

150705713



REPUBLIQUE DU SENEGAL
Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage
Un Peuple - Un But - Une Foi

Institut Sénégalais de
Recherches Agricoles
(ISRA)

AS50
SAR
5713

Mémoire de Titularisation

**Pilotage de l'irrigation par modélisation du bilan hydrique
et amélioration du rendement et de la qualité
technologique de l'arachide de bouche cultivée dans la
vallée du fleuve Sénégal**

Présenté et soutenu par

Dr Benoît Sarr, bioclimatologue

Mai 2000

SOMMAIRE

SOMMAIRE	1
Remerciements	3
Avant propos	4
Résumé	4
PARTIE I	5
Introduction	6
problematique	7
Objectifs	8
Etats des connaissances	8
Les conditions limitatives de la culture d'arachide irriguée	11
Les contraintes climatiques en culture irriguée.....	11
Comportement des organes souterrains vis-à-vis du sol.....	12
PARTIE II : Matériels et méthodes	14
Données de base	15
Expérimentations d'hivernage à Bambey	15
Présentation et calage du modèle pour l'arachide	17
Présentation du modèle.....	17
Le calcul de l'évapotranspiration.....	18
L'évaporation journalière.....	18
Mise en place de la surface foliaire.....	19
La transpiration foliaire.....	20
Simulation du stock d'eau et du drainage et dans le sol.....	22
Mesure de la validité du modèle	22
Utilisation du modèle pour la détermination des traitements hydriques.....	22
Détermination des doses et fréquences d'irrigation.....	22
Traduction agronomique des trajectoires hydriques.....	25
Installations de terrain et dispositif expérimental essai SAVOIGNE... 26	26
Mise en œuvre.....	26
Matériel végétal.....	26
Conduite de la culture et traitements hydriques.....	26
Mesures climatiques.....	29
Mesures bioclimatiques et physiologiques.....	29
Suivi de l'état hydrique du sol.....	29
Suivi état hydrique des plantes.....	30
Suivi de croissance et de développement.....	30
Analyse de récolte.....	30
Rendement et qualité technologique de l'arachide de bouche	31
Définition générique de l'ARB et critères de qualité physique des graines.....	31
Mesure de la qualité.....	31
Analyse des données	31
PARTIE III : Résultats	32
Conditions environnementales	33
Le sol.....	33
Conditions climatiques.....	33
Les apports en eau par irrigation.....	35
Apports en eau.....	35
Irrigations journalières.....	35
Stocks hydriques mesurés du sol.....	37

Evapotranspirations réelles	38
Validation du modèle	40
Analyse de l'effet de l'irrigation sur la production et la qualité physique de l'arachide	41
Rendement et ses composantes chez Fleur 11	41
Rendements en gousses et en graines	41
Le nombre de gousses par m ²	41
Le poids 100 graines	41
Matière sèche végétative	41
Paramètres de qualité physique de l'ARB chez Fleur 11	42
Nombre de gousses immatures	42
Nombre de gousses moisies	42
Poids cent graine HPS	42
Nombre de graines à l'once	42
Rendement en graines HPS	42
Rendements et ses composantes chez GH119-20	42
Rendements en gousses et en graines	42
Le nombre de gousses par m ²	42
Le poids 100 graines	43
Matière sèche végétative	43
Paramètres de qualité physique de l'ARB chez GH119-20	43
Nombre de gousses immatures	43
Nombre de gousses moisies	43
Poids cent graine HPS	43
Nombre de graines à l'once	43
Rendement en graines HPS	43
Optimum production-qualité chez les deux variétés	46
Synthèse sur les performances des régimes hydriques	46
Chez Fleur 11	46
Chez GH 119 - 20	46
Eléments d'aide à la décision pour les producteurs de la vallée	48
Conclusion	49
Perspectives	49
Bibliographie	50
Annexe 1 : Synthèse de valeurs des variables d'entrée et de ou sortie) des régimes performants au pas de temps journalier	54
Annexe 2a	57
Annexe 2b	58

REMERCIEMENTS

AVANT PROPOS

Ce travail est le fruit d'une collaboration entre le CERAAS et le CIRAD, autour d'une thématique globale intitulée : «Optimisation des apports en eau pour l'amélioration de la production d'arachide de bouche dans la vallée du fleuve Sénégal ». Il a été initié dans le cadre du programme «Relance de l'arachide de bouche/ Diversification» du projet d'appui institutionnel du Centre National de l'Interprofessionnel de l'Arachide (CNIA).

Ce mémoire de titularisation présenté à l'ISRA représente notre contribution aux travaux de recherches réalisés dans le cadre du projet, et porte sur l'étude de l'effet de la gestion des apports en eau par modélisation du bilan hydrique sur l'amélioration de la production et de la qualité technologique de l'arachide de bouche.

RESUME

La production d'arachide de bouche (ARB) irriguée représente une voie intéressante de rentabilisation de la production agricole dans la vallée du fleuve Sénégal. Toutefois, pour promouvoir son accès sur les marchés extérieurs, il convient de se conformer ~~avec les~~ ^{sur} normes internationales de qualité physique et sanitaire des graines. Or, la maîtrise quantitative et fréquentielle des apports en eau constitue l'un des facteurs clés qui régit la qualité de la production. Des expérimentations portant sur les variétés d'arachide, Fleur 11, type Spanish à cycle court et GH 119-20, type Virginia, semi-tardif, ont été conduites dans deux environnements agro-écologiques (Savoigne dans la vallée du fleuve Sénégal et Bambey dans le Centre du bassin arachidier du Sénégal) pour la mise au point d'un modèle de bilan hydrique. Le pilotage de l'irrigation à l'aide de ce modèle consiste à déterminer les doses et fréquences d'irrigation nette par ajustement d'un scénario d'évolution de la FTSW simulée. Les jeux de données nécessaires pour le calage de ce modèle ont été obtenues sous diverses conditions d'alimentation hydrique à Bambey en 1995, 1996 et 2000. L'expérimentation à Savoigne, a été réalisée pour d'une part, valider ce modèle et d'autre part, tester l'effet du contrôle des apports en eau sur les paramètres de qualité technologique de l'arachide. Chacune des deux variétés a été soumise à huit traitements hydriques matérialisant notamment différents niveaux de dessèchement progressif du sol après le pic de floraison. Les irrigations nettes cumulées sont comprises entre 400 et 850 mm environ. Le R^2 ajusté du modèle est généralement supérieur à 0,90 quelque soit le traitement hydrique, ce qui montre la bonne concordance entre stocks d'eau du sol à la PER observés et ceux simulés. Des différences statistiques significatives ont été généralement observées au niveau du rendement et ses composantes. Le contrôle des apports en eau assure cependant, pour tous les régimes hydriques, un équilibre biomasse aérienne et nombre de gousses, et ensuite une bonne qualité de la production. Ainsi, le nombre moyen de graines à l'once est de 40 pour Fleur 11, et de 33 pour GH 119-20. Ces valeurs sont en conformité avec les normes de qualité imposées sur le marché. Toutefois, le rendement en grains HPS n'est pas maximal chez Fleur 11. L'optimum nombre de gousses de l'ordre de 350 m⁻² et le rendement HPS autour de 2 t ha⁻¹ a été obtenu pour GH 119-20 avec les régimes hydriques conduisant à un assèchement du sol tardif en fin de cycle. Toutefois, cette variété présente un coefficient de décorticage relativement faible et un nombre de gousses immatures relativement élevé. Il est alors nécessaire de reconduire des expérimentations portant sur des régimes hydriques plus arrosés et à déficit hydrique plus tardif en fin de cycle.

Mot-clés : Aide à la décision, modélisation, bilan hydrique, pilotage irrigation, arachide de bouche, qualité de la production; Vallée du fleuve Sénégal.

PARTIE I

INTRODUCTION

L'irrigation en zone sahélienne constitue une des voies encore peu exploitées pour l'amélioration de la production agricole (Annerose, 1995). L'arachide (*Arachis hypogaea* L.) est considérée comme une spéculation de diversification intéressante pour les périmètres hydro-agricoles (Dhéry, Ogier Ducarne, 1987), et sa culture en irrigué a été privilégiée pour participer à la sécurité alimentaire du Sénégal. Elle peut en effet jouer un rôle capital dans la vallée du fleuve Sénégal, où sa culture selon Annerose et Mayeux (1995), permettrait aux paysans d'assurer des revenus intéressants par la production de semences de qualité utilisables en système pluvial, par l'exportation vers les marchés internationaux, et par le développement d'une industrie locale de transformation. La promotion de l'arachide irriguée permettrait également de contribuer à une meilleure alimentation du bétail par la production abondante de fanes. L'arachide en tant que légumineuse fixatrice d'azote atmosphérique peut en outre être utilisée dans les systèmes de rotation céréales - légumineuses et assurer le maintien de la fertilité des sols.

Tous ces facteurs conduiraient à limiter l'exode rural et à promouvoir l'agriculture et l'élevage dans ces zones rurales, fortement déprimées par la sécheresse de ces dernières décennies.

Ce travail exploite également les connaissances acquises par le CNRA de Bambey et le Ceraas au cours de ces dernières décennies dans le domaine de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide (Khalifaoui, 1988, 1991 ; Annerose et Diagne, 1990a, 1990b, 1991 ; Mortreuil, 1993 ; Marone, 1994 ; Clavel et N'Doye, 1997, Clavel, 1998) et notamment dans la gestion de l'eau par des indices de stress hydriques du sol et de la plante (Annerose, Clouvel, Mayeux, 1996), pour optimiser les apports en eau et améliorer les rendements et la qualité de l'arachide.

L'arachide est une légumineuse annuelle oléagineuse à fructification souterraine de la famille des Papilionacées. Originnaire des régions tropicales de l'Amérique du Sud, elle a été introduite au 16^e siècle en Afrique de l'Ouest à partir du Brésil (Purseglove, 1987). Au sein de l'espèce, on reconnaît deux sous-espèces: *A. hypogaea* subsp. *hypogaea* et *A. hypogaea* subsp. *Fastigiata*. Ces deux sous-espèces correspondent respectivement au groupe *Virginia* d'une part, et au groupe *Spanish* et *Valencia* d'autre part. Le Groupe *Virginia* regroupe des variétés rampantes ou érigées, à graines dormantes, à tige principale sans inflorescence à cycle végétatif long de 110 à 160 jours. Le groupe *Valencia* et *Spanish* comprend les variétés à port toujours érigé à graines non dormantes, à tige principale sans inflorescence et une durée de cycle de 85 à 110 jours.

Le cycle de développement de l'arachide peut être divisé en 3 phases :

- La germination - début floraison est une phase durant laquelle la croissance de la plante est exponentielle et entièrement végétative ;
- La floraison - fructification qui correspond au stade où la couverture du sol est maximum et prend fin lorsque le nombre maximum de gousses est atteint. La représentation de la floraison journalière prend la forme typique d'une courbe en cloche (floraison lente, rapide, palier de forte floraison 2 à 3 semaines après le

début de floraison pour une variété de type spanish), puis chute de la floraison selon Martin et Bilquez (1960) ;

- La fructification - maturation est une période de croissance rapide de la gousse appelée *pod filling*. Elle s'achève par la maturation (*maturing*).

Boote (1982) a montré la grande sensibilité du développement de l'arachide à l'accumulation de chaleur, c'est-à-dire aux sommes de température reçues au cours du cycle (Cox et Martin, 1974). Selon les génotypes, les températures minimales de l'ordre de 11 à 14°C bloquent la germination, la croissance végétative et la floraison. Des températures maximales supérieures, de l'ordre de 40°C, dépriment la floraison. La phénologie de l'arachide est donc fortement conditionnée par la somme de températures reçues par la plante au cours du cycle. Par conséquent, la variable température tiendra une place privilégiée dans le suivi des stades de développement et l'élaboration du modèle pour l'application des doses et fréquences d'irrigation.

Le système racinaire comporte un pivot central et des racines latérales qui forment un chevelu dense de racines secondaires et pouvant s'enfoncer à plus de 1,30 m de profondeur. Les nodules fixateurs d'azote atmosphérique apparaissent à l'aisselle des racines latérales et se concentrent surtout dans les 15 premiers cm du sol.

L'arachide est cultivée dans la zone intertropicale et même au-delà, jusqu'à 40° de latitude Nord (Etats Unis, Chine) et Sud (Argentine). Dans cette zone, les étés chauds lui permettent de boucler son cycle (Schilling, 1989). Les rendements moyens à l'échelle du globe varient d'une saison à une autre et sont voisins de 1000 kg ha⁻¹ (Hassan et Ishag, 2000).

Le Sénégal offre la particularité d'une tradition fortement ancrée de production arachidière. La culture d'arachide occupe en peu plus du tiers de la superficie totale emblavée (DISA, 1998). Les rendements en gousses à l'hectare peuvent atteindre 5 tonnes en conditions irriguées. Cependant, en culture pluviale, ils restent très variables d'une saison à une autre et atteignent rarement 1 tonne en zones soudano-sahéliennes (DISA, 1989). L'arachide d'huilerie s'étend sur 727 773 ha avec une production de 505 894 tonnes. Quant à l'ARB, elle occupe une superficie de 60 000 ha pour une production estimée à 39 000 t.

L'arachide produit de la fane, riche en matière azotée, digestible et de bonne valeur alimentaire, bien appréciée par le bétail en zones soudano-sahéliennes. Cependant, l'arachide est surtout cultivée pour la forte teneur en huiles alimentaires (50%), en protéines (25%) et le reste en acides gras. Ceci lui confère, au plan nutritionnel, une importante valeur énergétique et nutritionnelle.

PROBLEMATIQUE

La production d'arachide est principalement destinée aux huileries, à l'autoconsommation ou à l'exportation de graines d'ARB. Or, sur le marché mondial de l'huile, l'arachide est en concurrence avec des oléagineux à haut rendement tels le soja, le tournesol ou le colza. L'évolution récente du marché mondial de l'arachide de bouche (ARB), notamment l'accroissement de la part auto-consommée par de gros producteurs, comme l'Inde et la Chine, offre en revanche une bonne opportunité de débouché (Clouvel, 2000). Actuellement, l'ARB représente une voie intéressante de

diversification et de rentabilisation de la production agricole dans la vallée du fleuve Sénégal (Dancette, 1998). Toutefois, pour promouvoir l'accès du Sénégal aux marchés mondiaux, il est nécessaire de garantir une production stable, dont la qualité technologique et sanitaire réponde aux normes imposées par les pays importateurs : graines mures, triées, calibrées et saines. Ce travail est destiné à mettre au point, pour les producteurs, une méthode de conduite de l'irrigation, particulièrement en fin de cycle, qui permet d'améliorer la productivité et la qualité sanitaire de l'ARB

OBJECTIFS

Les méthodes d'irrigation utilisées actuellement par les paysans pour la production d'ARB dans la vallée du fleuve Sénégal, ne contrôlent ni la fréquence, ni les quantités d'eau apportées. L'irrigation est calculée à partir de l'évapotranspiration maximale (ETM) sur l'ensemble du cycle de la culture, de façon à ce que l'eau ne soit pas limitante pour la culture (Dancette, 1983). Ceci conduit à la mise en place d'une biomasse végétative considérable et d'un nombre élevé de gousses par plante, dont toutes les graines ne seront pas formées à maturité. Or, le remplissage des gousses et la maturité physiologique des graines sont les facteurs déterminants de la qualité de l'ARB. Ce constat conduit à avancer l'hypothèse que le fonctionnement de la plante en conditions d'alimentation hydrique non limitantes sur l'ensemble du cycle (plantes à ETM) n'est pas le scénario adéquat pour une production d'ARB de qualité.

Les objectifs de cette étude sont de :

- calibrer un modèle générique de bilan hydrique de l'arachide à partir d'un jeu de données provenant de la station de Bambey ; ces données étant obtenues sur des plantes cultivées sous divers régimes hydriques avec différents niveaux de stress hydrique du sol appliqués à différentes phases du cycle de développement de l'arachide ;
- valider ce modèle pour les conditions de culture de la vallée du fleuve Sénégal ;
- rechercher le scénario hydrique permettant d'optimiser le rendement et la qualité des graines d'arachide en fonction des caractéristiques des variétés utilisées, du sol et du climat en conditions de contre-saison dans la vallée du fleuve Sénégal ;
- développer à court terme un outil d'aide à la décision notamment pour le pilotage de l'irrigation dans la vallée du fleuve Sénégal.

ETATS DES CONNAISSANCES

La détermination des besoins en eau basée sur l'évaluation de l'état hydrique du sol et/ou de la culture est une voie encore peu explorée pour optimiser les apports en eau dans les périmètres irrigués en zones sahéliennes (Annerose, Clouvel, Mayeux, 1996). Dans la vallée du fleuve Sénégal, les agriculteurs utilisent des différentes modes d'irrigation (à la raie, aspersion, goutte à goutte) sans une bonne maîtrise des quantités d'eau apportées. La détermination des stocks en eau du sol et des consommations en eau des cultures sont rendus difficiles par la variabilité des caractéristiques hydrodynamiques des sols (Clouvel et Schilling, 1995).

L'évaluation du bilan d'eau du sol et de l'état hydrique du couvert végétal dans une perspective d'une meilleure gestion des apports en eau et dans le but d'améliorer la productivité s'est faite selon diverses méthodes qui ont évolué dans le temps : utilisation des lysimètres ou évapotranspiromètres, études des variations des stocks d'eau par humidimètre neutronique et détermination des coefficients culturaux des espèces (Dancette, 1983) ; étude des transferts d'eau dans le sol par tensiométrie (Campbell *et al.*, 1959 ; Charoy *et al.* 1978 ; Vachaud *et al.*, 1991) ; développement des méthodes de bilans énergétiques à l'interface couvert-sol-atmosphère (Riou et Seguin, 1990) ; ou à partir de l'infra rouge thermique via la mesure simultanée du différentiel de température couvert -air en fonction du déficit de pression de vapeur de l'air (Jackson *et al.*, 1981 ; Idso, 1982 ; Sarr *et al.*, 1999).

