d'expérimentation sur herbicides pour mils et sorghos en zone soudano-sahélienne au Sénégal, ISRA, 86/070 CNRA Bambey 43p.
- FONTANEL P., 1986c** - Les adventices dans la culture de l'arachide et leur désherbage. Rapport d'évaluation du programme arachide. CNRA- Bambey, ISRA. 11p.
- FONTANEL P., 1987a** - Effets sur la végétation adventice du Sud-Saloum (Sénégal) des fumures minérales, du travail du sol et des précédents culturaux. Rapport CIRAD/IRAT, DSP/87/n°3, Montpellier, Multigraphié, 43p.
- FONTANEL P., 1987b** - Groupements adventices et facteurs écologiques et culturaux, comportement des espèces dans le cycle, efficacité des désherbages paysans et voies d'amélioration du Sine Saloum, Sénégal. Rapport CIRAD/IRAT, DSV/87/n°7, Montpellier, Montpellier, 60p.
- FONTANEL P., 1987c** - Bilan des recherches malherbologiques et phytoécologiques au Sine Saloum, Sénégal. Propositions pour 1987. DSP/87/N°1
- FONTANEL P., 1988a** - Herbicides systémiques et approche agro-écologique pour améliorer le désherbage sous les tropiques. *Afrique Agriculture* 158 : 38-39.
- FONTANEL P., 1988b** - Eléments de typologie des végétations adventices au Sine Saloum (Sénégal) et conséquences pour l'amélioration des désherbages. *VIII^{ème} C. R. Coll. Inter. Biol., Ecol. et Syst. des Mauv. Herb* : 444-455.
- FONTANEL P., 1990** - Mise en place de l'essai concurrence hydrique des adventices au CNRA de Bambey (Sénégal). Rapport de mission ISRA. 12 p.
- FOREST F. & LIDON B., 1982** - Influence du régime pluviométrique sur la fluctuation du rendement d'une culture de Sorgho intensifiée. In "Proc. Int. Symposium. Agrometeorology of Sorghum and Millet in Semi-Arid Tropic, 1982, ICRISAT, India, 20 p.
- FRANQUIN P., 1969** - Analyse agroclimatique en régions tropicales : saison pluvieuse et saison humide. Applications. *Cah. ORSTOM, Sér. Biol.*, 9, 65-95.
- FRANQUIN P. & FOREST F., 1977** - Des programmes pour l'évaluation et l'analyse fréquentielles des termes du bilan hydrique. *Agronomie tropicale* 32 (1) : 7-11.
- FREUD C., FREUD-HANAK E., RICHARD J. & THENEVIN P., 1997** - La crise de l'arachide au Sénégal : un bilan diagnostique. CIRAD. 157 p.
- FUSSEL L.K. & PEARSON C.L., 1978** - Course of grain development and its relationship to black region appearance of *P. americanum*. *Field Crop Res.*, 1: 21-31.
- GANRY F., BIDEAU J. & NICOU R., 1974** - Action de la fertilisation azotée et de l'amendement organique sur le rendement et la valeur nutritionnelle du mil Souna III. *Agron. Trop.*, 29 (10) : 1006-1015.
- GANRY F., GUIRAUD G. & DOMMERGUES Y., 1978** - Effect of strow incorporation on the yield and nitrogen balance in sandy soil Pearl Millet cropping system of Senegal. *Plant Soil*, 50 (3) : 647-662.
- GARIN & WEY, 1985** - L'amendement organique des sols sableux : une assurance contre les préjudices de la sécheresses, cas de Thilmakha (isohyète 400 mm). *Séminaire National de lutte contre la désertification*, St-Louis avril, 1985.

