

18 14



**ETUDE DU FONCTIONNEMENT ET DES ACTIVITES DE  
RECHERCHES DUCERAAS :  
CENTRE D'ETUDE REGIONAL POUR  
L'AMELIORATION DE L'ADAPTATION A LA  
SECHERESSE**

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier :

- ◆ Harold ROY-MACAULEY , directeur du CERAAS, pour son accueil et la mise à disposition de tous les moyens nécessaires au bon déroulement de mon stage.
- ◆ Benoît SARR, chercheur bioclimatologue, pour le suivi et l'intérêt qu'il a manifesté pour mon travail tout au long de mon séjour.
- ◆ Omar DIOUF, Macoumba DIOUF et Ndeye Ndnck DIOP, chercheurs physiologistes , qui malgré des emplois du temps chargés. ont toujours fait preuve de disponibilité pour m'éclairer sur les aspects biophysiques et biochimiques de l'adaptation à la sécheresse.
- ◆ David BOGGIO, ingénieur agronome biostatisticien, pour ses multiples conseils quant à l'utilisation des logiciels de cartographie et à l'interprétation des résultats.
- ◆ Pape Malick SALL, technicien, pour sa disponibilité et son enthousiasme à me faire découvrir le fonctionnement des cultures hors-sols et des appareils de mesure au champ.
- ◆ Couma SYLLA, informaticienne et Fatimata DIALLO, documentaliste, pour leur disponibilité et leur efficacité.
- ◆ Issaka OUEDRAOGO et Sébastien GOURDEL, stagiaires au CERAAS. pour leur soutien et leur amitié.

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b>	<b>3</b>
<b>PARTIE I : PRÉSENTATION DU CERAAS</b>	<b>4</b>
<b>I. Fiche d'identité du CERAAS</b>	<b>5</b>
<b>II. Les moyens matériels et humains</b>	<b>6</b>
1. Infrastructures et équipements	6
2. Les ressources humaines	6
<b>III. Une approche multidisciplinaire de l'adaptation à la sécheresse</b>	<b>7</b>
1. I. approche agronomique et bioclimatologique	7
2. I. approche biophysique	7
3. I. approche biochimique et biomoléculaire	7
<b>IV. Présentation des outils et méthodes de mesure</b>	<b>8</b>
<b>V. Les principaux résultats obtenus depuis la création du CERAAS</b>	<b>13</b>
1. Science	13
2. Développement agricole	13
3. Valorisation	13
<b>VI. Les perspectives d'avenir</b>	<b>14</b>
1. Au niveau scientifique	14
2. Au niveau des ressources humaines	14
<b>PARTIE II : LES ACTIVITÉS DE RECHERCHE DU CERAAS EN 1999</b>	<b>16</b>
<b>I. Suivi des expérimentations du CERAAS engagées en contre saison 1999</b>	<b>17</b>
1. Interaction fertilité - sécheresse : essai sur Mil et Arachide en rotation	18
2. Mécanismes physiologiques et biochimiques de l'adaptation à la sécheresse	20
3. 14 cultures de diversification	23
<b>II- Suivi des expérimentations du CERAAS engagées pour l'hivernage 1999</b>	<b>25</b>
1. Essai Mil-Arachide en rotation	26
2. Expérimentations sur niébé en serre	26
3. Arachide sous serre	26
4. Sésame	27
5. Essai sur mil en sols termitiques en milieu contrôlé sous serre	28
6. Expérimentation sur mil en milieu paysan	28
<b>III- Le travail réalisé au cours du stage</b>	<b>29</b>
1. Suivi de trois expérimentations de la contre saison 1999 déjà en cours à mon arrivée fin mai	29
2. Mise en place et suivi de deux expérimentations en milieu contrôlé sous serre.	30
3. Synthèse des activités du CERAAS en 1999 pour la préparation du rapport d'activités 1999	30
<b>PARTIE III : THÈME D'APPROFONDISSEMENT : OUTILS ET MÉTHODOLOGIE POUR LE SUIVI DE LA CAMPAGNE AGRICOLE</b>	<b>31</b>
<b>I. Présentation des logiciels de simulation du bilan hydrique et de productivité et des logiciels de cartographie</b>	<b>32</b>
1. Modèle de simulation AraBHy (Arachide Bilan Hydrique)	32
2. Modèle de simulation SARRA (Systèmes d'Analyses Régionales des Risques Agroclimatiques)	33
3. Le logiciel de cartographie Surfer (interpolation géographique)	34

4. Logiciel de SIG Mapinfo (représentation vectorielle)	34
<b>II. Methodologies</b>	<b>35</b>
<b>III. Echantillonnage</b>	<b>36</b>
<b>IV. Suivi agroclimatique sur la période normale 1961-1990</b>	<b>37</b>
1. Choix de la période	37
2. Les cumuls pluviométriques annuels	38
3. Les dates de semis optimales	39
4. Les taux de satisfaction moyens du mil sur l'ensemble de son cycle	40
5. Les taux de satisfaction moyens du mil durant la phase critique de la culture :40-70 JAS	41
6. Les rendements moyens du mil	42
<b>V. Suivi agroclimatique situation au 31 juillet 1999</b>	<b>43</b>
1. Répartition des cumuls pluviométriques au 31 juillet 1999	44
2. Répartition des écarts pluviométriques au 31 juillet 1999 par rapport à la médiane 1966-1995	46
3. Répartition des dates de semis paysans en humide (mil, arachide, niébé) pour l'hivernage 1999 en nombre de jours après le 1er juin	47
4. Ecart entre la date de semis paysan de l'hivernage 1999 et la date de semis optimale calculée sur la période normale 1961-1990	46
5. Répartition du taux de satisfaction de la culture du mil pendant la phase végétative ( 15 premiers JAS)	47
6. Conclusion	48
<b>BILAN CONCLUSION SUR LES ENSEIGNEMENTS TIRÉS DU STAGE</b>	<b>49</b>
<b>SIGLES</b>	<b>50</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>51</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>53</b>

# Introduction

---

Le CERAAS est un laboratoire national de l'ISRA à vocation régionale. La notion de laboratoire national rend compte du fait que le CERAAS est issu d'un programme de recherche mis en place au Sénégal en 1983 avec une collaboration entre l'ISRA et le CIRAD.

Le but de ce programme était de créer des variétés d'arachide mieux adaptées à la sécheresse afin d'améliorer et/ou de stabiliser la production arachidière, source importante de revenus du Sénégal.

La dimension régionale du CERAAS vient du fait qu'en 1987, la CORAF et le CISS ont confié le mandat à l'ISRA et au CIRAD de développer l'expertise acquise dans ce programme dans les autres institutions de recherche africaines et de l'élargir sur d'autres cultures.

L'accord de ce mandat était basé sur les premiers résultats significatifs obtenus au CERAAS pour le développement agricole dans plusieurs pays d'Afrique en zones sèches. Il était également en réponse à la demande croissante des institutions de recherche pour la formation et la recherche dans ce domaine. Ce mandat est exercé sous le contrôle de toutes les institutions de recherche agricole, à travers les différents organes régionaux dans lesquels elles interviennent. C'est le cas notamment du R3S, réseau de la CORAF, qui a confié au CERAAS l'animation à l'échelle régionale du thème "Mécanismes physiologiques pour l'adaptation à la sécheresse et création variétale". En 1987, une proposition faite par l'équipe ISRA-CIRAD pour l'établissement du CERAAS était acceptée par la CORAF et le CISS. Le CERAAS a été donc créé au sein de l'ISRA en 1989.

## **Partie 1 : Présentation du CERAAS**

**I - Fiche d'identité du CERAAS et organigramme**

**II - Les moyens matériels et humains**

**III - Une approche multidisciplinaire de l'adaptation à la sécheresse**

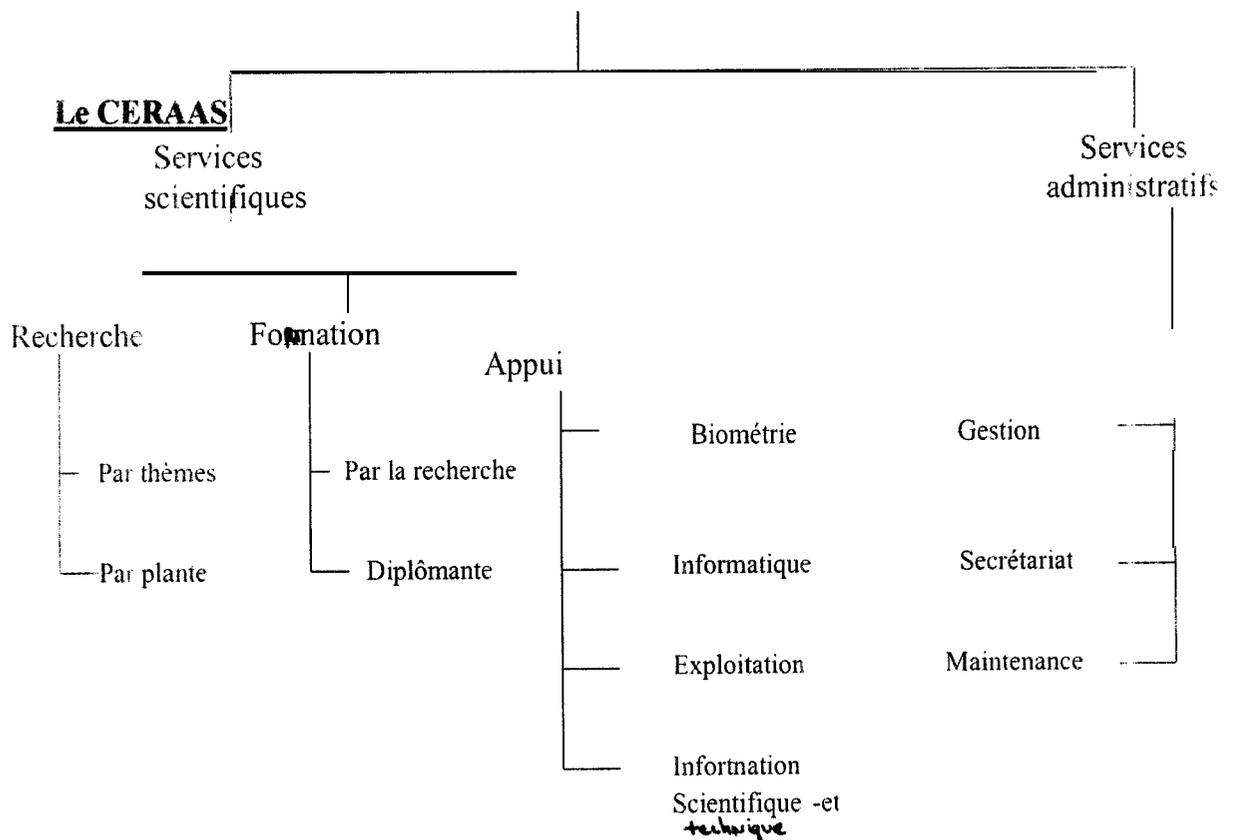
**IV - Présentation des outils et méthodes de mesure**

**V - Les principaux résultats obtenus depuis la création du CERAAS**

**VI - Les perspectives d'avenir**



DIRECTION



Organigramme de fonctionnement du CERAAS

## I. Fiche d'identité du CERAAS

**Mission** : contribuer à l'amélioration de la production agricole vivrière et à l'éradication de la pauvreté des PFD en zones sèches par la recherche de critères pertinents d'adaptation à la sécheresse pour la création variétale.

**Branches d'activité** : recherche et formation scientifique sur l'amélioration de l'adaptation des végétaux à la sécheresse et création variétale par une approche pluridisciplinaire (Agronomie, bioclimatologie, physiologie, sélection/génétique, biochimie, biologie moléculaire, modélisation, biométrie/statistique).

**Personnel** : 28 personnes dont

- 22 ont des activités scientifiques et techniques : biométrie, physiologie, agronomie, biochimie, bioclimatologie, génétique.

- 6 des activités administratives : secrétariat, gestion, maintenance.

L'organisation du CERAAS se fait autour de deux grandes catégories : les services scientifiques et les services administratifs coordonnés par la direction (cf. Organigramme ci contre).

### **Financement :**

- Pendant 10 ans : coopération multilatérale à travers la DG XII et la DG VIII de l'UE (STD 2 et 3 et FED 7) arrivés à terme en août 1997 et en janvier 1998, et coopération bilatérale avec la France et la Belgique.

- Actuellement attente du financement du FED 8 pour lancer la phase de consolidation.

### **Budgétisation**

Chacune des activités conduites au CERAAS fait l'objet d'une budgétisation distincte. Les différents budgets sont ensuite regroupés par thème afin de déterminer chaque ligne budgétaire. Après approbation de la direction, chaque responsable peut engager les dépenses correspondantes.

### **Objectifs :**

- Approfondir les connaissances sur les mécanismes d'adaptation à la sécheresse
- Identification de caractères physiologiques pertinents d'adaptation à la sécheresse
- Diversification des cultures pour une production agricole durable
- Mise au point d'outils pour la prévision agricole
- Renforcement des capacités scientifiques des SNRA de la sous-région

### **Partenaires :**

Financiers : UE, AGCD

Scientifiques : SNRA, ISRA, ENSA, UCAD, CGI de la communauté française de Belgique, Université Paris VII, IRD, ULB.

Tutelle : CORAF, CILSS, INSAH.

**Localisation** : Le CERAAS est situé dans l'enceinte de l'ENSA de Thiès, la deuxième ville du Sénégal. Le CERAAS dispose de terrains d'expérimentation à Thiès et à Bambey.

## II. Les moyens matériels et humains

### 1. Infrastructures et équipements

De nouveaux laboratoires de 900 m<sup>2</sup> (composés de 3 unités distinctes : laboratoire d'agronomie, de physiologie, de biochimie et de biologie moléculaire), équipés de matériels scientifiques modernes et performants, un magasin de 75 m<sup>2</sup>, une serre de 180 m<sup>2</sup> pour les cultures hors sol (hydroponie, aéroponie, cf.annexe1), un phytotron et une chambre froide ont été construits à Thiès.

L'ancien laboratoire du CERAAS, des structures d'hébergement et 6.5 ha de terrains d'expérimentation situés dans l'enceinte du CNRA/ISRA à Bambey, 50 km de Thiès, ont été réhabilités. Ces structures sont toujours à la disposition du CERAAS et Bambey est maintenant considéré comme le deuxième site du CERAAS.

En effet, la plupart des activités expérimentales sont effectuées dans les champs expérimentaux de Bambey.

Le CERAAS possède un système d'irrigation composé de sprinkler, rampes basculantes et un line source.

Les équipements de ces deux sites du CERAAS seront présentés plus en détail dans la deuxième partie de ce rapport.

Le CERAAS dispose également d'équipements de laboratoires, de bureaux, de communication, d'un parc informatique composé de 29 ordinateurs et de 4 véhicules. Cet ensemble offre une capacité d'accueil de 5 chercheurs/an dans le cadre de la formation par la recherche.

Le système de gestion a été informatisé, aboutissant à la définition et à l'adoption des procédures de gestion améliorées.

### 2. Les ressources humaines

Le CERAAS est actuellement composé de 28 agents (cf. Annexe2) :

➤ 9 d'entre eux sont des chercheurs.

Trois d'entre eux sont des experts régionaux mis à la disposition du CERAAS par leur institutions d'origine : la CORAF et le CIRAD.

Deux des trois européens (français et belge), ont également été mis à la disposition du CERAAS dans le cadre des coopérations bilatérales.

Ces neuf chercheurs dont quatre sont sénégalais sont des spécialistes en physiologie agronomie, biochimie, bioclimatologie, modélisation, biométrie et statistiques.

➤ 9 techniciens appuient les chercheurs, ainsi qu'une centaine de manœuvres temporaires.

➤ Les services d'appui sont :

- le secrétariat comptabilité (3 personnes)
- l'informatique (1 personne)
- la documentation et communication (1 personne)
- la maintenance (2 personnes)
- trois chauffeurs

Tous  
Sénégalais

---

## **111. Une approche multidisciplinaire de l'adaptation à la sécheresse**

---

La démarche scientifique empruntée par les chercheurs du CERAAS repose sur une approche pluridisciplinaire. Elle est basée sur l'identification de critères physiologiques de tolérance et/ou de résistance à la sécheresse pour aider les sélectionneurs à isoler des variétés intéressantes.

Cette démarche bénéficie du concours de la biophysique, de la bioclimatologie, de l'agronomie, de la biochimie et de la biologie moléculaire.

### **1. L'approche agronomique et bioclimatologique**

Cette approche prend en compte le système sol-plante-atmosphère.

L'objectif est de mettre au point les itinéraires techniques, de comprendre le devenir de l'eau par des calculs de bilans hydriques et de modéliser le comportement des cultures en conditions de culture au champ dans le but d'estimer les rendements potentiels à espérer.

Le CERAAS participe au développement de modèles de simulation de l'évolution des cultures au cours de leur cycle ainsi qu'au développement d'outils modernes comme le système d'information géographique afin de les intégrer dans un système de prévision agricole et d'amélioration des systèmes de culture pour l'aide à la décision.

### **2. L'approche biophysique**

Cette première approche de l'adaptation des végétaux à la sécheresse étudie l'état hydrique de la plante ainsi que sa réponse au stress appliqué.

Les mesures portent sur l'état hydrique de la plante, la photosynthèse, les échanges gazeux, et les paramètres osmotiques.

Le but est de mettre en évidence les mécanismes physiologiques de tolérance et/ou de résistance développés par la plante pour lutter contre le stress hydrique.

### **3. L'approche biochimique et biomoléculaire**

C'est une nouvelle approche mise en place par le CERAAS. Elle vise à aller plus loin dans la détermination des mécanismes mis en place par la plante pour lutter contre la sécheresse : analyse des glucides, lipides, protéides, des osmorégulateurs et des détoxifiants. L'objectif est aussi de faire gagner du temps au sélectionneur grâce aux techniques de biologie moléculaire qui permettent d'isoler les gènes impliqués dans ces réponses physiologiques.

Le CERAAS cherche à développer les connaissances sur ces techniques en plein essor afin de proposer des alternatives modernes comme la mise au point de plantes transgéniques plus tolérantes aux contraintes de déficit hydrique et de nutrition minérale afin de faciliter et d'optimiser les stratégies de sélection adaptées.



Utilisation de la sonde a neutrons au champ

## IV. Présentation des outils et méthodes de mesure

La gamme des appareils de mesure est assez large. Ces appareils peuvent être classés en quatre catégories fonction des paramètres étudiés :

- Appareils de mesure de l'état hydrique du sol
- Appareils de mesure de l'état hydrique de la plante
- Appareils de mesure des échanges gazeux
- Appareils de mesure des caractéristiques du couvert végétal
- Appareils d'analyse biochimique et biomoléculaire

Les tableaux suivants présentent succinctement les appareils, les mesures qu'ils réalisent, leur principe de fonctionnement et leurs limites d'applications.

<b>ETAT HYDRIQUE DU SOL</b>			
<b>Appareil</b>	<b>Mesure</b>	<b>Principe</b>	<b>Limites</b>
<b>Sonde à neutrons</b>	<p style="text-align: center;"><b>'Teneur en eau du sol</b></p> <p>L'appareil donne une quantité de neutrons ralentis. En connaissant la densité apparente du sol on peut calculer la teneur en eau du sol moyennant un étalonnage par des mesures gravimétriques</p>	<p>La sonde émet une source radioactive qui produit des neutrons rapides qui seront ralentis préférentiellement par les atomes d'hydrogène contenus dans les molécules d'eau du sol. La quantité de neutrons lents comptabilisés est donc approximativement proportionnelle à la teneur en eau du sol. Les mesures sont réalisées à travers un tube d'accès en aluminium sur différents horizons du sol (de 20cm à 1.5m de profondeur), et ce de 20cm en 20cm, on ne fait qu'une mesure par parcelle.</p>	<p>On ne peut pas utiliser la sonde sur les premiers 20 cm car ils contiennent des atomes comme le bore et le chlore qui eux aussi, tout comme les atomes d'hydrogène ralentissent les neutrons rapides. Des mesures gravimétriques sur ces 20 premiers cm doivent être réalisées pour compléter les mesures données par la sonde.</p>
<b>Tarière</b>	<p style="text-align: center;"><b>Humidité pondérale du sol</b></p> <p>Le traitement de l'échantillon permet d'obtenir le poids d'eau contenu dans l'échantillon prélevé.</p>	<p>A l'aide d'une tarière, on prélève un échantillon dont on détermine le poids frais puis le poids sec, après séchage à poids constant (48 h étuve 105°C) On calcule l'humidité pondérale par différence. Les prélèvements ont toujours lieu au même endroit pour la fiabilité des mesures.</p>	<p>Ces mesures sont destructives et laborieuses</p>