Ces connaissances ont été valorisées à travers la mise au point de modèles de bilan d'eau du sol et de la culture. Les modèles de simulation du bilan hydrique agricole sont conçus, pour répondre à diverses demandes des utilisateurs (Reyniers, 1995). Parmi celles-ci figurent :

- la gestion quantitative et fréquentielle en temps réel des apports en eau pour l'amélioration de la production agricole (modèle CropWAT, Smith, 1991 ; Biriz, Raes, 1993 ; modèle Exnut et Moissnut, Davidson, 1998) ;
- la simulation de l'effet du stress hydrique (modèle Pnutgro, Boote *et al.* 1986 ; Modèle araby, Annerose et Diagne, 1993 ; Niang, 1988), ou thermique (Modèle Ridev, Dingkhun *et al.*, 1993) sur la croissance, la phénologie et/ou la productivité des cultures.

La programmation des apports en eau pour une culture dans un environnement donné est en effet régit par une multitude de facteurs liés au sol, au climat et à la plante. Seuls les modèles offrent plus de souplesse et de robustesse pour l'étude des effets de ces facteurs, dont le climat joue un rôle capital sur la production.

Des modèles simples, basés sur l'utilisation d'indices simples tels que le rapport entre quantité d'eau irriguée et valeurs cumulatives d'évaporation journalière du bac classe A ont été utilisés par Imtiyaz (2000) en zones semi-arides. Des irrigations de 18 mm pour une demande évaporative cumulée de 16-18 mm, pour des cultures maraîchères (choux, carotte, tomate, oignon...), cultivées sur sol sableux, donne une meilleure efficacité agronomique et économique.

Par ailleurs, du fait de disponibilités limitées des ressources hydriques en zone sèches, l'amélioration de la conduite des arrosages en pratiquant un rationnement de l'irrigation à des phases phénologiques bien précises, a été privilégiée dans les plantations de canne à sucre (Bi péné, *et al.*, 1997). A l'aide du suivi ou de la simulation d'un indicateur de hydrique correspondant à ETR/ETM (taux de satisfaction des besoins en eau), l'application d'une restriction hydrique à des stades moins exigeantes et pour favoriser l'enracinement (tallage et début de la repousses de cannes), et le fait d'assurer pleinement les besoins en eau de la canne en début de phase critique a permis d'améliorer l'efficacité de l'irrigation et l'économie d'eau sans réduction des rendements de la canne à sucre en Côte d'Ivoire.

Il est également possible de relier plusieurs indicateurs de stress hydrique pour déclencher l'irrigation. Ainsi, des relations entre indicateurs de contraintes hydriques

tels le Crop Water Stress Index (CWSI), ou $1-ETR/ETM$ et le rendement ont été appliqués à titre de modèles de gestion de l'irrigation et de prévisions de rendement chez le niébé (Sepaskhah et Llampour (1996). Une valeur seuil de CWSI correspondant à 0,27 a été également déterminée pour l'alerte à l'irrigation du maïs en zones sahéliennes irriguées ((Sarr *et al.*, 1999).

Les modèles de pilotage de l'irrigation qui sont destinés à répondre à la question à savoir quand et quelle quantité d'eau irriguée, peuvent être fondés également sur le suivi de potentiel hydrique foliaire (Turner, 1988), de l'indice de stress hydrique des cultures (Charbonnier, 1984). Une valeur seuil d'un CWSI de 0,3 correspondant à un potentiel hydrique foliaire de -1 MPa a été retenue pour l'alerte à l'irrigation de l'arachide dans la vallée du fleuve Sénégal (Annerose *et al.*, 1986).

De plus en plus, ces modèles sont fondés sur l'évaluation de l'eau disponible pour la plante au niveau de son profil racinaire (George *et al.*, 2000). Cette eau disponible est exprimée par différentes acceptions selon les auteurs : « available soil water », « fraction of available water depletion from the effective root zone (Wright *et al.*, 1994 ; depletion of the readily available soil water, (Allen *et al.*, 1998), « fraction of transpirable soil water ou FTSW (Lecoeur et Sinclair, 1996).

En ce qui concerne les effets des conditions d'alimentation hydrique sur la qualité de la production, ils sont très variables selon les stades de développement, l'espèce ou le génotype étudiés. En condition hydrique non limitante, les gousses produisent les phytoalexines, qui sont les substances inhibant le développement des champignons, (Wotton et Strange, 1985). Ces substances diminuent en conditions de restriction hydrique. Les gousses matures échappent cependant à la contamination même lorsqu'elles sont soumises à un rationnement hydrique (Dorner *et al.*, 1989). Lorsque l'arachide est bien irriguée durant la phase terminale, la contamination par l'aflatoxine n'est pas significative (Wilson et Stansell, 1983). Au cours d'une expérimentation multilocale conduite dans le Sud-Est des Etats-Unis en condition d'alimentation hydrique variées, la contamination par aflatoxine a été notée à 140 ppb. Cette valeur est plus faible pour les plantes d'arachide soumise à des irrigations optimales que pour les plants non irriguées (Lamb, 1997). Par ailleurs, l'irrigation est associée à une augmentation significative du « farmers stock grade ¹», des jumbos² » et de la capacité germinative des graines. Enfin, la production d'aflatoxine par les champignons n'est effective que dans une gamme restreinte de températures de la géocarposphère comprise entre 27 et 34°C. Or, cette température du sol est variable suivant l'état de développement de la culture. Elle est également variable selon l'état hydrique du sol (Cole *et al.* 1982) et donc par conséquent suivant le régime hydrique.

Dans ce contexte, la maîtrise des apports en eau et par conséquent des condition d'humidité et de température de sol constitue un facteur clé pour le contrôle du rendement et de la qualité de l'ARB.

¹ Les farmers stock grade désignent différents paramètres de qualité de gousses ou graines après passage à une trieuse, calibreuse et splituse, puis détermination de la contamination par l'aflotoxine et du prix de la production.

² Les jumbos indiquent généralement la taille la plus élevée des graines d'arachide (environ 10 graines à l'once)

LES CONDITIONS LIMITATIVES DE LA CULTURE D'ARACHIDE IRRIGUEE

Les contraintes climatiques en culture irriguée

Le cycle de développement de l'arachide se fait selon le concept de la sommation des températures (en unités de chaleur cumulatives ou degré-jours). Le développement jusqu'à la maturité physiologique est par conséquent sous contrôle thermique.

Toutefois, selon Rijks (1973) l'introduction, en contre saison sèche, de la culture irriguée peut entraîner l'assujettissement des cultures à des contraintes climatiques dont on n'avait à se préoccuper auparavant. Parmi les facteurs limitant la croissance et le potentiel de production des cultures irriguées telles que l'arachide, le maïs... en contre saison sèche dans la vallée du fleuve Sénégal, figurent les extrêmes climatiques : températures nocturnes et matinales basses en contre saison froide, températures élevées, vents chauds et secs, hygrométrie faible, forte radiation et évaporation excessive en contre saison chaude.

La culture de contre-saison chaude est affectée par des températures basses et variables aux stades de la germination et de la croissance végétative. Les minimums de température à la station de référence N'Diaye en début de culture (mi-mars) sont de l'ordre de 15° C. A ces minimums succèdent parfois des chaleurs extrêmes avec des maximums de température de plus de 40 °C (Sarr, 1995). Selon Cox (1979), la température optimale de croissance de l'arachide se situe autour de 28 °C pour les variétés à cycle court de type *spanish*. Des températures moyennes journalières inférieures à 11°C inhibent le développement de l'arachide, contre 6 à 11 °C pour le maïs selon les géotypes (Niang, 1989). Les variétés de 90 et 105 jours d'arachide ont besoin de 1500 et 1800 degré-jours respectivement pour boucler leur cycle végétatif et un rayonnement global moyen journalier de l'ordre de 1800 J cm⁻² j⁻¹ (Gautreau, 1973).

L'exploitation des données climatiques à la station de N'Diaye au cours de la contre saison chaude (du 01/03 au 30/06) et pour la période 1991 et 1999, fait apparaître l'existence d'années «chaudes» et d'années «froides». Le cumul de 1500 et 1800 degré-jours de température est obtenu respectivement en «années chaudes» le 9 juin et le 27 juin et celui en «années froides» respectivement le 29 juin et le 20 juillet. L'année 1997 est la plus chaude et 1991 la plus froide (figure 1). La contre saison 2000 est classée avec 1991 comme la plus «froide» de ces dix dernières années (voir plus loin).

L'année «froide» provoque un allongement significatif de la durée semis-maturité, qui peut atteindre plus de 21 jours.

L'année 1996 a été considérée comme année médiane.

Une exploitation minutieuse de la figure 1 montre que les courbes des sommes de températures en années « froides », « moyennes » ou « chaudes » ne se croisent pas. Il est alors possible un mois après le démarrage d'une campagne de contre saison de prévoir l'évolution future des températures de la saison en cours.

Cette variabilité climatique annuelle apparaît également, mais dans une moindre mesure, dans le cas du rayonnement (figure 2).

Ces observations climatiques mettent en évidence l'intérêt d'un calage judicieux du calendrier cultural. En effet, dans cette zone, les semis en mi-mars permet aux variétés à durée de cycle de 1500°j (Fleur 11) de boucler leur cycle cultural avant les pluies utiles d'hivernage qui surviennent en médiane entre le 15 et le 30 juillet (Sarr, 1995). En revanche, pour les variétés à cycle plus long (GH 119 -20), en années « froides », les opérations post-récolte au champ (séchage, battage) sont gênées par les premières pluies d'hivernage. Cette interférence avec les pluies peut altérer la qualité de la production et accroître les risques de contamination par aflatoxine.

Comportement des organes souterrains vis-à-vis du sol

Globalement, on trouve quatre grands types de sols destinés potentiellement à la culture d'arachide : les sols des bourrelets de berge (20 % argiles), les sols des zones basses (Fondé lourd et *hollaldé*, avec des teneurs en argile de 20 à 80 %), les sols de la plaine sableuse ou *Diéri* et ceux de la zone de raccordement entre les zones basses et le *Diéri* (15 à 20 % d'argile).

Les sols pour lesquels les teneurs en argile sont inférieures à 20 - 30 %, tels que les sols du *Diéri* sont considérés comme plus adaptés à la culture de l'arachide (Schilling, 1999). Les teneurs en argile supérieures à 20-30 % constituent, en effet, les seuils au de-là desquels les caractéristiques physiques du sol entravent la mise en place d'un système racinaire performant. Ces conditions favorisent également une plus forte résistance mécanique à la pénétration des gynophores conduisant à une réduction du calibre des gousses.

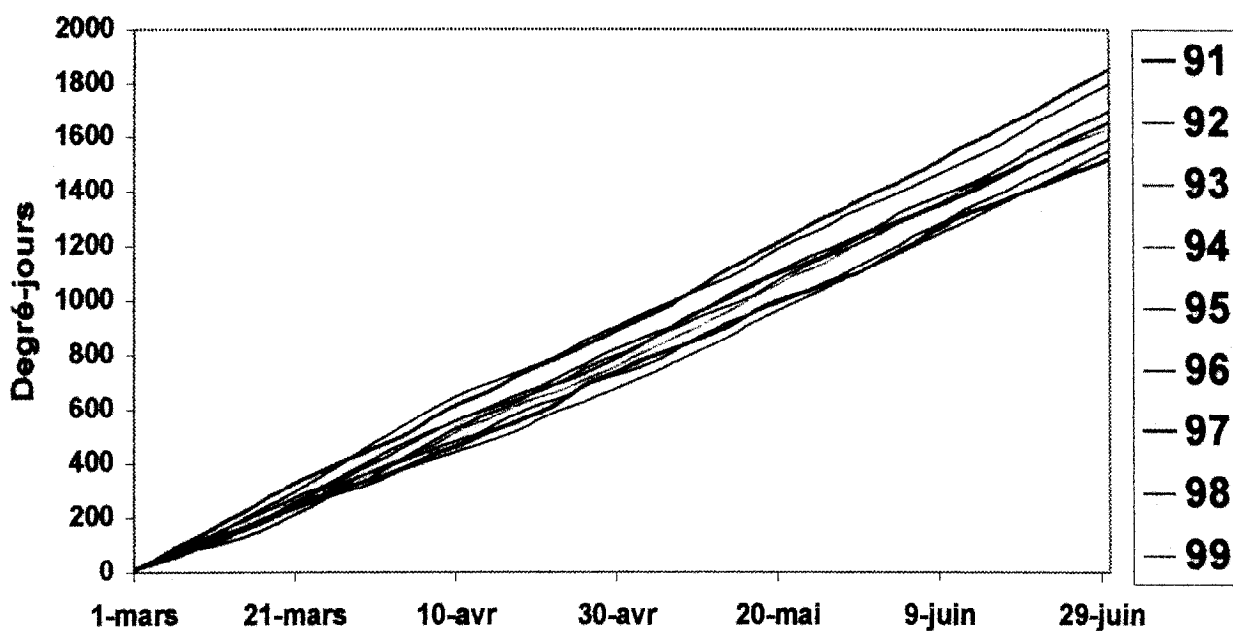


Figure 1 : Variabilité inter-annuelle des cumuls de températures du 01/3 au 30/6 à la station de N'Diaye (1991 à 1999)

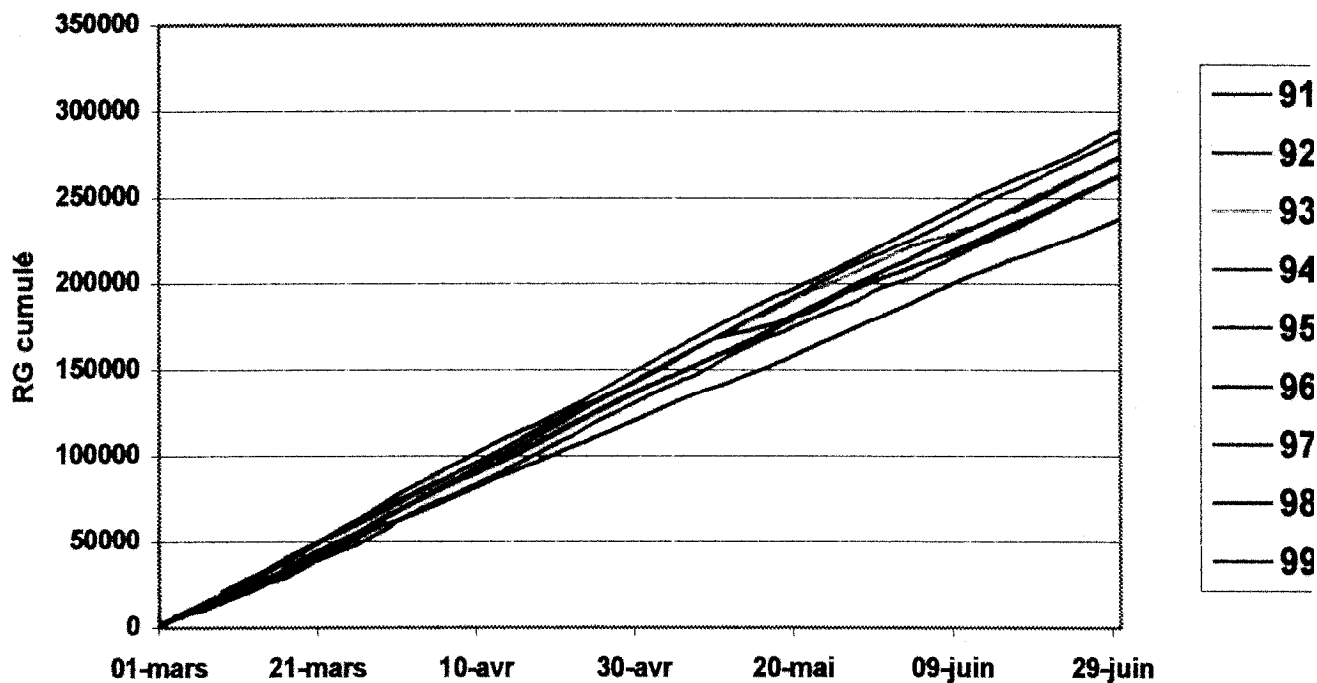


Figure 2 : Variabilité inter-annuelle du rayonnement global cumulé du 01/3 au 30/6 à la station de N'Diaye (1991 à 1999)

PARTIE II : MATERIELS ET METHODES

DONNEES DE BASE

Le travail a été mené en trois étapes. La première a consisté à faire le diagnostic de l'existant (revue bibliographique) sur les travaux menés sur des légumineuses (Gosse *et al.*, 1986) et sur les expérimentations et les résultats obtenus, sur l'arachide au cours de ces dix dernières années (surtout au cours des années 1995 et 1996) par le Ceraas à la station agronomique de Bambey. Ceci, pour l'obtention de jeu de données et de paramètres spécifiques à l'arachide et nécessaires au calage du modèle.

La seconde étape a consisté à mettre en place un essai en contre saison chaude 2000 dans la vallée du fleuve Sénégal pour obtenir des données pour la validation du modèle.

Enfin, les données de l'hivernage 2000 ont été par la suite intégrées dans ce travail pour d'une part affiner le calcul des paramètres variétaux et de variables d'état spécifiques aux deux variétés d'arachide étudiées (Fleur 11 et GH 119-20) et d'autre part tester la validité et la robustesse du modèle.

EXPERIMENTATIONS D'HIVERNAGE A BAMBEY

Ces essais ont été conduits par le Ceraas en 1995, 1996. L'expérimentation de 2000 a été mise en place dans le cadre de la Convention Ceraas-Cirad (Projet CNIA). Ils ont permis de tester plusieurs régimes hydriques dont on a pu suivre l'effet sur l'évolution de l'état hydrique du sol et sur les paramètres de développement de différents géotypes d'arachide.

Les essais de 1995 et 1996 ont porté notamment sur les variétés à cycle précoce à très précoce telles que 55-437, Fleur 11, GC 8-35. L'expérimentation de 2000, mieux ciblée par rapport à l'obtention de référentiels pour la modélisation du bilan d'eau a porté sur Fleur 11 et GH 119-20.

Les expérimentations de Bambey sont conduites sur sol ferrugineux tropical faiblement lessivé appelé localement *Dior*. Hormis l'application différentielle du régime hydrique, les cultures sont conduites en conditions optimales (labour, densité de semis et fertilisation optimale, démariage). Les variétés ont été soumises, suivant un dispositif en *split plot* à plusieurs régimes : plantes bien alimentées en eau ; stress hydrique en phase végétative sévère à très sévère ; stress hydrique en phase floraison ; stress hydrique durant la stade formation des gousses.