- GIANINAZZI S. & SCHUPPE., 1994** - Impact of arbuscular micorrhizas on Sustainable Agriculture and Natural Ecosystems. *Advances in life sciences*, Berkhäuser Verlag, Basel, Berlin, 226 p.
- GIANINAZZI-PEARSON V., TROUVELOT A. & GIANINAZZI S., 1993** - Problems and perspectives for using endomycorrhizas in sustainable plant production systems. In Z. Qigno et al eds " *Improvement of soil fertility* ". *Proc. of the IFS Workshop*, Nanjing, China, 156-162.
- GILL B.S., RANDHAWA G.S. & SAINI S.S., 2000** - Integrated weed management studies in turmeric (*Curcuma longa* L.). *Indian Journal of Weed Science* **32** (1/2) : 114-115.
- GILLER P. & SILVESTRE P., 1969** - L'arachide. Ed Maisonneuve & Larose, Paris, 292p.
- GLIESSMAN S.R., 1988** - Ecology and management of weeds in traditional agroecosystems. In **LIEBMAN M. & ALTIERI M.** *Weed Management in agroecosystems : ecological approaches*. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida : 237-244
- GODINHO I., 1984** - Les définitions d'adventice et de mauvaise herbe. *Weed Research* **24** : 121-125.
- GOURNAY DE X., 1977** - La nuisibilité indirecte. *Phytoma . Défense des cultures* : 5-11
- GOWDA S.J.A., DEVENDRA R., PRASAD T.G., KUMAR M.U. & GOWDA M.K., 1994** - Selectivity of the herbicide pendimethalin on *Eleusine coracana* and *Cajanus cajan*-. *Proceedings of the Indian National Science Academy. Part B, Biological Sciences* **60** (6) : 577-581
- GREGORY W.C., 1956** - Induction of useful mutation in the peanut. In *Genetic in Plant Breeding. Brookhaven Symposia in biology* **9** : 177-190.
- GREGORY W.C., SMITH B.W. & YARBROUGH J.A., 1951** - Morphology, genetic and breeding in the peanut. The unpredictable legume. A Symposium. Washington. The Nat. Fert. Assoc. pp. 28-88.
- GROUZIS M., 1992** - Germinations et établissement des plantes annuelles sahéliennes. In *L'aridité : une contrainte au développement, caractérisation, réponses biologiques, stratégies des sociétés*, ORSTOM, pp. 267-282.
- GUILLERM J.L., 1990** - Conduite du désherbage et cycle de développement des mauvaises herbes dans les vignobles de l'ouest du Bassin méditerranéen. *Phytoma Espana* **23** : 55-58.
- GUILLERM J.L. & MAILLET J., 1984** - Influence de l'environnement sur la flore des vignes désherbées chimiquement. *Proc. EWRS 3rd Symp. on weed problems in Mediterranean area*, 49-56.
- GUILLERM J.L., LE FLOC'H E., MAILLET J. & BOULET C., 1990** - The invading weeds within the Western Mediterranean Basin. In *F. di Castri, A.J. hansen and M. Debusshe Ed., Biological Invasions in Europe and the Mediterranean Basin*. pp. 61-84.
- GUINKO S., 1984** - Végétation de la Haute-Volta. Thèse de doctorat en Sciences Naturelles. Université Bordeaux III. 394p.
- GUPTA K.C., 1973** - Factors influencing dormancy in seeds of crowfootgrass. *Biochemie und Physiologie der Pflanzen* **164** (5/6) : 582-587.
- HAKANSON S., 1983** - Competition and production in short-lived crop-weed Stands. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Växtoppling, Rapport 127.
- HAMADA A.A., 1988** - Weed competition in irrigated groundnuts, variety Ashford, in the Rahad Scheme, Sudan. *Beitrag zur Tropischen Landwirtschaft und Veterinarmedizin* **26** (1) : 25-31.

- HAMADA A.A., BABIKER E.A. & KHALIFA F.M., 1988** - Effect of weeds, nitrogen and phosphorus fertilizers on pod yield and growth of groundnuts at Rahad (Sudan). *Oleagineux* **43** (10) : 379-382.
- HAMDOUN A.M., 1977** - Competitive effects of weeds upon growth and yield of cotton, groundnuts and sorghum in the Kenana area of the Sudan. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, **84** (9) : 509-515.
- HAMEL A. & DANSEREAU P., 1949** - L'aspect écologique du problème des mauvaises herbes. *Bull. du service de Biogéographie* **5** : 3-47.
- HARPER J.L. & WHITE J. 1974** - The demography of plant. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* **5** : 419-463.
- HENSON I.E. & MAHALAKSHMI V., 1985** - Evidence for panicle control of stomatal behaviour in water stressed plants of pearl millet. *Field Crops Rec.* **11** : 281-290.
- HERNANDEZ S., 1978** - Les mauvaises herbes et le désherbage des cultures au Sénégal. Conf. Int. de Malherbologie IITA Ibadan Nigéria, juillet 1978. 18p.
- HILTON J.R., 1984** - The influence of light and potassium nitrate on the dormancy and germination of *Avena fatua* L. (wild oat) seed and its ecological significance. *New Phytologist*. **96** (1) : 31-34.
- HOLZNER W., 1977** - Plant ecological considerations about the use of herbicides in agriculture. In, *Vegetation science and environmental protection, Proc. Symp.* Tokio Miyawaki and Tüxen edit. Maruzen Tokio, 295-297.
- HOLZNER W., 1978** - Weed species and weed communities. *Vegetatio*, **38** (1) : 13-20.
- HSU L.M. & CHIANG M.Y., 2000** - Responses of green *Kyllinga* (*Kyllinga brevifolia*) to abiotic factors: an investigation on seed germination and effective chemical control. *Plant Protection Bulletin* **42** (2) : 107-114.
- HUTCHINSON J. & DALZIEL J.M., 1972** - Flora of West Tropical Africa. 2nd Ed. C.A.O.G.A. Publications, London.
- HUTCHINSON P. & DALZIEL J.M., 1954** - Flora of West Tropical Africa. 2^{ème} ed. Revised by R. W. J. Keay. The white friars. Press, London and Tonbridge. Vol. 1. Part 1. 295p.
- HUTCHINSON P., DALZIEL J.M., KEAY R.W.J. & HEPPER F.N., 1958** - Flora of West Tropical Africa. Vol I Part 2. 2nd éd. Whitefriars Press Ltd, London, Tonbridge, England, 828p.
- ICRISAT, 1981** - *Proc. of the international Workshop on Intercropping*, Hyderabad, India, Jan. 1979. pp.
- IER & ICRISAT, 1987** - Les cultures associées au Mali. Séminaire sur les cultures associées au Mali, Bamako. 153p.
- ISRA, 1975** - Amélioration des mils au Sénégal. Rapport général d'activités. ISRA/CNRA, 2 vol., doc. Mult., 1987 p.
- ISRA, 1978** - Contribution de la Division Malherbologie du C.N.R.A. de Bambey à la conférence Internationale de Malherbologie (I.I.T.A. Ibadan Nigéria 3-7 juillet 1978. 92p.
- ISRA, 1994** - Rapports d'activités, 1994. Editions ISRA. 67p.
- ISRA, 1998** - Plan stratégique de l'ISRA (1998-2003). Synthèses des activités scientifiques et chiffrage. Editions ISRA (Institut Sénégalais de Recherches Agronomiques). 83 p.
- JACQUINOT L., 1970** - La nutrition carbonée du mil (*Pennisetum typhoides* Staph & Hubb.) I. Migrations des assimilats carbonés durant la formation des grains. *Agron. Trop.*, **25** : 1088-1095.