## ETAT HYDRIQUE DE LA PLANTE

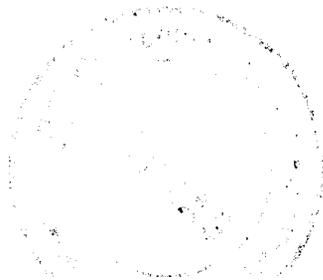
Appareil	Mesure	Principe	Limites
<p style="text-align: center;"><b>Presse hydraulique</b></p>	<p style="text-align: center;"><i>Tension de sève</i></p> <p>exprimée en Mpa négatifs (on prend 0 Mpa pour le potentiel de l'eau à l'état libre)</p>	<p>On applique contre une paroi épaisse en plexiglas, une pression au dessous d'une membrane en Néoprène qui supporte un prélèvement de feuille réalisé au cutter. La pression est réalisée contre la membrane souple à l'aide d'une pompe hydraulique à main. La pression appliquée provoque la sortie de la sève contenue dans le xylème. Cette pression lue sur le manomètre correspond à la tension de la sève avant le prélèvement, c'est à dire que l'on a recréé la colonne d'eau préalablement en circulation dans la feuille</p>	<p>Pour les feuilles de dicotylédones, feuilles à pétioles, d'autres méthodes doivent être employées</p> <p>Quoique rustique, cet appareil présente l'avantage d'être robuste et bon marché. Il permet une mesure simple et rapide du potentiel hydrique.</p> <p>Mesure destructive.</p> <p>Limite de mesure -1.5Mpa</p> <p>Etalonnage obligatoire préalable.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Psychromètre microvoltmètre</b></p>	<p style="text-align: center;"><i>Potentiel hydrique foliaire</i></p> <p>exprimée en Mpa négatifs (on prend 0 Mpa pour le potentiel de l'eau à l'état libre)</p>	<p>Un échantillon plad dans une chambre hermétiquement close, générera après une phase d'équilibration, une pression relative de vapeur égale à son potentiel hydrique total au moment de l'introduction dans la chambre. Un thermocouple placé à l'intérieur de la chambre, permet de mesurer l'humidité relative.</p>	<p>Bien que cet appareil soit adapté aussi bien aux feuilles de dicotylédones que de monocotylédones, le temps d'équilibration est généralement de 3 heures ce qui est relativement contraignant. Il faut de nombreuses chambres à disposition.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Chambre à pression</b></p>	<p style="text-align: center;"><i>Potentiel hydrique foliaire</i></p> <p>exprimée en Mpa négatifs (on prend 0 Mpa pour le potentiel de l'eau à l'état libre)</p>	<p>la feuille sélectionnée est rapidement insérée dans la chambre avec le pétiole dépassant de quelques millimètres du bouchon. L'application progressive d'une pression de plus en plus élevée dans la chambre, est arrêtée dès l'apparition du ménisque de sève au niveau de la section, et la pression correspondante est directement lue sur un manomètre. Cette pression compense la pression à laquelle la sève était initialement soumise dans les vaisseaux intacts du xylème.</p>	<p>Des erreurs d'interprétation peuvent survenir si le matériel végétal n'a pas subi une section franche ou si le temps entre le prélèvement et la mesure est trop important.</p> <p>Limite de mesure -9Mpa, imprécise au dessus de 3Mpa</p> <p>Difficulté d'approvisionnement et azote au champ</p> <p>Nombre d'échantillons limité.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Osmomètre à pression de vapeur</b></p>	<p style="text-align: center;"><i>Concentration des solutions</i></p> <p>nmol/kg de solvant</p>	<p>On réduit le potentiel de turgescence à zéro par congélation des tissus puis extraction. Un psychromètre à thermocouple mesure la pression de vapeur d'une solution. Après l'équilibration entre l'air et la solution, dans une chambre hermétiquement fermée, le thermocouple mesure la T° de l'air. Il est refroidi en-dessous de la T° de rosée par effet Peltier, provoquant la formation d'une gouttelette d'eau par condensation sur sa surface. L'énergie de condensation fait monter la T° du thermocouple jusqu'au point où la condensation s'arrête. La différence entre la T° mesurée avant le refroidissement du thermocouple et la T° au point de rosée est la dépression de T° au point de rosée, qui est une fonction de la pression de vapeur qui a une relation linéaire et proportionnelle à la concentration de la solution.</p>	<p>Les erreurs de dilution qui doivent être corrigées, peuvent survenir de cette méthode. L'eau de l'apoplaste peut être de 3 à 50% du volume total d'une feuille en pleine turgescence. Puisque le volume d'eau de l'apoplaste ne varie pas beaucoup lorsque la feuille se dessèche, la dilution de l'eau du symplaste par l'eau de l'apoplaste est plus importante.</p>
	<p style="text-align: center;"><i>Contenu relatif en eau foliaire (C.R.E)</i></p> <p>exprime en %</p>	<p>On détermine à l'aide d'une balance de précision les poulx frais, turgescents et secs de prélèvements foliaires découpés à la lame de cutter.</p> <p>Le poids frais (PF) est déterminé après le prélèvement. Le poids turgescents (PT) est obtenu par flottaison pendant 3 à 4h dans de l'eau distillée à l'obscurité ou à 3-4°C jusqu'à élimination du déficit hydrique existant au moment du prélèvement. Un passage de 24h dans l'étuve à 85°C permet d'obtenir le poids sec (PS) de l'échantillon. C.R.E = [(PF-PS) / (PT-PS)] * 100</p>	<p>L'étude cinétique de l'accumulation d'eau par les tissus ne montre pas de palier correspondant à la pleine turgescence car la croissance des tissus continue et conduit à une absorption indéfinie. La validité de la méthode dépend de l'obtention de l'estimation d'un poids de matière turgescents reproductible et fiable. Mesure destructive.</p>

## COUVERT VEGETAL

Appareil	Mesure	Principe	Avantages/Limites
<b>Analyseur de feuillage LAI-2000</b>	<i>Indice foliaire</i>  exprimé en surface de feuilles par unité de sol	L'appareil mesure l'indice foliaire de lumière au dessus du couvert végétal avec, celle reçue en différents points au niveau du sol sous la canopée. La pénétration du rayonnement solaire à travers le couvert fournit une estimation de la structure de la canopée. La mesure de quantité de lumière est effectuée par 5 lentilles circulaires opérant selon des angles de visées plus ou moins ouverts.	Mesure in vivo Rapidité, portabilité, fiabilité, répétabilité. interprétation délicate en conditions de fort ensoleillement.
<b>Radiothermomètre infrarouge</b>	<i>Différence température entre l'air ambiant et le couvert végétal</i>  exprimée en °C	Un radiothermomètre à capteurs infrarouges repose sur le principe que tout corps émet des rayonnements dans des longueurs d'onde fonction de sa température. Il permet une mesure conjointe de la température du couvert et de la différence de température de cette surface avec l'air environnant.	Ces mesures sont sensibles aux variations de vent. Mesure en temps réel - instantanée de l'état hydrique à l'échelle du peuplement. Précaution dans le choix de l'angle de visées.
<b>Psychromètre ventilé</b>	<i>Température sèche et température humide de l'air</i>  exprimée en °C	Le psychromètre est constitué de deux thermomètres dont un est muni d'une mèche humidifiée qui permettra de déterminer la température humide de l'air et indirectement sa demande évaporative.	Temps d'équilibrage long Très sensible à la température de l'air. Délicat à manipuler. Coût élevé. Limite de mesure -60 bars Imprecis au dessus de -4 bars Bonne humidification du bulbe et bonne ventilation.
<b>Planimètre</b>	<i>Productivité, développement des plantes (indice foliaire et couverture du sol), estimation de la biomasse végétale.</i>	Le planimètre constitue un système de mesure simple et rapide de la surface de feuilles ou de racines. Son principe est basé sur l'analyse automatique (photographie et enregistrement) de la surface des feuilles saisies et aplanies par un système de convoyeur (doubles courroies transparentes constituées d'un film de polyéthylène) ou non (mesures statiques), et présentées à une caméra.	Mesures destructives. Fiabilité, robustesse, reproductibilité.
<b>Fluorimètre</b>	<i>Fluorescence</i>  exprimée en constantes de fluorescence	L'appareil émet une lumière saturante sur une surface de la feuille préalablement adaptée à l'obscurité. Plus la plante est stressée et plus la fluorescence est importante. L'énergie lumineuse est moins utilisée pour les réactions photochimiques et elle se dissipe sous forme de fluorescence. L'appareil enregistre les variations de fluorescence en une seconde avec des points caractéristiques de l'activité photosynthétique de la plante.	Mesure in vivo, répétabilité, grande gamme d'échantillonnage, rapidité, fiabilité, précoce. Temps d'adaptation à l'obscurité long. disponibilité du matériel (clips), précautions d'utilisation en conditions de stress sévère (intensité lumineuse à réduire).

## ANALYSE BIOCHIMIQUE ET BIOMOLECULAIRE

Appareil	Mesure/Application	Principe	Avantages / Limites
<p><b>Specrophotomètre</b></p>	<p><i>Concentration des produits biochimiques</i></p> <p>en mol.l<sup>-1</sup></p>	<p>Le principe repose sur le passage d'un faisceau de lumière à travers une solution colorée. Des longueurs d'onde sont plus absorbées que d'autres. L'intensité de la couleur est proportionnelle à la concentration de la solution. La quantité de lumière absorbée est à son tour, proportionnelle à l'intensité de couleur et donc à la concentration.</p>	
<p><b>CPG</b></p> <p><b>Chromatographie en Phase Gazeuse</b></p>	<p><i>Composition moléculaire</i></p>	<p>Le CPG est utilisé pour analyser la plupart des substances qui peuvent volatiliser sans décomposition. L'application la plus utile en CPG est la détermination de la composition en acide gras des lipides et, de par un choix judicieux de la phase liquide, une analyse complète des acides gras ayant une longueur de chaîne et un degré d'insaturation différents. D'autres produits comme le cholestérol, le glycérol, l'inositol, les sucres ainsi que beaucoup d'autres composés.</p> <p>Le CPG peut aussi opéré avec des détecteurs en serre ou en parallèle avec des équipements de comptage approprié tel que des mesures de mass ou de radioactivité.</p>	
<p><b>PCR</b></p> <p><b>Polymerase Chain Reaction</b></p>	<p><i>Amplification de fragments d'ADN</i></p>	<p>La réaction d'amplification inclue un échantillon d'un ADN cible, une ADN-polymerase thermostable, deux nucléotides promoteurs, des desoxynucléotides triphosphate, des substances tampons, du magnésium et des additifs optionnels. Ces composés sont placés dans un cycleur thermique. Chaque cycle double la quantité d'ADN présente. Au bout de 20 cycles, l'ADN est amplifié d'un facteur d'un million en quelques heures seulement.</p>	
<p><b>Conductimètre</b></p>	<p><i>Diffusion des électrolytes</i></p>	<p>La désorganisation des structures membranaires sous l'effet d'un stress se traduit principalement par une augmentation de leur perméabilité. Lorsque les cellules affectées sont placées dans une solution, d'eau désionisée, une augmentation de la diffusion des électrolytes hors des cellules vers une solution d'eau désionisée se manifeste. Son importance est directement évaluée par une mesure de la conductivité électrique de la solution de trempage. Cette méthode permet de calculer les dégâts membranaires.</p>	<p>Les différences variées de tolérance à la sécheresse des membranes mise en évidence par ces techniques ne reflètent pas nécessairement la réaction de la plante à la déshydratation de ses tissus en condition naturelle.</p> <p>La vitesse d'application du stress par ce type de technique ne permet probablement pas à la plante d'exprimer toutes ses potentialités adaptatives.</p>
<p><b>Système de photodocumentation et d'analyse des gels Bioprint</b></p>	<p><i>Poids moléculaire</i></p>	<p>Le principe est basé sur une capture de l'image par vidéo qui peut être améliorée par un contrôle de la luminosité et du contraste. Bioprint est constitué d'une caméra, d'un transilluminateur UV/lumière blanche, d'un ordinateur type Pentium, d'un logiciel d'exploitation et d'analyse et d'une imprimante vidéo.</p>	<p>Il permet une gestion informatique des images avec élimination de l'étape scan des photos pour une analyse densitométrique.</p>





Utilisation du système intégré au champ

## ECHANGES GAZEUX

Appareil	Mesure	Principe	Limites
<p style="text-align: center;"><b>Système intégré de mesure : ADC (LCA3)</b></p>	<p>Les résultats donnés par l'appareil sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* la valeur de la photosynthèse nette en <math>\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}</math></li> <li>* la valeur de la transpiration en <math>\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}</math></li> <li>* la valeur de la conductance stomatique en <math>\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}</math></li> <li>* la concentration intracellulaire du <math>\text{CO}_2</math></li> <li>* le PAR en <math>\mu\text{mol photons} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}</math></li> <li>* les fractions molaires de <math>\text{CO}_2</math> et d'<math>\text{H}_2\text{O}</math> en <math>\mu\text{mol/mol}</math> d'air</li> </ul>	<p>Une canne permet de prélever de l'air à 4m de hauteur via un tube relié à une chambre. Les concentrations à l'entrée et à la sortie de celle-ci sont mesurées en continu et permettent d'évaluer les échanges gazeux au niveau de la feuille.</p> <p>Les teneurs en <math>\text{CO}_2</math> et en <math>\text{H}_2\text{O}</math> sont mesurées par des analyseurs infrarouges.</p> <p>Le système intégré calcule aussi les températures de la feuille et de la chambre ainsi que l'humidité relative grâce à un capteur et le rayonnement photosynthétique actif (PAR) grâce à un quantum-mètre.</p>	<p>En conditions de stress sévère, le couplage de ces mesures avec d'autres techniques semble indispensable à cause de la surestimation de la concentration intracellulaire due en partie à la fermeture asynchrone des stomates. De même, le capteur d'humidité de la chambre de mesure ne semble pas très fiable.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Poromètre</b></p>	<p><i>Résistance stomatique et transpiration foliaire</i></p> <p>exprimées respectivement en :</p> <p style="text-align: center;"><math>\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}</math> <math>(\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})</math></p>	<p>Cet appareil détermine les pertes d'eau d'une feuille placée dans une cuvette. En mesurant le flux d'air sec nécessaire pour maintenir à une valeur constante l'humidité relative dans cette cuvette.</p> <p>La résistance stomatique (ou conductance) exprimée en <math>\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}</math> (vitesse de diffusion) est calculée directement à partir des valeurs de l'humidité relative, des températures de la feuille et de l'air, et du flux d'air sec mesuré par l'appareil.</p> <p>La transpiration foliaire <math>E</math> est en relation avec le volume de ce flux d'air.</p>	<p>Coût très élevé</p> <p>Délicatesse d'utilisation</p>

## **V. Les principaux résultats obtenus depuis la création du CERAAS**

### **1. Science**

A travers la recherche et la formation par la recherche, des connaissances importantes ont été acquises et synthétisées : sur le comportement agrophysiologique en condition de sécheresse et les caractères génétiques associés, d'une vingtaine d'espèces vivrières, notamment l'arachide, le niébé, le mil, le sorgho, le maïs et le coton. Ces espèces sont d'une importance économique en zones sèches de la sous-région. La réussite des recherches conduites par le CERAAS et ses partenaires dans le domaine de l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse et la création variétale des espèces cultivées est basée sur la démarche pluridisciplinaire mise au point par le CERAAS au bénéfice de nombreuses équipes africaines, et le transfert par l'intermédiaire du CERAAS, vers les Pays en Développement, des concepts et des technologies modernes développés dans le Nord.

### **2. Développement agricole**

Les connaissances acquises ont été intégrées dans des programmes de sélection dans la sous-région : Sénégal, Botswana et Burkina Faso pour l'arachide, Mali pour le sorgho, Bénin et Nigéria pour le palmier à huile.

Ces programmes ont abouti à des propositions à la vulgarisation de nouvelles variétés d'arachide mieux adaptées à la sécheresse au Sénégal, au Botswana et au Burkina Faso, et à l'introduction d'une espèce de légumineuse tubérisée, l'igname-haricot, de valeur nutritionnelle importante dans plusieurs pays d'Afrique, notamment le Sénégal, la Sierra Leone et le Nigeria.

Parallèlement, ces connaissances ont été appliquées au développement des modèles de fonctionnement de culture en conditions de sécheresse.

Ces modèles ont été associés aux systèmes d'information géographique, également développés au CERAAS, et exploités dans des outils de prévision agricole et alimentaire notamment au Sénégal.

Ces modèles ont été également exploités, notamment en Argentine, dans le développement des modèles d'autres cultures comme le soja et dans le pilotage d'irrigation de l'arachide. Ce travail sur la modélisation a remporté le Grand Prix du Président de la République du Sénégal pour les Sciences en 1995.

### **3. Valorisation**

La diffusion d'informations scientifiques est assurée par :

- L'organisation d'ateliers au CERAAS.
- La participation des chercheurs du CERAAS aux réunions scientifiques internationales.
- La publication par le CERAAS et avec ses partenaires africains et européens, de plus d'une centaine de documents scientifiques.
- Le renforcement des capacités scientifiques et institutionnelles.

## VI. Les perspectives d'avenir

Le CERAAS devrait être consolidé à la fois dans le domaine des recherches scientifiques conduites sur le thème étudié et de leur application, et dans celui des ressources humaines

### 1. Au niveau scientifique

Le CERAAS envisage de :

- Poursuivre l'acquisition et la contribution aux connaissances sur les mécanismes agrophysiologiques des espèces cultivées dans les PED, notamment ceux en zones sèches, en prenant en considération la double contrainte hydrique et minérale ;
- Améliorer la connaissance sur la génétique des caractères qui peuvent être intégrés à la définition de stratégies de création variétale renouvelées et adaptatives ;
- Renforcer l'approche pluridisciplinaire déjà établie avec l'introduction des disciplines comme la biochimie et la biologie moléculaire, afin de poursuivre la mise en place de programmes modernes de sélection et de création variétale ;
- Poursuivre l'intégration des connaissances acquises des recherches effectuées dans le développement des modèles de culture et des systèmes d'information géographiques pour l'exploitation dans des outils d'aide à la décision pour les différents opérateurs des PED ainsi qu'à la prévision agricole et pour la protection et la sécurité de la production agricole en zones sèches.

### 2. Au niveau des ressources humaines

Le CERAAS a pour objectifs de :

- Renforcer, par une meilleure mobilisation de l'expertise régionale, le cadre permettant de fournir un appui direct aux équipes des PED impliquées dans la conduite de programmes nationaux de création variétale ;
- Renforcer la qualité et le rythme de transfert et d'acquisition des concepts, des méthodes et des outils nécessaires au développement de la maîtrise des actions d'amélioration de la production végétale en zones sèches par les pays des PED ;
- Contribuer d'une manière concrète au développement de l'affichage de ce transfert et renouvelant l'expérience pilote de 6999 de formation par la recherche à vocation diplômante, à laquelle les écoles supérieures d'agriculture et les universités des pays du Nord doivent être pleinement associées
- Des mécanismes originaux seront développés afin de consolider et de pérenniser les actions scientifiques et de développement en cours aux niveaux national, régional et international. Ils viseront en particulier à

- Améliorer le transfert des connaissances en direction des SNRA afin de rendre plus efficaces les performances des programmes nationaux de création variétale .
- Développer une meilleure mobilité des experts régionaux de manière à assurer l'efficacité durable du dispositif tout en contribuant au renforcement des capacités humaines des SNRA ;
- Développer le partenariat avec les universités et les écoles supérieures d'agriculture des PED dans le cadre d'une formation diplômante ouverte à la région, tout en contribuant au renforcement des mécanismes de consolidation des SNRA;
- Faciliter, autour du CERAAS et pour le compte des SNRA, l'intervention des partenaires du Nord et de l'Est au niveau d'expertise le plus élevé dans les domaines de la recherche et de la formation.

Le CERAAS est le centre autour duquel s'articule le dispositif proposé dans le domaine des recherches et de la formation. Il s'appuiera pour cela sur sa position consolidée d'acteur du système national de recherche agricole sénégalais et de porteur d'initiatives réunies dans ce domaine par l'UCAD, l'ENSA de Thiès et l'ISRA sous la coordination de la CORAF et du CILSS (cf. Annexe3).

Pour assurer la réalisation de ses perspectives, le CERAAS intensifiera la recherche d'autres sources de financement à travers des propositions de projet qui seront élaborés avec les partenaires scientifiques et financiers.

---

## **Partie 11 : Les activités de recherche du CERAAS en 1999**

---

**I- Les expérimentations de la contre saison 1999**

**II- Les expérimentations de la campagne d'hivernage 1999**

## I. Suivi des expérimentations du CERAAS engagées en contre saison 1999

On peut regrouper les expérimentations réalisées au CERAAS pour la contre saison 1999 en trois sous thèmes principaux

1. Expérimentation sur l'interaction sécheresse fertilité sur Mil et Arachide en rotation
2. Mécanismes physiologiques et biochimiques de l'adaptation à la sécheresse sur Niébé, Mii et Arachide.
3. Cultures de diversification : Sorgho, Igname - haricot.

Pour toutes les expérimentations, le traitement des données récoltées sur le terrain se fait sur ordinateur via les tableurs d'Excel et via les logiciels de statistiques : STATITCF et SAS

Le traitement porte sur l'analyse de variance, les tableaux croisés dynamiques courbes de tendances ..

## 1. Interaction fertilité - sécheresse : essai sur Mil et Arachide en rotation

### Sujet d'étude :

« Effets de l'alimentation hydrique et de la nutrition azotée sur la physiologie et la productivité du mil (*Pennisetum glaucum* R. Leeke) cultivé au Sénégal »

### 1.1 Problématique

De nombreux travaux ont déjà porté sur les mécanismes de résistance du mil à la sécheresse sur le plan agrophysiologique ainsi que sur le rôle important de l'azote sur la fertilité des sols et sur la productivité du mil au Sahel.

Toutefois, il existe peu de données faisant état des interactions sécheresse-fertilité en relation avec le comportement physiologique et la productivité du mil.

La création de variétés mieux adaptées à ces conditions environnementales constitue une approche qui minimise la prise en charge par le paysan des coûts liés à certaines techniques culturales, notamment l'utilisation d'engrais.

### 1.2 Objectifs

L'objectif de cette étude est de caractériser les effets de l'interaction eau x fertilité sur la physiologie et la productivité du mil dans un système de rotation mil - arachide. Il s'agit de caractériser les mécanismes d'adaptation à la sécheresse dans des conditions différenciées d'alimentation en azote afin de révéler et de quantifier les effets de l'interaction eau sur la productivité et sur la gestion de la fertilité des sols (systèmes de rotations).

Les essais sont conduits au champ sur un dispositif pérenne en saison sèche et en saison des pluies (cf. annexe4). L'étude en saison sèche permet de maîtriser l'application des stress hydriques à des phases phénologiques précises. Tandis que l'étude en saison des pluies permet de se rapprocher des conditions naturelles. Pour chaque type d'expérimentation, deux séries en rotation mil - arachide sont prévues avec le mil comme culture test. Les expérimentations envisagées ont pour but d'explorer, de façon intégrée, les modifications morphologiques, physiologiques et métaboliques chez le mil sous divers régimes hydriques et d'alimentation en azote.

L'expérimentation a démarré en contre saison 1997. C'est un dispositif pérenne qui a pour objectif de suivre l'évolution de la rotation sur plusieurs années. Cette stratégie aura pour objectif de se rapprocher des conditions de culture naturelles où la jachère est de moins en moins utilisée sous l'effet de la pression démographique. Elle permettra d'obtenir des données en quantité nécessaires pour mettre au point des stratégies culturales et la sélection de variétés mieux adaptées.

### 1.3 Résultats préliminaires

■ Répartition de la matière sèche accumulée et élaboration du rendement.

En conditions d'alimentation hydrique égales, la fertilisation azotée ne semble pas influencer le taux de saturation et l'évapotranspiration réelle.

Par contre, la fertilisation agit en interaction avec le régime hydrique pour modifier les processus de production et de répartition de la matière sèche, par conséquent l'élaboration du rendement.

Le taux de remobilisation et surtout celui de la production de la matière sèche totale post-florale sont les paramètres les plus déterminants. Ils augmentent avec les doses d'azote en conditions pluviales et diminuent en conditions ETM.

F1 semble ainsi présenter dans ces conditions, le meilleur équilibre entre ces deux paramètres.

#### ➤ Prélèvement et répartition de l'azote.

En conditions de déficit hydrique, la quantité d'azote absorbé augmente avec la dose d'azote appliquée sans une augmentation concomitante des rendements en grains et en azote grain.

F1 tend ainsi à exprimer un rendement (grain et azote) plus ou aussi élevé que F2.

Ces résultats conduisent à affirmer qu'en conditions de déficit hydrique, la quantité d'azote prélevé et non assimilée (non transformé en acides aminés ou en protéines) augmente avec la dose d'azote.

L'analyse biochimique devrait permettre de déterminer si cet état de fait traduit la non disponibilité de l'azote nitrique intervenant dans l'ajustement osmotique ou si il y a diminution plus marquée de l'activité des enzymes des voies métaboliques de la nutrition azotée.

#### ➤ Approche biochimique de l'interaction, eau $\times$ azote.

La nitrate réductase apparaît comme l'étape limitante de l'assimilation du nitrate. La variabilité de l'évolution de son activité dans les deux phases de déficit hydrique suggère une régulation par activation et inactivation.

Il est aussi probable que cette régulation soit due à une augmentation de la concentration en nitrates (cas F2) qui aurait un effet dépressif, ou des phénomènes de dégradation et d'inhibition de synthèse. Le déficit hydrique doit aussi jouer son rôle dans cette régulation au niveau de l'assimilation du carbone en vertu de l'interdépendance entre les deux processus.

