



CENTRE D'ETUDES REGIONAL

POUR L'AMELIORATION

DE L'ADAPTATION A

LA SECHERESSE.

ISRA - CNRA

B.P. 53 BAMBEY SENEGAL

TEL. (221) 73.61.97 - 73.60.50

FAX (221) 73.61.97 • 73.60.52

CR001088

*Suivi Développement des Cultures
Modélisation*

Résultats préliminaires Campagne d'hivernage (saison des pluies-) 1996

Bilan hydrique, croissance
développement et évaluation de la
production agricole du mil (*Pennisetum
glaucum R. Leeke*)

Contrat FED 7, ACP Convention
n° 53 68 REG.

Benoît San
Bioclimatologue

Janvier 1997

BR

20102

Suivi Développement des Cultures
Modélisation

Résultats préliminaires Campagne d'hivernage (saison des pluies) 1996

Bilan hydrique, croissance
développement et évaluation de la
production agricole du mil (*Pennisetum
glaucum R. Leake*)

Contrat FED 7, ACP Convention
n° 53 68 REG.

Benoît Sarr
Bioclimatologue

Janvier 1997

INTRODUCTION ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

Ce rapport d'activité présente les premiers résultats sur l'expérimentation au champ dans le domaine de la bioclimatologie et la physiologie du mil réalisée pour le CERAAS (Mai-Déc. 1996)

Depuis plusieurs années le CERAAS a entrepris des recherches sur l'adaptation à la sécheresse de l'arachide. L'expertise acquise sur cette culture a permis de développer une approche de valorisation des connaissances à travers la définition d'outils de modélisation des processus de la croissance et de la production agricole (Annerose, 1997). Les recherches conduites sur le mil s'inscrivent dans cet objectif.

Le mil (*Pennisetum glaucum* (L.) Leeke) est une culture alimentaire de grande importance originaire des savanes ouest-africaines. Avec une valeur énergétique de 3 500 calories/jour, il occupe le premier rang dans la ration calorifique en Afrique.

Au Sénégal, le mil est la principale céréale cultivée aussi bien pour les surfaces cultivées que pour la production. En 1995, le mil occupait 73,47 % des surfaces cultivées en céréales avec une production totale de 666 805 tonnes (63 % de la production céréalière totale) et un rendement moyen de 748 kg/ha (DISA/DA, 1996).

La culture du mil se caractérise ainsi par un faible niveau de productivité en milieu paysan en raison de nombreuses contraintes d'ordre variétal, agronomique, agro-pédoclimatique, etc. (Fofana, 1996). La stabilisation de la production du mil, céréale de base des zones arides et semi-arides d'Afrique passe par la connaissance de la réponse à l'eau du mil, puis par l'identification des caractères d'adaptation et de résistance à la sécheresse.

Les objectifs principaux de cette expérimentation sont :

- l'évaluation de la consommation en eau du mil dans des conditions d'alimentation hydriques satisfaisantes (ETM ou évapotranspiration maximale) ou quelconques (ETR ou évapotranspiration réelle) au cours de ces différentes phases phénologiques.

- la caractérisation à partir des indicateurs statistiques, du déficit ou du confort hydrique du mil par le Taux de Satisfaction des besoins en eau (ETR/ETM ou TSAT), (Dancette, 1983 ; Forest, 1984),

- la détermination de la croissance, du développement et de la productivité en fonction de l'état hydrique du sol et de la plante.

En effet, la connaissance des interrelations entre les conditions d'alimentation hydrique des cultures à l'échelle de la parcelle et l'élaboration du rendement permet pour un hivernage donné

- de déterminer l'impact des accidents pluviométriques sur la production agricole puis le repérage des zones de calamités,

- de délimiter à l'échelle d'un pays, les zones agro-écologiques permettant à une variété donnée, pour une date optimale de semis de mieux exprimer son meilleur niveau de rendement.

L'essai doit contribuer à fournir des référentiels pour la mise au point et / ou la validation de modèle de simulation du bilan hydrique, de la croissance et de la productivité du mil.