- JAN P., 1971** - Problèmes posés par le désherbage des cultures de maïs de mil et de Sorgho *L'Agronomie tropicale* : 236-238.
- JANSEN D.M. & GOSSEYE P., 1986** - Simulation of growth of millet (*Pennisetum americanum*) as influenced by water stress. CABO-TT: Wageningen, 10, 108 p.
- JAUZEIN P. & MONTEGUT J., 1983** - Graminées nuisibles en agricultures. Monsanto, 538p.
- JAUZEIN P., 1986** - Echelonnement et périodicité des levées des mauvaises herbes. *Bull. Soc. Bot. Fr.* 133 *Lettres bot.* (2) : 155-166.
- JOHNSON D.E., 1997** - Les adventices en riziculture en Afrique de l'Ouest. Ed. ADRAO/WARDA, 312p.
- JORDAN N.R., ZHANG J. & HUERD S., 2000** - Arbuscular-mycorrhizal fungi : potentiel roles in weed management. *Weed Research* 40 : 390-410.
- JORNSGARD B., RASMUSSEN K., HILL J. & CHRISTIANSEN J. L., 1996** - Influence of nitrogen on competition between cereals and their natural weed populations. *Weed Research* 36 (6) : 461-470.
- JUSTE E., MARY B., MEYNARD J.M., MACHET J.M. & THELIER-HUCHE L., 1994** - Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops. *Annals of Botany* 74 : 397-407.
- KAHLEM G., 1981** - La végétation de la forêt de Bandia. Evolution des populations végétales et de la production de graines, pendant les années 1978, 1979, 1980. *Bulletin de l'IFAN*, T. 43, sér. A, n° 3-4, 232 : 253.
- KANDASAMY O.S. & CHANDRASEKHAR C.N., 1998** - Comparative efficacy of chemical and non-chemical methods of weed management in rainfed maize (*Zea mays* L.). *Indian Journal of Weed Science* 30 (3/4) : 201-203.
- KARSSEN C.M., 1980/1981** - Patterns of change in dormancy during burial of seeds in soil. *Isr. J. B.*, 29 : 65-73.
- KARSSEN C.M., 1982** - Seasonal patterns of dormancy in weed seeds . In Khan A.A. : *The physiology and biochemistry of seed development, dormancy and germination* . Elsevier Biomedical Press Amsterdam, New York, pp. 243-270.
- KASERA P.K. & SEN D.N., 1992** - Effect of different nitrates on seed germination of *Chenopodium* spp. (L.). *Annals of Arid Zone* 31 (1) : 75-76.
- KELLMAN M.C., 1973** - The viable weed seed content of some tropical agricultural soils. *J. Appl. Ecol.* 2 (2) : 669-677.
- KHANDELWAL V.K. & SEN D.N., 1994** - Effect of potassium nitrate on seed germination of *Eragrostis* species. *Haryana Agriculture journal of Research* 24 (1) : 5-6.
- KHEDDAM M., LE CLERCH J. & CAUSSANEL J.P., 1988** - Période critique de compétition des mauvaises herbes dans une culture de maïs en Bretagne. *C.R. VIII^{ème} Coll. Inter. Sur la Biologie, l'Ecologie et la Systématique des mauvaises herbes* : 563-572.
- KOCH W., BESHIR M.E. & UNTERLADSTATTE R., 1982** - Crop losses due to weeds. In : *Improving weed management. FAO, Plant Protection and Protection Paper*. Rome. 44 : 153-165.
- KOLLER D., SACHS M. & NEGBI M., 1964** - Germination regulating mechanism in some desert seeds VIII. *Artemisia monosperma*. *Plant Cell Physiol.* 5 : 85-100.