#### ➤ Comportement morpho-physiologique et productivité.

Avec une pluviométrie cumulée de 330 mm et une faible fertilisation azotée, la production de mil est multipliée par 5 par rapport à celle généralement obtenue en milieu paysan.

Cet accroissement des rendements est principalement tributaire du nombre de grains au m<sup>2</sup>.

## 2. Mécanismes physiologiques et biochimiques de l'adaptation à la sécheresse

### 2.1 Expérimentations sur Niébé

**Sujet d'étude :** « Effet du comportement agronomique et physiologique de trois variétés de niébé (*Vigna unguiculata*) cultivées au champ sous différents régimes hydriques »

#### 2.1.1 Problématique

Malgré le niveau de résistance relativement élevé des variétés de niébé à la contrainte hydrique, beaucoup reste à faire pour améliorer les performances agronomiques de ces plantes.

Une telle amélioration devra passer par la connaissance approfondie des réponses de ces plantes au déficit hydrique pour mettre en évidence des mécanismes de résistance ou de tolérance développés par ces plantes en condition de stress hydrique.

C'est dans ce cadre que s'inscrit le présent travail en conditions réelles qui constitue la continuité des expérimentations conduites en milieu semi-contrôlé (serre).

#### 2.1.2 Objectifs

L'objectif du travail est double

- Mettre en évidence en conditions réelles les réponses à la sécheresse de trois variétés de niébé à partir de critères physiologiques et agromorphologiques.
- Mieux cerner les avantages et les inconvénients des deux types d'approches méthodologiques (étude en serre et en milieu contrôlé).

La conduite de l'expérimentation est exposée en détail à l'annexe 5

#### 2.1.3 Traitement de l'information

L'analyse statistique des résultats a été effectuée à l'aide du logiciel SAS. L'analyse de la variance ANOVA à deux facteurs (régime hydrique et variété) et le test de Newman et Keuls au seuil de 5% ont permis de déceler l'existence ou non de différences significatives entre les traitements.

#### 2.1.4 Résultats

La possibilité d'un allongement racinaire important en conditions de stress hydrique a permis aux plantes de s'alimenter en eau, en fonction de la densité de la seconde ramification, dans les couches plus humides du sol.

L'absence de différence entre les plantes du point de vue de certaines de leur réponse physiologiques au stress hydrique malgré l'avantage potentiel de la variété TN88-63 à l'enracinement et à la structure de sa canopée indique que d'autres mécanismes de résistance sont développés par B21 notamment à un niveau plus important que TN88-63 et même mouride.

## **2.2 Tolérance membranaire au déficit hydrique de l'arachide.**

### **2.2.1 Problématique**

La composition membranaire en acyl-lipides des membranes protoplasmiques évolue en fonction du stress hydrique appliqué. Généralement, plus le stress hydrique augmente et plus le contenu total des acyl-lipides de la membrane diminue. Cependant, des études ont montré qu'il existe des différences inter-variétales : certaines variétés présentent une bonne résistance membranaire. En outre, il semble donc exister une forte corrélation entre la concentration des acides gras polyinsaturés et le degré de résistance à la sécheresse.

### **2.2.2 Objectifs**

L'objectif de cette étude est d'analyser d'une part la composition et l'évolution des différentes classes lipidiques et d'autre part, la concentration en acides gras polyinsaturés chez des plantes d'arachides soumises à différents niveaux de stress hydrique. Cela devrait permettre de confirmer l'hypothèse selon laquelle ces analyses peuvent être utilisées comme méthode de criblage des variétés.

Le protocole détaillé de l'essai est accessible à l'annexe 6.

## **2.3 Croissance racinaire du niébé en conditions d'hydroponie, d'aéroponie et en culture en pots sous des régimes hydriques différents.**

### **2.3.1 Problématique**

Un des principaux mécanismes par lesquels la plante s'adapte au déficit hydrique est la mise en place d'un système racinaire développé qui maximise les possibilités de consommation d'eau et d'exploitation des horizons les plus profonds.

### **2.3.2 Objectifs**

L'objectif de cet essai est de vérifier s'il existe des différences de croissance racinaire de différentes variétés de niébé conduites en aéroponie et en hydroponie. L'objectif est aussi de déterminer si ces différences de croissance peuvent être associées avec la tolérance à la sécheresse en culture en sol. Si c'est le cas cela permettra de réaliser un criblage rapide de variétés résistantes au stress hydrique.

Le protocole détaillé de l'essai est accessible à l'annexe 7.

## **2.4 Evaluation de l'hétérogénéité et vérification de la fonctionnalité de la serre avec le mil comme plante test,**

### **2.4.1 Problématique**

Avant la mise en place d'expérimentations complexes, chaque compartiment de la serre doit faire preuve de ses qualités en tant que milieu présentant un maximum d'homogénéité. Une bonne connaissance des conditions internes de la serre est un préalable obligatoire à son utilisation.

## 2.4.2 Objectifs

L'objectif de cet essai est d'identifier des gradients d'hétérogénéité existant dans le troisième compartiment de la serre afin d'éviter toute perturbation lors des expérimentations ultérieures par la mise en place d'un dispositif expérimental adapté.

Les deux premiers compartiments de la serre ont déjà été soumis à ce test.

Le protocole détaillé de l'essai est accessible à l'annexe 8.

## 2.4.3 Résultats attendus

- Mise en évidence de gradients d'hétérogénéité et vérification de la fonctionnalité du compartiment.
- Etablissement d'une cartographie des conditions internes de la serre débouchant sur des traitements géostatistiques.
- Utilisation de la connaissance du milieu par la mise au point d'un système de vérification et d'aide au choix de dispositifs expérimentaux.

### **3. Les cultures de diversification**

#### **3.1. Expérimentations sur Sorgho**

**Sujet d'étude :** « Etude comparée de la croissance et du développement de deux variétés de sorghos de race caudatum et guinea : suivi de la croissance aérienne et racinaire entre le semis et l'initiation paniculaire, en fonction de la satisfaction des besoins en eau ».

##### **3.1.1 Problématique**

En Afrique de l'Ouest, les paysans ont très généralement conservé leurs variétés traditionnelles de sorgho. Ces variétés sont majoritairement de type guinea, à paille haute, produisant plusieurs talles, à panicule lâche et sensibles à la photopériode. Les variétés améliorées ont été très peu adoptées. Elles sont majoritairement de type caudatum, de taille réduite, monocaule, à panicule dense et peu sensibles à la photopériode. Il paraît alors intéressant d'étudier plus en détail ces deux variétés.

##### **3.1.2 Objectifs**

Ce travail a pour objectif de caractériser et de quantifier des différences qui existent entre les deux races de sorgho pour les stratégies de mise en place des organes aériens et racinaires. On mesurera l'incidence d'un stress hydrique intervenant pendant le tallage.

Le protocole détaillé de l'essai est accessible à l'annexe 9.

#### **3.2. Expérimentations sur Igname-haricot (*Pachyrhizus*)**

**Sujet d'étude :** « Bilan hydrique et évaluation au champ de la réponse agronomique de trois (3) variétés de *Pachyrhizus erosus* cultivés au champ en conditions hydriques différenciées ».

##### **3.2.1 Problématique**

Des travaux effectués au CERAAS ont permis de faire une première évaluation des besoins en eau du *Pachyrhizus erosus* en fin jours longs et début jours courts (date de semis avant la saison des pluies). Les espèces de *Pachyrhizus*, légumineuses tubérisées, sont en général sensibles à la photopériode. Ceci se traduit par une variabilité de la consommation en eau, de la croissance et du développement en fonction de la date de semis. Dès lors, il devient nécessaire d'étudier la réponse à l'eau et la productivité de l'igname haricot en jours longs (durant la saison sèche chaude).

##### **3.2.2 Objectifs**

Cet essai a deux objectifs principaux :

- déterminer les besoins en eau et l'efficacité d'utilisation de l'eau chez trois (3) variétés de *P. erosus*.

• déterminer la valeur alimentaire des tubercules et des organes aériens (feuilles, tiges)

Le protocole détaillé de l'essai est accessible à l'annexe 10

### 3.2.3 Traitement de l'information

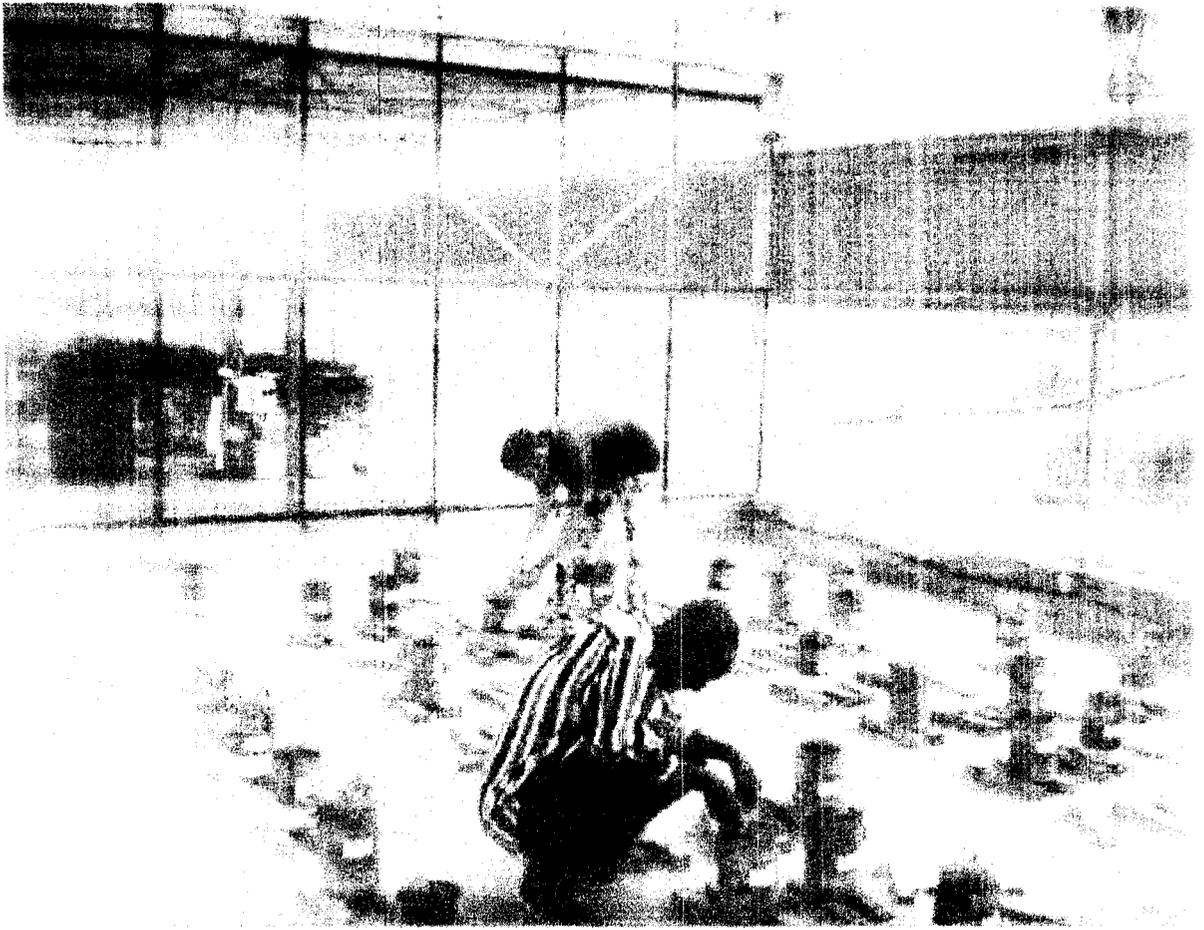
L'analyse statistique des résultats a été effectuée à l'aide du logiciel SAS. L'analyse de la variance ANOVA à deux facteurs (régime hydrique et variété) et le test de Newman et Keuls au seuil de 5% ont permis de déceler l'existence ou non de différences significatives entre les traitements.

### 3.2.4 Résultats attendus

On cherche à mettre en évidence les besoins en eau de chaque variété, l'efficacité d'utilisation de l'eau pour guider le choix de variétés performantes ainsi que leur aire de diffusion.

## **II- Suivi des expérimentations du CERAAS engagées pour l'hivernage 1999**

1. Expérimentations sur mil-arachide en rotation
2. Expérimentations sur niébé en serre
3. Expérimentations sur arachide en serre
4. Expérimentations sur sésame
5. Expérimentations sur mil sur sols termitiques
6. Expérimentations sur mil en milieu paysan sous serre



**Essai sur arachide en serre**

## **1. Essai Mil-Arachide en rotation**

L'essai conduit en contre saison 1999 est poursuivi pour l'hivernage le site pour l'hivernage est différent du site de contre saison).

Le protocole expérimental est rigoureusement le même à l'exception du facteur régime hydrique qui possède les 2 niveaux suivants : pluviométrie stricte; complément d'irrigation pour l'ETM.

## **2. Expérimentations sur niébé en serre**

**Sujet d'étude :** « Etude de la tolérance membranaire au déficit hydrique de 5 variétés de niébé (*Vigna unguiculata L.*) »

### **2.1 Problématique**

La tolérance d'une variété à la sécheresse est fonction de sa capacité à conserver son intégrité membranaire lors de l'installation du stress hydrique.

Il a été montré une forte corrélation entre la concentration des acides gras polyinsaturés et le degré de tolérance à la sécheresse chez le niébé. Ainsi une analyse des acides gras membranaires permettra de mieux rendre compte de l'aptitude de la plante à résister ou non au stress hydrique.

### **2.2 Objectifs**

L'objectif de cette étude est de définir un classement des variétés en fonction de leur degré de tolérance au stress hydrique évalué par leur intégrité membranaire.

Le protocole détaillé de l'essai est accessible à l'annexe 11

## **3. Arachide sous serre**

**Sujet d'étude :** « Etude du comportement agrophysiologique en pots en condition d'alimentation en eau contrôlée de quatre variétés d'arachide cultivées en zones semi-arides d'Afrique tropicale »

### **3.1 Problématique**

Dans la zone semi-aride du sud Sahara, la baisse et l'irrégularité des pluies rend nécessaire l'obtention de variétés à cycle relativement court et ayant une bonne aptitude à supporter d'importantes périodes de sécheresse au cours de ce cycle.

### 3.2 Objectifs

Cet essai vise trois objectifs principaux :

- Evaluer et comparer en pots sous différents régimes hydriques, le comportement agronomique et physiologique de meilleures entrées stabilisées d'arachide issues de programmes nationaux de sélection du Sénégal et du Burkina Faso.
- Améliorer la connaissance du comportement physiologique de variétés améliorées.
- Rechercher des critères pertinents d'adaptation à la sécheresse pour la création variétale.

Le protocole détaillé de l'essai est accessible à l'annexe 12.

## 4. Sésame

---

**Sujet d'étude :** « Evaluation des besoins en eau et de la productivité du sésame (*Sesamum indicum L.*) en conditions d'alimentation hydrique et minérale non limitantes »

---

### 4.1 Problématique

Le sésame (*Sesamum indicum L.*) est un oléagineux annuel à haute potentialité alimentaire et économique qui constitue l'une des plus anciennes cultures du monde (Weiss 1971). Son introduction au Sénégal dans le contexte d'aridification du climat s'est faite de façon très "informelle", sans les techniques culturales adéquates.

Toutefois, en raison de la qualité de ses produits (graines, huiles, tourteau), cette culture a connu une extension très rapide et continue entre 1994 et 1997. Cette situation traduit l'intérêt que les populations accordent à cette culture, et justifie la nécessité urgente de conduire des recherches pour améliorer ses conditions de culture et faciliter son adoption durable par le monde rural.

### 4.2 Objectifs

Ce travail a pour objectif d'évaluer les besoins en eau, la croissance, le développement et la productivité chez sept entrées de sésame.

Le protocole détaillé de l'essai est accessible à l'annexe 13

### 4.3 Résultats attendus

On cherche à déterminer les besoins et l'efficacité d'utilisation en eau des variétés étudiées, à caractériser les phénophases et la dynamique du développement au cours du cycle des variétés, à identifier des variétés à potentiel de production élevé.

## **5. Essai sur mil en sols termitiques en milieu contrôlé sous serre**

Sujet d'étude : « Etude de l'impact des constructions termitiques sur la fertilité des sols au Sénégal »

### **5.1 Problématique**

La présence d'une termitière semble influencer sur la physiologie, la croissance et la productivité du Mil. Cet essai complète deux expérimentations précédentes menées au champ évaluant l'impact des constructions termitiques sur la productivité du mil.

### **5.2 Objectifs**

L'objectif de l'essai est d'évaluer les effets d'un amendement de matériau termitique sur la croissance et la productivité du Mil.

Le protocole détaillé de l'essai est accessible à l'annexe 14.

## **6. Expérimentation sur mil en milieu paysan**

Sujet d'étude : « Etude du comportement agronomique en milieu paysan de la variété de mil (*Pennisetum americanum*) IBV 8004 en conditions d'implantation variées »

### **6.1 Problématique**

Le mode d'implantation par repiquage ou par trempage des grains favorise la précocité du mil. L'amélioration de la résistance à la sécheresse et l'accroissement des rendements du mil. Il paraît donc intéressant d'évaluer l'impact du mode d'installation des cultures sur la longueur du cycle cultural et sur l'amélioration de la productivité du mil en zones semi-arides du Sénégal.

### **6.2 Objectifs**

- Accroître à partir des techniques culturales simples la production milicole dans les régions à faible pluviométrie
- Tester l'adaptabilité des variétés aux différentes contraintes du milieu
- Permettre au paysan de produire ses propres semences

Le protocole détaillé de l'essai est accessible à l'annexe 15



Mesure au champ sur mil-arachide en rotation

### III- Le travail réalisé au cours du stage

La première moitié de mon stage a été consacrée à la découverte de la vie et du fonctionnement du CERAAS en participant aux différents postes d'activités qui le constituent.

Le travail réalisé au cours du stage a donc été varié et m'a permis de contribuer pratiquement et de l'intérieur aux activités du centre de recherche, afin d'avoir une vision concrète de ses exigences et de son mode de fonctionnement.

Voici les différentes tâches auxquelles j'ai participé au cours de ces 3 mois et plus particulièrement lors du premier mois et demi :

#### **Le Suivi de trois expérimentations de la contre saison 199,9 déjà en cours à mon arrivée fin mai**

Au début de mon stage, la première semaine a été consacrée à une recherche bibliographique sur le CERAAS : approche multidisciplinaire de l'adaptation à la sécheresse, différents postes d'activités, rôle, objectifs... Outre cette recherche bibliographique, j'ai eu un entretien avec tous les chercheurs et les responsables des services de soutien (informatique, biométrie, documentation), ce qui m'a permis d'avoir une vision d'ensemble et cohérente du fonctionnement du centre.

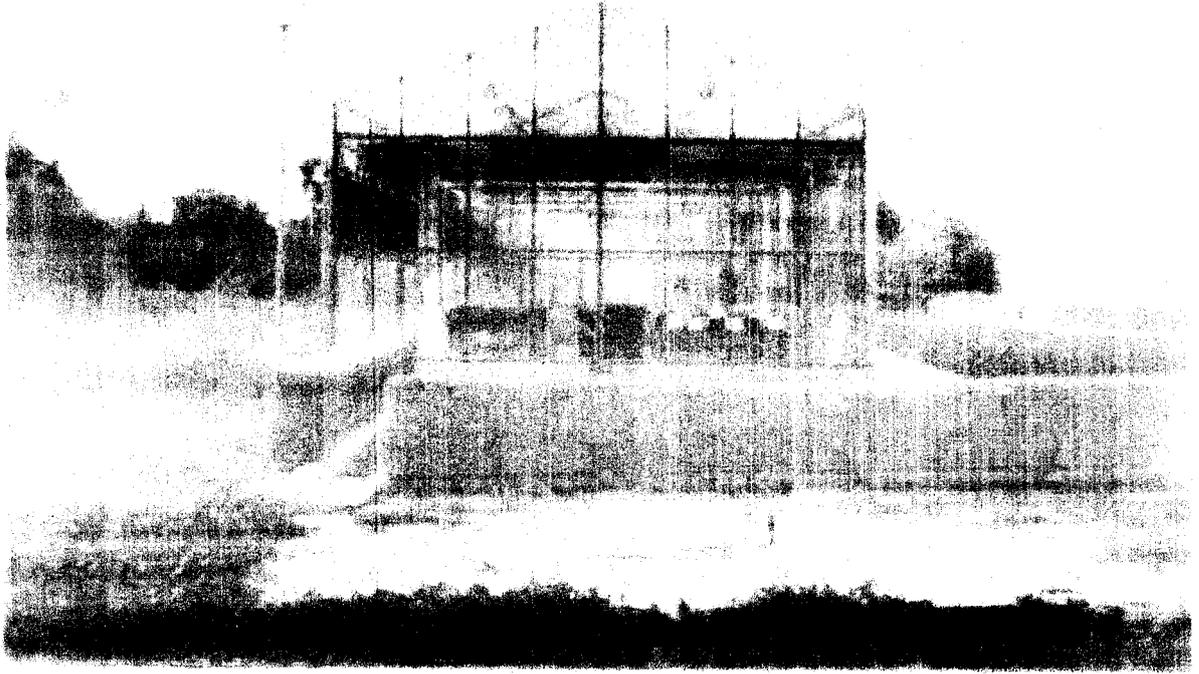
Puis mon travail pratique s'est ensuite focalisé sur le suivi de trois expérimentations déjà en cours :

- Interaction fertilité-sécheresse : essai sur mil et arachide en rotation au champ sur le site de Bambey.
- Croissance racinaire du niébé en conditions d'hydroponie, d'aéroponie et en cultures en pots sous des régimes hydriques différents.
- Bilan hydrique et évaluation au champ de la réponse agronomique de trois variétés de *Pachyrhizus erosus* cultivées au champ en conditions hydriques différenciées

Mon travail a consisté tout d'abord à comprendre en détail la logique des protocoles expérimentaux mis en place : choix des plans d'expérimentations, des facteurs étudiés, et des mesures réalisées

D'un point de vue pratique, j'ai participé aux mesures de terrain et au traitement en laboratoire des échantillons prélevés. Le détail des mesures sont développées aux annexes 4, 7 et 10.

Enfin, j'ai pu participer au traitement de l'information (Excel, VB, STAT-ITCF...) et à l'analyse et à l'interprétation des résultats.



**Laserre du CERAAS : 3 compartiments - 75m<sup>2</sup>**

## **2. Mise en place et suivi de deux expérimentations en milieu contrôlé sous serre**

Lors de mon stage, deux essais en serre ont été mis en place pour l'hivernage 1999

- Etude de la tolérance membranaire au déficit hydrique de 5 variétés de niébé
- Etude du comportement agrophysiologique en pots en conditions d'alimentation en eau contrôlée de quatre variétés d'arachide cultivées en zones semi-arides d'Afrique tropicale

Ce travail a été très intéressant car il m'a permis de découvrir les réalités de la mise en place d'un essai qui pose souvent des problèmes pratiques auxquels on ne pense pas toujours lorsque le protocole est établi.

Une fois l'essai mis en place, j'ai participé à l'application du protocole établi pour chacun des essais : conduite de la culture, application des stress, mesures et observations (cf annexes 11 et 12).

Je n'ai pu participer que de loin au traitement des premiers résultats en raison du thème d'approfondissement présenté ci-après auquel j'ai fini par me consacrer quasi-exclusivement le dernier mois du stage.