Bibliographie :

Annerose D.J. (1996) : « Modélisation et application pour le développement agricole. Atelier Base Centre Arachide - CORAF/ISRA/CERAAS, CNBA Bambey, 17 - 20 Déc. 1996

Dancette C (1983) : "Besoins en eau du mil au Sénégal. Adaptation en zone semi-aride tropicale. L'agronomie Trop. 8-4; 267-280.

Fofana A., (1996) : « Amélioration variétale du mil, rapport analytique 1995 ». ISRA, URR, Centre Nord Bassin Arachidier, 21 pages + annexes.

Forest F. (1984) : « Simulation du bilan hydrique des cultures pluviales. Présentation et utilisation du logiciel BIP. Montpellier IRAT, 62 p.

SYNTHESE DES TRAVAUX

Consommations en eau et productivité chez la variété de mil Souna III (*Pennisetum glaucum* (L.) Leeke cultivée au champ sous différentes conditions d'alimentation hydrique

INTRODUCTION

Les conditions d'alimentation en eau constituent, en zone sahélienne, le principal facteur de variabilité des niveaux de rendements agricoles. Le mil présente cependant des mécanismes agro physiologiques qui en font une céréale rustique adaptée à la sévérité des conditions climatiques du Sahel. L'objectif de ce travail est, d'une part, de caractériser le bilan hydrique, et l'efficacité de l'eau consommée et d'autre part, de définir des stratégies d'utilisation optimale de la ressource en eau pour le mil.

MATERIEL ET METHODES

L'expérimentation a été conduite à Bambey, (14°42' N, Sénégal), sur un sol sablo-argileux, avec la variété Souna III (cycle de 90 jours). Le dispositif expérimental est en randomisation complète avec un facteur hydrique à 5 niveaux et 3 répétitions : ETM cycle, ETM au cours du tallage (T1), ETM à l'épiaison-floraison (T2), ETM pendant la formation et le remplissage des grains (T3) et pluvial strict (T4). La saison des pluies 1996 avec un cumul pluviométrique de 325,3 mm, au cours du cycle cultural, se caractérise cependant par une sécheresse en phase végétative et en phase formation de grains. Un suivi hebdomadaire du bilan hydrique est effectué à l'aide d'une sonde à neutrons. La relation ETR/ETM (TSAT) est exploitée pour le pilotage de l'irrigation. Les mesures hebdomadaires portent sur la teneur en eau du sol, la phénologie, la croissance, le développement, l'accumulation et la répartition de la matière sèche.

RESULTATS ET DISCUSSION

Effet d'un stress hydrique en phase végétative

Sur les régimes non irrigués les plants ont subi un stress sévère en phase tallage comme l'indiquent les TSAT de l'ordre de 30 à 35 % (**figure 1**). Toutefois, ce stress n'a pas eu d'incidences sur les organes végétatifs. Cette réponse est caractéristique de la bonne adaptabilité des jeunes plantes de mil à la sécheresse (Lambert, 1983).

Effet d'un stress hydrique en phase terminale

• sur les organes végétatifs

Le déficit hydrique en phase terminale a des effets clairs qui se traduisent sur les régimes non irrigués (T1 et T4) par des symptômes spectaculaires, tels que la sévérité du dessèchement foliaire et la réduction de la surface foliaire (photo 1) à l'inverse de l'ETM cycle (photo 2). La sénescence est aussi plus précoce sur les régimes en conditions pluviales.

• sur les organes reproducteurs

Le stress hydrique se manifeste sur les organes reproducteurs par un remplissage médiocre des épis dû vraisemblablement à un problème de fécondation, ou par la suite un échaudage des épis fécondés. Du point de vue agronomique, ceci a pour conséquences : une importante baisse du nombre d'épis productifs, du poids sec épis, du poids des grains et un faible indice de récolte (**figure 2**).

• Principales composantes du rendement

La recherche de liens entre le rendement final en grains et les composantes du rendement montre que la baisse du rendement sous l'effet d'un stress hydrique provient essentiellement de la diminution du poids sec épis (PSE). Le poids de matière sèche des épis qui peut être suivi

le cycle de culture (1996) a été suivi au jour en culture (1996)

facilement depuis le début de la floraison (Do, 1995) peut constituer un bon indicateur pour le suivi et la prévision des rendements agricoles.