- KOMA B., 1998** - Végétation post-culturelle en zone soudanienne. Influence des pratiques culturelles et des facteurs anthropiques sur la reconstitution végétale après abandon cultural. Thèse de Doctorat, Université de Corse, 169p.
- KONATE Y.K., 2000** – Variabilité pluviométrique au Sénégal. Mémoire de Maîtrise de Géographie, UCAD, 130p.
- KUMAR K.A., 1989** – Pearl millet : current status and future potential. *Outlook agric.*, **8** : 46-53.
- KUMAR K.A. & ANDREWS D.J., 1993** – Genetics of qualitative traits in pearl millet: a review. *Crop Sci.*, **33**: 1-20
- LAMBERT C., 1983a** - Elaboration de rendement. *Agronomie tropicale* **38 (1)** : 16-26.
- LAMBERT C., 1983b** – L'IRAT et l'amélioration du Mil *Pennisetum*. Présentation des travaux. *Agron. Trop.*, **38(1)**, 78-88.
- LAVABRE E.M., 1988** - Le désherbage des cultures tropicales. Editions Maisonneuve et Larose. 127 p.
- LAWSON H.M. & TPHAM B.P., 1985** – Competition between annual weeds and vining peas grown at a range of population densities : effects on the weeds. *Weed Research* **25** : 221-229.
- LE BOURGEOIS T., 1993** – les mauvaises herbes dans la rotation cotonnière au Nord-Cameroun (Afrique) – Amplitude d'habitat et degré d'infestation – Cycle de développement. Thèse de Doctorat, USTL, Montpellier, France, 241p.
- LE BOURGEOIS T. & GUILLERM J.L., 1995** – Etendue de distribution et degré d'infestation des adventices dans la rotation cotonnière au Nord-Cameroun. *Weed Research* **35** : 89-98.
- LE BOURGEOIS T. & MERLIER H., 1995** – Adventrop : les adventices d'Afrique soudano-sahélienne. CIRAD-CA Montpellier, 637p.
- LE HOUEROU H.N., 1989** - The grazing lands ecosystems of the Africa Sahel. *Ecological Studies*, vol. 75 : 270p.
- LEBRUN J., 1966** – Les formes biologiques dans les végétations tropicales. *Bull. Soc. Bot. De France* : 164-175
- LEBRUN J.P., 1973.** – Enumération des plantes vasculaires du Sénégal. Ed. Maison Alfort, IEMVT, Bot. 2, 209 p.
- LEBRUN J.P. & A. STORK, 1991, 1992, 1995, 1997** – Enumération des plantes à fleurs d'Afrique tropicale. Conservatoire et Jardin botanique, Genève ; Vol 1, 2, 3, 4. 712p.
- LEMAIRE G. & SALETTE J., 1984a** - Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I. - Etude du milieu *Agronomie* **4 (5)** : 423-430.
- LEMAIRE G. & SALETTE J., 1984b** - Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. II. - Etude de la variabilité entre génotypes. *Agronomie* **4 (5)** : 431-436.
- LI XIANGJU, LU DEZI & LI YANGHAN, 2000** - Study on allelopathic effect of wheat straw on the emergence of crabgrass (*Digitaria ciliaris*). *Journal of Hebei Agricultural University* **23 (2)** : 74-81
- LLOYD T., 1958a** - Germination and growth of ephemerals induced by sprinkling a sandy desert. *Ecology* **39 (4)** : 681-688.
- LLOYD T., 1958b** - A population of desert ephemerals germinated by less than one inch of rain. *Ecology* **39 (4)** : 688-695.

- LONCHAMP J.P. & GORA M., 1980** - Effet de l'enfouissement sur les exigences germinatives des semences de mauvaises herbes. *C.R. VI^{ème} Int. Ecol. Biol. Syst. Mauvaises Herbes*, Montpellier, 113-122.
- LONCHAMP J.P., CHADOEUF R. & BARRALIS G., 1984** - Evolution de la capacité de germination des semences de mauvaises herbes enfouies dans le sol. *Agronomie* 4 (7) : 671-682.
- LONGCHAMP R., 1977** - Seuils de nuisibilité des mauvaises herbes. *Phytoma . Défense des cultures* :7-11
- LORENZONI F.C. & LORENZONI G.G., 1976** - Modifications et évolution des associations de mauvaises herbe en liaison avec les pratiques agraires dans les zones méditerranéennes de l'Italie. *C. R V^{ème} Coll. Int. sur l'Ecol. et la Biol. des Mauvaises Herbes*. Dijon : 173-177.
- LORENZONI F.C. & LORENZONI G.G., 1988** - Modifications et évolution de mauvaises herbes en liaison avec les pratiques agraires dans les zones méditerranéennes de l'Italie. *C.R. VIII^{ème} Coll. Inter. sur la Biol. l'Ecol. et la Syst. des Mauv. Herb.* Dijon 14-16 Septembre, 1988, pp. 173-177.
- LOWE D.B., WHITWELL T. & MCCARTY B., 1998** - Temperature influences germination and growth of *Kyllinga* species. Ed. Glenn, *Proceedings of the fifty-second annual meeting of the Northeastern Weed Science Society*, Washington, 5-8 January, pp. 38-41.
- LOWE D. B., WHITWELL T., MCCARTY L.B. & BRIDGES W.C., 1999** - *Kyllinga brevifolia*, *K. squamulata*, and *K. pumila* seed germination as influenced by temperature, light, and nitrate. *Weed Science* 47 (6) :: 657-661.
- MAHALAKSHMI V. & BIDINGER F.R., 1985a** - Flowering response of pearl millet to water stress during panicle development. *Ann. Appl. Biol.* 106 : 571-578.
- MAHALAKSHMI V. & BIDINGER F.R., 1985b** - Water stress and time floral initiation in pearl millet. *J. Agric. Sci. Camb.* 105 : 437-445.
- MAILLET J., 1981** - Evolution de la flore adventice dans le Montpelliérais sous la pression des techniques culturales. Thèse de Docteur Ingénieur. USTL - Montpellier, 200p.
- MAITI P.K. & BIDINGER F.R., 1981** - Growth and development of the pearl millet to water stress during panicle development. *Ann. Appl. Biol.*, 106: 571-578.
- MAITI P.K. & BISEN S.S., 1990** - L'anatomie du mil. ICRISAT Bull. d'Infor., n°6, 14p.
- MALIK V.S., SWANTON C.J. & MICHAELS T.E., 1993** - Interaction of white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars, row spacing and seeding density with annual weeds. *Weed Science* 41 : 62-68.
- MAMAROT J., 1985** - Eléments de compréhension au bon usage de l'herbicide. *La Défense des végétaux*, 233 : 27-30.
- MARNOTTE P., 1997** - Herbicide use: constraints and prospects. *Agriculture et Développement*, 2-10.
- MAROUF A., 2000** - Dictionnaire de botanique. les phanérogames. Ed. Dunod Paris, 256 p.
- MATSUO K. & KUBOTA T., 1993** - Effects of stratification and temperature on germination of annual upland weeds in Tohoki district. *Weed Research* 38 (2) : 90-96.
- MBAYE M.S., 1999** - Contribution à l'étude biosystématique du genre *Corchorus* L. au Sénégal. Mémoire DEA, UCAD, Dakar, 86p.