## **3. Synthèse des activités du CERAAS en 1999 pour la préparation du rapport d'activités 1999**

Parallèlement au travail pratique effectué, mon maître de stage m'a demandé de réaliser une synthèse des activités du CERAAS en 1999 (contre saison et hivernage) en vue de faciliter la rédaction future du rapport d'activités 1999, ainsi que de réaliser des fiches synthétiques sur tous les appareils de mesure du centre de recherche.

Ce travail est représenté dans le rapport par les tableaux de la Partie I Chap. IV et par toute la Partie II du rapport.

# **Partie III : Thème d'approfondissement**

## **Outils et méthodologie pour le suivi de la campagne agricole**

**I Présentation des logiciels de simulation du bilan hydrique et de productivité et des logiciels de cartographie**

**II. Méthodologies**

**III. Echantillonnage**

**IV. Suivi agroclimatique sur la période normale 1961-1990**

**V. Suivi agroclimatique : situation au 31 juillet 1999**

---

## I. Présentation des logiciels de simulation du bilan hydrique et de productivité et des logiciels de cartographie

### 1. Modèle de simulation AraBHy (Arachide Bilan Hydrique)

Le modèle AraBHy permet de faire la simulation de la culture d'arachide en prenant en entrée : le nom du site, la variété, l'année, le type de sol, la date de semis, la date de fin de simulation.

La date de semis et la date de fin de simulation peuvent être déterminées automatiquement. La date de semis est déterminée en fonction de la pluie de semis optimale alors que la date de fin de simulation est calculée en fonction de la longueur du cycle de la variété.

Le modèle simule deux grandes parties :

- Le bilan hydrique
- La productivité

Les résultats de la simulation sont sortis sous forme de courbes et de tableaux parmi lesquels on peut noter

- L'évolution du poids set des feuilles, tiges, gousses, graines l'évolution de la pluie et le taux de satisfaction des besoins en eau en fonction du nombre de jours après semis
- L'évolution du taux de satisfaction des besoins en eau.
- Le rendement en grains en Kg/ha.

Les objectifs du modèle AraBHy sont les suivants :

➤ **Fournir des informations fiables sur l'état des cultures d'arachide** : mise en place des cultures, alimentation en eau, quantité et répartition de la matière sèche produite, évaluation de l'impact des techniques culturales paysannes sur les paramètres précédents

➤ **Evaluer précocement le niveau de la production attendu** : estimation de la production réelle, de la production potentielle, détermination de l'indice de productivité local

AraBHy a par ailleurs été conçu de manière ouverte et interactive afin de permettre son application à des situations contrastées par l'accès et la possibilité de modification par l'utilisateur de l'ensemble des paramètres utiles à la simulation. Des informations utiles peuvent être apportées au modèle afin d'améliorer la précision de la simulation

Le modèle ne tient pas compte des facteurs biotiques : parasitisme, maladies incontrôlées

## 1. Modèle de simulation SARRA (Systèmes d'Analyses Régionales des Risques Agroclimatiques)

Le logiciel **SARR.4** est composé de trois modules distincts :

- **SARRAMET** analyse des données climatiques
- **SARRABIL** : analyse du bilan hydrique des cultures
- **SARRAZON** analyse du bilan hydrique à partir d'un réseau agroclimatique

**SARRAMET** a pour objectif de faciliter la gestion des données météorologiques (pluviométrie, température, rayonnement, calcul des ETP...) et de permettre aux agronomes notamment, de réaliser leurs propres études climatiques. Les analyses chronologiques peuvent s'effectuer, simultanément, sur plusieurs stations et/ou données météorologiques. Sur une base annuelle ou sur une saison de culture, **SARRAMET** donne la possibilité d'étudier rapidement

- l'évolution des variables climatiques au cours de la saison de culture.
- les caractéristiques climatiques d'un site (moyenne, minimum, maximum, fréquences)
- la comparaison d'une variable climatique entre différents sites
- la comparaison d'une sous - période au sein d'une série chronologique.
- la fréquence d'apparition de périodes spécifiques (ex : période de n jours sans pluie)

**SARRABIL** permet la simulation du bilan hydrique. A partir d'un ensemble de paramètres décrivant le sol, la culture et le climat, l'équation du bilan hydrique est résolue au pas de temps journalier :  $\text{Pluie} + \text{Irrigation} = \text{ETR} + \text{Drainage} + \text{Ruissellement} + \Delta\text{stock eau dans sol}$ . Orienté vers l'analyse comparative de situations agroclimatiques, et l'analyse chronologique du risque climatique, **SARRABIL** offre la possibilité d'étudier rapidement :

- l'évolution des termes du bilan hydrique au cours de la saison de culture.
- les caractéristiques agroclimatiques d'un site (moyenne, minimum, maximum, fréquences).
- la comparaison de situations agroclimatiques ou de l'effet de pratiques culturales
- la comparaison de sous - périodes au sein d'une série chronologique.

**SARRAZON** permet aussi la simulation du bilan hydrique. A partir d'un ensemble de paramètres décrivant le sol, la culture et le climat, l'équation du bilan hydrique est résolue au pas de temps journalier :  $\text{Pluie} + \text{Irrigation} = \text{ETR} + \text{Drainage} + \text{Ruissellement} + \Delta\text{stock eau dans sol}$

Orienté vers l'analyse comparative de situations agroclimatiques, et l'analyse chronologique du risque climatique, **SARRAZON** offre la possibilité d'étudier facilement des études de zonages par l'exportation de fichiers de résultats géoréférencés qui peuvent être repris directement par des logiciels de cartographie ou de SIG. Ces zonages permettent d'étudier

- les termes du bilan hydrique.
- les caractéristiques agroclimatiques d'un réseau climatique (moyenne, minimum, maximum, fréquences)
- la comparaison de situations agroclimatiques ou de l'effet de pratiques culturales

Le module permet en effet de :

- choisir des variables parmi l'ensemble des variables simulées ou d'entrées du bilan hydrique
- choisir la période de l'année d'édition des résultats ainsi que le pas de temps d'analyse des résultats (de journalier à l'ensemble du cycle ou par découpage en quatre phases)

sélectionner sur ces couples (variable/pas de temps) un ou plusieurs descripteurs statistiques (moyenne, minimum, maximum, fréquences).

### **3. Logiciel de cartographie Surfer (interpolation géographique)**

Le logiciel surfer permet de cartographier des données géoréférencées (latitude, longitude, site) importées par exemple d'Excel par la méthode de krigeage. À partir des données vraies observées (plus d'une centaine de postes pluviométriques), surfer crée par interpolation géographique des dizaines de milliers de points fictifs sur l'ensemble du territoire sénégalais (fichier Grid) ce qui lui permet de trouver et de tracer des isolignes sur tout le pays.

### **4. Logiciel de SIG Mapinfo (représentation vectorielle)**

Mapinfo offre la possibilité de traitement des bases de données associée à la puissance de visualisation des cartes, ainsi que des diagrammes et des graphiques. Il constitue un puissant outil d'analyse et de présentation.

Voici quelques unes des fonctions offertes par Mapinfo :

- Ouverture de fichiers créés avec dBASE ou FoxBASE, Lotus 1-2-3, Microsoft Excel, ou de fichiers ASCII avec séparateurs; importation de fichiers graphiques dans un grand nombre de formats; fonction de création de fichiers bases de données depuis Mapinfo.

- Vues multiples des données selon trois angles différents : cartes, tableaux de données et graphiques. La technologie des fenêtres interactives permet d'ouvrir simultanément plusieurs vues des mêmes données et de mettre à jour automatiquement toutes les vues lorsque l'une d'elles est modifiée.

- Superposition d'images raster pour donner une autre dimension aux cartes.

- Possibilités d'interrogation allant de la simple sélection de données dans un fichier unique aux requêtes SQL les plus complexes sur un ou plusieurs fichiers.

- Document permettant de sauvegarder toutes les sélections et les vues, et de reprendre ainsi le traitement au point de la session précédente.

- Une palette complète d'outils de dessins et d'édition.

- Des milliers de cartes prêtes à l'emploi et des fonctions pour créer ses propres cartes.

- Possibilité de modifier le système de projection des cartes pour l'affichage ou la numérisation.

## II . Méthodologies

Le bilan hydrique et la productivité des cultures ont été simulés à partir des outils dynamiques de modélisation présentés plus haut.

L'évapotranspiration réelle (ETR) de la culture est obtenue par l'équation générale :

$$ETR = P + DS + R + Dr$$

P = Pluie ; Ds = variations de stock d'eau dans le sol; R = Ruissellement; Dr = Drainage;

L'ETM correspond aux besoins théoriques de la plante.

L'indice de réponse à l'eau est un indicateur hydrique lié à la productivité des cultures. Il permet dès la fin du cycle de donner une estimation des niveaux de rendements que les conditions d'alimentation en eau permettent d'espérer. Pour les principales cultures cultivées au Sénégal, on a : IRESP = TSAT(c) \* TSAT (pc)

$$TSAT = ETR / ETM$$

Le TSAT (c) ou taux de satisfaction des besoins en eau durant le cycle, exprime le taux de confort hydrique déterminant la production de la matière sèche totale.

Le TSAT (pc) ou taux de satisfaction des besoins en eau durant la phase critique, caractérise l'état hydrique de la plante au moment de la floraison - formation laiteuse des grains (mil, sorgho) ou de la fécondation - remplissage de l'épi (maïs).

IRESP correspond au produit du taux de satisfaction des besoins en eau (TSAT) sur le cycle au TSAT durant la phase critique (pc).

Pour la culture du mil, on considère que les conditions d'alimentation ne sont pas satisfaites pour des TSAT moyens sur le cycle inférieurs à 65-70%.

Il n'est pas tenu compte des facteurs biotiques (parasitisme : acridiens, iules... ; maladies incontrôlées, enherbement des parcelles...).

Les dates de semis optimales présentées correspondent à la date de semis réussi si dans les 20 jours qui suivent une pluie supérieure ou égale à 20 mm, on enregistre moins de 10 jours de stress hydrique sévère (TSAT ≤ 30%).

Les simulations historiques sur la période normale 1961-1990 sont de trois types : analyses des valeurs moyennes sur 30 ans (années moyennes), analyse fréquentielle d'occurrence 2/10 et d'occurrence 8ans /10.

L'occurrence 2ans /10 correspond aux années humides, l'occurrence 8/10 aux années sèches en raison du profil de sécheresse pluviométrique de cette période 1961-1990.

## 111. Echantillonnage

Plusieurs niveaux sont pris en compte :

- L'échelle agroclimatique (synoptique) correspondant à la répartition des stations dont les données suivantes existent : pluviométrie journalière et évapotranspiration potentielle (données mesurées ou interpolées).

- L'échelle départementale sur laquelle les statistiques agricoles sont établies au Sénégal

Le passage de l'échelle synoptique à l'échelle départementale se fait par :

- Utilisation de la méthode statistique du krigeage pour avoir une représentation continue de la variable étudiée

- A partir des données vraies observées (une soixantaine de postes pluviométriques), création par interpolation géographique de 60000 points fictifs sur l'ensemble du territoire sénégalais (fichier Grid) à l'aide du logiciel de cartographie Surfer (Golden Software)

- Exportation du fichier Grid vers une représentation vectorielle géocodée des départements du Sénégal sous MapInfo.

- Calcul à partir des points fictifs de moyennes ou d'indices départementaux. Ce procédé a été utilisé pour construire, à partir des données interpolées, les cartes de rendements à l'échelle départementale.

## IV. Suivi agroclimatique sur la période normale 1961-1990

### 1. Choix de la période

La période 1961-1990 a été choisie car elle représente bien l'évolution actuelle du climat choisi. La période 1951-1980 aurait biaisé l'interprétation des comparaisons; puisque les années 50 ont été plus pluvieuses que les années suivantes.

En effet, sur la période 1961-1990, trois phénomènes ont été observés

- ☛ Une baisse de la pluviométrie saisonnière de 35% en moyenne sur l'ensemble du territoire. La moyenne de la pluviométrie de la saison humide qui atteignait 834mm à Kaolack durant la période humide (jusqu'en 1965) est passée à 547mm durant la période déficitaire (A partir des années 1970). Cette station a donc connu une baisse de la pluviométrie de 34% sur les 30 dernières années.

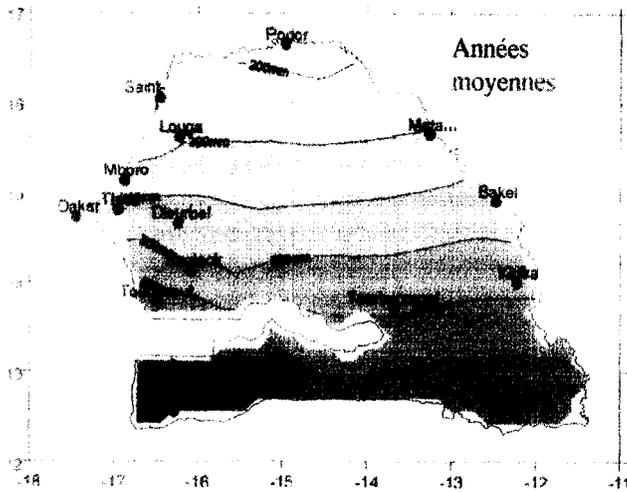
- ☛ Une réduction de la période humide de l'ordre de 38 jours en moyenne. Par exemple, durant la phase humide, la période de culture durait 150 jours à Kaolack. elle ne dure plus aujourd'hui que 100 jours,

- ☛ Une baisse de la fréquence des pluies de 20%. Le nombre de jours de pluies est passé de 64 à 40 jours à Kaolack. Ceci se traduit par une hausse de la fréquence des pauses pluviométriques en cours de saison.

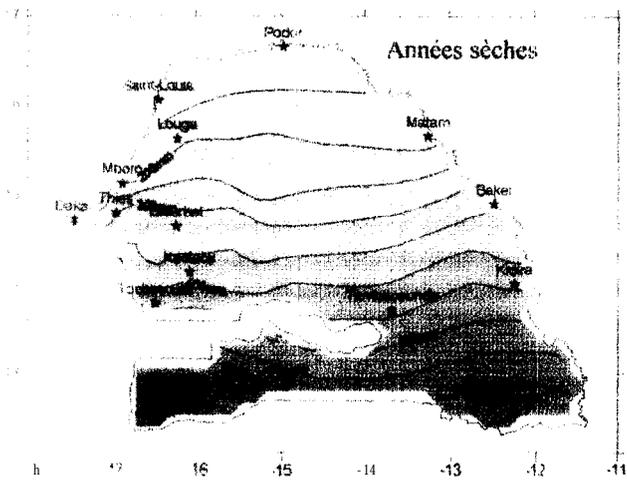
Cette péjoration de la pluviométrie s'est accompagnée d'une hausse de la demande évaporative. Il en a résulté une translation vers le sud des zones agroclimatiques et la réduction des potentiels de production. La persistance du phénomène depuis près de 30 ans aboutit à une dégradation des sols amplifiée par des pratiques agricoles inadaptées.

NB : les données brutes de la période normale 1961-1990 sont présentées à l'annexe 16

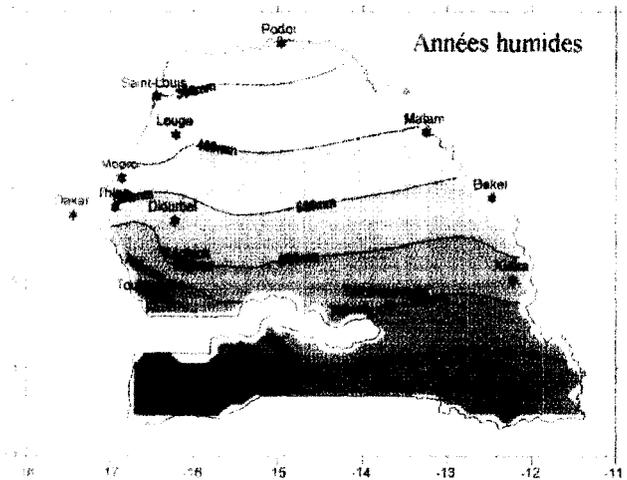
## 2. Les cumuls pluviométriques annuels sur le cycle du mil 90 j



Les cumuls pluviométriques annuels moyens sur la période 1961-1990 sont compris entre des valeurs inférieures à 200 mm au nord à des valeurs supérieures à 1000 mm dans le sud-ouest (région de Ziguinchor). De façon générale, ces totaux sont inférieurs ou égaux à 400mm dans la zone sahélienne (région de Saint-Louis, Thiès, Diourbel) compris entre 400 et 600mm dans les régions de Fatick et Kaolack et supérieurs à 650 mm au sud de la Gambie. Le tracé des isohyètes est relativement régulier car il traduit une moyenne sur 30 ans.



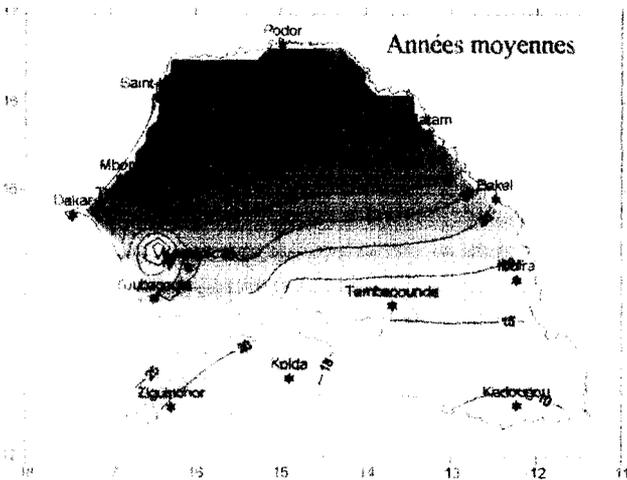
Dans 80% des cas, les cumuls pluviométriques annuels moyens sur la période 1961-1990 sont compris entre des valeurs inférieures à 150 mm au nord à des valeurs voisines de 800 mm à l'extrémité sud-ouest du pays. Ces totaux sont inférieurs ou égaux à 400mm dans la zone sahélienne (région de Saint-Louis, Thiès, Diourbel), compris entre 300 et 400 mm dans les régions de Fatick et Kaolack et supérieurs à 500 mm au sud de la Gambie. La sécheresse affecte l'ensemble du pays avec un déficit d'environ 150mm par rapport à la moyenne sur 30 ans. La façade maritime entre Dakar et St-Louis subit l'influence de l'anticyclone des Açores qui fait chuter la pluviométrie.



Pour les années humides la pluviométrie annuelle varie entre un peu plus de 250 mm au nord et un peu plus de 1200 mm au sud-ouest. Ces totaux sont inférieurs ou égaux à 500mm dans la zone sahélienne (région de Saint-Louis, Thiès, Diourbel), compris entre 500 et 700mm dans les régions de Fatick et Kaolack et supérieurs à 700 mm au sud de la Gambie. Au nord de la Gambie, les années humides enregistrent une augmentation de la pluviométrie d'environ 100 mm par rapport à la période moyenne 1961-1990. Mais c'est surtout au sud de la Gambie, en Casamance, que le phénomène est plus marquant avec une augmentation de la pluviométrie annuelle d'environ 200 mm.

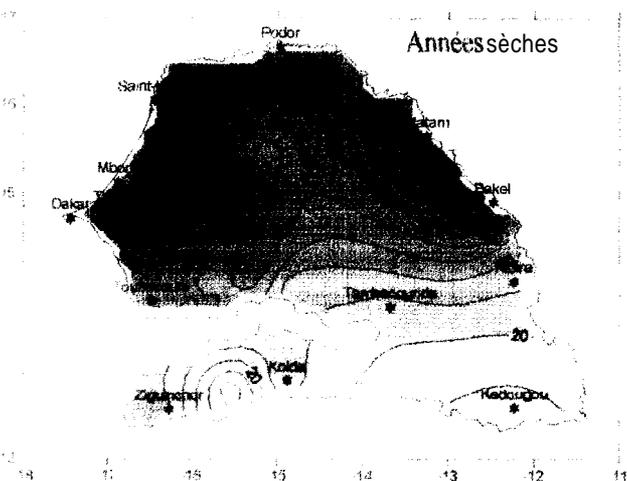
Figure 1 : Répartition des cumuls pluviométriques annuels (en mm) au Sénégal sur la période 1961-1990 en années moyennes (en haut), sèches (milieu) et humides(en bas).

### 3. Les dates de semis optimales



Les dates de semis optimales sur la période 1961-1990 sont comprises en moyenne entre le 10 juin au sud-est du pays et le 23 juillet au nord dans la région de Saint-Louis.

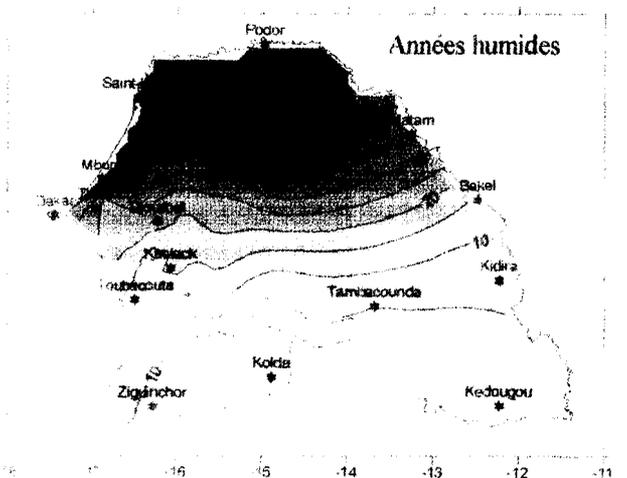
La première vague de semis intéresse les régions méridionales du pays : Tambacounda, Ziguinchor et Kedougou. En fin juin, les semis s'étendent du nord de la Gambie jusqu'à la région de Kaolack. On note que la région de Kaolack et de Fatick enregistrent généralement des pluies utiles dès le début de la saison. La partie nord du pays n'est concernée en moyenne par les premières pluies utiles qu'à partir de la première décade de juillet. Les localités situées à l'extrémité nord du pays doivent attendre le début de juillet pour effectuer les semis. L'extrémité sud-est du pays enregistre les premières pluies utiles car elle profite de l'installation rapide du flux mousson due à la présence des contreforts des massifs montagneux du Fouta Djallon.



Dans 80% des cas, les dates de semis optimales sur la période 1961-1990 sont comprises entre le 10 juin au sud du pays et le 30 juillet au nord dans la région de Saint-Louis.

La première vague de semis intéresse toujours les régions méridionales du pays : Tambacounda, Ziguinchor et Kedougou. Par rapport à la normale sur 30 ans, on note un retard de la date de semis optimale en années sèches de 5 à 10 jours dans le sud et de 10 à plus de 20 jours dans le sud-est du pays.

La façade maritime au nord de Dakar subit jusqu'en fin avril l'influence de l'alizé maritime ce qui retarde l'état des premières pluies utiles.



Dans 20% des cas, les dates de semis optimales sur la période 1961-1990 sont comprises entre début juin au sud du pays et le 20 juillet au nord dans la région de Saint-Louis.

La première vague de semis intéresse la partie du pays située au sud de la ligne Kidira-Tambacounda-Biss-Guinée. Par rapport à la normale sur 30 ans, la date de semis optimale est très variable avec une précocité comprise entre 10 et 15 jours.