● **Efficience de l'utilisation de l'eau**

Il n'y a pas de différences significatives entre les cumuls des consommations réelles en eau (ETRcycle) des traitements (T1, T2, T3). L'efficience de l'eau est cependant nettement plus efficace sur le traitement maintenu à ETM en phase formation de grain (T3). On peut dire que les effets de la sécheresse durant la phase végétative et dans un degré moindre durant la phase épiaison floraison peuvent être limités ultérieurement grâce aux capacités de récupération du mil. L'apport d'eau par irrigation de complément est donc plus efficace pendant la formation des grains.

CONCLUSION

En maintenant des conditions d'alimentation hydriques à l'optimum que durant le stade terminal, ce travail a montré les possibilités d'obtenir un rendement fort appréciable. Ces résultats ouvrent par ailleurs la voie à une étude régionale sur la modélisation des interactions facteurs hydriques et génotype chez le mil.

Mots clés : *Pennisetum glaucum*, irrigation de complément, efficience de l'eau, rendement agricole.

Remerciements : Ce travail a été conduit au CERAAS et financé par l'Union Européenne (FED 7, ACP Convention, 5368 REG).

Références :

Do F 1994. Thèse de Doctorat, Université Paris VII, 269 p.

Lambert 1983. Agron. Trop., Vol. 38, n° 1, pp. 7-15.



Photo 1 : Plantes de mil en période de stress hydrique (TSAT < 60 %) : importance de la mortalité du reproducteur des plants de mil maintenus à système foliaire, stade floraison mâle à formation évapotranspiration maximale ETM (59 jas), irrigation laiteuse du grain (59 jas)

Photo 2 : Vigueur du développement végétatif et (TSAT > 60 %) : importance de la mortalité du reproducteur des plants de mil maintenus à système foliaire, stade floraison mâle à formation évapotranspiration maximale ETM (59 jas), irrigation par système de rampes oscillantes,

Sustaining millet (*Pennisetum Glaucum*) yields under different conditions of water supply

INTRODUCTION

Sustaining significant crop yields in the Sahel is fraught with uncertainties of how much rain, and when specially the rainy season is expected. However, the millet exhibits agrophysiologic characteristics that adapt it to harsh drying environments. The present work was intended to characterise the water requirements of millet, determine its water use efficiency, and examine the possibility of generating meaningful data that may be useful in modelling the production of millet in the sub-Saharan region.

MATERIALS AND METHODS

This experiment was carried out during the rainy season of 1996, in the field, at CERAAS, Bambey, a semi-arid region of Senegal. The plots were completely randomized, with five irrigation treatments. Complementary irrigation was given to some plant throughout their cycle, during the vegetative phase, during flowering, during grain formation and filling, and another set was left to only rainfed conditions (i.e. without complementary irrigation). The total rainfall throughout the period of the experiment was 325.3 mm. However, during this experiment there were episode without rain during tillering and the terminal phases of the cycle. The soil moisture content was monitored by neutron probe. Phenological measurements, dry matter accumulation, and canopy development were monitored weekly.

RESULTS

The water satisfaction needs (30 to 35%) of the millet (Figure 1) during vegetative growth indicate the severity of the stress on plants submitted to rainfed conditions only. Without complementary irrigation, there is no significant effect on the vegetative phase of the plant, because of the tolerance of youths plant to the dryness (Lambert, 1983).

The water deficit that occurred during the period of protracted soil drying, resulting from lack of rainfall for plants that did not receive any complementary irrigation during the terminal phase induced drastic drying, shrivelling, drooping of leaves, and subsequently a reduction of leaf area index (LAI) (Plates 1 & 2). Senescence began one week earlier in non irrigated plants.

The lack of rainfall during the reproductive phase caused a significant reduction in the filling of spikes, probably as a result of a failure of fertilization and or scalding of fertilized spikes, and the reduced importation of photosynthates (Brisson, Delécolle, 1991) into the fertilized spikes (Figure 2 & Table 1).