Deux méthodes sont utilisées pour l'application du stress hydrique. Un semis décalé en mi-août pour faire coïncider le stress hydrique avec la phase terminale du cycle (cas de l'année 1996). La seconde méthode consiste à un bachage des parcelles à l'aide d'un dispositif d'abri métallique, permet l'application des différents stress hydriques (photo 1). Un système d'irrigation par aspersion à l'aide de rampes oscillantes assure les compléments d'eau.

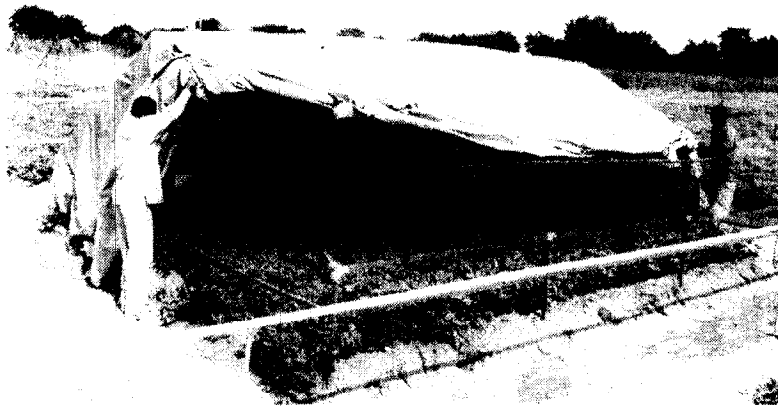


Photo 1 : Débachage d'une parcelle expérimentale

Les mesures ont porté sur le suivi des paramètres climatiques (pluviométrie, température et demande évaporative), de la teneur en eau du sol, du front d'humectation (ProfBil) à la sonde à neutrons, du développement foliaire par l'analyseur LAI 2000 et par planimétrie, des profondeurs (ProfRac) et vitesses d'élongations racinaires (Vrac) puis la transpiration foliaire (Trj) par le poromètre Licor-1600. La mesure de l'indice foliaire a été effectuée à l'aide du LAI-2000 (Plant Canopy analyser, Li-Cor). Cet appareil nous donne également les valeurs du DIFN (diffuse non interceptance), ou fraction de ciel visible au niveau du sol. Les surfaces foliaires ont été mesurées par planimétrie (Delta-T MK2 modèle AMS). Les mesures de profondeurs racinaire ont été effectuées par la méthode des fosses ouvertes au pas de temps hebdomadaire. Ces mesures nous ont permis d'obtenir des renseignements sur la dynamique racinaire en fonction des stress appliqués et de calculer la vitesse d'élongation racinaire journalière. Les mesures de surface foliaire par planimétrie sont souvent longues et fastidieuses, mais ont l'avantage de ne prendre en compte que la surface considérée. Une relation entre indice de surface foliaire et surface foliaire a été établie (figure 3). Certaines relations telles Trj et teneur en eau du sol à une ProfRac donnée ont été également affinées pour Fleur 11 et GH 119-20 au cours de l'expérimentation de 2000(voir plus loin).

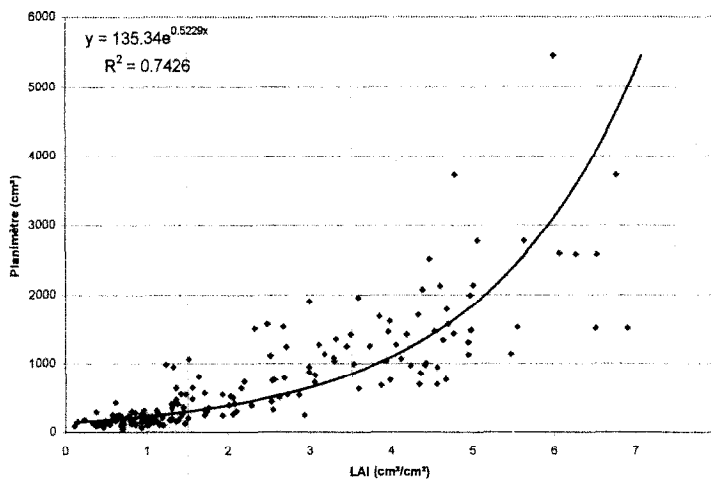


Figure 3: Relation entre indice de surface foliaire (LAI2000) et surface foliaire (planimètre)

PRESENTATION ET CALAGE DU MODELE POUR L'ARACHIDE

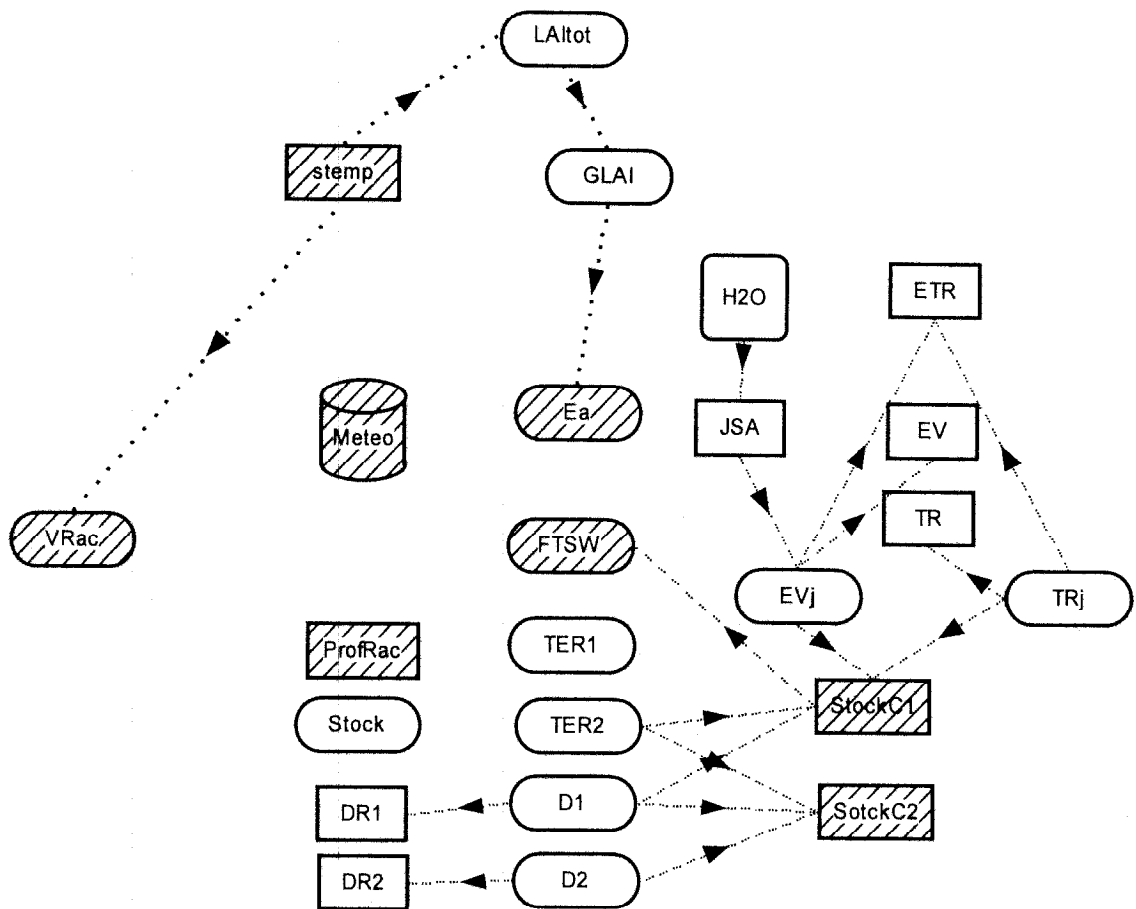
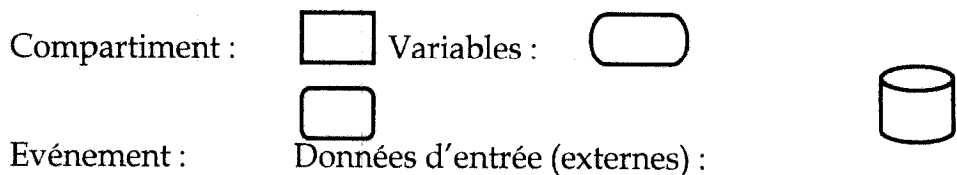


Figure 4. Architecture du modèle de bilan hydrique



Présentation du modèle

Le modèle de bilan hydrique est un ensemble d'équations simples qui permettent de simuler au pas de temps journalier le bilan d'eau d'une culture d'arachide soumise à différentes doses d'irrigation, en fonction des conditions environnementales (climat, sol) et de l'état de la plante (besoins en eau, indice foliaire, croissance racinaire).

Ce modèle est de type réservoir, avec une séparation de l'évaporation du sol nu et de la transpiration foliaire.

Le modèle générique de bilan hydrique fonctionne sur deux réservoirs d'eau du sol (figure 4). On distingue en effet le compartiment 1, exploré par les racines et qui contient le stock d'eau C1, partir duquel se font l'évaporation (Evj), la transpiration (TRj), les pertes par drainage (D1), et qui reçoit les apports par pluies et irrigations (P

et Irr). Le sol restant à être exploré par les racines est le compartiment 2, contenant le stock d'eau C2.

Le compartiment 1 évolue progressivement vers le compartiment 2 en fonction de la vitesse racinaire (Vrac) et donc de la profondeur racinaire (ProfRac). Vrac évolue linéairement en fonction de la température.

$Vrac = p (T_{moy} - T_{base})$, avec T_{base} est de 11, p moyen a estimé à 1,14 pour les deux variétés.

La profondeur maximale sur laquelle se fait le bilan (ProfBil) limite le compartiment 2. Elle correspond généralement au front d'humectation du sol. ProfBil pourra ou non correspondre à la profondeur maximale d'enracinement de la plante (ProfMax).

Le modèle fonctionne à partir de données météorologiques telles que la température moyenne (T_{moy}), la somme de température ($Stemp = \Sigma(T_{moy} - 11)$), le rayonnement global (RG), l'évapotranspiration Penman (ETP), les apports d'eau par pluie (P) et irrigation (Irr) et les cinétiques de croissance (racine et indice de surface foliaire). Il comporte un jeu de paramètres spécifiques d'une espèce et d'une variété donnée.

Le calcul de l'évapotranspiration

L'évaporation journalière

L'évaporation journalière (boîte EVj), qui dépend essentiellement des conditions atmosphériques, évolue en fonction de l'efficacité d'interception de la lumière (E_a), calculée comme suit :

$$EV_j (\text{mm.j}^{-1}) = ETP \times (\sqrt{JSA+1} - \sqrt{JSA}) \times (1 - E_a)$$

$$\text{où } E_a = E_{amax} \times (1 - e^{(-k \times LAI)})$$

En référence à des plantes en C3 comme le niébé et la luzerne, une valeur de 0,95 a été retenue pour E_{amax} (Gosse et al., 1986). k est le coefficient d'extinction de la lumière et est spécifique d'une espèce et de la latitude de culture. Il est proche de 0,8 pour les plantes à feuilles proche de l'horizontale comme l'arachide. Cette valeur a été recalculée au cours de l'essai de l'hivernage 2000 à partir de la loi de Beer (figure 5)

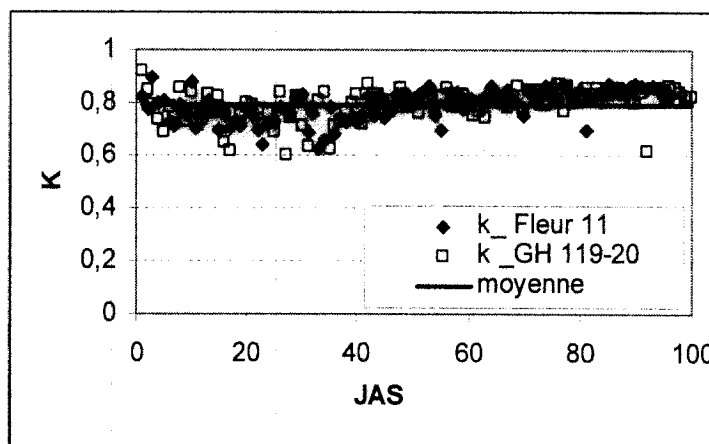


Figure 5 : Détermination du coefficient d'extinction de la lumière chez Fleur 11 et GH 119-20.

$$K = \frac{-\ln \text{DIFN}}{\text{Surface foliaire}} \text{ avec,}$$

DIFN : « diffuse non interceptance »

Surface foliaire: surface foliaire mesurée par un planimètre

Pour Fleur 11 et GH 119-20, une valeur identique de 0.8 a été obtenue.

En outre, le calcul de l'évaporation est fonction de l'ETP et d'un JSA (jour après pluie) correspondant au nombre de jour depuis la dernière pluie ou irrigation, destiné à moduler l'évaporation en fonction de l'état d'encroûtement de l'horizon de surface.

Mise en place de la surface foliaire

La simulation de l'indice foliaire (LAI_{tot}) se fait en fonction des températures perçues pendant le cycle. Cette mise en place se fait en deux phases. La première va du début du cycle jusqu'à la sénescence, correspondant respectivement à 1040 et 1505 degré-jours pour Fleur 11 et GH 119 -20, et suit une évolution logistique. La seconde correspond à une décroissance linéaire survenant à partir de la sénescence, jusqu'à la maturité.

Tableau 1 : Paramètres de contrôle de la mise en place de la surface foliaire totale (a,b,c pour la croissance logistique, et d, e pour la décroissance linéaire)

Parcelle	A	b	C	Stemp sénescence	d	e
1	3,185	775	117	1040	-0,0052	8,2783
2	2,89	814	195	1040	-0,0052	7,5919
3	3,97	813	135	1040	-0,0052	8,7369
5	3,21	756	99	1040	-0,0052	8,4318
7	2,58	801	200	1040	-0,0052	7,3735
8	2,97	799	143	1040	-0,0052	7,8976
10	5,33	869	224	1505	-0,0052	12,868
12	4,83	829	230	1505	-0,0052	12,419
13	4,51	800	222	1505	-0,0052	12,161
16	4,66	757	179	1505	-0,0052	12,421
18	2,63	693	173	1505	-0,0052	10,437
20	4,06	715	193	1505	-0,0052	11,825
22	3,54	663	176	1505	-0,0052	11,342
23	3,03	674	144	1505	-0,0052	10,852
26	8,42	1137	233	1040	-0,0052	8,7264
32	4,7	794	134	1040	-0,0052	9,4428

$$LAI_{tot} = \frac{a}{1 + e^{\frac{Stemp-b}{c}}} \text{ par défaut (phase 1)}$$

a , b et c sont des paramètres de contrôle de l'amplitude et de la forme spécifiques au génotype et aux conditions environnementales (alimentation hydrique notamment)

sinon $LAI_{tot} = -d \times Stemp + e$, for $stemp > 1040$ (pour Fleur11) d et e sont des paramètres de contrôle de l'amplitude et de la pente de la fonction. (tableau 1).

Le stress hydrique limite la croissance potentielle de l'indice de surface foliaire totale. Pour tenir compte de son effet des coefficients de stress hydrique compris entre 0 et 1 peuvent être utilisés pour corriger les calculs de développement foliaire. Présentement, le modèle associe un régime hydrique à un développement foliaire qui est considéré en fonction des données d'entrée.

La transpiration foliaire

La transpiration (TR_j) est calculée en fonction de E_a , de l'ETP et d'un coefficient a ou KC_{MAX} spécifique de l'espèce considérée. Ce KC_{MAX} a été déterminé en conditions d'alimentation hydrique non limitante et pour une couverture complète du sol (LAI de plus de 4 à 5 environ); a ou KC_{MAX} est alors égal à ETR_{max} ou ETM/ETP.

Pour les variétés Fleur 11 et GH 119-20, le calage, à partir de jeux de données de Bambej, a permis d'obtenir un K_{cmax} de l'ordre de 1,25 correspondant à des évapotranspirations maximales (ETM) de 7,7 à 8 mm j⁻¹ et pour une demande évaporative de 6 mm j⁻¹ environ.

De plus, le modèle pondère la transpiration journalière en fonction de l'état hydrique du sol.

L'indicateur retenu pour caractériser l'état hydrique du sol est la FTSW, calculé à partir des données neutroniques, de la profondeur de sol explorée par les racines de l'arachide et des caractéristiques hydrodynamiques du sol (Pf4.2, Pf3 et réserve utile du sol en mm m⁻¹ de sol). L'évolution dans le temps des valeurs de FTSW données correspond à une trajectoire hydrique.

Une relation a donc été établie entre ces deux variables caractérisant ces deux états (sol et plante). Des relations empiriques sont utilisées pour relier FTSW à une variable (le plus souvent normalisée) caractérisant l'état hydrique de la plante comme le rapport Tr/Tr_{max}, Gs/Gs_{max} ou ETR/ETM.

Pour Sadras et Milroy (1996) FTSW et Tr/Tr_{max} sont liés par un modèle de réponse non linéaire par la relation suivante :

$$\frac{Tr}{Tr_{max}} = \frac{1}{1 + e^{\frac{FTSW-f}{g}}}$$

où Tr/Tr_{max} est le rapport entre les valeurs de la variable mesurée sur des plantes stressées et des plantes bien alimentées en eau (Lacape, 1998)

f et g : paramètres spécifiques à un géotype et une situation agronomique (sol-climat) donnée.

La figure 6 illustre ces types de relations entre transpirations relatives et la FTSW pour les variétés d'arachide Fleur 11 et GH 119-20. A partir d'un FTSW correspondant à une humidité critique du sol, le stress hydrique réduit de façon exponentielle la transpiration foliaire. Cette diminution de la transpiration consécutive à une fermeture progressive des stomates est plus rapide chez la variété GH 119-20 réputée plus sensible au déficit hydrique que la variété Fleur11.