Même en années humides, l'installation des cultures sur la Grande Côte du Sénégal est retardée en raison de la persistance des masses d'air maritimes septentrionales.

Figure 2. Répartition des dates de semis optimales (en nombre de jours après le 1<sup>er</sup> juin) sur la période normale 1961-1990 en années moyennes (en haut), en années sèches (au milieu), et en années humides (en bas).

## 4. Les taux de satisfaction moyens du mil sur l'ensemble de son cycle

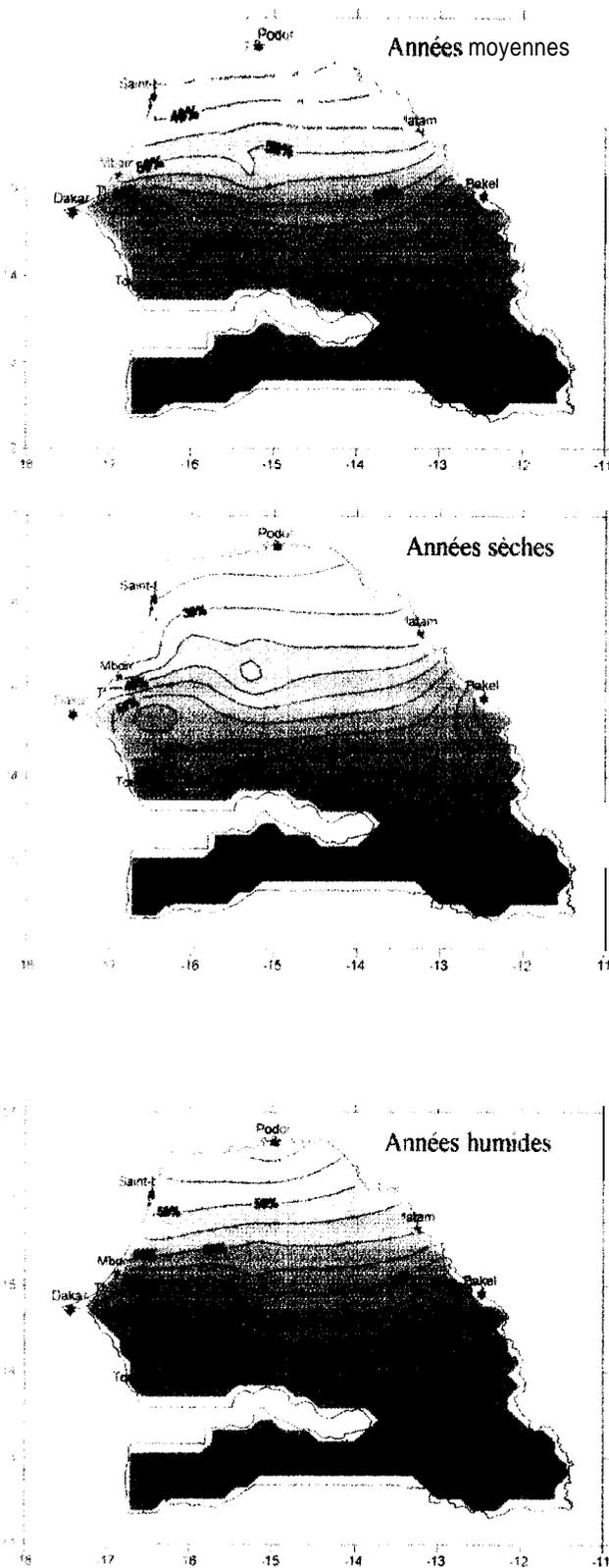


Figure 3 : Répartition des niveaux de satisfactions moyens des besoins en eau (%) sur le cycle du mil sur la période 1961-1990 pour les années moyennes (en haut), les années sèches (au milieu) et les années humides (en bas).

En années moyennes, au sud d'une ligne Bakel-Toubacouta, le mil profite d'excellentes conditions d'alimentation en eau (TSAT > 75%) sur l'ensemble du cycle

Dans le bassin arachidier centre, le mil présente des conditions hydriques relativement bonnes avec des TSAT l'ordre de 50-70%.

Le quart nord du pays, au delà d'une ligne M'Boro-Matam, constitue une zone de stress hydriques modérés à très sévères avec des TSAT de 50% à 30%. La situation est critique à l'extrémité nord du pays (région de Podor) avec des conditions de stress hydrique sévères (TSAT  $\leq 10\%$ ), mais dans cette région la culture pluviale reste une activité marginale

En années sèches, on enregistre une baisse du TSAT moyen sur le cycle d'environ 10% sur l'ensemble du territoire.

Au sud de la ligne Tambacounda-Kidira le mil profite de bonnes conditions d'alimentation en eau (TSAT > 70%) sur l'ensemble du cycle

Le bassin arachidier sud bénéficie de conditions hydriques acceptables avec un TSAT compris entre 60-70%

Dans le bassin arachidier centre, les TSAT moyens du mil sont limités et de l'ordre de 50-60%

Le quart nord du pays, au delà d'une ligne M'Boro-Matam, constitue une zone à conditions de stress hydriques déficitaires à sévères avec des TSAT inférieurs à 35%

Seule l'extrémité sud du pays située au sud d'un axe Tambacounda-Kidira bénéficie d'excellentes conditions d'alimentation hydrique (TSAT : 80%) sur l'ensemble du cycle.

Pour les années humides, on enregistre une hausse du TSAT moyen sur le cycle d'environ 10% sur l'ensemble du territoire. Cette augmentation est moins marquée dans le quart sud du pays où elle n'est en moyenne que de 5%

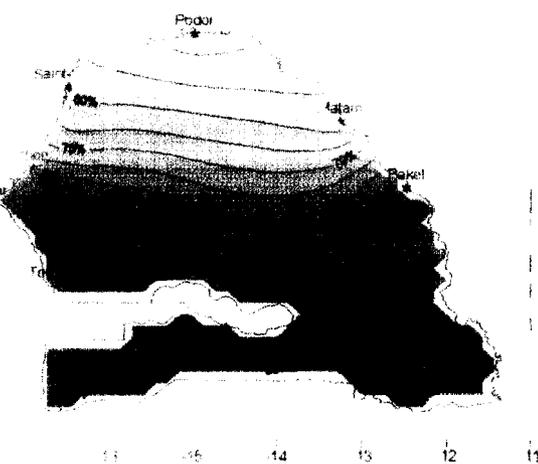
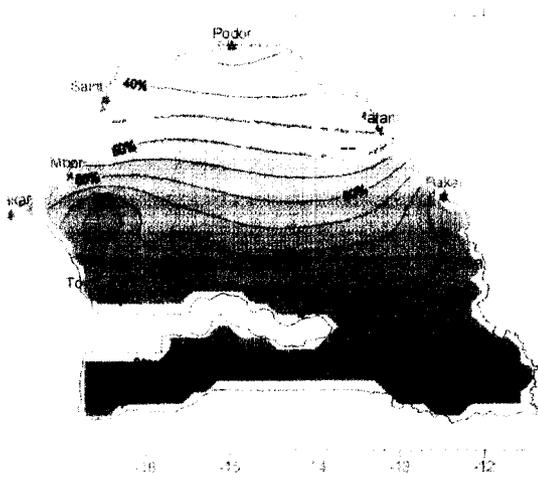
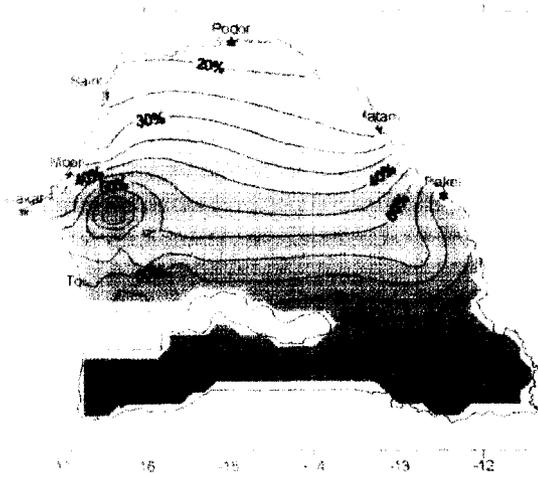
L'axe au sud duquel le mil profite d'excellentes conditions d'alimentation en eau (TSAT > 70%) sur l'ensemble du cycle subit une translation de 200km vers le nord

Le bassin arachidier centre bénéficie de très bonnes conditions hydriques avec des TSAT compris entre 70% et 80%

Le quart nord du pays au delà d'une ligne M'Boro-Matam, constitue une zone à conditions hydriques juste satisfaisantes à déficitaires avec des TSAT inférieurs à 60%. Cependant, on remarque que lors des années humides (20% des cas) aucune zone agroécologique du pays ne subit de conditions de stress hydrique très sévère (TSAT < 30%)

### 5. Les taux de satisfaction moyens du mil durant la phase critique de la culture : 40-70

JAS



Au sud de la ligne Tambacounda-Kidira, le mil profite d'excellentes conditions d'alimentation en eau (TSAT > 80%) lors de la phase critique de floraison - formation laiteuse des grains

Le bassin arachidier sud bénéficie de très bonnes conditions hydriques avec un TSAT compris entre 70-80%

Dans le bassin arachidier centre, les TSAT moyens du mil sont relativement bons et de l'ordre de 60-70%

Le quart nord du pays, constitue une zone à conditions d'alimentation hydriques justes suffisantes à déficientes avec des TSAT de 30% à 60%. La situation est critique à l'extrémité nord du pays (région de Podor) avec des conditions de stress hydrique sévère (TSAT frisant les 30%). De manière générale, les 3/5 du pays ne subissent aucun stress durant la phase critique de la culture du mil.

On note toujours l'effet de la façade maritime entre Dakar et Saint-Louis.

Durant les années sèches, on enregistre une baisse du TSAT moyen durant la phase critique de la culture d'environ 15% sur l'ensemble du territoire. Cependant cette baisse est moins nette au sud de la Gambie dans la région de Casamance où la diminution du TSATpc n'est que de 5% en moyenne

Au sud du 13° parallèle, le mil profite d'excellentes conditions d'alimentation en eau (TSAT > 80%) durant la phase critique.

Le bassin arachidier sud bénéficie de conditions hydriques acceptables avec un TSAT compris entre 60-70%

Dans le bassin arachidier centre, les TSAT moyens du mil sont limités et de l'ordre de 50-60%. Le quart nord du pays, au delà d'une ligne M'Boro-Matam, constitue une zone à conditions de stress hydriques déficitaires à sévères avec des TSAT inférieurs à 35%. La situation est critique à l'extrémité nord du pays (région de Podor) avec des conditions de stress hydrique très sévère (TSAT frisant inférieurs à 30).

Pour années sèches (80% des cas), seuls 2/5 du pays ne subissent aucun stress durant la phase critique de la culture.

En ce qui concerne les années humides, on enregistre une hausse du TSAT moyen durant la phase critique de la culture d'environ 15% sur l'ensemble du territoire. Cette augmentation est moins marquée dans le quart sud du pays où elle n'est en moyenne que de 5% environ.

Au sud de la ligne Diourbel-Bakel le mil profite d'excellentes conditions d'alimentation en eau (TSAT > 80%) sur l'ensemble du cycle.

Le bassin arachidier centre bénéficie de très bonnes conditions hydriques avec des TSAT compris entre 70% et 80%

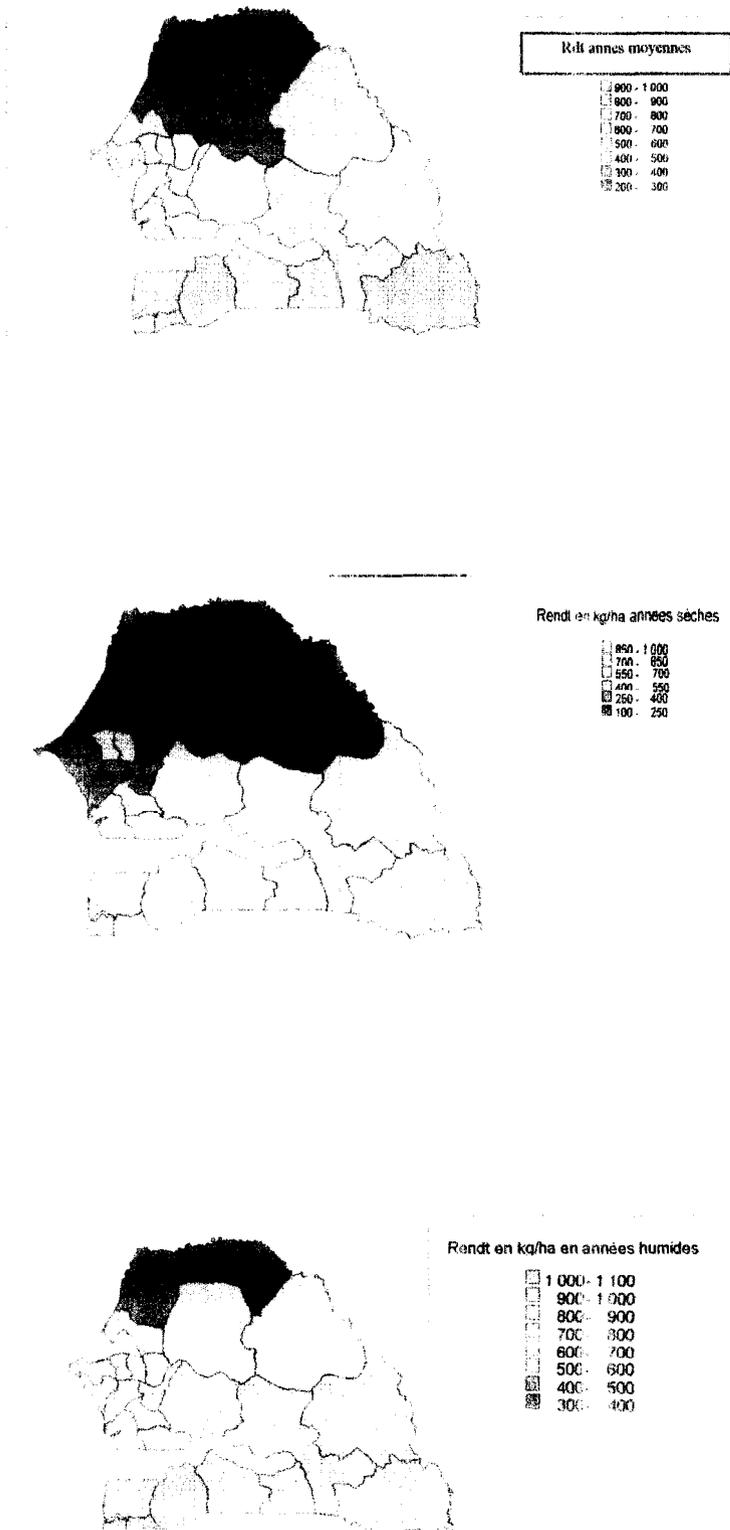
Dans le bassin arachidier sud, les conditions hydriques sont excellentes avec des TSAT de l'ordre de 90%

Au nord d'une ligne St-Louis-Matam, on note une zone à conditions hydriques juste satisfaisantes à déficitaires avec des TSAT inférieurs à 60%.

Durant les années humides (20% des cas), plus des 4/5 du pays ne subissent aucun stress durant la phase critique de la culture du mil

Figure 1 Répartition des niveaux de satisfactions moyens des besoins en eau (%) du mil pendant la phase critique sur la période 1961-1990 pour les années moyennes (en haut), les années sèches (au milieu) et les années humides (en bas).

## 0. Les rendements moyens du mil



En années moyennes, les rendements du mil sont inférieurs ou égaux à 400kg/ha dans le quart nord du pays. La situation est critique à l'extrémité nord (région de St Louis et de Podor) où les rendements n'atteignent pas les 300kg/ha.

Les rendements varient généralement entre 500 et 700kg/ha dans la région de Thiès, Dakar, Diourbel. Ils sont compris entre 600 et 800 kg dans le sud du bassin arachidier (départements de Fatick, Kaolack, Nioro-du-Rip).

Au sud de la Gambie, les rendements dépassent le 800kg/ha et peuvent atteindre la tonne aux extrémités sud-ouest et sud-est du pays (départements de Ziguinchor et de Kédougou).

En années sèches, les rendements du mil sont inférieurs ou égaux à 400kg/ha dans le quart nord du pays. La situation est critique à l'extrémité nord (région de St Louis et de Podor) où les rendements n'atteignent pas les 250kg/ha.

Les rendements varient généralement entre 250 et 550kg/ha dans la région de Thiès, Dakar, Diourbel. Ils sont compris entre 400 et 550 kg dans le sud du bassin arachidier (départements de Fatick, Kaolack, Nioro-du-Rip).

Au sud de la Gambie, les rendements dépassent les 550kg/ha et peuvent atteindre 1000kg à l'extrémité sud-ouest du pays (départements de Ziguinchor).

Globalement on enregistre une chute des rendements d'une centaine de kg/ha sur l'ensemble du Sénégal.

En années humides, les rendements du mil sont inférieurs ou égaux à 500kg/ha dans le quart nord du pays et ne chutent pas en deçà des 300kg/ha même à l'extrémité nord (région de St Louis et de Podor).

Les rendements varient entre 600 et 800kg/ha dans la région de Thiès, Dakar, Diourbel.

Ils sont compris entre 800 et 1000 kg dans le sud du bassin arachidier (départements de Fatick, Kaolack, Nioro-du-Rip).

Au sud de la Gambie, les rendements dépassent les 900 kg/ha et peuvent atteindre 1100kg à l'extrémité sud-ouest du pays (départements de Ziguinchor).

Globalement on enregistre une hausse des rendements d'une centaine de kg/ha sur l'ensemble du Sénégal.

Figure 5 Répartition des rendements moyens en mil en kg/ha sur la période 1961-1990 dans 50% des cas (en haut), dans 80% des cas (au milieu), et dans 20% des cas (en bas).

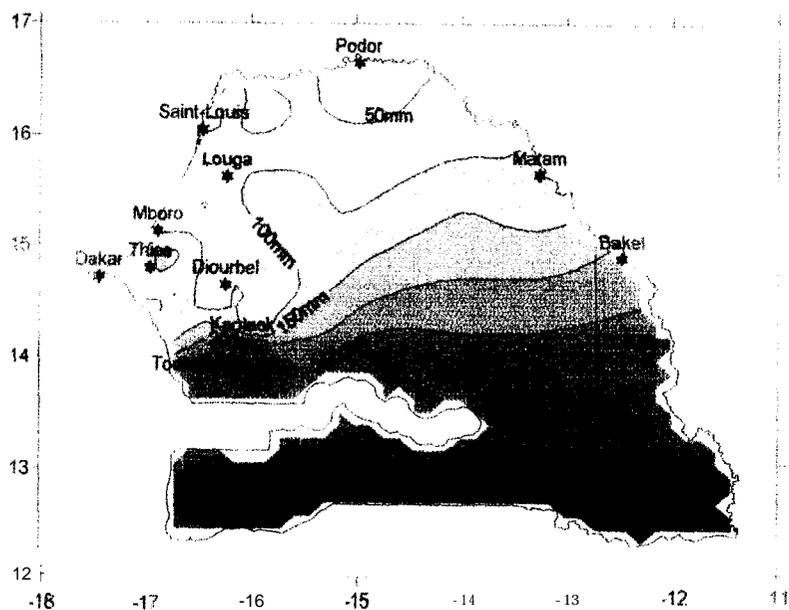
## V. Suivi agroclimatique : situation au 31 juillet 1999

La synthèse de la situation pluviométrique au 31 juillet est faite à partir de données d'une centaine de stations pluviométriques des réseaux de la direction de la météorologie nationale (D.M.N), de l'Institut Sénégalais de Recherche Agricole (ISRA), de la Direction de l'Agriculture (D.A) compilées en léger différé (téléphone, télétransmission, fax) par le service d'agrobioclimatologie de CNRA de Bambey.

Les dates de semis paysans ont été collectées auprès des inspections régionales et départementales de l'Agriculture du Sénégal.

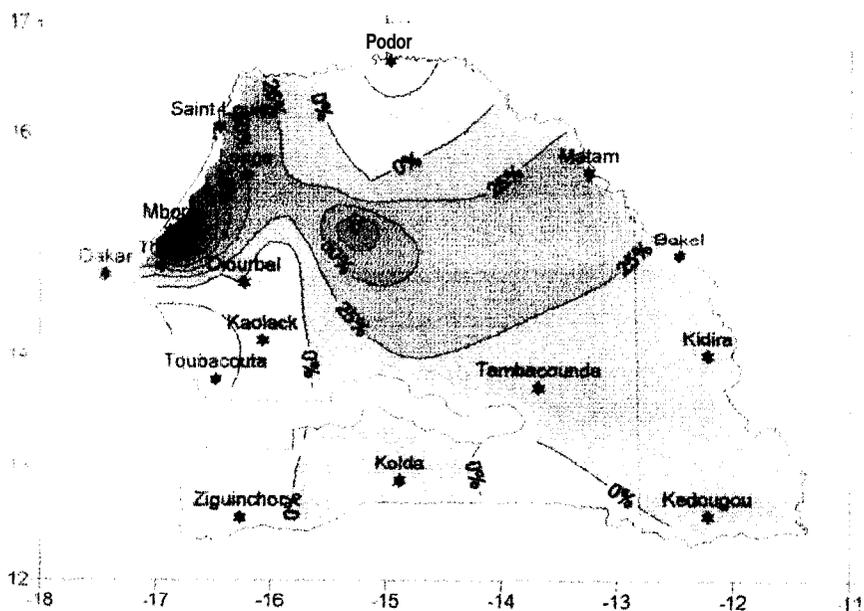
N.B : les données brutes de la situation au 31 juillet 1999 sont exposées en annexe 17

## 1. Répartition des cumuls pluviométriques au 31 juillet 1999



Au 31 juillet 1999, les cumuls pluviométriques sur le Sénégal varient entre moins de 50 mm à l'extrémité Nord du pays à plus de 400mm dans le Sud-Sud-ouest. On note un tracé fortement irrégulier des isohyètes sur la moitié nord et ouest, Cette azonalité révèle la plus grande variabilité spatiale des précipitations dans cette partie du pays.