The relationship between grain yield and yield components indicates that the decrease in final yield under water deficit conditions was due to a reduction in spike to dry weight. The weight of dry spikes may be followed from the beginning of flowering (Do, 1995), and this constitutes a good parameter that may be used in predicting final grain yield.

There were no differences in cumulative water consumption between the plants given complementary irrigation during tillering, flowering and grain filling. However, water use efficiency is better when irrigation occur during grain filling.

CONCLUSION

The effect of the dry spell was more pronounced when it occurred during the flowering and even more during grain formation, than the vegetative phase. The plants not supplied complementary irrigation recovered appreciably on resumption

of rainfall or irrigation, a commendable characteristic of millet not fully understood. Complementary irrigation would thus appear to be more beneficial during grain formation and grain-filling.

Key words : *Pennisetum Glaucum*, complementary irrigation, water use efficiency, yield.

Acknowledgements: This work was conducted at CERAAS, and financed by the European Union (FED 7. ACP Convention 53 68 REG.).

References :

Brisson N., R. Delécolle 1991. Agronomie, n° 12, 253-263, pp 253-263.

DO F. 1994. Thèse de Doctorat, Université Paris VII, 269 p.

Lambert 1983. Agron. Trop., Vol. 38, n° 1, pp. 7-15.

Approche de la modélisation de la croissance et de la productivité du mil (*Pennisetum Glaucum*) cultivé en zone semi-aride du Sénégal

INTRODUCTION

L'objectif de ces recherches est de valoriser les connaissances sur le fonctionnement d'une culture du mil dans des outils dynamiques de modélisation. Il s'agit notamment de proposer des modèles simples et paramétrables afin de pouvoir simuler les réactions de la cultures.

MATERIELS ET METHODES

Les données de base ont été obtenus à partir d'un essai au champ mené en 1996 à Bambey. La croissance, le développement et la productivité du mil ont été évalués sous différents régimes hydriques. Le modèle décrit la phénologie, l'accumulation de matière sèche aérienne entre les différents organes (feuilles, tiges, épis), sa répartition dans le grain, la sénescence à partir de la détermination de la somme des degrés-jours (figure 4).

RESULTATS

Dans le modèle de croissance on considère que les conditions radiatives sont optimales pour la photosynthèse. L'accumulation de la matière sèche suit alors une fonction (Fer) qui dépend de la somme des températures cumulées au jour j depuis la date de semis (D1 en ° C) : $Fer = [D1, Pstotalmax, A, B]$ (figure 5). A partir d'un certain nombre de degrés-jours (D2), débute la sénescence décrite par une fonction linéaire, $Fs = [D2, C, D]$. Dans le modèle de productivité, on estime que la production en grain suit une fonction *linéaire* (Fgr) qui dépend de D3 (somme des températures cumulées au jour j depuis le début de la formation des grains) : $Fgr = [D3, E, F]$.

Ce modèle de simulation simple, peut-être couplé à un module d'autoparamétrisation qui permet d'ajuster correctement les données simulées aux données expérimentales.

Les fonctions et les paramètres associés font l'objet du développement d'un modèle sous Visual Basic. Ce modèle peut être couplé aux modules d'autoparamétrisation développés au CERAAS. Il sera valide en comparant la simulation à d'autres jeux de données d'essais réalisés sur le mil.

PERSPECTIVES ET CONCLUSION

Ces premiers résultats offrent de bonnes perspectives pour la mise au point d'outils de suivi et de prévisions de la production milicole au Sénégal.

Mots clés : *Pennisetum glaucum*, régimes hydriques, modélisation, prévisions agricoles

¹ Les coefficients A, B, C, D, E, F sont des paramètres variétaux déterminés par régression.
Pstotalmax est le poids sec total maximum par plante (en g/plante), c'est une constante variétale