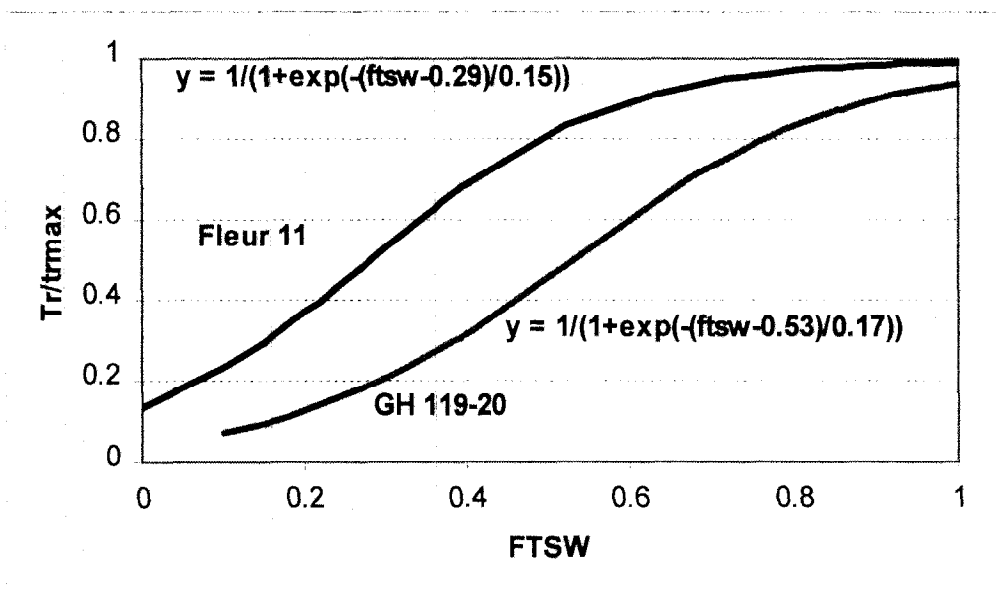


Figure 6 : Relation entre fraction d'eau transpirable dans le sol e et transpiration relative de deux variétés d'arachide Fleur11 et GH 119-20

$f = 0,53$ et $g = 0,17$ pour GH 119-20 ; $f = 0,29$ et $g = 0,15$ pour Fleur 11.

Ce sont ces paramètres qui sont pris en compte dans le modèle.

$$Tr_j (\text{mm.j}^{-1}) = K_{c \max} \times ETP \times \frac{1}{1 + e^{\frac{FTSW-f}{g}}} \times E_a$$

$$ETr_j (\text{mm.j}^{-1}) = EV_j + TR_j$$

La fraction d'eau transpirable est simulée comme suit :

$$FTSW (\%) = \frac{\text{Stock ProfRac}}{(\text{Stock PF3} - \text{Stock PF4.2}) \times \text{ProfRac}}$$

Simulation du stock d'eau et du drainage et dans le sol

Les réserves en eau du sol sont constituées par la quantité d'eau dans le compartiment 1 (Stock1) délimité par la profondeur racinaire et celle du compartiment 2 (Stock2).

$$d\text{StockC1}/dt = P + \text{Irr} - \text{TRj} - \text{EVj} + \text{VRac} * \text{TER2}.$$

Sa valeur initiale est de $100 * \text{RUC1i}$, RUC1i correspond à la réserve utile initiale du compartiment délimité par la profondeur de semis (en mm d'eau mm⁻¹ de sol. Par exemple, pour une réserve utile du sol (RU) donnée, une profondeur de semis de 3 cm et une profondeur de bilan de 100 cm, $\text{RUC1i} = 3/100 * \text{RU}$.

$d\text{StockC1}/dt$ correspond à la variation quotidienne de stock ;

$d\text{StockC2}/dt = -\text{VRac} * \text{TER2} + \text{D1} - \text{D2}$, sa valeur initiale est de $\text{ProfBil} - 100 * \text{RUC2i}$, avec RUC2i , la réserve utile dans le compartiment 2 restant à être exploré, soit $\text{RU} - \text{RUC1i}$.

Une teneur en eau relative du sol (TER) est considérée dans le calcul du stock d'eau au niveau du gain de couche de sol gagné par la croissance racinaire par le compartiment 1 (TER 1) mais perdu par le compartiment 2 (TER 2).

$$\text{TER1} = \text{StockC1} / \text{ProfRac}$$

$$\text{TER2} = \text{StockC2} / (\text{ProfBil} - \text{ProfRac})$$

De même, le modèle calcule le drainage quotidien du compartiment 1 (D1) et celui du second (D2).

Il y a drainage dans le compartiment 1 (D1) lorsque $\text{StockC1} > \text{ProfRac} * \text{RU}$. De même D2 est pris en compte dès que $\text{StockC2} > (\text{ProfBil} - \text{ProfRac}) * \text{RU}$.

MESURE DE LA VALIDITE DU MODELE

La comparaison entre valeurs observées (Yobs) et valeurs simulées (Ysim) a permis de tester la validité du modèle. Sa performance a été estimée au moyen d'un coefficient R^2 ajusté (coefficient de détermination) calculé selon la méthode suivante :

$$R^2 = \frac{\sum (Y_{\text{obs}} - Y_{\text{sim}})^2}{\sum (Y_{\text{obs}})^2}.$$

Seules les valeurs de stockC1 mesurées à l'aide de la sonde à neutrons peuvent servir de test de validation du modèle. Elles sont confrontées avec celles simulées par le modèle au niveau de chaque parcelle et non au niveau des moyennes des traitements hydriques.

Utilisation du modèle pour la détermination des traitements hydriques

Détermination des doses et fréquences d'irrigation

Pour déterminer des doses et des fréquences d'apport d'eau pour l'essai de contre saison dans la vallée, on a eu recours à un modèle de bilan hydrique calibré au préalable sur l'arachide à partir des données expérimentales de Bambey.

Après le calage du modèle sur l'arachide, des simulations ont été effectuées sur la base d'une année climatique médiane (année 1996).

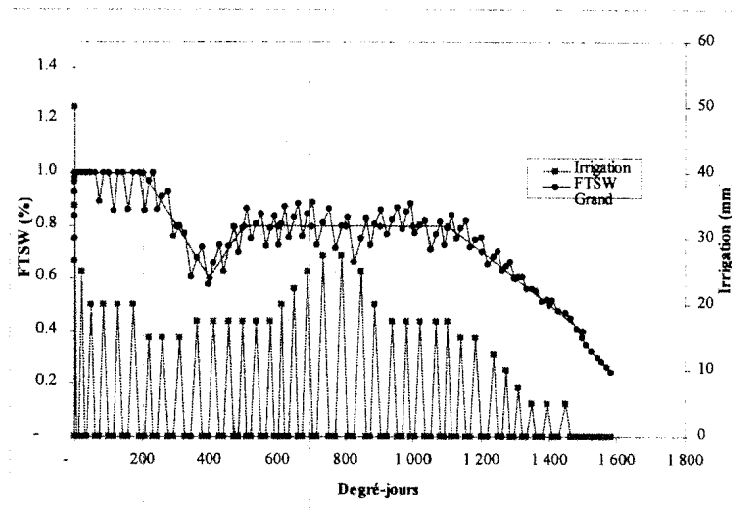


Figure7 : Exemple d'ajustement des doses et fréquences d'irrigation à un scénario d'évolution de la fraction d'eau transpirable dans le sol

identifiée à la suite d'une étude climatique de la zone d'essai (voir figure 1) et pour une RU de sol sableux de 50 mm m⁻¹ de sol.

Un exemple d'ajustement des doses et fréquences d'irrigation à un scénario d'évolution de la FTSW recherchée est présenté à la figure 7.

Le calendrier des irrigations simulées pour les différents traitements hydriques appliqués au cours de l'expérimentation (voir plus loin) de contre saison 2000 est consigné sur le tableau 2 pour les variétés Fleur11 et GH 119-20 respectivement.

Tableau 2 : Calendrier d'irrigations nettes générées par modélisation du bilan hydrique (en mm)

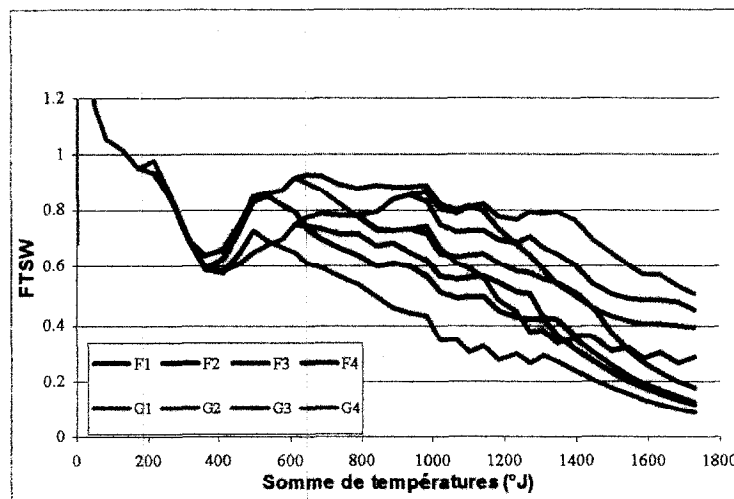
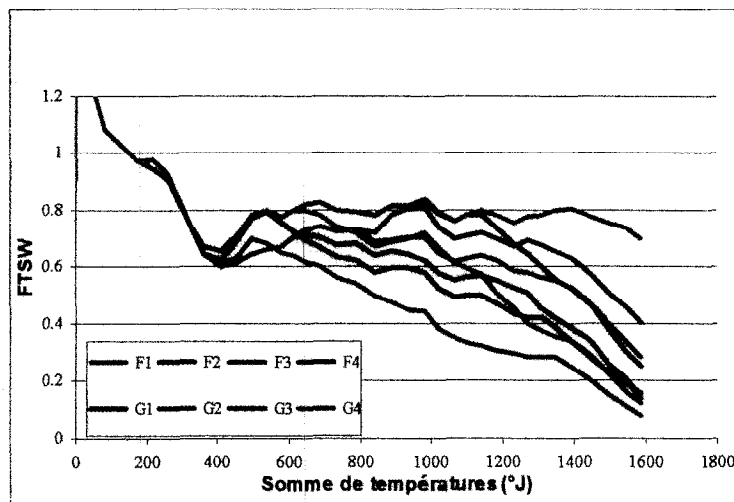
JJ	JAS	Date	F1	F2	F3	F4	G1	G2	G3	G4
69	-1	9-mars	35	35	35	35	35	35	35	35
72	2	12-mars	25	25	25	25	25	25	25	25
75	5	15-mars	20	20	20	20	20	20	20	20
78	8	18-mars	20	20	20	20	20	20	20	20
81	11	21-mars	20	20	20	20	20	20	20	20
84	14	24-mars	20	20	20	20	20	20	20	20
87	17	27-mars	15	15	15	15	17,5	17,5	17,5	17,5
90	20	30-mars	15	15	15	15	15	15	15	15
93	23	2-avr	15	15	15	15	15	15	15	15
96	26	5-avr	15	15	17,5	17,5	15	15	15	15
99	29	8-avr	15	17,5	17,5	17,5	15	15	15	15
102	32	11-avr	15	17,5	17,5	17,5	12,5	12,5	12,5	12,5
105	35	14-avr	15	17,5	17,5	17,5	12,5	12,5	12,5	12,5
108	38	17-avr	12,5	17,5	17,5	17,5	15	15	15	15
111	41	20-avr	12,5	15	17,5	17,5	15	15	15	15
114	44	23-avr	12,5	15	20	20	17,5	17,5	17,5	17,5
117	47	26-avr	12,5	15	20	22,5	17,5	20	20	20
120	50	29-avr	15	17,5	22,5	25	20	22,5	22,5	22,5
123	53	2-mai	15	20	25	27,5	22,5	25	25	25
126	56	5-mai	15	20	25	30	25	27,5	27,5	27,5
129	59	8-mai	10	15	20	27,5	17,5	20	25	25
132	62	11-mai	5	12,5	15	17,5	15	15	20	20
135	65	14-mai	5	10	15	17,5	10	15	17,5	17,5
138	68	17-mai	5	7,5	15	17,5	10	12,5	15	17,5
141	71	20-mai		7,5	12,5	17,5	10	12,5	15	17,5
144	74	23-mai	5	7,5	10	17,5	10	12,5	15	17,5
147	77	26-mai		7,5	10	17,5	10	12,5	15	17,5
150	80	29-mai	5	7,5	7,5	15	10	12,5	15	17,5
153	83	1-juin		5	5	15	10	12,5	15	17,5
156	86	4-juin	5	5	5	12,5	7,5	10	15	17,5
159	89	7-juin		5		10	7,5	10	15	17,5
162	92	10-juin	5	5	5	7,5		7,5	10	15
165	95	13-juin				5	5	7,5	10	15
168	98	16-juin			5	5		5	7,5	12,5
171	101	19-juin				5	5	5	7,5	12,5
174	104	22-juin						5	7,5	12,5
177	107	25-juin					5	5	7,5	10
180	110	28-juin						5	7,5	10
183	113	1-juil					5	5	7,5	10
186	116	4-juil						5	7,5	7,5
189	119	7-juil					5	5	5	7,5
192	122	10-juil						5	5	7,5
195	125	13-juil					5	5	5	5
198	128	16-juil						5	5	5

Traduction agronomique des trajectoires hydriques

Les régimes hydriques ont été définis en tenant compte des phases critiques et sensibles du développement de l'arachide. Ils ont consisté en :

- la saturation du profil avant le semis ;
- au maintien des plantules en confort hydrique (FTSW autour de 0,8 à 1) jusqu'à une semaine avant la floraison ;
- l'application d'un déficit hydrique modéré (FTSW autour de 0,6-0,5) pour assurer un meilleur enracinement de la plante et une floraison groupée (Schilling, 1999) ;
- une alimentation hydrique optimale pendant la phase de floraison intense ;
- un dessèchement progressif pour permettre une production raisonnable de biomasse végétative et un nombre de gousses par plant compatibles avec la capacité de la plante à les conduire à maturité.

Les différents régimes hydriques traduisent pour Fleur 11 et GH 119-20 des intensités différentes du dessèchement du profil (figure 8).



Figures 8 : Modélisation de l'évolution de la FTSW au cours de l'essai pour différents traitements hydriques chez les variétés Fleur 11 (en haut) et GH 119-20 (en bas)

INSTALLATIONS DE TERRAIN ET DISPOSITIF EXPERIMENTAL ESSAI SAVOIGNE

Mise en œuvre

Le site d'expérimentation se situe à 40 km à l'Est de saint Louis, sur une parcelle de l'exploitation de M. Seck (AGRINORD) sur sol sableux appelé localement Diéri.

Le mode d'irrigation retenu est le goutte à goutte qui permet de quantifier de manière précise les apports d'eau.

Matériel végétal

Deux variétés sont étudiées en raison de leurs caractéristiques technologiques connues et appréciées au Sénégal. Il s'agit de Fleur 11 à cycle court de 1500 degré-jours et GH 119-20 à cycle semi-tardif de 1800 degré-jours.

La variété Fleur 11, de type *Spanish*, a un port est érigé et à grandes folioles. Elle produit des gousses plus petites que celles de la variété GH 119-20. Les gousses sont généralement bigraines et bien groupées, ce qui facilite la récolte. La graine est non dormante. Cette variété est très appréciée en zone sahélienne pour sa productivité et sa bonne tolérance à la sécheresse. Elle est également très appréciée en culture irriguée pour sa bonne réponse à l'irrigation.

La variété GH 119-20, de type *Virginia*, a port érigé et grandes folioles. Elle forme de grosses gousses arrondies. Leur groupement dans le sol est moyen. La graine est de dormance moyenne. Elle n'est pas tolérante à la sécheresse mais est d'une excellente qualité comme arachide de bouche.

Conduite de la culture et traitements hydriques

Au total, chaque variété a été soumise à 8 traitements hydriques : F1, F2, F3, F4, G1, G2, G3, G4. Ces régimes correspondent au scénario d'évolution de la FTSW (figure 8).

Pour chaque variété, les traitements sont placés selon un dispositif en blocs randomisés. Le nombre de traitements et des répétitions est imposé par les installations de terrain, à savoir 72 lignes de 150 m dont 34 m utiles et 4 lignes par parcelle. Sur ces 34 m, 6 m sont réservés aux mesures de rendement et de qualité finales, 4 m aux mesures d'état hydrique du sol et des plantes et 24 m aux prélèvements destructifs (tableau 3 et figure 9). La distance entre les lignes est de 50 et 60 cm respectivement pour Fleur 11 et GH 119-20 et de 15 cm pour la distance entre plants. 15 jours après un semis manuel à 2 graines par poquet, un démariage a été réalisé suivi d'une fertirrigation de NPK (46/46/ 86).