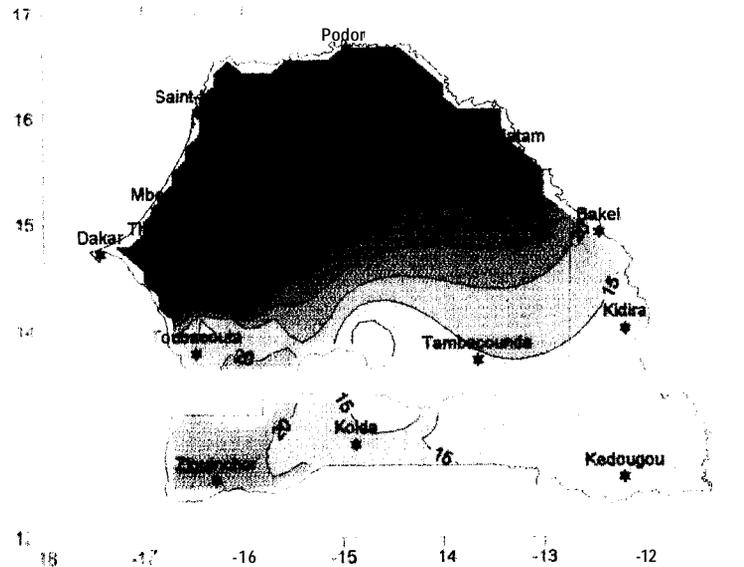
## 2. Répartition des écarts pluviométriques au 31 juillet 1999 par rapport à la médiane 1966-1995



Afin de mettre en évidence des anomalies, les totaux pluviométriques annuels ont été comparés à la période normale 1966-1995. En comparaison avec la pluviométrie normale, ces cumuls enregistrent des excédents plus ou moins prononcés. L'extrémité nord (région de Podor) est la seule zone légèrement déficitaire (jusqu'à -10%). Au sud d'une ligne Dakar-Bakel, les excédents sont modérés de l'ordre de 0 à 25%. La particularité de ce début d'hivernage 1999 concerne la zone comprise entre le 15° et le 16° parallèle où les excédents

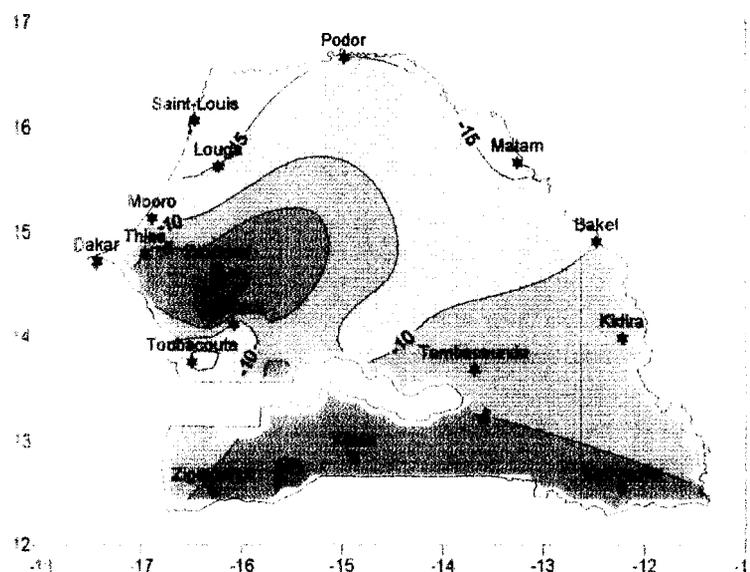
sont spectaculaires : jusqu'à 200% dans le département de Tivaouane et de l'ordre de 100% dans la région de Dahra. On note une poche dans une partie de la région de Kaolack et du département de Gossas où la pluviométrie est normale.

**3. Répartition des dates de semis paysans en humide (mil, arachide, niébé) sur l'hivernage 1999 en nombre de jours après le 1er juin**



Pour le mil, l'hivernage 1999 enregistre un étalement des dates de semis de la première décade de juin au 10 juillet environ. La première vague de semis a intéressé le quart sud-est du pays : Kédougou, Kidira, Tambacounda. L'extrémité sud-ouest accuse un petit retard par rapport à la première vague de semis d'environ 5 à 10 jours. Au 20 juin, la vague de semis touchait la ligne Bakel-Toubacouta. Enfin le quart nord-nord-ouest du pays a dû attendre les pluies de la première décade de juillet pour l'installation de la culture du mil.

**4. Écarts entre la date de semis paysan de l'hivernage 1999 et la date de semis optimale calculée sur la période normale 1961-1990**



Comparée aux dates optimales de semis calculées sur la période 1961-1990, la physionomie de l'installation de la culture du mil 90j pour l'hivernage 1999 se caractérise par

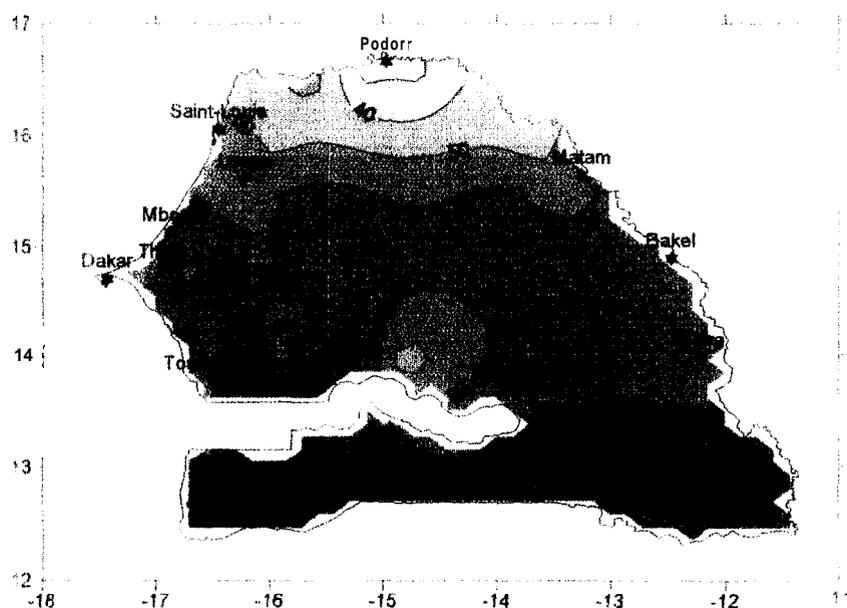
L'existence d'une zone nord-nord-ouest très précoce où le semis a été de 10 à 15 jours antérieurs à la date de semis optimale calculée sur la normale ( M'Boro, Louga, St-Louis, Bakel).

Une légère précocité dans la région sud-est de Kedira et Tambacounda ( 5 à 10 jours).

Des dates de semis normales dans la région sud du pays située sous la Gambie (de Ziguinchor à Kédougou).

Un léger retard dans le bassin arachidier centre (Fatick, Gandiaye) pouvant aller jusqu'à 10 jours après la date de semis optimale.

### 5. Répartition du taux de satisfaction de la culture du mil pendant la phase végétative 115 premiers JAS)



Le TSAT durant la phase végétative IDV1 renseigne sur la qualité de confort hydrique de la culture pour son démarrage, qui est une phase importante pour le bon développement ultérieur de la plante.

Le quart nord du pays, au delà d'une ligne M'Boro-Matam, constitue une zone à conditions hydriques juste satisfaisantes à déficitaires (TSAT<60%).

Dans le centre du pays, entre la frontière nord de la Gambie et la ligne M'Boro-Bakel, le mil a bénéficié de conditions hydriques moyennes avec des TSAT de l'ordre de 60-70% durant les 15 premiers jours de son cycle.

Dans le sud-ouest du pays, le mil a bénéficié d'excellentes conditions d'alimentation en eau (TSAT>80%).

La partie sud-sud-est du pays (de Kolda à Kedougou), a bénéficié de TSAT très satisfaisants de l'ordre de 70-80%.

On observe que seule la région extrême nord de Podor a enregistré un TSAT relativement faible.

Dans l'ensemble, le bon comportement des champs et le développement végétatif satisfaisant du mil laisse présager de bonnes récoltes sur la majeure partie du pays.

## 6. Conclusion

La situation agroclimatique au 21 juillet 1999 se caractérise par

- Une bonne répartition temporelle et spatiale des précipitations bien supérieures à la normale.
- Des dates de semis paysans et une installation précoces de la culture du mil
- Des niveaux de satisfaction en eau de la culture du mil satisfaisants voire très satisfaisants,

Au plan agricole si la saison évolue dans le même sens, cette situation laisse prévoir des niveaux de rendements élevés, l'hivernage semblant correspondre à un scénario humide (70% des cas) au regard des dates de semis 1999 et des cumuls pluviométriques au 31 juillet comparées à la normale. La situation agroclimatique semble très favorable au développement et à la productivité des cultures.

Une estimation précoce des rendements sera faite à la fin de la campagne pour confirmer ces hypothèses.

## **Bilan conclusion sur les enseignements tirés du stage**

Des douze semaines passées au CERAAS m'ont permis de découvrir le fonctionnement et les enjeux d'un centre de recherche

J'ai été séduit par l'esprit d'équipe qui entoure le lancement et le suivi de tout nouveau projet ne qui n'est pas toujours le cas dans les autres centres du pays où chaque chercheur trouve ses financements propres et mène ses expérimentations en solitaire

Je retiendrai aussi que l'approche de l'adaptation à la sécheresse menée par le CERAAS est moderne et complète. Elle intègre de nombreux domaines : physiologie végétale, écologie, agronomie, bioclimatologie, biochimie, biologie moléculaire et biométrie qui sont complémentaires et permettent une étude multidisciplinaire efficace des mécanismes d'adaptation mis en jeu par les variétés étudiées.

Le CERAAS m'a aussi surpris par les moyens matériels mis en œuvre : plusieurs laboratoires, appareils de mesures récents et performants, cultures en serre et en phytotron, champs d'expérimentations, outils informatiques et statistiques modernes pour le traitement de l'information. J'ai réalisé à quel point la recherche de financements est primordiale. Le souci principal du directeur d'un laboratoire de recherche dans les pays en développement c'est de trouver des bailleurs de fonds pour investir dans un premier temps et avoir les moyens nécessaires pour faire tourner et "rentabiliser" l'outil mis en place.

Enfin, sur le plan humain et relationnel, ce stage m'a permis de rencontrer des personnes de diverses nationalités (sénégalais, belges, français, nigériens, centrafricains, burkinabés, camerounais, sierraléonais) qui ont chacun des cultures et des approches différentes. Cet échange m'a ouvert l'esprit sur les réalités africaines, sur le monde du travail, et sur les valeurs qui sont les leurs.

En ce qui concerne le travail effectué et le thème d'approfondissement, ce stage de 4<sup>ème</sup> année a été très enrichissant.

J'ai pu m'investir dans les activités de terrain (expérimentations au champ et en serre), dans les activités de laboratoires, mais aussi dans le traitement et l'interprétation des informations récoltées. Ces trois mois auront donc constitué pour moi une expérience très complète et satisfaisante de la mise en place des expérimentations à l'analyse des résultats.

J'ai également acquis pendant ce stage des compétences en matière informatique grâce à l'utilisation conjuguée de nombreux logiciels performants : SARRA, ARABHY (logiciels de simulation), Excel, Visual Basic (pour la mise en forme et le traitement des données), Surfer et MapInfo Professional (logiciels de cartographie). Ces logiciels ne manqueront pas de me servir par la suite et leur maîtrise sera je l'espère, un atout dans ma future vie professionnelle.

Enfin, plus largement, cette expérience au Sénégal m'a permis de découvrir les réalités d'un pays en développement. J'ai été frappé par la pauvreté de la population, par la vétusté et le manque d'infrastructures, par le poids de la religion dans la vie quotidienne des sénégalais, par leur accueil, par leur diplomatie, par leur vision de la France et des français et par leur gaieté.

Le stage restera pour moi une expérience irremplaçable.

## SIGLES

- ACP** : Afrique, Caraïbes et Pacifique.  
**AGDC** : Agence Générale de Coopération et de Développement  
**ARABHY** : ARACHide Bilan HYdrique  
**CC** : Capacité au Champ  
**CERAAS** : Centre d'Étude Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse.  
**CFA** : Communauté Française d'Afrique  
**CILSS** : Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel  
**CIRAD** : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.  
**CNBA** : Centre National du Bassin Arachidier (l'ancien CNRA).  
**CNRA** : Centre National de Recherche Agronomique.  
**CORAF** : Conférence des responsables de recherche agronomique des pays de l'Afrique de l'Ouest et du Centre.  
**DGVIII** : Direction générale du développement.  
**DGXII** : Direction générale de la science de la recherche et du développement  
**FED** : Fonds européens pour le Développement  
**INSAH** : Institut du Sahel  
**ISRA** : Institut Sénégalais de Recherche Agronomique  
**PED** : Pays En Développement  
**R3S** : Réseau de Recherche sur la Résistance à la Sécheresse  
**SNRA** : Système National de Recherche Agricole.  
**STD** : Science et Technique du Développement  
**TSAT** : Taux de SATuration  
**UCAD** : Université Cheikh Anta Diop de Dakar.

# BIBLIOGRAPHIE

## RAPPORTS

- ◆ SYLLA, Y Couna (1993) « Analyse du modèle de simulation ARA.B.HY version 01 » ISRA/CNRA, 58p.
- ◆ NDOUR, Côme (1994). « Le CERAAS de Bambey - Etude du fonctionnement d'un laboratoire de recherche.CERAAS », ENSA, 11p.
- ◆ LAOUORMADJI, Koyo (1994) «Modélisation des cultures. Application du modèle ARA.B.HY au suivi de la campagne arachidière 1994 : Cas de la région de Diourbel au Sénégal », ISRA/CNRA/ENCR/CERAAS, 44p.
- ◆ CERAAS (1996) « Adaptation à la sécheresse - Techniques et méthodes d'étude (synthèse) Document technique », 23p.
- ◆ GUISSARD Réginald (1995). « Rapport de stage effectué au CERAAS en décembre 1994, ULB/CERAAS », 10p.
- ◆ DIAGNE, Madiagne (1994) « Vulnérabilité des productions agricoles au changement climatique Contribution à la Communication Nationale du Sénégal », 13p.
- ◆ DIAGNE, Madiagne et FALL, Moustapha et NGOM, Ndongo (1996) « Suivi de la campagne agricole au Sénégal Situation au 10 juillet 1996 », ISRA/URA/CNBA, 10p.
- ◆ SARR, Benoit et FALL, Moustapha (Août 1997). « Suivi agroclimatique des cultures pluviales au Sénégal (Hivernage 1997) Situation au 20 août », CERAAS/ISRA/CNRA, 11p.
- ◆ SARR Benoit et FALL, Moustapha (1997). « Suivi agroclimatique des cultures pour l'estimation des rendements du mil et de L'arachide au Sénégal (Hivernage 1997) » CERAAS/ISRA/CNRA, 18p.
- ◆ SARR Benoit et FALL, Moustapha (1998). « Suivi agroclimatique de la campagne agricole pour l'estimation des rendements des cultures pluviales au Sénégal (Hivernage 1998) » CERAAS/ISRA/CORAF-Thiès ISRA/CNRA-Bambey, 19p.
- ◆ MARTIN, Raphaël (1997) « Expertise de la méthode de mesure des superficies agricoles par triangulation », 68p.
- ◆ CERAAS (1997). « Rapport annuel 1997 du CERAAS - Physiologie de l'adaptation à la sécheresse et création variétale pour les régions chaudes », 52p.

- ◆ CERAAS (1998). Rapport annuel 1998 du CERAAS - « Physiologie de l'adaptation à la sécheresse et création variétale pour les régions chaudes », 50p.
- ◆ BROU, Yao Casimir (1999) « Etude du comportement agronomique et physiologique de trois variétés de niébé (*Vigna unguiculata* L.WALTERS) cultivées au champ sous différents régimes hydriques », 27p.
- ◆ BOGGIO, David et SARR Benoît et ROY-MACAULEY Harold (1998). « Outils et méthodologies pour le suivi des cultures et la prévision agricole en régions sèches cas du département pilote de Diourbel », 23p.

## OUVRAGES

- ◆ X. GIRARD, C.BARON et B.CORTIER (1993). **DHC Version 4 Diagnostic Hydrique des Cultures**, 37p
- ◆ **Mémento de l'agronome (1993)** - Ministère de la coopération 4<sup>e</sup> édition, Collection techniques rurales en Afrique, 1635p.
- ◆ **Plan stratégique de l'ISRA (1998-2003) Synthèse des activités scientifiques et chiffrage(1998)**, ISRA, 168p.
- ◆ **MapInfo 3.0 Logiciel de cartographie Guide de l'utilisateur**, 314 p.
- ◆ **Module SARRA Guide d'utilisation (1995)**, CIRAD, 60p.
- ◆ **Oléagineux Revue internationale des corps gras (1990)**, Vol45 n°12, 40p
- ◆ **Principles and techniques of practical biochemistry(1996)**, Fourth Edition Edited by Keith WILSON and John WALTER, Cambridge University Press, 420p.

# ANNEXES

## Annexe I : la serre

La serre d'une surface totale de 180m<sup>2</sup> est composée de trois compartiments de surfaces égales; 3 60m<sup>2</sup>.

Elle est équipée :

- ☛ d'un réseau double d'alimentation en eau des trois compartiments et de régulation thermique.
- ☛ de systèmes de contrôle de la température et de l'hygrométrie
- ☛ de trois ventilateurs, qui refoulent l'air chaud à l'extérieur pour abaisser la température
- ☛ d'une ouverture automatique du toit
- ☛ d'un écran d'ombrage additionnel sur la face latérale- Est pour contrôler la photopériode
- ☛ d'un système d'alimentation en eau de pluies et en eau de ville
- ☛ de buses de vaporisation d'eau pour augmenter l'hygrométrie
- ☛ d'un système de filtration et d'adoucissement des eaux d'alimentation pour l'obtention d'une eau peu chargée en éléments minéraux.

Trois types de cultures sont exploitées :

### ☛ Cultures en hydroponie

Des cuves destinées à la conservation des solutions hydroponiques ont été dimensionnées et achetées ainsi que les produits chimiques destinés à la préparation de ces mêmes solutions. Les unités fonctionnent par système d'alimentation par marées, simultanément et sous trois régimes différents répartis en douze bacs indépendants.

### ☛ Cultures en aéroponie

Un prototype de dispositif de culture en aéroponie a été conçu à partir de matériaux facilement disponibles; sur place. Chaque unité est composée d'un châssis comprenant une chambre noire dans laquelle un brumisateur fournit la solution nutritive aux racines sous forme de fines gouttelettes.

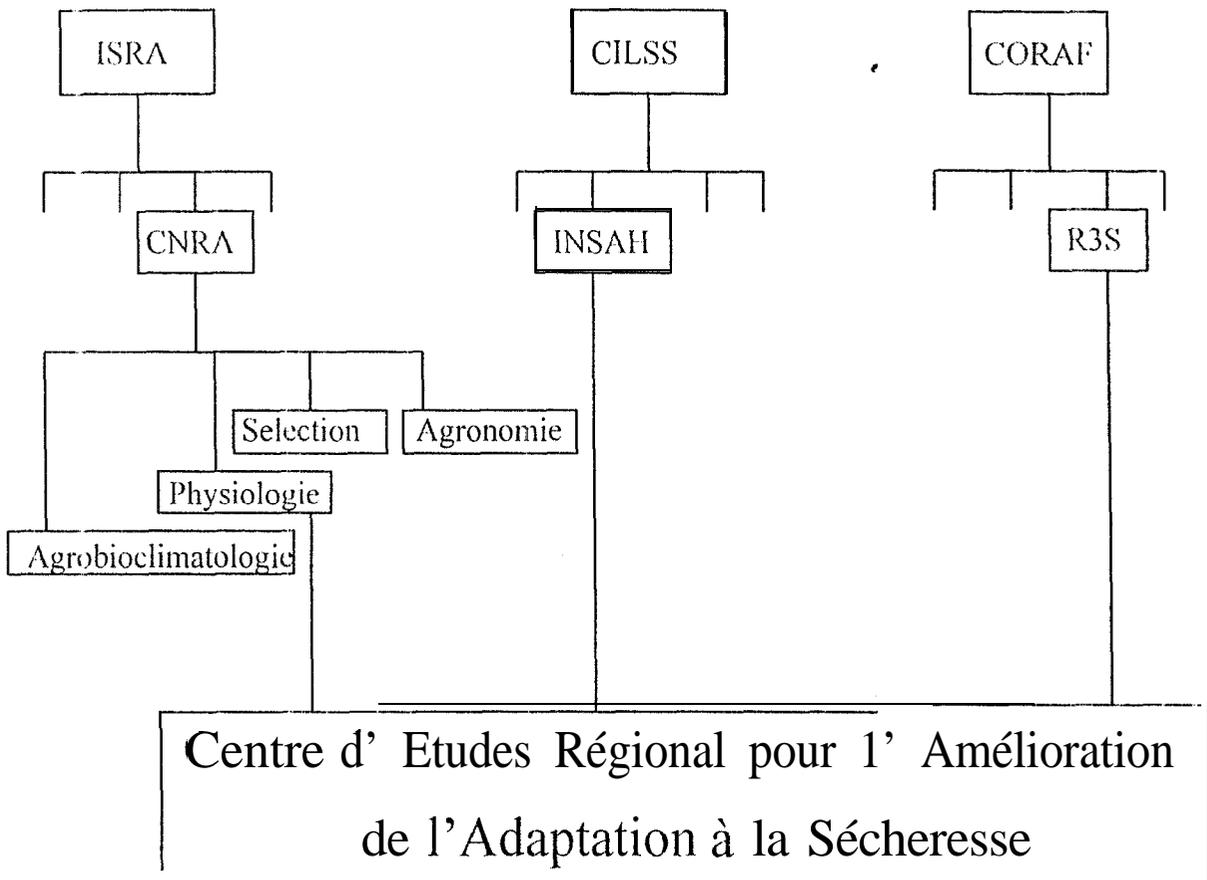
### ☛ Cultures en rhizotrons

Ce type de culture permet de suivre le comportement racinaire d'une plante tout en maîtrisant les facteurs sol et régime hydrique.

## Annexe 2 : Le personnel du CERAAS en 1999

Prénom	Nom	Fonction	Date d'arrivée	Date de départ	Statut
<b>Chercheurs</b>					
Omar	Diouf	Chercheur/Physiologiste	01/94		Cdd
Harold	Roy-Macauley	Directeur/Chercheur	03/95		Expert/Régional
Serge	Braconnier	Chercheur/ Physiologie			CIRAD
David	Boggio	Chercheur/Agronome	02/96		Expert/France
Ndèye Ndaek	Diop	Chercheur/Physiologiste	04/96		Cdd
Benoît	Sarr	Chercheur/Bioclimatologue	05/96		Cdd
Macoumba	Diouf	Chercheur/Écophysiologiste	10/96		Cdd
Fanguy	Smoos	Chercheur/Agronome	05/97		Expert/Belgique
Chuks	Ogbonnaya	Chercheur/Physiologiste	08/97		Expert/Régional
<b>Techniciens de recherche</b>					
Sidy	Sidibé	Chef d'exploitation	09/95		Cdd
Mbaye Ndoye	Sall	Technicien	09/95		Cdd
Pape Maliek	Sall	Technicien			
Abdou	Faye	Technicien	09/95		Cdd
Ibrahima	Sané	Technicien	09/95		Cdd
Pape	Ndiaye	Technicien	09/95		Cdd
Cheikh	Sene	Technicien	09/95		Cdd
Ndong	Ibrahima	Ouvrier	09/95		Cdd
Diop	Amadou	Ouvrier	09/95		Cdd
<b>Administration</b>					
Amadou	Kandji	Gestionnaire-comptable	11/94		ISRA
Raymonde	Sarr	Assistante de direction	10/96		Cdd
Félicité	Dacosta	Secrétaire de direction	0/96		Cdd
<b>Informatique</b>					
Couana	Sylla	Informaticienne	09/95		Cdd
<b>Maintenance</b>					
Robert	Diokh	Responsable technique	07/94		Cdd
Idrissa	Cissé	Technicien de maintenance	11/96		Cdd
<b>Information et communication</b>					
Fatimata	Diallo	Documentaliste	03/97		Cdd
<b>Chauffeurs</b>					
Edouard	Ndoye	Chauffeur	04/96		Cdd
Pierre	Ndour	Chauffeur	04/96		Cdd
Saliou	Gning	Chauffeur	04/96		Cdd

### Annexe 3 : Structures impliquées dans le projet CERAAS



Le CERAAS est une **base centre**, c'est à dire un pôle de recherche agronomiques d'une structure nationale ( ISRA), ouvert à la coopération régionale (CILSS) et internationale (CORAF) dans le cadre d'un réseau (R3S) réunissant des moyens humains, financiers et matériels (UE, CIRAD, ISRA) suffisants pour atteindre des objectifs scientifiques (adaptation des plantes à la sécheresse) dont les résultats sont applicables ou adaptables à d'autres pays de préoccupations de développement analogues.