TABLEAUX ET FIGURES

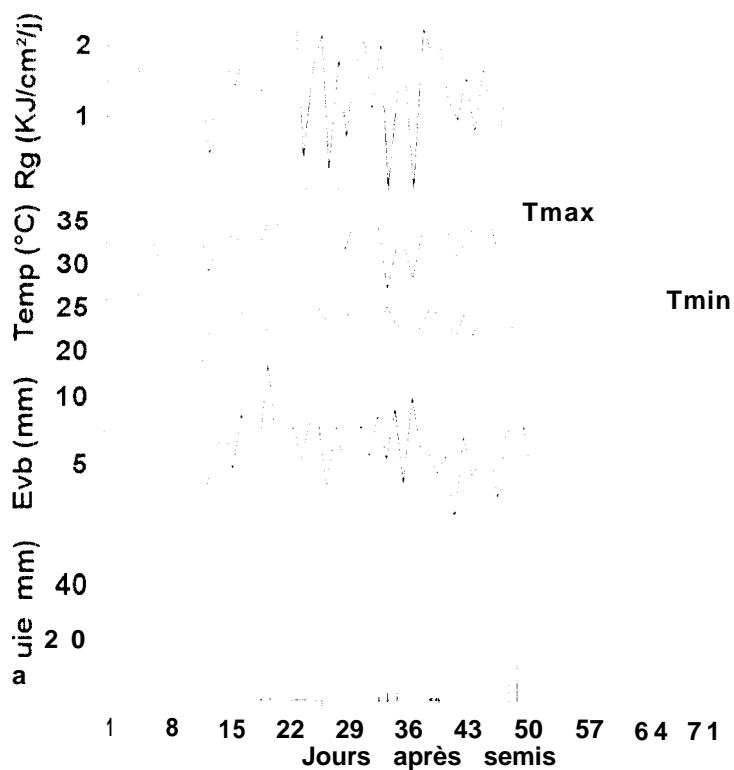


Fig. 1 : Conditions environnementales de l'essai Souna III au cours de l'hivernage 1996

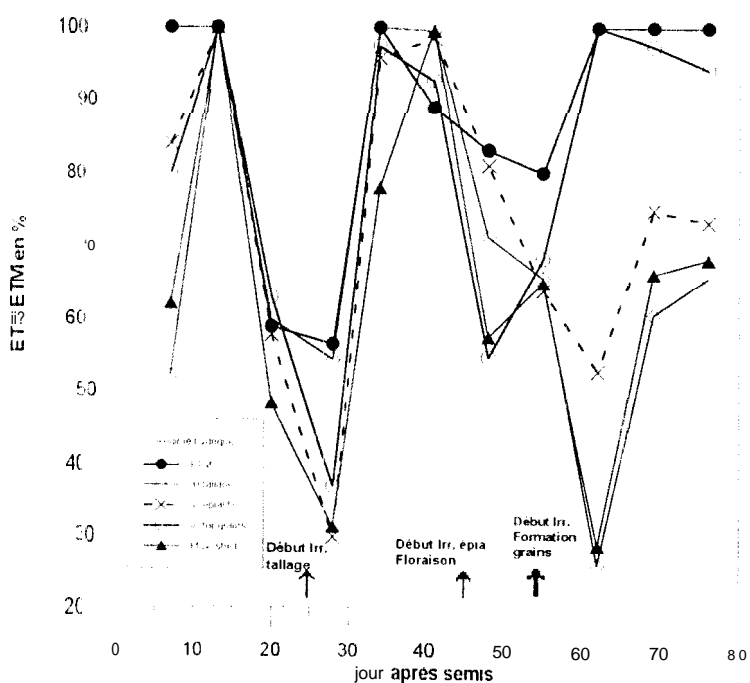


Fig 2 : Evolution of water satisfaction needs under different conditions of water supply (taux de satisfaction des besoins en eau).