Tableau 3 : Dispositif expérimental

Porte rampe



Parcelle 1	Parcelle 2	Parcelle 3	Parcelle 4
Variété F11	Variété F11	Variété F11	Variété F11
F11_F3	F11_F1	F11_F4	F11_F2

Parcelle 5	Parcelle 6	Parcelle 7	Parcelle 8
Variété F11	Variété F11	Variété F11	Variété F11
F11_F3	F11_F2	F11_F1	F11_F4

Parcelle 9	Parcelle 10	Parcelle 11	Parcelle 12
Variété GH	Variété GH	Variété GH	Variété GH
GH_G1	GH_G4	GH_G3	GH_G2

Parcelle 13	Parcelle 14	Parcelle 15	Parcelle 16
Variété GH	Variété GH	Variété GH	Variété GH
GH_G2	GH_G3	GH_G1	GH_G4

Parcelle 17	Parcelle 18	Parcelle 19	Parcelle 20
Variété GH	Variété GH	Variété GH	Variété GH
F11_F3	F11_F1	F11_F4	F11_F2

Parcelle 21	Parcelle 22	Parcelle 23	Parcelle 24
Variété GH	Variété GH	Variété GH	Variété GH
F11_F3	F11_F2	F11_F1	F11_F4

Parcelle 25	Parcelle 26	Parcelle 27	Parcelle 28
Variété F11	Variété F11	Variété F11	Variété F11
GH_G1	GH_G4	GH_G3	GH_G2

Parcelle 29	Parcelle 30	Parcelle 31	Parcelle 32
Variété F11	Variété F11	Variété F11	Variété F11
GH_G2	GH_G3	GH_G1	GH_G4

● Tube d'accès sonde

⊗ Vanne de répartition

Figure 9 : Unité expérimentale et organisation de l'échantillonnage

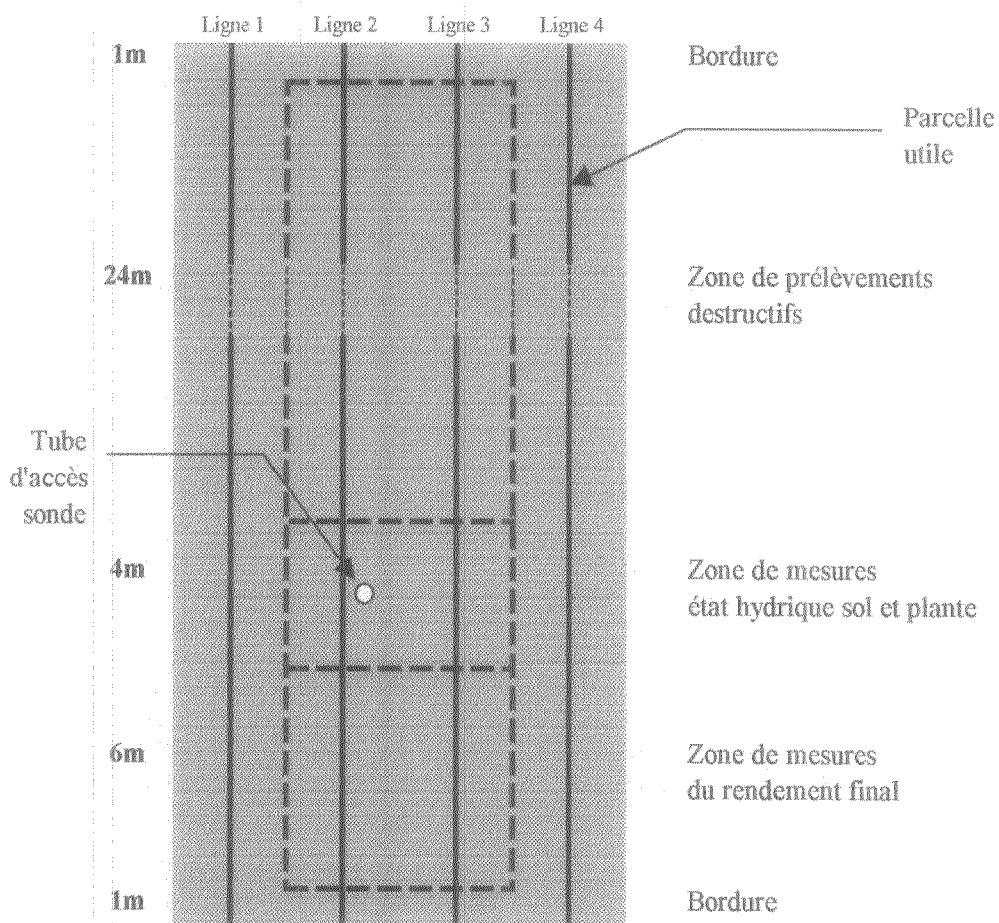


Photo 2 : Vue partielle du site expérimental



Mesures climatiques

Le suivi des paramètres climatiques tels que la température minimale et maximale, l'humidité relative minimale et maximale, la vitesse du vent et le rayonnement global a été fait à partir des données de la station météorologique automatique de N'diaye (centre ADRAO).

Mesures bioclimatiques et physiologiques

Suivi de l'état hydrique du sol

La teneur en eau du sol a été suivie par deux méthodes : la méthode gravimétrique et la méthode neutronique. La gravimétrie a été effectuée sur les horizons du sol supérieurs jusqu'à 20 cm. La sonde à neutrons, préalablement étalonnée par gravimétrie en conditions sèches et humides, a permis de déterminer l'humidité volumique et les stocks d'eau dans les couches inférieures du sol > 20 cm jusqu'à 3 m de profondeur. Les tubes d'accès pour sonde à neutrons ont été disposés à 10 cm de la ligne de semis. L'équation d'étalonnage de la sonde à neutrons par gravimétrie est la suivante : $Y = 0.0336x - 1.1634$, $R^2 = 0.85$, avec $n = 100$ points pour les horizons inférieurs à 20 cm. Seules les traitements hydriques suivants ont fait l'objet de mesures sondes G 4, F4, F3, F1 pour la variété Fleur 11 et G4, G2, F2, F1 pour la variété GH119-20.

L'évapotranspiration réelle (ETR) ou consommation en eau des plantes pour les différents traitements hydriques a été estimée au pas de temps hebdomadaire à partir de l'équation du bilan hydrique :

$$ETR (mm) = P + Irr + \Delta Stock \pm R \pm Dr$$

où P = cumul pluviométrique en mm enregistré entre deux dates de mesures,

Irr = quantité d'eau apportée par irrigation de complément ;

$Stock$ = variation de stock d'eau mesurée à deux dates différentes telle que S_1 est le stock mesuré à la date t_1 et S_2 , le stock à la date t_2 , avec $\Delta Stock = S_1 - S_2$.

R et Dr : respectivement les pertes d'eau par ruissellement et par drainage profond. Dans le cas d'une micro-irrigation (goutte à goutte) le terme R est presque inexistant. Le drainage au-delà du profil racinaire est également négligeable en raison du contrôle des apports en eau.

La profondeur d'extraction racinaire des plantes (PER) a été déterminée au pas de temps hebdomadaire par la méthode de fosses ouvertes. La fraction d'eau transpirable par les plantes (FTSW) est obtenue par l'équation suivante :

$$FTSW (\%) = (\text{stock ProfRac} - \text{stock Pf4.2}) / (\text{stock Pf3} - \text{stock Pf4.2}) * \text{ProfRac},$$

où stock ProfRac est le stock d'eau pour une profondeur d'extraction racinaire donnée,

stock Pf 4,2 et Pf3 représente: respectivement les stocks d'eau au point de flétrissement permanent et à la capacité au champ du sol pour une même PER.

Suivi état hydrique des plantes

L'état hydrique à l'échelle du couvert a été déterminé par la mesure hebdomadaire de la température du couvert au midi solaire. La température du couvert végétal est mesurée au moyen d'un radiothermomètre à capteurs infrarouges (*Telatemp AG42*). Son fonctionnement repose sur le principe selon lequel tout corps émet un rayonnement dont la longueur d'onde dépend de sa température. Cet appareil permet de mesurer à la fois la température du couvert végétal (T_c) de la plante et du différentiel de température ($T_c - T_a$) entre le couvert et l'air (T_a). Ces données dépendent des capacités transpiratoires des plantes et donc de ses capacités d'absorption de l'eau du sol. Parallèlement, pour des plantes bien alimentées en eau, une corrélation a été établie entre ($T_c - T_a$) et le déficit de pression de vapeur de l'air (DPV) suivant la relation :

$$T_c - T_a = a \text{ VPD} + b$$

Ces données ont été introduites pour mettre en relation l'état hydrique de la plante via sa température et l'humidité du sol du sol (FTSW).

Les mesures physiologiques hebdomadaires ont coïncidé avec des journées souvent « fraîches » et ventées. Ceci a probablement contrarié la transpiration potentielle des cultures et le bon fonctionnement des appareils tels que le radiothermomètre qui sont sensibles à ce genre de variations climatiques. Pour ces raisons, les données sur les mesures de la température du couvert n'ont pas été validées.

Suivi de croissance et de développement

Ces mesures sont effectuées sur des placettes d'échantillonnage de 2 lignes de 4 plants (lignes utiles).

Croissance

Chaque semaine, les observations ont porté sur 5 plants par parcelle, depuis 15 JAS jusqu'à la couverture de l'interligne, puis le pas de temps a été rapportée à 2 semaines;

Appareil aérien

Les mesures de l'appareil aérien concernent celles de la surface foliaire au planimètre. Des relations allométriques ont été recherchées pour simplifier ces mesures (relation entre surface foliaire et nombre ou masse de feuilles, de folioles, longueur de nervure, hauteur tige principale)

Appareil racinaire

Pour les parties racinaires, seule la longueur du pivot été déterminée.

Analyse de récolte

A la récolte, on a déterminé, le nombre de pieds récoltés, le nombre de graines par plants, le nombre de graines par m^2 , le nombre de graines par gousses, les rendements en gousses, graines, fanes, le poids 100 graines.

RENDEMENT ET QUALITE TECHNOLOGIQUE DE L'ARACHIDE DE BOUCHE

Définition générique de l'ARB et critères de qualité physique des graines

L'appellation arachide de « bouche » est spécifique aux arachides destinées à la consommation sous différentes formes excluant la transformation dans la filière trituration. La commercialisation sous l'appellation ARB doit répondre aux exigences physiques et sanitaires du marché. Les graines doivent subir un tri HPS (Hand Picked Selected). Les graines doivent être entières, mures, sans split, ni dépelliculées et de couleur homogène, puis triées HPS, calibrées et répondant aux normes physiques et sanitaires du marché

Les calibres les plus courants sont :

- 50/60 graines à l'once³ pour les variétés de type *Spanish* comme Fleur11 ;
- 32 à 40 graines à l'once pour les *Virginia* telles que GH 119-20 :

Mesure de la qualité

La mesure de la qualité technologique et sanitaire a été réalisée à partir des variables telles que : rendement au décortilage « tout venant » et HPS, % de graines et de gousses intactes, mures, moisies, percées, scarifiées, nombre de graines dépelliculées, rendement graines HPS, poids 100 graines tout venant et HPS, nombre graines HPS à l'once...

ANALYSE DES DONNEES

L'analyse statistique des résultats a été effectuée à l'aide du logiciel SAS sous Windows (Statistical Analysis System, USA). Les données ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) à un facteur, le régime hydrique. Le test de classement des moyennes de Student Newman-Keuls au seuil de 5% a été utilisé afin de détecter des différences significatives entre les traitements hydriques pour une variété donnée.

Pour mettre en évidence les performances des régimes hydriques un classement sur les paramètres de rendement-qualité a été réalisé. Pour un paramètre donné, des scores de 1 (meilleure performance) à 8 (plus mauvaise performance) sont attribués.

³ un once = 28,35 g

PARTIE III : RESULTATS

CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES

Le sol

La caractérisation physico-chimique du sol expérimental a été réalisée par le Laboratoire d'Analyse des Sols de la Compagnie Sucrière du Sénégal. Des échantillons de sol ont été prélevés sur 5 points et sur quatre horizons 0-10 cm, 10 -20 cm, 20 - 30 cm et 30 - 40 cm. En moyenne, le sol est caractérisé par des teneurs faibles en matière organique ($0,24 \text{ } \%$) en azote ($0,16 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$) et en argiles+limons (11%) et une prédominance de sables (89 % de sables totaux). Les teneurs en argiles deviennent plus importantes (autour de 15 %) au niveau de la toposéquence basse. Dans tous les cas, leur proportion ne constitue pas une résistance limitante à la pénétration des gynophores. Ces caractéristiques générales du sol se traduisent par une faible capacité d'échanges cationiques qui est en moyenne de $2,65 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$. Le pH du sol est toutefois proche de la neutralité (ph 7). Ceci est imputable aux phosphatage de fond du sol expérimental à base 50 % de phosphogypse et 50 % de phosphate tricalcique qui a été réalisé en début d'essai. De même que les teneurs en calcium sont nettement en dessus des seuils de déficiences ($4, 23 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$).

Conditions climatiques

Le site de Savoigne, situé à environ 40 Km de la côte atlantique est caractérisé par un climat de type semi-continental semi-aride typique de zone nord Sahélien. Cette localité est caractérisée par deux saisons : une saison sèche longue constituée par la contre saison froide et chaude et une courte saison des pluies.

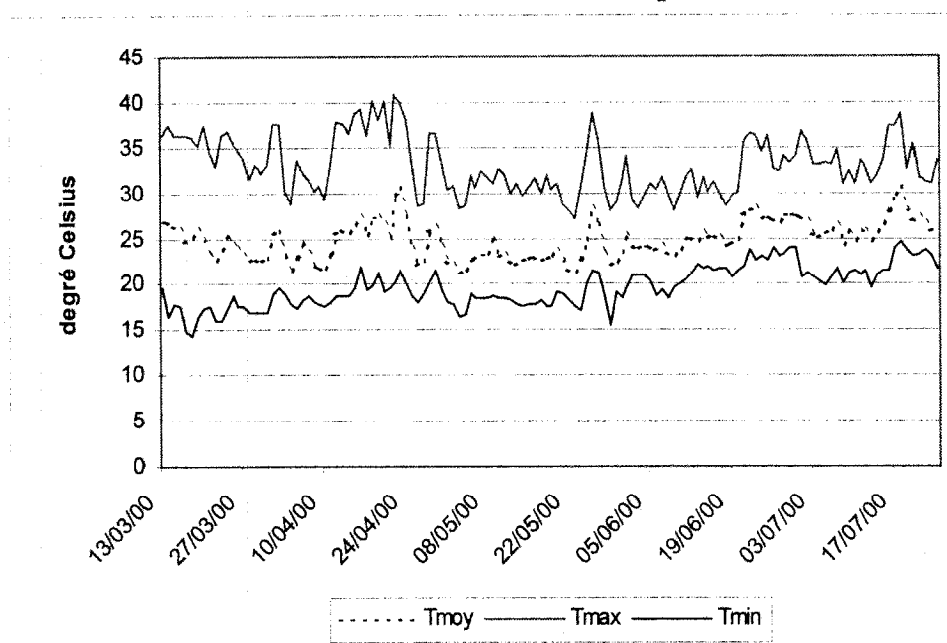


Figure 10 : Evolution de la température au cours de l'expérimentation

La contre saison 2000, dans la vallée du fleuve Sénégal a été caractérisée par des extrêmes de températures modérées. Les maxima de température se situent autour

de 33-36° C en début⁴ et en fin de culture⁵ (mars-avril et juillet) et de l'ordre de 30° C de mai à juin. Les minima de température augmentent progressivement de 17°C environ à 20-22° C (figure 10).

La modération des températures maximales liée à la localisation du site (proximité de l'océan) et leur fléchissement exceptionnel en milieu de cycle (Tmax de l'ordre de 30 -31° C) ont caractérisé cette contre saison.

Cette situation thermique a conduit à un allongement du cycle végétatif de l'arachide. Ainsi, au cours de la contre saison 2000, les 1500 degré-jours requis pour la cycle de développement de Fleur11 ont été atteint après 109 jours après semis et 133 jours pour 1800 degré-jours pour GH 119-20. Cette étude a permis de classer l'année 2000 comme l'une des plus « froides » au cours de ces dix dernières années (figure 11). Le rayonnement solaire moyen est de 2050 J/cm²/Jour n'a pas constitué une entrave pour le bon développement de l'arachide.

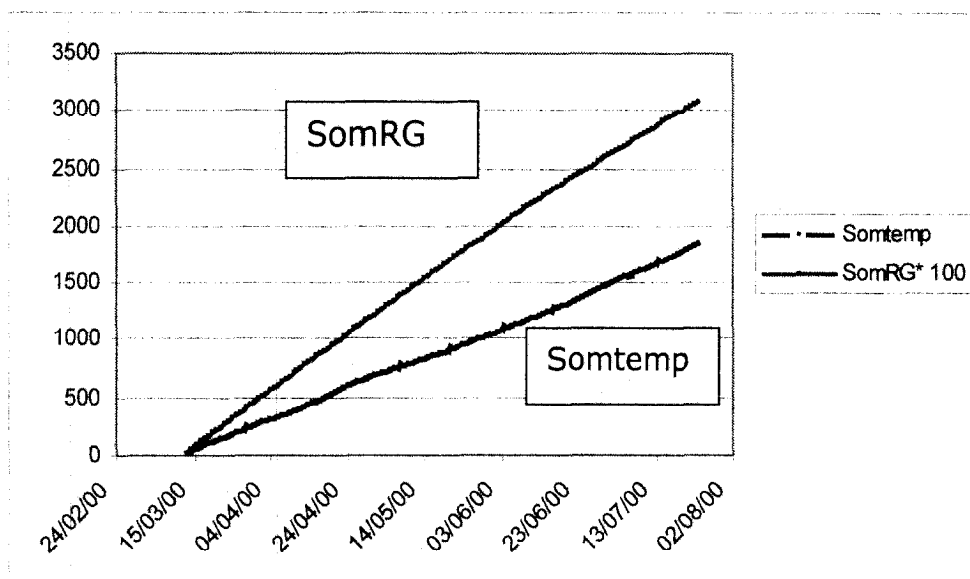


Figure 11 : Evolution des sommes de températures (Degré-jours) et du rayonnement global (100 *J/cm²/j) au cours de l'expérimentation

L'évapotranspiration potentielle varie entre des valeurs comprises entre 6 et 8 mm/jour du semis (13 mars) à fin avril, puis de l'ordre de 6 mm/jour.

⁴ La date de semis a eu lieu le 13 mars

⁵ La date de récolte a eu lieu le 30 juin et le 24 juillet respectivement pour la Fleur 11 et la GH 119 – 20.

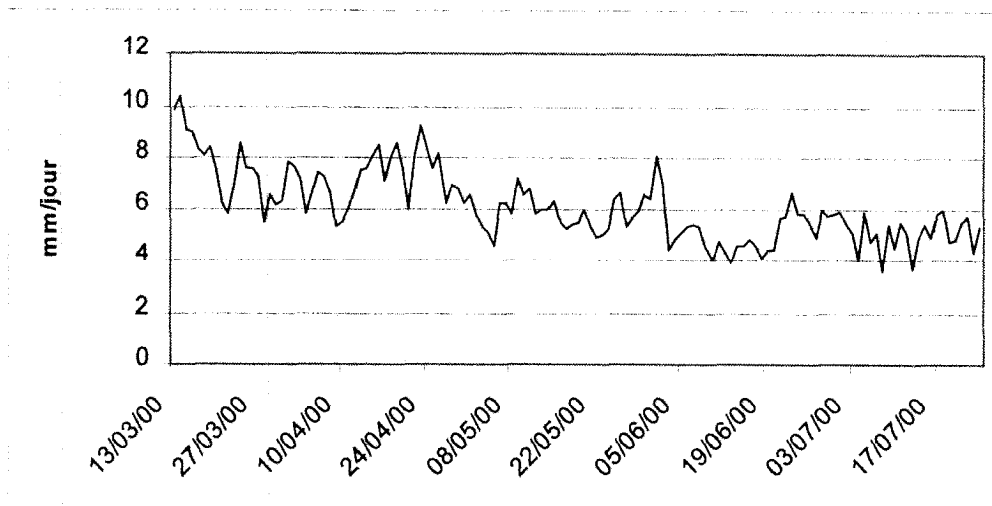


Figure 12 : Evolution de la demande évaporative

au mois de mai et entre 4 et 6 mm/jour en fin de cycle en relation avec l'installation progressive des flux de sud ouest et de la saison pluvieuse (figure 12).