**Annexe 4**  
**Protocole expérimental de l'essai sur Mil et Arachide en rotation**

➤ *Conduite de la culture*

Sol d'ior aux caractéristiques  
physico-chimiques déterminées  
(1<sup>ère</sup> année)

Labour à sec + piquetage  
Installation des tubes d'accès sonde  
(1<sup>ère</sup> année)

Semis en humide (traitement fongicide)  
Ecartements 90× 90cm pour mil  
15 X 40cm pour arachide

Epannage de P, K :  
22.5kg/ha sur toute la parcelle de mil

Démariage à 1 et 3 pieds/ poquet vers  
10° JAS pour mil 15° JAS pour arachide

Sarclo-binages + traitements phytos

➤ *Facteurs étudiés : eau et fertilité en N*

Eau : 2 traitements hydriques seront appliqués

\*ET M (témoin-i°) pendant tout le cycle.

\*St ress de 15-20 jours par suspension d'arrosage au tallage et d'environ 10 jours à la formation-mâturation des grains.

Fertilité en N : trois niveaux d'N sont appliqués

\*F0 = dose nulle

\*F1 = 5.625Kg N/ha à In levée + 5.75 Kg N/ha au démarrage et 5.75 Kg N/ha à la montaison.

\*F2 = 22.5 Kg N/ha à la levée + 23 Kg N/ha au démarrage et 23 Kg N/ha à la montaison.

➤ *Mesures et observations*

Les mesures réalisées sur le champ d'expérimentation sont les suivantes :

**Etat hydrique du sol** : mesures gravimétriques, sonde à neutrons.

**Etat hydrique de la plante** : C.R.E potentiel hydrique foliaire  $\psi$  par la presse hydraulique

**Echanges gazeux et photosynthèse** :  $\text{CO}_2$  et  $\text{d'H}_2\text{O}$  par le système intégré AIX', résistance stomatique et de la transpiration foliaire par le poromètre, fluorescence par le fluorimètre

**Couvert végétal** : température du couvert et indice de stress par radiothermomètre infrarouge  
Température sèche et température humide de l'air par le psychromètre ventilé.

**Analyse biochimique** des protéines, lipides, enzymes

**Mesure de la surface d'échantillons foliaires** grâce au planimètre

## Annexe 5

### Protocole d'expérimentation de l'essai sur Niébé

#### ➤ *Conduite de la culture*

Labour à sec-Délimitation des parcelles-Installation des tubes d'accès sonde
--

Semis en humide le 19 mars 3 grains/poquet 25*50cm
--

10j après levée : Démariage à un pied Fertilisation 6-20- 10 Sarclo-binage
---

Stress hydrique du 30 <sup>e</sup> JAS jusqu'au 52 <sup>e</sup> JAS
--

#### ➤ *Mesures et observations*

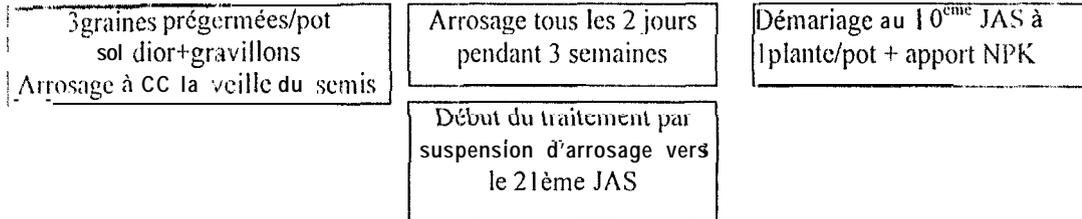
Les mesures réalisées sur le champ d'expérimentation sont les suivantes :

- Teneur en eau du sol par la sonde à neutrons et mesures gravimétriques.
- Observations phénologiques : floraison, fructification, maturation.
- Prélèvements pour le suivi de la biomasse sèche.
- Indice foliaire par le LAI 2000.
- Mesures de la résistance stomatique et de la transpiration foliaire par le poromètre.
- Température du couvert et indice de stress par téléthermomètre infrarouge.
- Température sèche et température humide de l'air par le psychromètre ventilé.

## Annexe 6

### Protocole expérimental Tolérance membranaire au déficit hydrique de l'arachide.

#### ➤ Conduite de la culture



#### ➤ Facteurs étudiés

Variétés : 55-437; Fleur 11 ; GC8-35

Régimes hydriques : témoin irrigué (S0); déficit hydrique faible (S1); déficit hydrique moyen (S2); déficit hydrique sévère (S3)

#### ➤ Mesures et observations

**Paramètres physiologiques** : potentiel hydrique.

**Paramètres biochimiques** : analyse des classes lipidiques et dosage des acides gras totaux par CPG.

## Annexe 7

### Protocole expérimental de l'essai sur la croissance racinaire du niébé en conditions d'hydroponie, d'aéroponie et en culture en pots sous des régimes hydriques différents.

#### ➤ Conduite de la culture

##### Culture en aéroponie et en hydroponie

Graines prégermées transférées en pots baignés par une solution nutritive (hydroponie) dont on fait évoluer la concentration jusqu'à la fixer à 80% à la 3ème semaine
---

##### Culture en pots

Semis 3 graines/poquet après avoir arrosé au PF3 la veille 10 <sup>ème</sup> JAS démarrage à 1 plante/pot+ apport engrais An-pucerons 1 mois et 1/2 après semis
---

#### ➤ Facteurs étudiés

4 variétés : Bambey 2 1; Melakh; Mouride; TN-8843

2 régimes hydriques : ETM, suspension d'arrosage après le 2 1<sup>ème</sup> JAS une semaine sur deux.

#### ➤ Mesures et observations

**Paramètres morphologiques** : poids sec racinaire, longueur racinaire, volume racinaire, poids sec des graines à la récolte, nombre de feuilles, poids sec des feuilles, diamètre et longueur des tiges.

nombre et poids des nociules (culture en pots uniquement).

**Etat hydrique et échanges gazeux** : CRE, porométrie, gravimétrie.

## Annexe 8

### Evaluation de l'hétérogénéité et vérification de la fonctionnalité de la serre avec le mil comme plante test.

#### ➤ Conduite de la culture

Semis en pots à PF3 15 graines/poquet sur sol dior- deck	Irrigation à l'ETM tous les 2 jours Fumure apportée de façon fractionnée : 1 apport au démarrage, l'autre à la montaison.
---	---

#### ➤ Mesures et observations

**Mesures micro-climatiques** : T°air par 30 thermocouples, humidité relative.

**Mesures physiologiques** : échanges gazeux (transpiration, conductance stomatique), potentiel hydrique foliaire.

**Observations agro-phénologiques** : phase phénologiques, M.S racinaire et aérienne 90<sup>ème</sup> jour.

## Annexe 9

### Protocole expérimental de l'expérimentations sur Sorgho

#### ☛ Conduite de la culture

Labour à sec + Installation tubes d'accès sonde Semis en humide le 15/04/1999 75 cm x 20 cm 5 grains/poquet 67 000 pl/ha
--

Démariage à 1 pied/poquet au 15 <sup>ème</sup> JAS Elimination des mauvaises herbes et traitements insecticides au besoin.
--

*Facteurs étudiés* : \* 2 variétés provenant du programme de sélection du Mali : Nazongala (ou Sarioso 9), écotype local de race guinea photosensible et Sarioso 10, lignée sélectionnée de race caudatum, peu photosensible \* 2 régimes hydriques : ETM et stress hydrique (débutant 15 jours après levée, poursuivi jusqu'à un potentiel foliaire de base de  $-1,5$  Mpa)

#### ☛ Observations et mesures

**Mesures non-destructives** : hauteur, nombre de feuilles vertes, nombre de feuilles sénescentes nombre de talles primaires et secondaires, nombre de feuilles vertes sur chaque talle, nombre de feuilles sénescentes, longueur et largeur des nouvelles feuilles entièrement déployées SPAD sur la dernière feuille déployée . sur un inter-rang : mesure de l'interception lumineuse  
**Mesures destructives** : nombre de feuilles vertes, longueur, largeur, surface, masse sèche des feuilles déployées depuis le prélèvement précédent, biomasse aérienne : limbes, gaines, tige nombre de racines adventices A 10, 20, 30, 60, 90, 120 jours : biomasse racinaire sur une superficie multiple de celle occupée par une plante (0.80 x 0.20) et centrée sur les plantes étudiées, jusqu'au front racinaire. Profondeur du front racinaire  
**Suivi météorologique** : T° sèche, T° humide, vitesse vent, pressioti atm, T° sol, T°max, T°min, pluviométrie, durée d'insolation , Rg,  
**Suivi hydrique** : Profil hydrique à la sonde à neutrons, potentiel de base des feuilles au moment du stress hydrique, température de surface des feuilles à midi pendant le stress hydrique  
**Autres mesures** : dosages d'azote des feuilles en situation contrastée pour calibrer la mesure SPAD.

## Annexe 10

### Protocole expérimental de l'expérimentation sur Igname-haricot (*Pachyrhizus*)

#### ➤ Conduite de la culture

Labour en humide Installation des tubes d'accès
Semis en humide (50cm x 30cm) sur un précédent céréale Engrais 8-18-27 après semis
Démariage à un pied par poquet à 20 jours après semis suivi d'un épandage d'engrais (8-18-27).
Élimination des mauvaises herbes et traitements. insecticides au besoin. Ablation des fleurs une fois par semaine du début jusqu'à la fin de la floraison

#### ➤ Mesures et observations

**Observations phénologiques :** date à 50% de levée, de floraison

**Suivi du développement :** poids sec des parties aériennes et souterraines l'indice de surface foliaire.

**Etat hydrique du soi** sonde à neutrons

Echanges gazeux : conductance, transpiration

**Etat hydrique de la plante :** potentiel hydrique foliaire

**Paramètres du rendement à la récolte :** poids frais des tubercules, pourcentage de matière sèche des tubercules, poids sec des parties aériennes

## Annexe 11

### Protocole expérimental de l'expérimentation sur niébé en serre

#### ☛ Conduite de l'essai

3 graines/ sachet de culture en plastique remplis de 5 Kg de sol Dior-Deck avec arrosage à la capacité au champ la veille du semis.

Arrosage tous les jours durant 4 semaines.  
Démariage au 10<sup>ème</sup> JAS à 1 plante/pot  
Solution nutritive NPK 6-20-10

Application du stress par suspension d'arrosage au 25-30<sup>ème</sup> JAS

#### ☛ Facteurs étudiés : régime hydrique et variété

5 niveaux de variétés : 8-57; TN-8863; Mougne, Bambey21, CB5

5 niveaux de régimes hydriques : témoin irrigué (SO), déficit hydrique faible (S1), déficit hydrique moyen (S2). réhydratation après un déficit hydrique moyen (R), déficit hydrique sévère.

#### ☛ Mesures réalisées

**Paramètres physiologiques** : potentiel hydrique, test de fuite d'électrolytes.

**Paramètres biochimiques** : analyse des classes lipidiques et dosage des acides gras totaux par CPG.

**Expériences annexes** : mesure des échanges gazeux, de la transpiration et de la conductance stomatique, cinétique de la perte d'eau par les feuilles.

**Annexe 12**  
**Protocole expérimental Arachide sous serre**

☛ *Conduite de la culture*

Pots remplis de gravillons au fond  
et de sol noir jusqu'à 1 cm du bord

Démariage au 7ème JAS à 1 plante/pot  
Apport de solution nutritive

Semis le 05/07 2 graines/pot après arrosage à  
capacité au champ la veille

Arrosage journalier pour satisfaire les besoins  
en eau de la plante jusqu'au commencement  
du traitement

☛ *Facteurs étudiés*

4 variétés : 55-437 ; Fleur 11 ; KH149-A ; AIIK-19

2 régimes hydriques : témoin irrigué à l'ETM ; suspension d'arrosage au 20ème JAS jusqu'à  
obtenir un potentiel hydrique de -3MPa

☛ *Mesures effectuées*

Mesures non destructives : échanges gazeux, fluorescence chlorophyllienne.

Mesures destructives CRE, potentiel hydrique foliaire, volume racinaire, poids de matière  
sèche, masse foliaire spécifique.

**Annexe 13**  
**Protocole expérimental de l'essai sur sésame**

➤ *Conduite de la culture*

Labour à sec l'installation des tubes d'accès de sondes à neutrons
Semis en humide entre le 15 /07 et le 01/08 à 6 graines/poquet 60 cm x 20 cm
Levée 3 à 5 jas Démariage à 2 pieds sera effectué 10 à 15 jas Un apport d'engrais coton
Traitement insecticide préventif dès l'apparition des premières fleurs + sarclages buttage quand nécessaire

➤ *Mesures et observations*

**Observations phénologiques** : dates de levée, de floraison, de formation des capsules, de maturation et de récolte.

**Etat hydrique du sol et consommation en eau des cultures** : variations du stock hydrique et ETR (méthode du bilan hydrique) .

**Suivi agromorphologique du développement de la culture** : indice foliaire, hauteur de la plante, nombre de feuilles, nombre de rameaux (pour les variétés multicaules), nombre de capsules.

**Mesures physiologiques** : CRE ou potentiel hydrique foliaire.

**Paramètres du rendement** : nombre moyen de capsules par plante (NCP), nombre moyen de loges par capsule (NI C), nombre moyen de g-aines par loge (NGL), poids sec des tiges (PST), poids sec des feuilles (PSF) et le poids de 1000 graines (PMG).

## Annexe 14

### Protocole expérimentation de l'essai sur mil en sols termitiques sous serre

#### ➤ Conduite de l'essai

Culture en pots, sous abri sur un substrat composé de matériau termitique	Démariage à 1 plante/ poquet lorsque que la hauteur atteint 15cm
Irrigation à la capacité au champ tous les 2 jours	Semis de 2 graines/poquet après irrigation à la capacité au champ la veille

#### ➤ Facteurs étudiés

l seul facteur est étudié : le type de substrat

- \* Termitière d'humivore mélangée à 50% de sol ISRA Bambey
- \* Termitière d'humivore mélangée à 100% de sol ISRA Bambey
- \* Sol témoin ISRA Bambey

#### ➤ Mesures et observations

**Observations agro-phénologiques :** date de semis, de levée, de tallage, de montaison, d'épiaison, de floraison. mâle et femelle, formation des graines.

**Mesures morphologiques et composantes du rendement :** hauteur du brin maître, du nombre de feuilles, de talles. d'épis et de leur longueur, du poids de 1000 grains, du nombre d'entre noeuds et de leur longueur.

**Mesures physiologiques :** conductance sur brin maître, indice foliaire.

**Analyses chimiques :** dosage des cations totaux .

**Analyses pédologiques :** analyse des ions échangeables en début et fin de cycle

## Annexe 15

### Protocole expérimental de l'expérimentation sur mil en milieu paysan

#### ➤ Conduite de la culture

Analyse du sol sue 0-10cm pH, matière organique, N, conductivité électrique	Pour semis direct et trempage démariage à 3 plantes/poquets au 12ème JAS puis repiquage quand hauteur de 15 m
Semis ou repiquage sur un précédent cultural légumineuse Ecartement 90*90 cm	2 désherbages : un après le démariage le 2ème 3-4 sem après Fumure organique autour des poquets au démariage et à la montaison

#### ➤ Facteurs étudiés

3 modes d'implantation : semis direct à xc; repiquage des plants après pluie utile de 20mm; trempage des semences 24h et semis après pluie utile de 20mm

#### ➤ Observations et mesures

**Mesures climatologiques :** pluviométrie

**Mesures agrophénologiques :** date à 50% de levée, de tallage, de montaison, d'épiaison, de floraison, de remplissage de grains, de maturité; hauteur du brin maître, de l'indice de surface foliaire, de la longueur de l'épi du brin maître.

**Observations à la récolte :** nombre de talles productives, rendement en grains et en paille, indice de récolte.

**Entomologies :** suivi régulier des populations d'insectes au champ et évaluation des dégâts.

ANNEXE 16 DONNEES AGROCLIMATIQUES BRUTES  
DONNEES AGROCLIMATIQUES SUR LA PERIODE NORMALE 1961-1990 DANS 50% DES CAS ( ANNEES MOYENNES)

Nom site	Longitude	Latitude	Pluvio annuelle	Semis optimal	ETR cycle	TSATIDV1	TSATIDV2	TSATpc	TSAT matur	TSATcycle	Rendit espere
Nom site	Longitude	Latitude	Pluie moy (mm)	Date semis opti moy	ETR moy (mm)	TSATIDV1moy	TSATIDV2moy	TSAT pcmoy	TSAT maturmoy	TSAT moy (%)	Rendement esperé (kg/ha)
Bakel	-1245666622	1489999962	45046	27/6	276.76	6976	80.78	7985	82.59	79.19	741.51
Bambey	-1646666718	1469999981	4624	11/7	251.53	6967	7687	79.73	68.63	72.67	6842.4
Birkilane	-1575	14.13333321	506.87	26/6	30202	6264	6936	72.79	8286	1232	6264.9
Boulei	-15.53333378	14.28333378	481.68	21/7	290.84	57.0	4.03	75.02	75.82	79.89	654.87
Dahra	-1527	152	33287	12/7	22489	55.8	56.57	5623	37.07	48.13	3476.9
Dakar	-17.5	14733	367.28	21/7	207.91	55.9	04.17	62.87	41.77	56.6	440.57
Diouloulou	-16.58333397	13.03333378	961.83	28/6	32048	7759	9059	92.07	93.17	69.9	9549.0
Diourbel	-1623333359	1464999962	457.57	9/7	28536	62.2	7.58	7467	4.98	6543	5852.4
Fatick	-1639999962	1433333302	49172	7/6	28914	6427	7433	72.5	5647	666	579.01
Gandiaye	-16.26666641	1425	505.69	27/6	309.36	66.61	74.57	7536	69.54	72.43	647.66
Gossas	-16.08333397	145	47643	5/7	280.11	64.3	6423	6887	73	689	5549.1
Goudiry	-12.71666622	141833334	55124	22/6	33078	65.69	7269	72.1	8297	73.41	629.62
Kaffrine	-1555000019	14.10000038	49594	29/6	30556	63.3	77.3	7733	6277	7347	671.98
Kaolack	-16.06666756	1413333321	50778	3/7	290.7	64.1	7057	72	73.53	7043	6054.3
Kebermer	-16.45000076	15.36666679	30051	21/7	193.05	53.5	56.77	5067	29.97	47.57	3154.3
Kedougou	-12.21666622	12.56666666	795.09	10/6	32824	80.23	90.17	93.17	95.5	90.97	976.55
Kidira	-12.21666622	14.46666622	494.97	23/6	272.01	71	79.77	77.6	19.6	77.47	7079.7
Kolda	-14.96666622	12.88333321	762.02	20/6	31825	7773	8803	90.73	93.63	88.77	930.60
Koungheul	-1483333302	13.96666622	57027	20/6	309.75	67.21	7521	7338	8445	751	653.38
Linguere	-15.2	15.4	32532	14/7	22063	5667	65.63	52.5	2.87	52.1	350.84
Louga	-16.13	1567	290	22/7	16497	52.57	531	4683	24.13	43.27	273.57
Malem-Hod	-1530000019	1408333302	51557	30/6	30758	6432	7664	73.68	77.43	7371	644.67
Matam	-13.25	1565	30567	18/7	201.64	526	5.54	44.23	31.83	4547	271.91
M'Backé	-1595	1485	42069	0/7	258.59	63.5	61.6	6723	56.53	62.4	509.97
M'Boro	-16.8	15.13	331.3	21/7	19791	5589	65.19	57.89	2841	50.56	371.73
Mbour	-16.96666718	1441666698	50059	12/7	2598	6813	65.93	7217	63.37	66.53	576.06
Ndoffane	-159333334	13.91666698	583.12	29/6	31293	6661	74.39	7736	81.21	7561	690.26
Nioro-du-Rip	-15.78333378	13.73333359	58927	27/6	32105	6623	77.07	78.37	83.37	77.2	712.17
Oussouye	-16.53333282	12.48333359	1062.42	22/6	332.64	7907	89.9	943	9527	91.17	989.81
Podor	-1497	1665	18621	26/7	1295	36.97	3.89	3233	10.5	29.63	157.12
Sadio	-15.55000019	1480000019	409.46	7/7	256.81	6027	68	6473	63.6	63.53	500.94
Saint-Louis	-16.27	16.03	23095	24/7	139.4	42.43	4833	4217	15.43	36.43	2201.5
Sédhiou	-155500002	127833338	89327	17/6	32075	75.3	6696	92.56	95.15	8904	95103
Sokone	-16.38333321	13.86333321	59341	3/7	31687	68	7557	7829	78.07	75.82	699.72
Tambacounda	-13.6833334	13.71668622	586.17	17/6	32032	6653	8047	81.17	87.1	8037	7637.8
Thièraba	-16.79999924	14.76666641	47518	7/7	263.9	594	12.37	72.7	49.73	66.67	581.01
Thies	-1695000076	14.80000019	43678	12/7	25114	6048	69	6731	57.86	6414	523.28
Tivaouane	-16.81666756	1494999981	39908	16/7	24226	6227	67.5	6637	473	61.23	4956.6
Toubacounda	-16.48333359	1373333378	660.5	29/6	32224	62.87	76.3	80	81.73	77.13	725.27
Velingara	-1468333	13.09	67038	17/6	32963	7123	83.7	8453	6977	83.47	821.77
Ziguinchor	16.26666641	12.55000019	1001.47	20/6	325.29	78.5	8823	934	9517	9033	97231

DONNEES AGROCLIMATIQUES SUR LA PERIODE NORMALE 1961-1900 DANS 80% DES CAS (ANNEES SECHES)