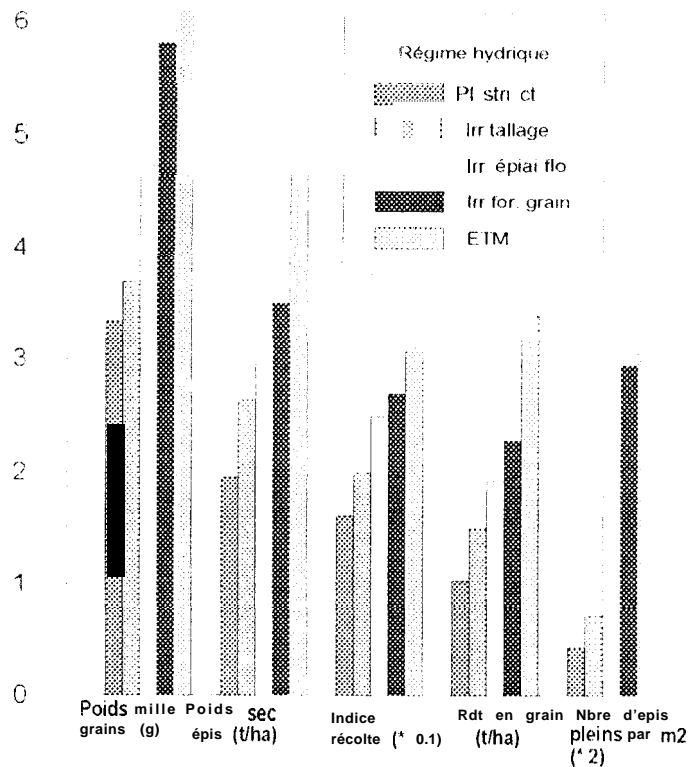


Fig. 3 : Principales composantes du rendement
Main Components of the yield

Traitements	TSAT cycle en %	Rdt en grains en kg/ha	ETR cycle en mm	Irrigation totale en mm	Efficienc de l'eau consommée en kg/mm/ha	Efficienc de l'eau apportée (Irrigation + pluie) en kg/mm/ha
Pluv strict (T4)	64	1038	296 c	0 395	3.51	3.19
Irr tallage (T1)	68.5	1497	318 b	26.33 354.6	4.70	4.26
Irr ép florai (T2)	72.3	1922	319 b	29.33 560.5	6.03	5.42
Irr forgrains (T3)	75	2295	324 b	42.33 561.6	7.08	6.24
ETM (T0)	82.5	3388	392 a	102.33 111.6	8.65	7.93

Tableau 1: Comparaison de l'efficienc de l'eau en fonction des régimes hydriques

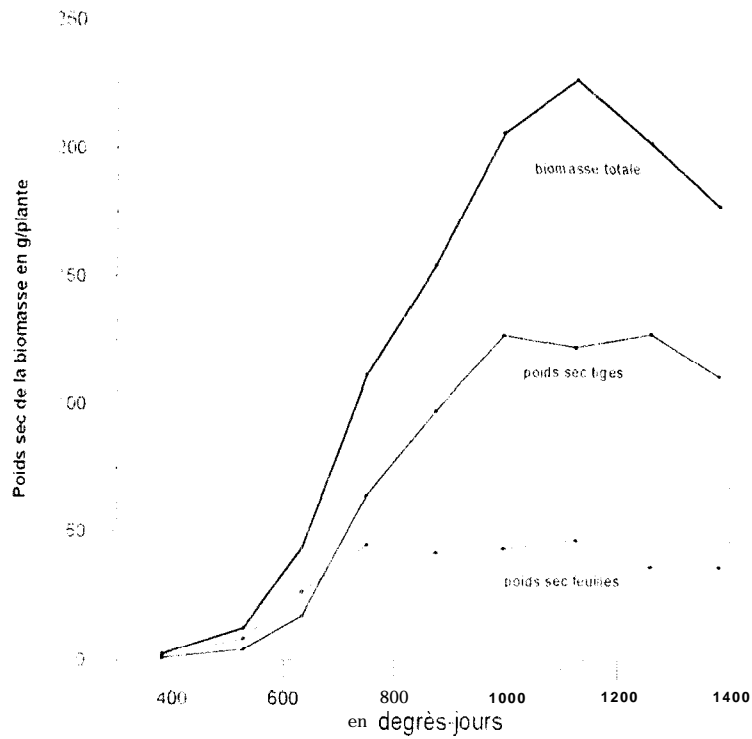


Figure 4 : Production et répartition de biomasse sèche au cours de l'hivernage 1996 Courbe enveloppe du mil Souna III.