- MBAYE M.S., NOBA K., SARR R.S., KANE A., SAMBOU J.M. & BA A. T., 2001** – Caractères spécifiques d'identification au stade jeune plant d'adventices Sénégalaises du genre *Corchorus* L. (Tiliaceae). *Ann. Bot. Afr. O.* **00 (0)** : 35-42.
- MCPHERSON H.G. & SLAYTER R.O., 1973** – Mechanisms regulating photosynthesis in *Pennisetum typhoides*. *Aust. J. Biol. Sci.*, **26**: 329-339.
- MEDD R.W., AULD B.A., KEMP D.R. & MURISON R.D., 1985** – The influence of wheat density and spatial arrangement on annual ryegrass, *Lolium rigidum* Gaudin, competition. *Austr. J. Agric. Res.* **36** : 361-371.
- MERLIER H., 1972a** – Etude phénologique des espèces de jachère du Centre Sénégal (Synthèse). *Agro. Trop.*, **27 (12)** : 1229-1252.
- MERLIER H., 1972b** – Etudes phytosociologiques menées au Centre National de Recherche Agronomique de Bambey (Sénégal), Synthèse. *Agro. Trop.*, **27 (12)** : 1253-1265.
- MERLIER H. & MONTEGUT J., 1982** – Adventices Tropicales. Ed. Ministère des Relations extérieures. Coopération et Développement, 490p.
- MIEGE J. & TCHOUME M., 1963** - Influence d'arrosages régulièrement répétés sur la germination des graines en saison sèche à Dakar (Sénégal). *Ann. Fac. Sci. Dak.* **9** : 81-109.
- MILLEVILLE P., 1972** – Approche agronomique de la notion de parcelle en milieu traditionnel africain : la parcelle d'arachide en moyenne Casamance. *Cah. ORSTOM, Sér. Biol.*, **17**, 23-37.
- MILLEVILLE P., 1974** – Enquête sur les facteurs de la production arachidière dans trois terroirs en Moyenne Casamance. *Cah. ORSTOM, Sér. Biol.*, **24**, 65-99.
- MILLEVILLE P., 1976** – Comportement technique sur une parcelle de cotonnier au Sénégal. *Cah. ORSTOM, Sér. Biol.*, **11(4)**, 263-275.
- MOHAMED H.A., CLARK J.A. & ONG C.K., 1985** – The influence of temperature during seed development on the germination characteristics of millet seeds. *Plant, Cell Environ.*, **8** : 361-362.
- MONDRAGON G., CAUSSANEL J. P., AUJAS C., CARTERON A. & SCHIEX J., 1989** - Sensibilité variétale d'un blé d'hiver à la concurrence d'une avoine adventice : influence sur le seuil biologique de nuisibilité. *Agronomie* **9** : 809-818
- MONTEGUT J., 1975** - Ecologie de la germination des mauvaises herbes. In : *La germination des semences*. R chaussat, Y Le Deunff Eds, Paris, Gauthiers-Villars, 191-217.
- MONTEGUT J., 1983** - Pérennes et vivaces nuisibles en agriculture. Ed. Aubervilliers. 414 p.
- NARWAL S.S. & SARMAH M.K., 1996** - Effect of wheat residues and forage crops on the germination and growth of weeds. *Allelopathy Journal*, **3 (2)** : 229-240).
- NDIAYE P., 1981** - Contribution à l'étude du comportement des végétations herbacées annuelles Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle, Université C.A.D., Dakar, 143p.
- NDIAYE P., 1986** - Méthodes d'observation des diaspores et inventaire des germinations d'herbacées annuelles; résultats d'études réalisés à Sangalkam (Sénégal). Séminaire régional sur la dynamique et l'évolution des écosystèmes pastoraux sahéliens. Fapis, Dakar novembre 1986, 18p.
- NEGBI M. & KOLLER D., 1964** - Dual action of white light in the photocontrol of germination of *Oryzopsis miliacea*. *Plant Physiol.* **39** : 247-253
- NGUESSAN K.E., 1989** – Etude des mauvaises herbes des cultures de cotonniers en côte d'Ivoire. *Cot. Fib. Trop.* **44 (1)** : 35-49.