Les apports en eau par irrigation

Les apports en eau ont été assurés entièrement par irrigation localisée (goutte-à-goutte) mis à part la pluie insignifiante de 3 mm survenu en fin de cycle (le 10 juillet) sur les parcelles de GH 119-20 non encore récoltées.

Apports en eau

Fleur 11

Les apports d'eau cumulés pour les huit traitements hydriques ont varié entre 393 mm pour le régime hydrique F1 à 762 mm pour G4. Le test de SNK au seuil 5% révèle toutefois l'existence de 7 groupes. En effet, seuls les traitements F4 et G1 avec des cumuls respectifs de 619 et 609 mm ne sont pas statistiquement différents (figure 13).

GH 119-20

Pour la variété GH119-20 a cycle plus long, le cumul total des irrigations est compris entre 401 et 817 mm sur le cycle de culture. Comme pour la variété Fleur 11 seuls les régimes hydriques F4 (625 mm) et G1 (622 mm) ne sont pas différents du point de vu statistique (figure 13).

Irrigations journalières

Les apports en eau (fréquence et quantités) ont été conduits de manière à assurer une production de biomasse aérienne et de sites fructifères compatibles avec la capacité de l'arachide à assurer le remplissage des gousses formés à la maturité. Les irrigations ont été apportées en moyenne deux fois par semaine.

Pour les deux variétés, des irrigations journalières de 20 à 27 mm/j selon les traitements hydriques ont été apportées durant les 15 premiers jours du cycle. Ces irrigations ont été ramenées entre 12,5-15 mm/j et 19 mm/j durant la période post-floraison. Elles ont oscillé en pleine floraison de chaque variété entre 15 mm/j et 35

mm/jour. Après cette phase, des niveaux d'irrigations simulant un dessèchement progressif plus ou moins important du profil ont été imposés. Les régimes F1, F2, G1 et G2 reçoivent les irrigations les plus faibles, soit moins de 15 à 5 mm par jour, contre 15 à 21 mm par jour pour les traitements hydriques les plus arrosés (F3, F4, G3 et G4). En fin de cycle, les apports sur ces derniers passent à moins de 15 voire 10 mm/jour (figure 14a et 14b).

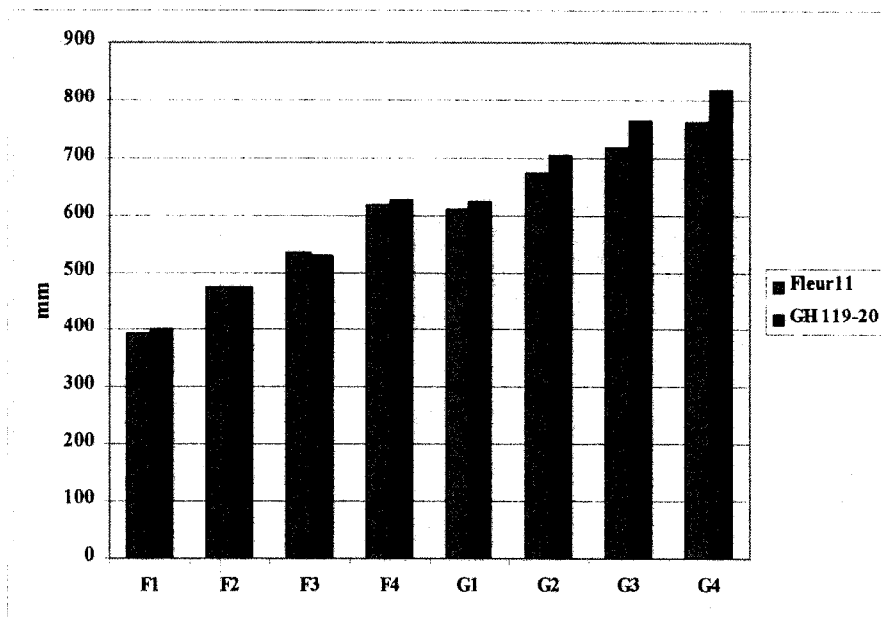


Figure 13. Irrigations cumulées sur l'ensemble du cycle chez Fleur 11 et GH 119- 20

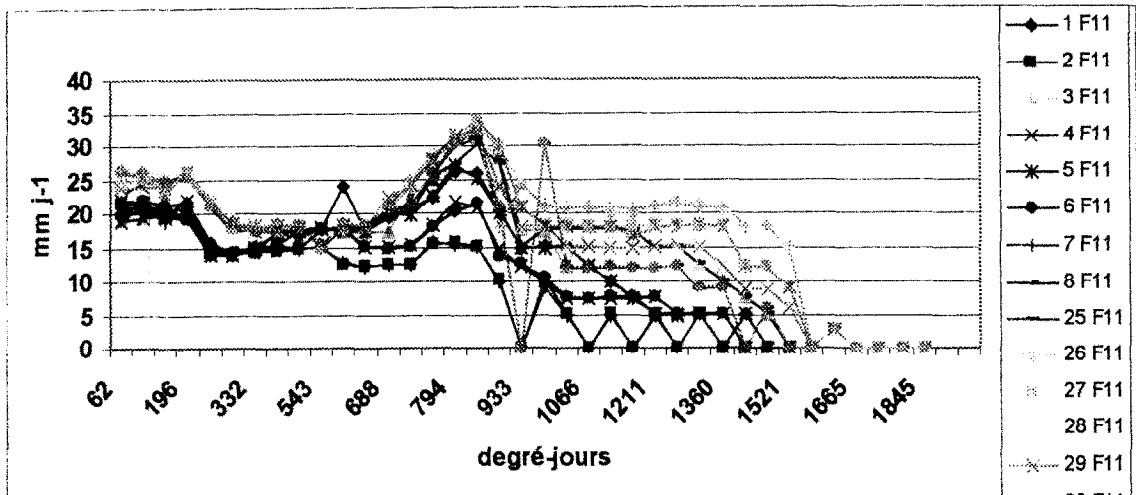


Figure 14a. Evolution journalière des apports d'eau par irrigation (par parcelle) chez la variété Fleur 11

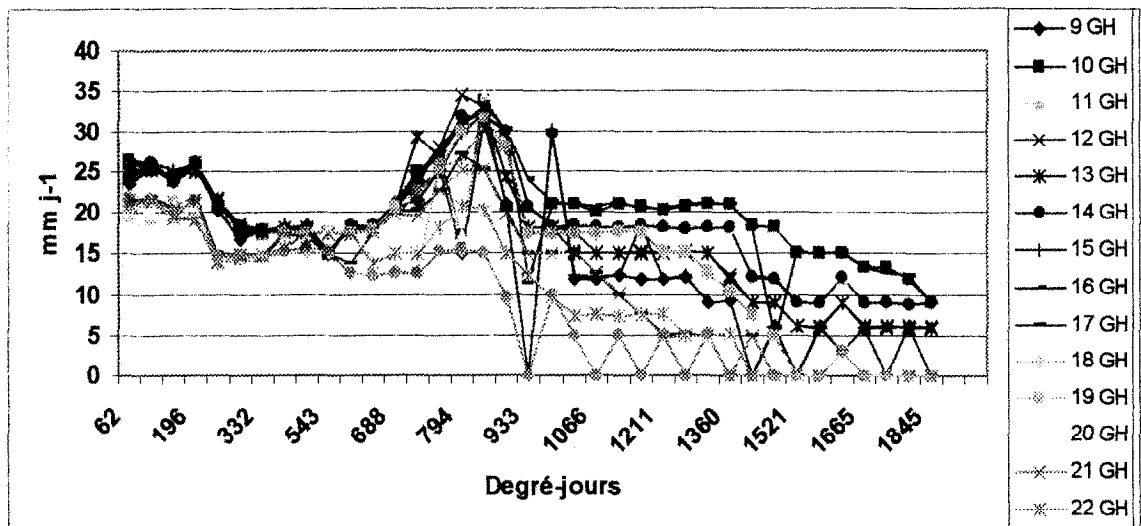


Figure 14b. Evolution journalière des apports d'eau par irrigation (par parcelle) chez la variété GH 119 -20

Stocks hydriques mesurés du sol

L'évolution des stocks du sol en fonction de la profondeur racinaire (Figure 15a et 15b matérialise celle des régimes d'irrigation.

En pleine floraison, et pour les apports en eau les plus élevés, les stocks d'eau arrivent à un maximum de l'ordre de 35 à 45. Pour les plus faibles, ces stocks sont de l'ordre de 25 à 30 cm^3/cm^3 . Ensuite, les stocks diminuent suite à l'accroissement de la consommation en eau de l'arachide et à la réduction progressive des apports d'eau.

Les évapotranspiration réelles ont été déduites à partir de ces variations de stocks.

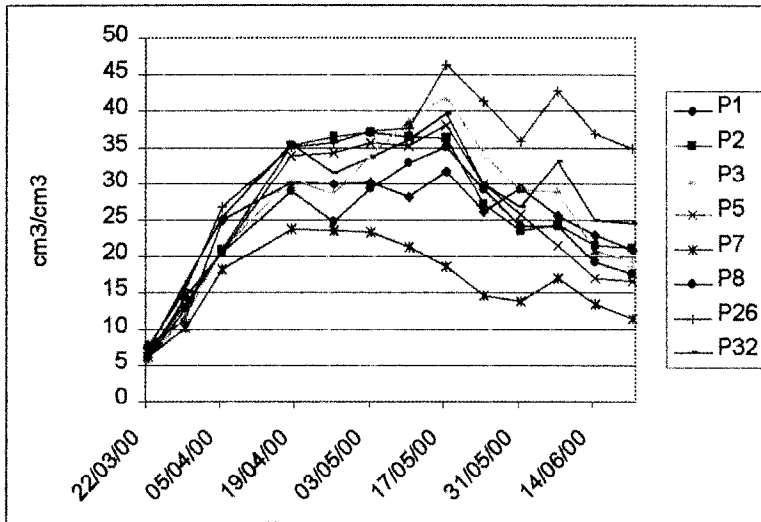


Figure 15 a: Evolution des stocks d'eau chez la variété Fleur 11

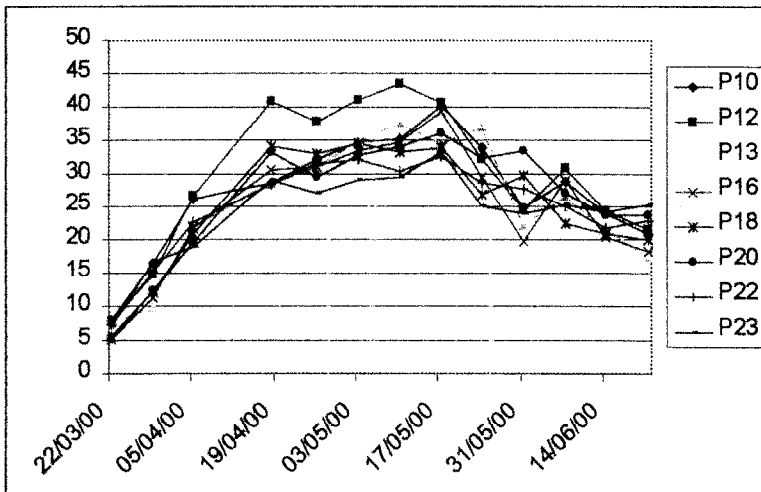


Figure 15b: Evolution des stocks d'eau mesurés chez la variété GH 119-20

Evapotranspirations réelles⁶

En début du cycle, période où les plantules couvrent peu le sol qui est par conséquent encore nu, les phénomènes d'évaporation (E_v) prédominent.

Les valeurs d'évaporation journalières qui sont comprises en moyenne autour de 5 mm sont conformes avec celles obtenues sur sol Diéri irrigué. A mesure que la croissance des plantes s'accélèrent et que la floraison intense se met en place, E_v et surtout TR_j (ETR_j) augmentent rapidement pour atteindre au maximum de la floraison des valeurs de 7,5 à plus de 9 mm/j pour les régimes G4, F4, F3 et pour Fleur 11 et G4 et G2 pour GH 119 -20. Ses valeurs sont de l'ordre de 5 mm/j pour F1 de Fleur 11 et de 5 à 6 mm/j pour F1 et F2 de GH 119- 20. Ensuite, pour tous les

⁶ Tous les traitements n'ont pas fait l'objet de mesures neutroniques

traitements, les ETRj diminuent progressivement jusqu'en fin de cycle (figure 12a et 12b).

Les ETR cumulées sur le cycle s'échelonnent entre 315 mm et 680 mm.

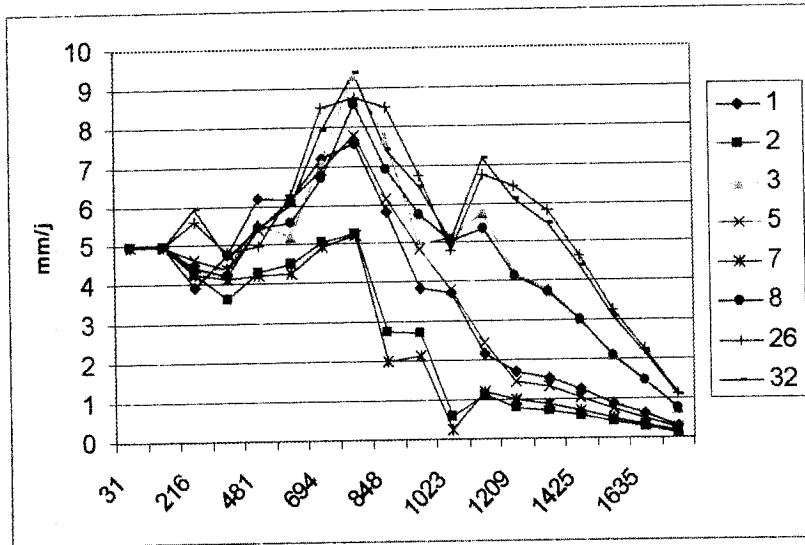


Figure 16a : Evolution de l'évapotranspiration journalière calculée chez la variété Fleur 11

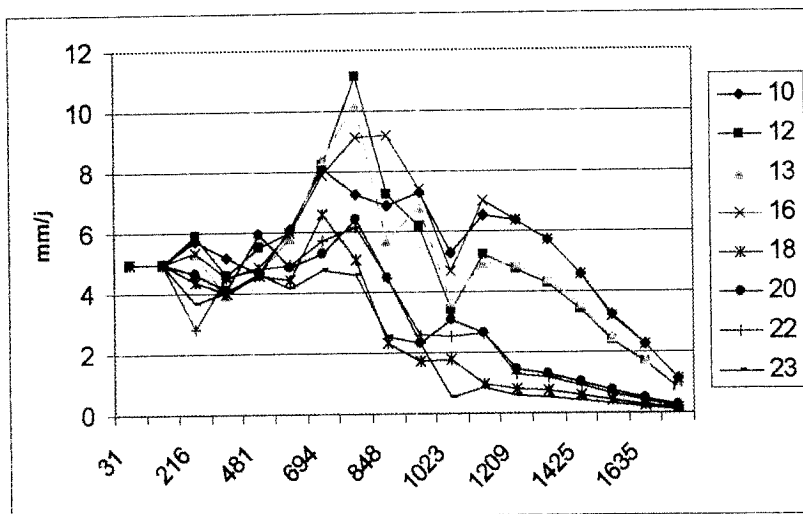


Figure 16b : Evolution de l'évapotranspiration journalière calculée chez la variété GH 119-20

Validation du modèle

Pour l'ensemble des traitements hydriques appliqués et pour chacune des variétés, les stocks d'eau observés et simulés sont confrontés (figure 17 et tableau 4) et la performance du modèle mesurée à l'aide de son R^2 ajusté.

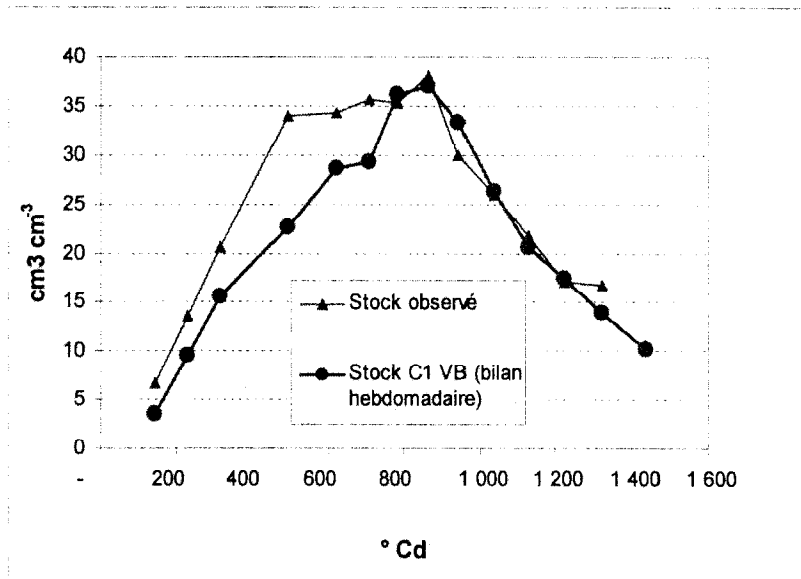


Figure 17 : Comparaison entre stock d'eau mesurés sur le terrain par méthode neutronique et stock d'eau simulés

Tableau 4 : Mesure des performances du modèle au moyen du R^2
Variété Fleur 11

N° Parcelle	1	2	3	5	7	8	26	32
Stock (R^2)	0.91	0.91	0.96	0.93	0.94	0.93	0.94	0.92
Irrigation (mm)	539	394	620	531	391	618	767	756

Variété GH 119-20

N° Parcelle	10	12	13	16	18	20	22	23
Stock (R^2)	0.94	0.89	0.94	0.93	0.92	0.95	0.93	0.91
Irrigation (mm)	810	715	697	826	405	475	472	397

Pour chaque parcelle, les stocks d'eau observés sur le terrain au pas de temps hebdomadaire et les stocks simulés au pas de temps journalier puis ramenés au pas de temps hebdomadaire sont confrontés (figure 17) au moyen du R^2 ajusté. Le modèle simule bien les stocks d'eau du sol en début de cycle. Après ce stade, les stocks prédits sont généralement sous estimés. En effet, seule une vitesse de croissance racinaire linéaire a été prise en compte dans la simulation. En réalité, la croissance

racinaire de l'arachide, de même que celle du mil est linéaire en début de cycle, puis exponentielle jusqu'avant la floraison (Chopart, 1980). Le modèle simule bien les stocks d'eau du sol lorsque le front racinaire atteint sa profondeur maximale et durant la phase terminale du cycle. De façon générale, le modèle estime correctement les variations de stocks d'eau dans le sol. Les valeurs des R^2 ajustés sont élevées et dépassent de façon générale 0,90 pour tous les traitements hydriques dont les cumuls d'irrigations sont compris entre 400 et 800 mm. Ce modèle peut être par conséquent utilisé valablement pour le pilotage de l'irrigation.