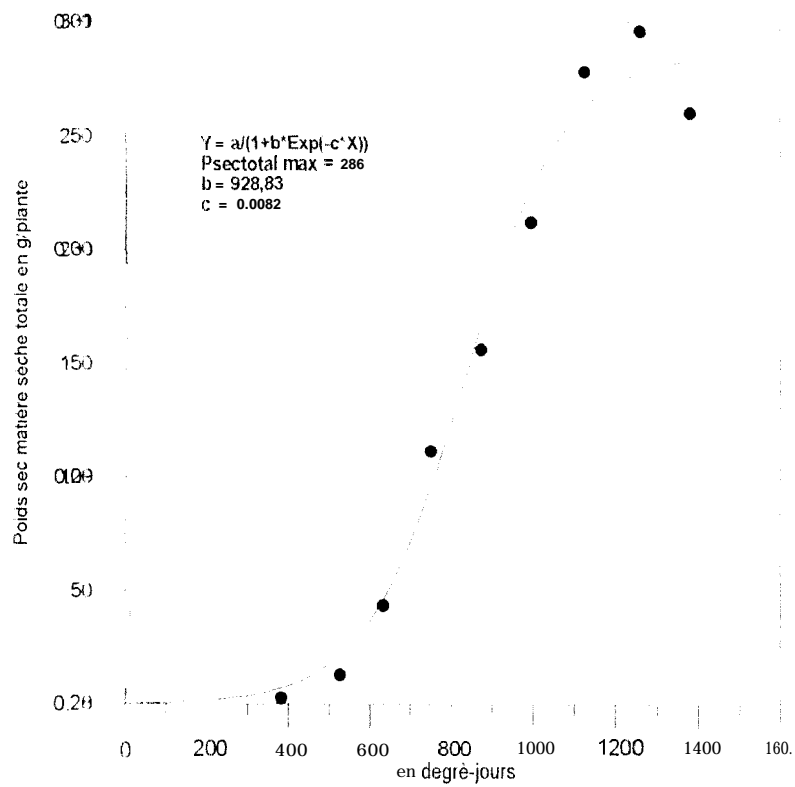


Figure 5 : Evolution du poids sec matière sèche (courbe enveloppe) en fonction de la somme des températures (Mil souna III, Hivernage 1996)

PROJET D'ACTIVITES 1997

Thèmes	Objectifs et buts	Collaborations
1 Bilan hydrique, croissance développement et évaluation de la production agricole du mil (Confirmation des résultats de 1996)	<ul style="list-style-type: none"> • Etudes des relations entre consommations en eau et productivité (efficience de l'eau) • Suivi de la croissance et du développement à des pas de temps rapprochés en phase terminale • Affiner les analyses statistiques (SAS, STATITCF) • Ecrire les algorithmes du modèle de croissance et de la productivité du mil • Etendre les résultats à d'autres génotypes (IBV 8004, IBV 8001) 	<p>Biométrie (CERAAS)</p> <p>Informatique (CERAAS)</p>
2 Etude agrophysiologique de l'adaptation à la sécheresse	<ul style="list-style-type: none"> • Etudes des réponses au stress ou au confort hydrique en phase terminale (phase critique) • Détermination d'indices de stress hydriques des cultures par téléthermométrie et confrontation avec le TSAT (ETR/ETM), et avec des paramètres physiologiques (potentiel hydrique foliaire, ouverture stomatique, transpiration des plantes) 	
3 Suivi campagne agricole	<ul style="list-style-type: none"> • Suivi des cultures et prévisions des rendements agricoles (arachide, mil, niébé) 	Laboratoire de bioclimatologie/ISRA, Direction agriculture, Centre suivi écologique
- 1. Gestion accueil et formation des stagiaires	<ul style="list-style-type: none"> • Initiation aux méthodes et outils : calcul bilan hydrique des cultures, études des mécanismes de l'adaptation à la sécheresse 	Stagiaires d'origine diverses (Sénégal, Afrique, Europe, Amérique latine, etc.)

• bilan hydrique des cycles
 plante, sol, atmosphère
 • bilan minéral des cultures
 modèle de croissance végétale
 (LAI / coefficient)
 • adaptation à la sécheresse