- NICOU R., 1974** – Contribution à l'étude et à l'amélioration de la porosité des sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche. Conséquences agronomiques. *Agron. Trop.*, **29**, 1100-1127.
- NIETO H.J., BRONDO M.A. & GONZALES J.T., 1968** - Critical period of the crop growth cycle for competition from weeds. *Pest articles and News summaries*, section C, **14** : 159-166
- NOBA K., 1990** – Contribution à l'étude biosystématique de trois espèces du genre *Boerhavia* L. (*Nyctaginaceae*) : *B. diffusa* L., *B. erecta* L. et *B. repens* L.. Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle UCAD, Dakar, 178p.
- NOBA K. & BA A.T., 1992** – Réexamen de la systématique de 3 espèces du genre *Boerhavia* L. (*Nyctaginaceae*). *Webbia* **46** (2) : 327-339.
- NOBA K. & BA A.T., 1998** – La végétation adventice du mil (*Pennisetum typhoides* Stapf. et Hubbard) dans le Centre Ouest du Sénégal : étude floristique et phytosociologique. *AAU Reports* **39** : 113-125.
- NOBA K., SAMB P.I. & BA A.T., 1994** – Sur quelques caractères macro et micromorphologiques du jeune plant dans la systématique de trois espèces du genre *Boerhavia* L. (*Nyctaginaceae*). *Bull. Inst. Fond. Afr. Noire C.A. Diop*, Dakar, sér.A, **47** : 51-62.
- OKAFOR L.I. & ZITTA C., 1991** - The influence of nitrogen on *Sorghum*-weed competition in the tropics. *Tropical Pest Management* **37** (2) : 138-143.
- OLIVER L.R. & BARARPOUR M.T., 1996** - Effect of tillage on *Senna obtusifolia* and *Xanthium strumarium*
- ONG C.K. & MONTEITH J.L., 1985** - Response of pearl millet to light and temperature. *Field Crops Res.* **11** (2-3) : 141-160.
- OSMAN A.K. & ELAMIN E.M., 1996** - Manuel weed control in rainfed groundnut in western Sudan. *International Arachis Newsletter*, **16** : 54-55.
- PALE F., 1982** - Etude expérimentale de la germination des semences sahéliennes. Influences du potentiel hydrique. DEA, Université P. et M. Curie, Paris, 33p.
- PAOLINI R., PRINCIPI M., FROUD-WILLIAMS R.J., DEL PUGLIA S. & BIANCARDI E., 1999** - Competition between sugarbeet and *Sinapis arvensis* and *Chenopodium album*, as affected by timing of nitrogen fertilization. *Weed Research* **39** : 425-440.
- PARKER C. & FRYER J.D., 1975** – Weed control problems causing major reductions in world food supplies. *FAO plant protection Bull.*, **23** : 83-93.
- PERNES J., 1984** – Gestion des ressources génétiques des plantes. Tome 1 : Monographies. Ed. ACCT, Paris, p. 159-197.
- PIERI C., 1976** – L'acidification des terres de cultures exondées au Sénégal. *Agron. Trop.*, **31**(4) : 339-368.
- PIERI C., 1979** - La fertilisation potassique du mil *Pennisetum* et ses effets sur la fertilisation d'un sol sableux du Sénégal. Compte-rendu de 5 années d'expérimentations. ISRA, CNRA-Bambey.
- PIERI C., 1989** – Fertilisation des terres de savanes. Bilan de 30 ans de recherche et de développement agricole au Sud du Sahara. Min. Coopération et CIRAD-IRAT, 444 p.
- POILECOT P., 1995** – Les *Poaceae* du Côte-d'Ivoire. *Boissiera*, **50**, 766 p.
- POILECOT P., 1999** – Les *Poaceae* du Niger. *Boissiera* **56**, 766 p.
- POULAIN J.F., 1970** – La fumure minérale de l'arachide au Sénégal. Bilan et perspectives. Séminaire IITA "Légumineuse à graines", Ibadou, 22-26/06/70, doc. Mult. 10 p.