Nom site	Longitude	Latitude	Pfuvij annuelle	Semis optimal	ETR cycle	TSAT IDV1	TSAT IDV2	TSATpc	TSAT matur	TSATcycle	Rendit espéré
Bakel	-12.466667	14.899999	348.68	07/08	238.94	634	76.4	65.8	75	68.8	546.76
Bambey	-16.466667	14.699999	356.8	29/07	179.9	61	64	72	49	61	531.43
Birkilane	-15.75	14.133333	378	07/07	251.96	526	46	58.6	72.6	59	429.56
Bouief	-15.533333	14.283333	359.9	13/07	236.36	58	58	52	55	58	301.34
Dahra	-15.27	152	1903	21/07	14365	49	38	40	1	31	187.86
Dakar	-17.5	14733	208.2	01/08	129.98	30	42	42	6	41	240.40
Diouloulou	-16.583334	13.033333	68248	04/07	305.07	688	86.8	90.8	93	84.8	891.98
Diourbel	-16.233333	14.649999	3202	28/07	234.42	51	68	68	25	57	475.18
Fatick	-16.399999	14.333333	312.5	19/07	201.24	53	60	47	26	48	298.60
Gandi aye	-16.266666	14.25	377.9	11/07	267.16	53.6	65.2	57.8	51	63	449.61
Gossas	-16.083334	14.5	314.4	18/07	195.43	54	44	49	53	50	319.75
Goudiry	-12.716666	14.183333	433.52	04/07	265.91	54.4	56.2	52.6	71	58	385.24
Kaffrine	-15.550000	14.100000	3603	11/07	24622	54	60	62	46	59	451.42
Kaolack	-16.066667	14.133333	385.3	15/07	22949	52	45	52	50	57	375.78
Kebeher	-16.450000	15.366666	187.1	01/08	121.66	41	43	31	2	29	150.69
Kédougou	-12.216666	12.566666	6489	14/06	31962	71	86	93	95	89	954.89
Kidira	-12.216666	14.466666	358.1	03/07	240.51	63	70	64	62	68	527.07
Kolda	-14.966666	12.883333	587.9	30/06	309.74	72	82	88	92	86	877.61
Koungheul	-14.833333	13.966666	408.54	28/06	27467	598	65.8	59.6	72.8	67	487.96
Linguere	-15.2	15.4	232.3	30/06	1508	48	48	37	8	38	205.95
Louga	-16.13	1567	1948	01/08	135.59	44	35	32	1	35	174.78
Malem-Hod	-15.300000	14.083333	360.32	16/07	272.58	572	64.6	56.6	57.2	62.6	438.90
Matam	-13.25	15.65	176.6	01/08	11884	41	40	23	2	32	132.92
M'Backé	-15.95	14.85	299.4	22/07	211.97	55	41	53	22	52	353.10
M'Boro	-16.8	15.13	186.66	07/07	112.29	398	53.4	374	2	334	188.86
Mbour	-16.966667	14.416667	351.4	30/07	166.59	58	51	53	20	49	335.77
Ndoffane	-15.933333	13.916667	411.96	01/07	25589	59	56.6	646	674	59	468.14
Nioro-du-Rip	-15.783333	13.733333	444.7	13/07	29473	57	68	61	75	70	518.13
Oussouye	-16.533333	12.483333	836.	03/07	323.9	71	87	94	95	89	964.59
Podor	-14.97	16.65	109.8	01/08	8697	16	25	16	0	21	89.32
Sadio	-15.550000	14.800000	314	23/07	19021	51	44	46	34	48	293.37
Saint-Louis	-16.27	16.03	126.6	01/08	92.84	17	27	24	1	26	120.72
Sédhiou	-15.550000	12.783333	652.06	06/06	307.77	66.4	83.4	88.2	95	854	873.72
Sokone	-16.383333	13.883333	406.58	17/07	27936	584	64.6	65.5	66.4	6.5	517.48
Tambacound	-13.083333	13.716666	434.6	24/06	287.14	63	72	67	8.	73	585.82
Thiéba	-16.799999	14.766666	334.7	17/07	195.74	48	54	44	23	jà	317.57
Thies	-16.950000	14.800000	28914	30/07	1873	486	51.8	42	33	49.6	279.77
Ti vaouane	-16.816667	14.949999	281	30/07	177.99	52	44	45	17	45	273.43
Toubacounda	-16.483333	13.783333	420.1	11/07	27752	50	64	60	65	67	490.88
Vélingara	-14.683333	1309	524.3	26/06	31195	62	76	76	88	78	698.85
Ziguinchor	-16.266666	12.550000	785.7	02/07	316.68	73	87	92	95	87	925.14

DONNEES AGROCLIMATIQUES SUR LA PERIODE NORMALE 1961-1990 DANS 20% DES CAS ( ANNEES HUMIDES)

Nom site	Longitude	Latitude	Pluvio annuelle	Semis optimal	ETR cycle	TSAT IDV1	TSAT IDV2	TSATpc	TSAT matur	TSATcycle	Rendt espere
Bakel	-12.4666662	14.8999996	544.92	15/06	304.43	74.6	91	90	94.6	866	902.25
Sambey	-16.4666672	14.6999998	586.7	24/06	298.33	80	91	93	90	84	904.21
Birkilane	-15.75	14.1000002	504.56	14/06	344.78	70.2	85.4	88	93.4	83.4	852.67
Boulel	-15.5333338	14.2833338	576	20/06	335.55	78	90	88	91	84	858.43
Dahra	-15.27	15.2	431.2	01/07	300.08	66	69	72	68	62	539.28
Dakar	-17.5	14.733	492.5	09/07	290.48	69	86	60	77	76	715.42
Diouloulou	-16.5833334	13.0333338	1118.06	16/06	331.2	63.2	95	95	96	93	1015.72
Diourbel	-16.2333336	14.6499996	581.5	23/06	337.19	73	87	85	70	77	766.11
Fatick	-16.3999996	14.333333	597.3	20/06	362.61	76	90	90	85	82	857.12
Gandiaye	-16.2666064	14.25	557.6	09/06	347.24	78.4	87.a	91	90.2	81.4	860.11
Gossas	-16.083334	14.5	564.7	20/06	334.87	76	81	68	91	80	820.06
Goudiry	-12.7166662	14.1833334	655.54	09/06	377.36	77.2	66	88.6	91	84	863.92
Kaffrine	-15.5500002	14.1000004	606	16/06	345.88	70	90	90	75	84	876.74
Kaolack	-16.0666676	14.1333332	613.3	20/06	350.43	72	87	89	91	a5	877.29
Kebemer	-16.4500008	15.3666666	370.8	10/07	245.77	66	69	68	53	58	482.60
Kédougou	-12.2166662	12.5666666	910.4	03/06	336.01	85	94	95	96	93	1015.72
Kidira	-12.2166662	14.4666662	550.9	11/06	305.13	78	90	88	93	86	877.61
Kolda	-14.9666662	12.8833332	918.2	08/06	329.55	85	94	95	96	92	1005.36
Koungheul	-14.833333	13.9666662	666.62	08/06	349.23	75	85.4	074	94	84.2	854.84
Linguere	-15.2	15.4	402.6	02/08	280.44	66	83	67	44	63	512.79
Louga	-16.13	15.67	390.2	11/07	234.06	65	67	63	42	53	416.65
Malem-Hod	-15.3000002	14.063333	606.52	13/06	344.24	71.2	874	894	92	82.4	855.66
Matam	-13.25	15.65	409.5	08/07	274.4	64	70	57	49	59	419.27
M'Backé	-15.95	14.85	502	21/06	315.99	71	83	a2	82	76	731.99
M'Boro	-16.a	15.13	440.74	02/08	279.79	69.6	78.8	78	53.6	66.2	615.53
Mbour	-16.9666672	14.416667	661.2	27/06	340	82	87	90	89	86	896.36
Ndoffane	-15.9333334	13.916667	693.14	10/06	354.39	75	86.4	92	94	86	915.11
Ni oro-du Rip	-15.7833338	13.7333336	T05	12/06	354.9	77	90	92	94	87	925.14
Oussouye	-16.5333328	12.4833336	1225.8	12/06	340.91	86	94	95	96	93	1015.72
Podor	-14.97	16.65	245.7	17/07	171.48	49	51	47	21	36	237.13
Sadio	-15.5500002	14.8000002	486.1	24/06	312.75	69	86	a2	85	78	749.86
Saint-Louis	-16.27	16.03	301.9	15/07	184.82	61	63	58	25	47	349.83
Sédhiou	-15.5500002	12.7833338	1136.92	26/06	331.45	83.6	94	95	96	92.6	1011.57
Sokone	-16.3633332	13.8833332	768.32	15/06	357.69	764	89	904	53	a5	890.26
Tambacound	-13.6833334	13.7166662	698.9	06/06	346.04	74	90	92	34	88	935.16
Thi enaba	-16.7999992	14.7666664	572.2	24/06	316.15	67	89	89	69	79	819.08
Thies	-16.9500008	14.8000002	525.4	27/06	302.16	7:	85.4	82.2	05.2	75.4	728.27
Tivaouane	-16.8166676	14.9499998	506.3	25/06	306.4	74	81	82	83	77	740.93
Toubacounda	-16.4833536	13.7833338	869.4	14/06	359.85	73	90	91	93	86	905.73
Velingara	14.683333	13.09	778	06/06	350.72	79	91	93	95	8Y	954.89
Ziguinchor	16.2666684	12.5500002	1220.7	08/06	337.93	86	94	95	96	94	1026.07

## ANNEXE 17

DONNÉES AGROCLIMATIQUES POUR LE MIL POUR LA CAMPAGNE 1999						
Poste	Longitude	Latitude	Pluie AU 31/07	Semis99 nb j ep 9/106	TSAT	IDV1
AERELAO	-14 31667	164	56 6	36		40 6
BAKEL	-12 466662	14,899996	213 7	16		63 49
BAMBEY	-16 4666672	14 6999998	9, 5	36		70 01
BARKEOJI	-14 86667	15 28333	109 2	36		61 27
BIRKIL	-15 75	14 1333332	,837	20		58 05
BONKONTO	1395	12 96667	368 3	13		76 93
BOUNKILI	-1-68333	13 16667	360 6	22		62 62
COKI	-16	15 51667	138 8	36		59,93
COLOBANE	-15 66667	14 66667	74	36		62 2
DABO	-14 48333	128	451 8	16		74 34
DAGANA	15 5	16 51667	74	36		49 65
DAHRA	15 45	15 33	146	36		66,06
DAROUMOU	-16 03333	15 03333	68 5	36		56 6
DIAKHAO	16 3	14 56667	56 8	36		59,31
DIATTACO	15 77	12,48	435 5	20		83,69
DIENDE	-15 51667	12,68331	367 4	20		64 91
DIOLACO	-14 6 6 6 6 7	126	439	16		77 66
DIOURB	1623333336	1464999%	114 3	36		62,83
DJILOR	-16 33333	14,063333	250	15		69 22
FANAYE	-15 21667	16 53333	23 4	36		26,75
FATICK	-16 3999996	14,333333	149 1	36		67 14
FIMELA	-16 66333	14 13333	144	36		75 56
FISSEL	-16 65	14 53333	1255	36		59 54
FOUNDIOU	-16 46667	14 11667	211 2	15		51 64
GANDIA	-16 2666664	14 25	144 9	36		69 25
GOSSAS	-16 083334	145	121 4	36		67,42
GUINGUEN	-15 95	14 33333	45	36		49,96
KAEL	-15 88333	14 7	98,1	36		63 79
KAFFRI	-15 5500002	14 1000004	220 1	22		69 73
KAHONE	-16 03333	14,15	1845	36		58 99
KANEL	-13 16667	155	,079	36		58 17
KAOLAC	-16 666676	14 1333332	198 8	18		57 51
KEBEME	-16 4500008	15 3666668	107 4	36		49 64
KHOMBOLE	-16 7308	147615	127 6	36		48 36
KMSARR	-159519	15 85321	57 2	36		48 89
KOLDAC	-14 9666662	12 8833332	425 6	16		77 26
KONKANE	-14 08333	12 93333	303 1	14		72 05
KOUNGH	14833333	139666662	303 8	6		44 46
LINGUE	152	1538	88 3	36		62,9
LOUGA	-16 2,667	156,667	61 7	36		53 95
MALEMH	-15 21667	14 083333	225 4	22		73 34
MARSSASS	16	12 81667	381	22		86 56
MATAM	-13 25	1565	,272	31		70,08
MBACKE	-15 95	14 85	72 1	36		58 75
MBANE	15 8	16 26667	32	36		45 38
MBEDIENE	-16 2	155	60	36		53 88
MBORO	-16 88	15 13	9, 7	36		66 52
MBOUR	-16 9666672	14 4,666	68 1	36		6, 43
MEDINASA	-15 59	13 6	248 1	22		84 98
MEQUANE	-16 66667	15 066667	87 1	36		62 46
MERINADA	-16 46333	15 1	115 9	36		73 09
NDAME	15 91667	14 8,667	105	36		69 69
NDANDE	16 53333	15 26667	86 6	36		66 68
NDIAGAGN	-16 7	14 53333	94 3	36		7, 87
NDIEDIEN	16 13333	13 93333	256 2	18		77 49
NDIQUUM	-14 6442	16 5138	21 7	36		28 52
NDOFFA	-15 9333334	13 916661	348 5	14		56 43
NDOULO	16 13333	14 75	76 9	36		53
NGOYE	16 4,667	14 61667	95 1	36		65 31
NGUEKOKH	-16 96667	14 5,667	107 7	36		64 89
NIAKHAR	16 4	14 46661	75 3	36		60 01
NIAKHENE	-16 33333	15 08333	70 9	36		66 86
NIODIOR	-16 73333	139	254	15		63 27
NIORO	-15,7833338	13 7333336	328 1	22		82 67
NOTTO	-16 85	14 7	128 5	36		67 9
OUADIOUR	-16 01667	14 43333	639	36		54 91
OUROSSOG	-13 3	15 63333	104 1	36		49 96
PAKOUR	-14	12 6691	435	16		70 16
PAMBAL	-16 9	14 96667	919	36		64 52
PAOSKOTO	-15 8	13 76667	279 9	18		69 72
PODOR	-14 97	,665	2, 3	40		30
POU7	17,764	14 7353	,312	36		53 75
R BETH	-16 15	16 28333	56 5	36		46 83
RANCROU	-13 96667	153	,536	3		66 23
RAO	-16 41667	15 91667	63 5	36		59,23
R-TOLL	-15 7	16 45	59 5	36		54 77
SA310	-15 5500002	14 86	106	36		65 27
SAGATTA	-16 16667	1528	85	36		55 29
SAINTL	-16 45	,603	42	35		53 34
SEDIHOU	-15 5500002	12 7833338	407 7	17		77 62
SEME	-12 95	15 2	,536	31		68 23
SOKONE	163833332	13 8833332	300 3	15		74 02
TANAFF	-15 4,667	126,667	435 2	22		92 12
TASSETTE	-16 66667	14 56333	104 5	36		71 29
TATTAGUI	-16 6	14 4,667	103 4	36		67 78
THIADIAY	-16 7	14 41667	138 4	36		69 12
THIENA	167999992	1476,56664	1805	36		71 55
THIES	-16 9500008	14 8000002	122	36		55 89
THOLOGN	-13 58333	15 96667	91 6	36		46 76
TIVAOU	-16 8166676	14 9499998	225 3	36		67 77
TOUBACCOU	-16 4633336	13 7833338	265 9	18		65,69
VELING	-14 1	1309	303 8	16		7, 65
WACKNGOU	16 06667	13 75	281 3	22		80 55

Poste	Longitude	Latitude	ecart pluvio (%)	Pluvio au 31/07 (mm)	Pluvio mediane au 31/07(mm)
BAKEL	-12.4666662	14.89999962	34.9	213.7	1788
BAMBEY	-16.4666672	14.69999981	-9.1	91.5	100.6
DAHRA	-15.27	15.2	78.5	146	675
DI OUB	-16.2333336	14.64999962	6	114.3	108.3
KEBEME	-16.4500008	15.36666679	51.2	107.4	56.2
KOLDAC	-14.9666662	12.88333321	84.8	425.6	340.8
LINGUE	-15.2	15.4	3.6	88.3	84.7
LOUGA	-16.13	15.67	16	61.7	45.7
MATAM	-13.25	15.65	37	127.2	90.2
MBACKE	-15.95	14.85	-34.5	72.1	106.6
MBOUR	-16.9666672	14.41666698	-33.6	68.1	101.7
PODOR	-14.97	16.65	-13.7	21.3	35
SAINT	-16.27	16.03	14.8	42	27.2
THIENA	-16.7999992	14.76666641	60.6	180.5	119.9
THIES	-16.9500008	14.80000019	38	122	84
TIVAOU	-16.8166676	14.94999981	156.2	225.3	69.1
VELING	-14.1	13.09	-21.3	303.8	325.1

Poste	Longitude	Latitude	ecart semis99 p/r moyenne sur 30 ans
BAKEL	-12.4666662	14.8000000	10
BAMBEY	-16.4666672	14.6999998	-4
BIRKIL	-15.75	14.1333332	-5
DAHRA	-15.27	15.2	-5
DIOURB	-16.2333336	14.6499996	-7
FATICK	-16.3999996	14.3333333	1
GANDIA	-16.2666664	14.25	10
GOSSAS	-16.0833334	14.5	2
KAFFRI	-15.5500002	14.1000004	-6
KAOLAC	-16.0666676	14.1333332	-14
KEBEME	-16.4500008	15.3666668	-14
KOLDAC	-14.9666662	12.8833332	-3
KOUNGH	-14.8333333	13.9666662	-13
LINGUE	-15.2	15.4	-7
LOUGA	-16.13	15.67	-15
MATAM	-13.25	15.65	-16
MBACKE	-15.95	14.85	-1
MBOUR	-16.9666672	14.416667	-5
NDOFFA	-15.9333334	13.916667	-14
NIORO	-15.7833338	13.7333336	-4
PODOR	-14.97	16.65	-15
SADIO	-15.5500002	14.8000002	0
SAINTL	-16.27	16.03	-17
SEDHIOU	-15.5500002	12.7833338	1
SOKONE	-16.3833332	13.8833332	-17
THIENA	-16.7999992	14.7666664	0
THIES	-16.9500008	14.8000002	-5
TIVAOU	-16.8166676	14.9499998	-9
VELING	-14.683333	13.09	0

## **Annexe 18 : L'agriculture sénégalaise**

**3**

Le Sénégal situé à l'extrémité Ouest de l'Afrique, est un pays de 196.61 Km<sup>2</sup> de type sahélien dans sa plus grande étendue. Il est caractérisé par deux saisons bien différenciées : une saison sèche de novembre à juin et une saison des pluies.

Depuis les années 1970, le climat subit une forte péjoration avec une baisse importante de la pluviométrie marquée par des précipitations annuelles moyennes extrêmement variables en fréquence et en volume.

La production agricole sénégalaise provient essentiellement des cultures pluviales (96% des surfaces emblavées) : mil, sorgho, riz, maïs, arachide (de bouche et d'arachide), nièbé.

Le secteur horticole après une forte progression ces dernières années (satisfaction des besoins de l'ordre de 70%) connaît actuellement une stagnation de la production.

Le secteur de l'élevage contribue à 7% à la formation du secteur primaire. La production bovine, ovine, caprine et avicole ont connu un essor important mais malgré ces performances, la progression de la production de viande est loin de suivre l'évolution du taux de croissance démographique entraînant la baisse moyenne de la quantité de viande disponible.

S'agissant des productions halieutiques, le sous-secteur de la pêche assure aujourd'hui l'approvisionnement du marché intérieur en produits frais de qualité.

Le secteur forestier contribue principalement à la satisfaction des besoins énergétiques de la population sénégalaise qui consomme en grande quantité du charbon de bois. Il permet aussi de répondre aux besoins en bois de service, en bois d'œuvre, en produits de cueillette et contribue à la conservation des sols.

Sur le plan agroécologique, le Sénégal est découpé en 8 zones qui montrent notamment une grande diversité de leurs agro-systèmes s'intégrant dans de grands ensembles sous-régionaux basés sur leurs systèmes de production :

☛ **La zone de Basse et Moyenne Casamance (BMC)** caractérisée par une pluviométrie encore relativement satisfaisante dépassant 1000mm en moyenne annuelle. Les principales cultures vivrières sont le riz, le mil, le sorgho, le maïs et le fonio. L'arachide, le coton et dans une moindre mesure le sésame constituent les principales cultures de rente. L'élevage de bovins-ovins connaît un développement notoire alors que l'aviculture constitue un secteur prometteur. La zone favorise également le développement des activités de pêche et de pisciculture. Les produits de cueillette dans les systèmes forestiers constituent des recettes non négligeables. Enfin, on note un développement des technologies de transformation pour le lait, l'huile de palme et le sésame.

Cependant la sécheresse n'a pas épargné la région et son potentiel agricole n'a cessé de se réduire et la zone est devenue déficitaire sur le plan vivrier.

☛ **La zone Sénégal Oriental / Haute Casamance (SOHC)** bénéficie d'une pluviométrie supérieure à 700mm sécurisant les productions. La riziculture de bas-fonds, la culture du sorgho sur sols lourds prévalent tandis que le mil et le maïs y connaissent un important développement grâce notamment à une forte extension des surfaces cultivées. L'arachide, marquée par une forte extension des surfaces cultivées et le coton constitue les deux principales cultures de rente. Les systèmes de production horticoles restent peu exploités ainsi que les potentialités halieutiques et piscicoles. C'est l'élevage d'un cheptel trypanotolérant qui prévaut dans cette région dont la vocation pastorale est établie.

La zone SOHC constitue la grande région agricole du Sénégal mais l'enclavement qui la caractérise n'a pas favorisé la mise en valeur de son potentiel agricole.

☛ **La Zone Suri Bassin Arachidier (SBA)** est une région à vocation agricole pluviale où l'arachide et le mil sont les cultures dominantes auxquelles s'ajoutent le mil et le sorgho comme cultures vivrières. Pour les cultures de rente, au côté de l'arachide viennent le coton et le niébé. L'élevage est important et de type transhumant ou sédentaire. Les potentialités de pêche sont non négligeables.

☛ **La zone centre nord du bassin arachidier (CNBA)** est marquée par une baisse importante de la pluviométrie qui n'est plus que de 400 à 600 mm en moyenne annuelle. C'est une zone de systèmes de production agro-pastoraux sahéliens à agriculture sèche et/ou élevage traditionnel et parfois même pastoralisme strict. De type pluvial, les productions végétales sont marquées par la prédominance de deux cultures : l'arachide et le mil. Les cultures maraîchères sont concentrées dans la région de Thiès. La pêche constitue une activité considérable dans la zone et l'élevage contribue pour une bonne part à l'économie rurale.

☛ **La zone fleuve de Saint-Louis à Bakel** est occupée à 35% par les cultures pluviales mil, sorgho, béréf, arachide. L'aménagement des barrages a favorisé le développement des cultures irriguées : riz, maïs. Face à la dégradation de l'environnement (salinité croissante, vents asséchants, pression foncière, utilisation abusive d'intrants), la zone tente de diversifier ses productions : cultures horticoles, sorgho, arachide, pêche. La moyenne et haute vallée présente les caractéristiques des systèmes sahéliens agro-pastoraux à pastoralisme dominant.

☛ **La zone sylvo-pastorale (ZSP)** constitue la région de Louga. Elle est caractérisée par la faiblesse et l'irrégularité de sa pluviométrie (200 à 400 mm). La zone est à vocation essentiellement pastorale et abrite respectivement 22% et 30% du cheptel national de bovins et petits ruminants. La remise en eau de la basse vallée du Ferlo suscite beaucoup d'espoir avec le développement potentiel des systèmes de production halieutiques et irrigués.

☛ **La zone des Niayes** correspond à la bande côtière de 10 km de large entre Dakar et Saint-Louis. Les systèmes de production sont très diversifiés de par leur taille, leur degré d'intensification, les spéculations et la finalité de l'entreprise. L'émergence d'un secteur de production moderne est visible dans le secteur fruitier, dans l'élevage et dans l'aviiculture.

☛ **La zone Maritime** englobe le plateau continental et le littoral maritime où se concentrent les activités liées à l'exploitation des ressources halieutiques.