ANALYSE DE L'EFFET DE L'IRRIGATION SUR LA PRODUCTION ET LA QUALITE PHYSIQUE DE L'ARACHIDE

L'élaboration du rendement et de la qualité physique de l'arachide est, selon Cattan, 1996, régi par une multitude de facteurs (sol, alimentation hydrique, itinéraires techniques). Dans ce travail, les cultures d'arachide ont été comparées en termes de fonctionnement et de mise en place des composantes du rendement et de la qualité de la production sous l'effet des condition d'alimentation hydrique.

Rendement et ses composantes chez Fleur 11

Rendements en gousses et en graines

Les rendements finaux en gousses varient entre 1592 kg/ha pour F1 à 3900 kg/ha pour G4 (tableau 5a). On note globalement une augmentation progressive du rendement en gousses corrélativement à l'augmentation des irrigations totales. Toutefois, les différences significatives observées concernent essentiellement les régimes hydriques à apports en eau extrêmes. Les rendements en grains suivent la même progression et sont compris entre 1090 kg/ha pour F1 et 2780 pour G4.

Le coefficient de décorticage « tout venant » n'est pas significativement différent entre les traitements hydriques et sa valeur moyenne est de 70 %.

Le nombre de gousses par m²

Le nombre de gousses par m² augmente linéairement du traitement hydrique F1 avec 160 pour arriver à un maximum de 360 de gousses par m² pour G4.

Le poids 100 graines

Les poids 100 graines « tout venant » sont en moyenne de 59 grammes et ne sont pas significativement différents entre traitements hydriques.

Matière sèche végétative

Globalement, la production de matière sèche aérienne (fanés) augmente avec les apports en eau de 2690 kg/ha pour le F1 à 5900 pour le G4. Toutefois, seuls les régimes hydriques à apports d'eau les plus élevés et les plus faibles sont significativement différents. La moyenne de la matière sèche végétative pour les régimes F1 à F4 est de 2500 kg/ha et celle de G1 à G4 de 4250 kg/ha. Ces valeurs sont relativement faibles comparées à la production de fanés de cette variété dans la zone en conditions hydriques non limitantes qui est en général supérieures à 5 à 6 t ha-1 (Clavel, résultats essais variétaux non publiés, contre saison 1997). Elles témoignent

de la limitation de la biomasse aérienne et des sites fructifères sous l'effet contrôlé du régime hydrique.

Paramètres de qualité physique de l'ARB chez Fleur11

Nombre de gousses immatures

L'analyse statistique révèle l'existence de deux groupes (tableau 5a). Le nombre moyen de gousses immatures est relativement élevé pour F1 (38 %) et F2 (32 %), traitements plus secs qui forment le groupe 1. Les six autres régimes hydriques (F3, F4, G1, G2, G3, G4) sont statistiquement équivalents et présentent un nombre moyen de gousses immatures compris entre 17 et 25%.

Nombre de gousses moisies

Le pourcentage de gousses moisies qui varie entre 0,3 et 3% n'est pas significativement différent entre les traitements hydriques.

Poids cent graine HPS

Pour les poids cent graines HPS, l'analyse statistique n'a pas mis en évidence de différences significatives entre traitements hydriques dont la moyenne est de 71.

Nombre de graines à l'once

Le nombre de graines à l'once oscille entre 37 pour le traitement G2 et 41,5 pour F4. Pour tous les traitements hydriques, les valeurs obtenues sont nettement supérieures au grade de la gamme de variétés d'arachide de bouche de type *Spanish* ou *Valencia*, notamment pour la variété Fleur11 fixé sur le marché mondial à 50/60 graines à l'once.

Rendement en graines HPS

Les rendements graines HPS augmentent entre 930 kg/ha pour le traitement F1 et 2234 kg/ha pour G4. L'augmentation n'est pas toutefois significativement linéaire avec le régime hydrique, F1 et F2 sont significativement différents de G3 et G4 ; en revanche F2, F3, F4, G1 et G2 ne sont pas significativement différents.

Rendements et ses composantes chez GH119-20

Rendements en gousses et en graines

Les rendements en gousses sont compris 1200 kg ha⁻¹ pour F1 à 4630 kg ha⁻¹ pour G4 (tableau 5b). F1 est cependant significativement différent de G2 et G4. Pour les rendements en grains, ils sont compris entre 637 pour F1 et 2814 kg ha⁻¹ G4. Seuls ces deux traitements hydriques sont significativement différents. Il n'a pas une augmentation progressive du rendement en gousses corrélativement à l'augmentation des irrigations totales. Le coefficient de décorticage « tout venant » n'est pas significativement différent entre les traitements hydriques et sa valeur moyenne est de l'ordre de 58 %.

Le nombre de gousses par m²

Le nombre de gousses est compris entre 128 pour F1 et 404 m⁻² pour G4. Les traitements F1, F2 sont significativement différents de G2 et G4 ; F1 de G3, de même que F1, F2, F3, F4, G1, G3 sont différents de G4.

Le poids 100 graines

Les poids 100 graines « tout venant » sont de l'ordre de 65 grammes et ne montrent pas de différences significatives entre traitements hydriques.

Matière sèche végétative

La production de matière sèche aérienne qui augmente en fonction de l'alimentation hydrique est comprise entre 2708 pour F1 à 5625 kgha⁻¹ pour le G4. G2, G3 et G4 présentent les productions les plus significativement élevées par rapport à F1 et G1.

Paramètres de qualité physique de l'ARB chez GH119-20

Nombre de gousses immatures

L'analyse statistique ne révèle pas de différences significatives entre traitement dont la moyenne est de l'ordre de 45 % (tableau 5b). Le nombre de gousses immatures est relativement élevés. Ceci peut être mis en relation avec le dessèchement progressif précoce du sol pour les différents traitement hydriques appliqués.

Nombre de gousses moisies

Le pourcentage de gousses moisies varie entre 4 et 15 %. L'analyse statistique ne révèle pas de différences statistiques

Poids cent graine HPS

Pour les poids cent graines HPS, l'analyse statistique n'a pas non plus, mis en évidence de différences significatives entre les traitements dont la moyenne est de l'ordre de 83 g.

Nombre de graines à l'once

Le nombre de graines à l'once est en moyenne de 33 et l'analyse statistique n'a pas pu déceler de différences significatives entre traitements hydriques. En terme de qualité, ces valeurs sont en conformité avec les normes imposées sur le marché mondial qui sont de l'ordre de 32 à 40 graines à l'once pour les catégories américaines US Fancy et US Jumbo dont GH 119-20 constitue l'équivalence variétale au Sénégal.

Rendement en graines HPS

Les rendements graines HPS sont compris entre 468 kg/ha pour le traitement F1 et 2039 kg ha⁻¹ pour G4. Le test statistique n'a pu mettre en évidence de différences significatives qu'entre ces deux traitements.

**Tableau 5a : Rendement, ses composantes et paramètres de qualité technologique
chez Fleur 11 pour différents régimes hydriques**

Variable	Nbre gousses par m2	Poids 100 graines (g)	Poids sec matière sèche végétative (kg ha-1)	Rdt Gousses (kg ha-1)	Rdt graines (kg ha-1))	Coef décorticage %	Nbre de gousses immatures (%)	Nbre de gousses moisies (%)	Poids 100 graines HPS (g)	Nbre graines once	Rdt graines HPS (kg ha-1)
P(Model)	0 ,0001	0,2433	0 ,0045	0 ,0001	0 ,0001	0,0716	0,0458	0,0086	0,0404	0,0082	0,0025
P(bloc)	0 ,0001	0,1227	0 ,0006	0 ,0001	0 ,0001	0 ,0194	0,1371	0,002	0,036	0,0031	0,0007
P(régime hydrique)	0 ,0004	0,3969	0,1931	0 ,0049	0 ,0003	0,3106	0,035	0,08744	0,059	0,0328	0,018
F1	163 E	59	2686	1592 F	1097 F	69	38 A	0	67	39 BC	930 D
F2	183 DE	60	2719	1942 EF	1381 EF	71	32 A	1	70	41 AB	1195 CD
F3	208 D	59	3232	2317 DE	1710 DE	74	25 B	1	64	42 AB	1477 BC
F4	256 C	60	3755	2642 CD	1878 CD	71	17 B	0	66	43 A	1574 BC
G1	260 C	59	4619	3017 BC	2139 BC	71	18 B	1	69	41 ABC	1681 BC
G2	292 B	57	5031	3267 B	2236 BC	68	24 B	3	71	37 C	1643 BC
G3	332 A	63	5497	3525 AB	2487 AB	71	22 B	1	89	39 BC	1878 AB
G4	357 A	56	5917	3900 A	2783 A	71	25 B	3	69	40 ABC	2235 A

**Tableau 5b : Rendement, ses composantes et paramètres de qualité technologique
chez GH 119-20 pour différents régimes hydriques**

Variable	Nbre gousses par m2	Poids 100 graines (g)	Poids sec matière sèche végétative (kg ha-1)	Rdt Gousses (kg ha-1)	Rdt graines (kg ha-1)	Coef décorticage %	Nbre de gousses immatures (%)	Nbre de gousses moisies (%)	Poids 100 graines HPS (g)	Nbre graines once	Rdt graines HPS (kg ha-1)
P(Model)	0,0043	0,0915	0,002	0,0065	0,0173	0,0786	0,6906	0,6929	0,0345	0,0262	0,0426
P(bloc)	0,002	0,0334	0,0078	0,0076	0,0155	0,0713	0,7503	0,3005	0,0262	0,0116	0,0218
P(régime hydrique)	0,0149	0,058	0,0017	0,0096	0,0276	0,1031	0,5704	0,918	0,058	0,0751	0,0978
F1	128 D	52	2708 D	1200 C	637	51	49	12	71	38	468
F2	160 CD	55	4027 BC	1680 C	967	57	48	15	76	39	705
F3	273 BCD	67	4930 AB	3220 BC	1883	58	39	12	69	30	1309
F4	230 BCD	70	3888 BC	2701 BC	1600	61	41	15	82	34	1176
G1	277 BCD	70	3055 CD	2225 BC	1229	55	45	12	65	34	975
G2	347 AB	71	5347 A	3732 B	2367	63	4	7	65	32	1911
G3	311 BC	71	5000 AB	3150 BC	1882	59	53	4	70	32	1527
G4	404A	69	5625 A	4631 A	2841	61	42	10	68	31	2039

Optimum production-qualité chez les deux variétés

L'optimum nombre de gousses et rendement HPS (figure 18) est obtenu avec des régimes hydriques moins déficitaires en fin de cycle (régime G). Ces trajectoires hydriques, avec un nombre de gousses par m⁻² de l'ordre de 300 à plus de 350 gousses par m⁻² enregistrent des rendements en grains HPS de plus de 2 t ha⁻¹ pour G4 chez Fleur 11 et GH 119-20. Ceci semble confirmer l'hypothèse de départ sur l'effet du contrôle du régime hydrique sur l'optimum rendement-qualité. La maîtrise des apports en eau a permis, en effet, un équilibre production de biomasse aérienne et nombre de gousses et une production de grain de qualité. La production de gousses n'a pas été toutefois limitante pour le rendement en grains HPS comme l'indique l'accroissement de ce dernier avec le nombre de gousses pour la variété Fleur 11. Pour GH 119-20, le dessèchement progressif du sol en fin de cycle semble être précoce. Ceci a affecté un certain nombre de paramètres de qualité tels le nombre de gousses moisies et surtout le coefficient de décorticage et le nombre moyen de gousses immatures qui est de 45 %. En perspective, il sera judicieux de prendre en compte au cours des prochaines expérimentations, des régimes hydriques plus arrosés pour Fleur 11 et des régimes à dessèchement de fin de cycle plus tardif pour GH 119 - 20 .

Synthèse sur les performances des régimes hydriques

Chez Fleur 11

Le classement effectué à partir des paramètres (nombre de gousses m⁻², rendement HPS, Poids cent graines HPS, coefficient de décorticage HPS, nombre de graine à l'once, nombre graines moisies, immatures et dépelliculé) a permis d'identifier le régime F4 avec un score de 24 points comme le plus performant en terme de rendement-qualité (tableau 6a et 6b).

Chez GH 119 - 20

Pour cette variété, G4 et G2 sont les plus performants avec un score identique de 21 points.

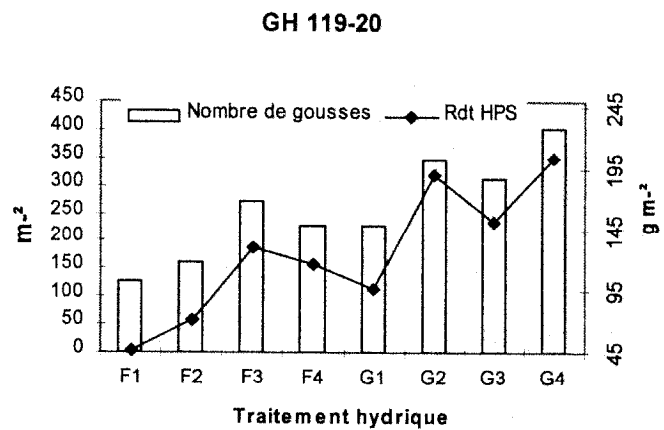
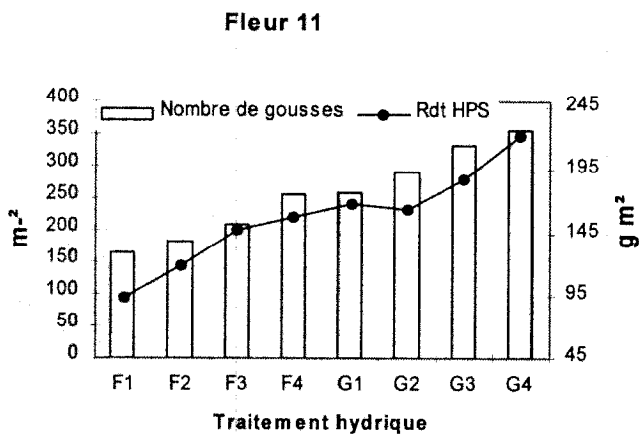


Figure 18: Relation entre le nombre de gousses produit et le rendement en grains HPS chez Fleur 11 et GH 119 -20

Tableau 6 a : Analyse des performances (score) en rendement-qualité des régimes hydriques chez la variété Fleur 11

Régime hydrique	Poids cent graines HPS	Coef de décortilage HPS	Nbre graines à l'once	Nbre gousses moisies	Nbre gousses immatures	Nombre graines dépelliculées	Rdt grains HPS	Score final
F1	6	4	6	1	7	8	8	40
F2	2	2	3	3	8	7	7	27
F3	8	1	2	4	5	6	6	32
F4	7	3	1	2	1	5	5	24
G1	3	6	4	5	2	4	3	37
G2	4	8	8	8	4	3	4	39
G3	1	7	7	6	3	2	2	29
G4	5	5	5	7	6	1	1	30

Tableau 6 b : Analyse des performances (score) en rendement-qualité des régimes hydriques chez la variété GH 119-20

Régime hydrique	Poids cent graines HPS	Coef de décortilage HPS	Nbre graines à l'once	Nbre gousses moisies	Nbre gousses immatures	Nombre graines dépelliculées	Rdt grains HPS	Score final
F1	8	8	2	6	7	8	8	47
F2	7	7	1	7	6	7	7	42
F3	2	6	8	4	1	4	4	29
F4	1	5	4	8	3	5	5	31
G1	5	4	3	5	4	6	6	33
G2	4	1	6	2	5	2	1	21
G3	6	2	5	1	8	3	3	28
G4	3	3	7	3	2	1	2	21

Eléments d'aide à la décision pour les producteurs de la vallée

Pour la valorisation des acquis de ce travail, notamment dans le domaine du pilotage de l'irrigation et l'amélioration de la production d'ARB (quantité et qualité), les principaux traits qui caractérisent les régimes hydriques les plus performants F4 pour Fleur 11 et G4 et G2 pour GH 119-20 sont présentés sur le tableau 7 et en annexe 1. Il s'agit des données sur le climat, les dates de semis, les besoins en degré-jours ; l'irrigation en quantité et fréquence, la dynamique de développement racinaire et foliaire, les consommations en eau et les paramètres de rendement-qualité des régimes F4 et G4. Pour des objectifs de rendement-qualité correspondant au traitement F4 par exemple, le paysan devra suivre le calendrier d'irrigation du tableau ci-après.

Ces régimes hydriques permettent d'atteindre des rendements en grains HPS de l'ordre de 2 t ha⁻¹ (GH119 -20). Les poids 100 graines HPS sont proches de 70 pour Fleur 11 (contre 50-55 dans le catalogue variétal, Mortreuil, 1993) et autour de 85-90 pour GH 119 - 20 (valeur conforme à celle de la fiche variétale établie par Bockellée - Morvan, 1983). Les nombres moyens de graines à l'once qui sont respectivement de 43 pour Fleur 11 et de 32 -30 pour GH 11-20 est conforme avec les normes de qualité technologique requises pour la production de semences et surtout l'exportation des graines sur le marché mondial.