- POULAIN J.F. & TOURTE R., 1969** – Influence de la préparation profonde du sol en sol sec sur la réponse des mils et sorghos à la fumure azotée (sols sableux de la zone tropicale sèche). Com. A la Conf. "Céréales" de Zaria (Nigeria) 13-16/10/69, 26 p.
- POUZET D. & PUARD M., 1972** – Amélioration des mils. CNRA : Bambey, Projet FED, pp. 5-8.
- PROHMCHUM C., 1993** - The influence of date of cultivation on emergence patterns of weed seedlings. *Khon Kaen Agriculture Journal* **21** (2) : 93-99.
- PYSEK P. & LEPS J., 1991** – Response of weed community to nitrogen fertilization : a multivariate analysis. *Journal of Vegetation Science* **2** : 237-244.
- RAJENDRAN K. & LOURDURAJ A.C., 1999** - Weed management in groundnut - a review. *Agricultural Reviews (Karnal)* **20** (1) : 59-62.
- RAJSEKHAR D. & GOGOI A.K., 1994** - Integrated weed control in direct-seeded upland rice (*Oryza sativa*). *Indian Journal of Agronomy* **39** (4) : 639-641.
- RAMAMURTHY V., VINOD S. & SINGH J.P., 1998** - Effect of nitrogen on seed yield of perennial Dinanath and *Pennisetum trispecific* hybrid. *Forage Research* **24** (3) : 153-155.
- RAUNKIAER C., 1934** – The life forms of plants and statistical Plants Geography . Clarendon, Press, Oxford. 623p.
- ROBERTS H.A., 1981** - The interaction of environmental factors controlling loss of dormancy in seeds. *Proceedings Ann. Appl. Biol.* **98** : 552-554.
- ROBERTS H.A., 1984** - Crop and weed emergence patterns in relation to time of cultivation and rainfall. *Ann. Appl. Biol.* **105** : 263-275.
- ROBERTS H.A. & CHANCELOR R.J., 1986** - Seed banks of some arable soils in the English midlands. *Weed Research* **26** : 251-257.
- ROBERTS H.A. & LOCKETT P.M., 1976** - Germination of buried and dry stored seeds of *Stellaria media*. *Weed Research* **15** : 199-204.
- ROLLIN P., 1972** - Phytochrome control of seed germination. In K. Mitrakos, W. Shropshire, eds, *Phytochrome*. Academic Press, New York, pp. 229-254.
- ROMAGNI J.G., ALLEN S.N. & DAYAN F.E., 2000** - Allelopathic effects of volatile cineoles on two weedy plant species. *Journal of Chemical Ecology* **26** (1) : 303-313.
- ROSA M.L., 1986** - Quelques aspects de la germination des caryopses de *Leersia oryzoides* (L.) Sw. *Weed Research*, **26** : 99-104
- ROUSSEL D., 1978** - Recherche sur l'hétérogénéité de la germination des semences du petit mil (*Pennisetum americanum* (L.) K. Schum.). DEA de Physiologie végétale Univ. P.-et-M.-Curie, 56p.
- ROUSSEL J., 1995** – Pépinière et plantations forestières en Afrique tropicale sèche. CIRAD, 433p.
- SAINT-CLAIR P.M., 1976** - Germination of *Sorghum bicolor* under polyethylene glycol-induced stress. *Can. J. Plant. Sc.*, **56** : 21-24.
- SAINT-CLAIR P.M., 1980** - Germination du mil exposé à la contrainte hydrique développée par le polyéthylène glycol. Comparaison avec le sorgho. *Agron. Trop.* **25** (2) : 178-182.
- SALLE G. & REYNAL-ROQUES A., 1989** – Le *Striga*. *La Recherche* **206** : 40-52
- SAMB P.I. & CHAMEL A., 1992** – Foliar absorption and translocation of ¹⁴C-dicamba into host (pearl millet and cowpea) and parasite plants of the genus *Striga*. *Weed Research* **32** : 129-136.
- SAMBOU J.M., 2000** – Contribution à l'étude biosystématique de quatre espèces du genre *Eragrostis* Wolf au Sénégal. Mémoire de DEA, Université C. A. DIOP, Dakar, 74p.

- SARR R.S., 1999** – Contribution à l'étude biosystématique de quelques espèces du genre *Amaranthus* L. (*Amaranthaceae*). . Mémoire de DEA, Université C. A. DIOP, Dakar, 98p.
- SARR R.S., NOBA K., MBAYE M.S., KANE A., SAMBOU J.M. & BA A. T., 2001** – Caractères spécifiques d'identification au stade jeune plant d'adventices sénégalaises du genre *Amaranthus* L. (*Amaranthaceae*). *Ann. Bot. De l'Afr. de l'O.* 1 : (sous presse).
- SASSER J.N. REYNOLD H.T., MEGGITT W.F. & HEBERT T.T., 1972** - Crop protection in Senegal, Niger, Mali, Ghana, Nigeria, Kenya, Tanzania and Ethiopia: a multi-disciplinary study. Team report. Contract. US Agency for International Development, 1972. 61 pp.
- SCHNELL R., 1971** - Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux.- Les problèmes généraux (vol.II Les milieux. Les groupements végétaux. Ed. Gauthiers-Villars. VIII. 452p
- SENSEMAN S.A. & OLIVIER L.R., 1993** - Flowering patterns, seed production and somatic polymorphism of three weed species *Weed Science* 41 (3) : 418-425.
- SESAY A., 1997** - Weed growth and groundnut (*Arachis hypogaea* L.) performance in response to timing and frequency of weeding in Sierra Leone. *Tropical Agriculture*, 74 (3) : 221-225.
- SHIM S.I., LEE S.G. & KANG B.H., 1998** - Effects of several chemicals and burial of seeds into the soil on dormancy-breaking of weed species. *Korean Journal of Weed Science* 18 (4) : 295-303.
- SHINDE A.K., RIWAL A.P., BHAV S.G. & BIRARI S.P., 1998** - Effet of different seed traitment on germination of *Sesbania* species. *Annals of Agriculture Research* 19 (2) : 208-209).
- SHIVAKUMAR H.R., PRATHIBHA N.C. & MUNIYAPPA T.V., 1994** - Effect of chemical weed control on nutrient uptake by common mulberry (*Morus australis*) and associated weeds. *Indian Journal of Agronomy* 39 (2) : 277-281
- SIBAND P., 1981** – Croissance nutrition et production du mil (*Pennisetum typhoides*) en zone sahélienne. *Agron. Trop.*, 38 (1) : 27-35.
- SILCOCK R.G., WILLIAMS L.M. & SMITH F.T., 1990** - Quality and storage characteristics of the seeds of important native pasture species in south-west Queensland, *Australian Rangeland Journal* 12 (1) : 14-20.
- SINGHAL B.K. & SEN D.N., 1981** - Seed germination in some grasses of Indian deserts. *Forage Research* 7 (1) : 27-30.
- STROBEL G., 1991** - Les herbicides biologiques : *Pour la Science* 167 : 62-69.
- SUBRAHMANIYAN K. & ARULMOZHI N., 1998** - Integrated weed management in rainfed groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *World Weeds* 5 (1/2) : 105-108.
- TAYLORSON R.B. & HENDRICKS S.B., 1969** - Action of phytochrome during prechilling of *Amaranthus retroflexus* L. seeds. *Plant Physiol.*, 44 : 821-825.
- TAYLORSON R.B. & HENDRICKS S.B., 1971** - Changes in phytochrome expresses by germination of *Amaranthus retroflexus* L. seeds. *Plant Physiol.*, 47 : 619-622.
- TEEM D.H., HOVELAND C.S. & BUCHANAN G.A., 1978** - Germination and seedling
- TILMAN D., 1982** – Resources competition and community structure. Princeton university Press, Princeton.
- TOSTAIN S. & MARCHAIS L., 1993** – Evaluation de la diversité génétique du mil (*Pennisetum glaucum*) (L.) R. Br. au moyen de marqueur enzymatique et relations entre formes sauvages et cultivées. In: *Le mil en Afrique. Diversité génétique et*

agrophysiologique : potentialités et contraintes pour l'amélioration génétique et l'agriculture. ORSTOM : Paris, Hamon, S. ed.: 33-56.

TRAORE H., 1991 – Influence des facteurs agro-écologiques sur la constitution des communautés adventices des principales cultures céréalières (sorgho, mil, maïs) du Burkina-Faso. Thèse doctorat, USTL, Montpellier II, 180p.

TRAORE H. & MAILLET J., 1992 – Flore adventice des cultures céréalières annuelles du Burkina-Faso. *Weed Research* 32 : 279-293.

TROCHAIN J., 1940 – Contribution à l'étude de la végétation du Sénégal. *Mémoires de l'IFAN*, 2 : 433p.

TROCHAIN J., 1957 – Accord interafricain sur la définition des types de végétation de l'Afrique tropicale. *Bull. Inst. Etud. Centrafr.*, pp. 139-157.

TROCHAIN J.L., 1966 - Types biologiques chez les végétaux intertropicaux (Angiospermes). *Bull. Soc. Bot. de France*, pp. 188-196.

VALET S., 1978 - Essai de détermination des déficits relatifs d'alimentation maximum en eau du mil à Tillabey et à Maradi. INRAN/IRAT/ GERDAT.

VANDEN BERGHEN C.L., 1998 – Irradiations de la flore sahéenne en Basse Casamance (Sénégal). *AAU Reports* 39 : 151-161.

VEASEY E.A., FREITAS J.C.T. & SCHAMMAS E.A., 2000 - Variabilidade da dormencia de sementes entre e dentro de especies de *Sesbania*. *Scienta Agricola*, 57 (2) : 299-304.

WADE M. & FONTANNEL P., 1985 – Rapport sur des propriétés herbicides du dibromocloro-propylène en culture d'arachides. Convention 1984 ISRA. Projet lutte contre les nématodes, 11p.

WADE M., DIEYE I. & MBODJI A.S., 1999 – Noms en langues nationales des principales plantes spontanées et subspontanées rencontrées dans le Bassinarachidier du Sénégal. MW/AD, République du Sénégal, Ministère de l'Agriculture, ISRA, CNRA, 57p.

WATTS J.R., MURDOCK E.C., STAPLETON G.S. & TOLER J.E., 1997 - Sicklepod (*Senna obtusifolia*) control in soybean (*Glycine max*) with single and sequential herbicide applications. *Weed Technology* 11 (1) : 157-163.

WEAVER S., 1984 - Critical period of weed competition in three vegetable crops in relation to management practices. *Weed Research* 24 : 317-325.

WERBER G., ELEMO K. & LAGOTE S.T.O., 1997 – Communauté d'adventices dans les systèmes de production intensive à dominantes céréales en zone de savane nord guinéenne. *La recherche à l'IITA* 13 : 10-15.

WIGG P.M., OWEN M.A. & MUKURASI N.J., 1973 - Influence of farmyard manure and nitrogen fertilizers on sown pastures, seed yield and quality of *Cenchrus ciliaris* L. at Kongwa. *East African Agricultural & Forestry Journal*. 38 (4) : 367-374.

XUAN T.D. & TSUZUKI E., 2001 - Effects of application of alfalfa pellet on germination and growth of weeds. *Journal of Crop Production* 4 (2) : 303-312.

YANG K.J., KIM K.H. & CHUNG I.M., 1998 - Screening and utilization of allelopathic plants for the cultural practice improvement in ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer). *Korean Journal of Weed Science* 18 (3) : 214-224.

YOSHIYAMA M., MARUYAMA A., ATSUMI T. & ESASHI Y., 1996 - Mechanism of action of C₂H₄ in promoting the germination of cocklebur seeds. III. A further enhancement of priming effect with nitrogenous compounds and C₂H₄ responsiveness of seeds. *Australian Journal of Plant Physiology* 23(4) : 519-525.

ZANIN G., BERTI A. & ZUIN M.C. 1989 - Estimation du stock semencier d'un sol labouré ou en semis direct. *Weed Research* **29** : 407-417.

ZANIN G., MOSCA G. & CATIZONE P., 1992 - A profile of the potential flora in maize fields of the Po valley. *Weed Research* **32** : 407-418.