Tableau 7 : Synthèse des paramètres de rendement-qualité pour les régimes hydriques les plus performants

Régime hydrique performants	Poids cent graines HPS (g)	Coef de décortilage HPS (%)	Nbre graines once	Nbre gousses moisies (%)	Nbre gousses immatures (%)	Nbre graines dépelliculées (%)	Rdt grains HPS (kg/ha)
F4 Fleur 11	66	60	43	0,45	17	0,08	1574
G2 - GH 119-20	86	51	32	7	46	0	1911
G4- GH 119-20	90	44	30,5	10	40	0	2038

CONCLUSION

Ce travail conduit sur sol Diéri, en irrigation contrôlée au moyen d'un goutte-à-goutte avait pour objectifs :

- de valider un modèle générique de bilan hydrique pour le pilotage de l'irrigation de deux variétés d'arachide de bouche ;
- de vérifier l'hypothèse d'un effet positif, de l'assèchement progressif du sol en fin de cycle sur l'équilibre nombre de gousses -production de biomasse aérienne et sur la qualité du rendement en grains telle que définie sur le marché mondial de l'arachide.

Moyennant le calibrage d'un jeu de paramètres spécifiques au milieu et au génotype, ce modèle générique de bilan hydrique simule parfaitement l'état hydrique du sol et les différentes conditions d'alimentation hydrique d'une culture d'arachide.

L'essai montre qu'en dépit des différences observées sur les rendements (gousses, graines, matière sèche végétative), les paramètres de qualité physique ne révèlent pas généralement de différences significatives entre traitement hydrique pour la variété GH 119-20. Pour Fleur 11, une bonne qualité de la production a été obtenue (bon coefficient de décorticage, faible nombre moyen de gousses moisies ou immatures). Pour cette variété, l'optimum nombre de gousses et rendement HPS n'est pas vraisemblablement atteint. Un classement permet d'identifier les traitements F4 pour Fleur 11 et G4 et G2 pour GH 119-20 comme étant les meilleurs en terme de rendement-qualité technologique de l'arachide conformément aux normes établies sur le marché international.

PERSPECTIVES

Le nombre de gousses, de graines et la biomasse aérienne obtenue au cours de cet essai n'est pas limitant pour la qualité de l'arachide, notamment pour la variété Fleur 11 (figure 18). De même, pour la variété GH 119-20, la pourcentage de gousses immatures est relativement important en raison d'un assèchement du sol sans doute précoce. Il est alors nécessaire d'envisager une autre expérimentation avec les régimes hydriques identifiés comme les plus performants, un régime hydrique a assèchement plus tardif en fin de cycle et un régime hydrique témoin (conditions hydriques non limitantes sur l'ensemble du cycle, correspondant à la pratique paysanne). Les premiers résultats obtenus permettent d'envisager le développement et l'habillage d'un modèle de bilan hydrique pour piloter l'irrigation dans la vallée du Fleuve Sénégal et l'esquisse de fiche technique sur l'irrigation de l'ARB (annexe 2a et 2b).

Enfin, d'autres expérimentations portant sur l'interaction eau x fertilité en culture irriguée et sur l'efficacité économique de l'irrigation doivent être envisagées en collaborations avec d'autres centres de l'Institut.

Ce travail a fait l'objet d'un article intitulé : Modelling water balance for irrigation scheduling to improve yield and technological quality of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) Il sera soumis à Agricultural Water Management

BIBLIOGRAPHIE

- Allen G. R., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO, Irrigation and drainage paper, 300p.
- Annerose D. J. M., 1991. Caractérisation de la sécheresse agronomique en zone semi-aride. II. Evaluation des formes de sécheresse agronomique de l'arachide au Sénégal par la simulation hydrique de la culture. *Oléagineux*, **46** : 61-67.
- Annerose D. J. M., Diagne M., 1990. Caractérisation de la sécheresse agronomique en zone semi aride. I-Présentation d'un modèle simple d'évaluation appliqué au cas de l'arachide cultivée. *Oléagineux* **45** (12) : 547-554.
- Annerose D. J. M., 1990. Recherche sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse. Application au cas de l'arachide (*Arachis hypogaea* L.) cultivée au Sénégal. Thèse d'Université Paris III, 282 p.
- Annerose D.J.M., Clouvel P., Mayeux A., 1996. Conduite de l'irrigation dans la région du fleuve Sénégal : approche physiologique et application à la culture de l'arachide. Atelier Base Centre Arachide. « *L'arachide cultivée en zones sèches- stratégies et méthodes d'amélioration de l'adaptation à la sécheresse* » CNBA Bambey 17-20 Décembre
- Annerose D.J.M., Diagne M., 1994. Les modèles de cultures : des outils de la recherche et du développement agricole. *Arachide Infos*, n° 5 - septembre, pp. 5-11
- Annerose, D.J.M. & Mayeux, A.' 1995. Synthèse des recherches conduites au Sénégal de 1991 à 1994 dans le cadre du projet "Mise au point des techniques de culture de l'arachide irriguée". Rapport de synthèse. Bambey: ISRA, CIRAD, 19 p
- Baron C. Perez P. Maraux F.' 1996. SARRA, Système d'Analyses régionales des Risques Agroclimatiques. Trois modules, Sarramet, Sarrabil, Sarrazon. Doc. CIRAD-CA, UR Gestion de l'Eau, Montpellier.
- Bi Péné C., Chopart J.L., Assa A.' 1997. Gestion de l'irrigation à la parcelle en culture de canne à sucre (*Saccharum officinarum* L.) sous climat tropical humide à travers le cas des régions Nord et Centre de la Côte d'Ivoire. *Sécheresse* **8** (2) : 87 -98.
- Bockellée - Morvan, A., 1983. Fiche technique de la variété d'arachide GH 119-20 *Oléagineux* **38** (2) : pp 109- 109.
- Boote K.J., Jones J.W., Mishoe J.W. et Wilkerson G.G., 1986. Modelling growth and yield of groundnut. In *Agrometeorology of groundnut. Proceeding of an International Symposium*, Icrisat, Sahelian Centre, Niamey, Niger, 21-26, Aug, 242 -254.
- Campbell R.B., Chang J.M., Cox D.C., 1959. Evapotranspiration of sugar cane in Hawaï as measured by field lysimeters in relation to climate. Proc. 10th Congress of the ISSCT-Hawaï : 637 - 645.
- Cattan P. 1996. Les composantes du rendement de l'arachide. *Agriculture et développement*, n° 11 pp 33- 38
- Charbonnier G., 1984. Les mesures de température de surface à partir de l'infra rouge thermique : interprétation en vue de mieux planifier l'irrigation des cultures. *IRHO/CIRAD*; 41 p.
- Charoy J., Forest F., Legoupil J.C., Bassereau D., 1978. Besoins en eau de la canne à sucre. *Agronomie tropicale*, **33** : 344-369.

- Chopart J. L., 1980 . Etude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales au Sénégal (arachide, mil, sorgho, riz pluvial). Thèse de Doctorat INP, Toulouse, 162 p
- Clavel D. & N'Doye O. 1997. La carte variétale de l'arachide au Sénégal. *Agriculture et développement* n°14 Juin. pp 41-46.
- Clavel D., 1998. Amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide, Rapport final scientifique du contrat N°TS3-CT93-0216, 15 p.
- Clavel D., Annerose D. J. M., 1997. Sélection de l'arachide pour l'adaptation à la sécheresse. *Agriculture et Développement*, n°14, 61-64.
- Clouvel P., 2000. Rapport de démarrage du volet Recherche/Développement conduit par le CIRAD. Projet CNIA « Relance de la filière arachide de bouche/ diversification au Sénégal, 33 p.
- Clouvel, P. & Schilling, R. 1995. Projet "Mise au point de techniques de culture de l'arachide irriguée". Rapport final. Montpellier: CIRAD.
- Cole R.J. Hill R ;A. *et al.*, 1982. Influence of irrigation and drought stress on invasion by *A. flavus* of corn kernels and peanut pods. *Development in industrial Microbiology*, 23 : 229 - 236.
- Dorner, J.W. Cole R.J. *et al.*, 1989. Interrelationship of kernel water activity, soil temperature, maturity, and phytoalexin production in preharvest aflatoxin contamination of drought-stressed peanuts. *Mycopathologia*, 105 : 117 - 118.
- Cox F.R., Martin C.K., 1974. Effect of temperature on time from planting to flowering in virginia peanuts. *Peanut Science*, Vol 1, pp 86-90.
- Cox, F.R., 1979. Effect of temperature treatment on peanut vegetative and fruit growth. *Peanut Science*, 6 : pp 14-17.
- Dancette C., 1983. Estimations des besoins en eau des principales cultures pluviales en zone soudano-sahélienne. *Agron. Trop.*, 38 (4) : 281-294
- Davidson J.I., 1998. Peanut irrigation management using EXNUT and MOISTNUT computer programs. *Peanut Science*, 25:103-110.
- Dhéry, M., Ogier, Ducarne, 1987. Une spéculation intéressante pour les périmètres hydro-agricoles en zones soudano-sahéliennes : l'arachide. *Oléagineux*. 42, 199-122.
- Dingkhun M. Le Gal P.Y., Poussin J.C., 1993. Ridev : un modèle de développement du riz pour le choix des variétés et calendriers culturels ». Document inédit, Saint Louis, 16 p.
- Doorenbos J., Hassan A.H., 1999. Réponse des rendements à l'eau. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage, Rome, 233 p.
- Ejjeji C.J., et Gowing J.W. 2000. A dynamic model for responsive scheduling of potato irrigation based on simulated water-use and yield. *Journal of Agricultural Science*, Cambridge 135, 161-171.
- Fougereux J.A., Doré T., Ladonne F. et Fleury A. 1997. Water stress during reproductive stages affects seed quality and yield of Pea (*Pisum sativum* L.). *Crop ecology, production and management.*, *Crop Science*, 37 : 1247 - 1252.
- Gautreau J., 1973. Influence des facteurs climatiques sur la croissance et le développement d'une arachide hâtive. *Oléagineux*, Vol. 28, n° 12, pp 567 -577.

- George B.A., Shende S.A., Ragghuwanshi N.S. 2000.** Development and testing of an irrigation scheduling model. *Agricultural Water Management* **46**, 121-136.
- Gosse G., et al., 1986.** Production maximale de matière sèche et rayonnement solaire interceptée par un couvert végétal. *Agronomie*, **6** (1), 47-56.
- Hassan M., Ishag L., 2000.** Phenotypic and yield responses of irrigated groundnut cultivars in a hot environment. *Expl. Agric.*, vol. 36, pp 303-312
- Idso S. B., 1982.** Non-water stress baselines : a key to measuring and interpreting plant water stress. *Agricultural Meteorology* ; **27** : 59 - 70.
- Imtiyaz M., Mgadla N.P., Chepete B., Manase S.K. 2000.** Response of six vegetable crops to irrigation schedules. *Agricultural Water Management* **45**, 331-342.
- Jackson R.D., 1981 .** Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research*; **4** : 1133-1138.
- Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J. & Pinter, P.J., 1981.** Canopy temperature as a crop water indicator. *Water Resources Research*, **4** : 1133-1138.
- Khalfaoui J. L. B., 1988.** Approche de l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse des espèces cultivées en zones semi arides. Application au cas de l'arachide (*A. hypogaea* L.) destinée à la région sèche du Sénégal. Thèse de doctorat, université de Paris Sud (France). 297 p.
- Khalfaoui J. L. B., 1991.** Détermination of potential lengths of the crops growing period in semi aride regions of Sénégal. *Agricultural and forest Meteorology* **55** : 251-263.
- Lacape J.M., 1997.** Analyse écophysologique de la réponse de variétés de cotonnier au déficit hydrique. Thèse de Doctorat, ENSAM, Montpellier, 120 p.
- Lamb M.C., Davidson J.L., Childre J.W. et Martin N.R. 1997.** Comparison of peanut quality and net returns between non irrigated and Irrigated production
- Lecoeur J., Sinclair TR., 1996.** Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficit. *Crop Science*; **36** : 331-335.
- Marone E., 1994.** Etude des relations hydriques entre le sol et la plante chez l'arachide pour une meilleure définition des conceptst de sécheresse et de stress hydrique. Mémoire probatoire, ISRA, 54
- Martin J. P., Bilquez A. F., 1962.** Nouvelle contribution à la connaissance de la floraison et de la fructification chez l'arachide. *Oléagineux*, **17** (5). 469-471.
- Monteny B. A., 1991.** Evaluation de la consommation en eau de la canne à sucre pour l'amélioration de la production en région soudano-sahélienne. Influence du climat sur la production des cultures. Ouagadougou, 23-28 septembre: 129-145.
- Mortreuil J. C., 1993.** Une nouvelle variété pour l'Afrique, Fleur 11. *Oléagineux* **48** (2) : 92-102.
- NIANG, A., 1988.** Modélisation de la croissance et du développement du maïs (*Zea Mays* L.) : influence de la température et de la photopériode, effet d'un stress hydrique, effet de conversion du rendement énergétique. Thèse de Doctorat, USTL, Montpellier, 194 p.
- Purseglove J.W., 1987.** Tropical crops dicotyledons. Editions, Longman Scientific and technological. 719 p.
Raes D., 1993. Introduction sur BIRIZ : besoins en eau d'irrigation d'une ou de plusieurs rizières dans le delta et la vallée di fleuve Sénégal. Projet gestion de l'eau, Coopération scientifique Kuleuven-SAED, 12 p.

- Reyniers F.N., Benoit Cattin M., 1995.** Couplage de modèles en agriculture. Actes du séminaire , 14-15 juin Montpellier France. Ed. Scientifiques Reyniers F.N., Benoît Cattin M.
- Rikjs, D., 1973.** Le climat ouest africain et l'irrigation. *Agro. Trop.* 9, 848 -852.
- Sadras V.O. et Milroy S.P., 1996.** Soil water thresholds for the response of leaf expansion and gas exchange : a review. *Field Crops Res.*, 47 : 253-266
- Sarr B., 1995.** Climats et développement des aménagements hydro-agricoles en Afrique de l'Ouest : le cas du bassin du fleuve Sénégal. Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, CRC, 359 p.
- Sarr B., Ndjendole S., Diouf O., Diouf M., Roy-Macauley H., 1999.** Suivi de l'état hydrique du sol et de la température du couvert de maïs au Sénégal. *Sécheresse*,
- Schilling R., 1996.** L'arachide en Afrique tropicale, CTA, collection *Le technicien d'agriculture tropicale*, Maisonneuve et Larose ed., Paris, 171p.
- Schilling R., 1999.** Synthèse des acquis de la recherche arachidière au Sénégal : Application au développement, Document CIRAD, 69 p.
- Schilling R., Dimanche P., 1994.** L'arachide dans le monde et en Afrique : quelques données économiques récentes. *Oléagineux, corps gras, lipides*, 1 : 8-81.
- Sepaskhah A.R. Llampour S. 1996.** Relationships between yield, crop water stress index (CWSI) and transpiration of cowpea (*Vigna sinensis L.*) *Agronomie : Agriculture and environment*, 16, 269-279.
- Sepaskhah, A.R. & Llampour, S., 1996.** Relationships between yield, crop water stress index (CWSI) and transpiration of cowpea (*Vigna sinensis L.*). *Agronomie*, , 16 : 269-279.
- Smith M., 1991.** CROPWAT : a computer program for irrigation planning and management. FAO Land and Water Development Division, FAO, Rome.
- Turner N.C. 1988.** Measurement of plant water status by pressure chamber technique. *Irrig. Sci.* 9, 289-308.
- Vachaud G., Vauclin M., Cissé L., 1991 .** Mesure in situ de la consommation en eau des cultures pluviales par humidimétrie neutronique. *Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides.*: 1 - 11.
- Wilson D.M., et Stansell J., 1983.** Effect of irrigations régimes on aflatoxin of Peanut Pods. *Peanut Science*, 10:54-56.
- Wotton H.R., and Strange R.N., 1985.** Circumstantial evidence for phytoalexin involment in the resistance of peanuts to *A. flavus*. *J. Gen. Microbiol.* 131 : 487 -494.
- Wright E., Carr M.K. et Hamer P.J.C. 1994.** Crop production and water use. I. A model for estimating crop water-use with limited data. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 123, 9-13.

Annexe 1 : Synthèse de valeurs des variables d'entrée et de ou sortie) des régimes performants au pas de temps journalier

Exemple du régime hydrique F4 de la variété Fleur 11

Date	Stemp (Dj)	Irrigation (mm/j)	LAI total (cm ² cm ⁻²)	Vrac (cm j ⁻¹)	ProfRac (cm)	FTSW	ETRj (mm j ⁻¹)
12-mars	0.0	18.7	0.0	2	10	0.1	4.1
13-mars	15.9	26	0.0	2	12	2.7	7.6
14-mars	31.6	0	0.0	2	13	1.1	3.7
15-mars	46.8	0	0.0	2	15	1.4	7.4
16-mars	61.1	19.1	0.0	1	17	1.2	5.4
17-mars	74.9	0	0.0	2	18	0.7	3.2
18-mars	89.5	0	0.0	2	20	0.5	2.6
19-mars	103.9	0	0.0	2	21	0.9	6.2
20-mars	117.0	19.5	0.0	1	23	1.1	3.9
21-mars	128.9	0	0.0	1	24	0.8	2.3
22-mars	141.1	0	0.0	1	26	1.2	5.5
23-mars	154.6	20.5	0.0	2	27	1.2	5.6
24-mars	168.4	0	0.0	1	29	0.9	3.1
25-mars	181.6	0	0.0	1	30	1.2	6.9
26-mars	194.3	20.8	0.0	1	31	1.2	4.9
27-mars	206.3	0	0.0	1	33	0.9	2.3
28-mars	218.1	0	0.0	1	34	0.8	2.2
29-mars	229.7	0	0.1	1	35	1.0	5.6
30-mars	241.4	14.8	0.1	1	37	1.0	3.9
31-mars	254.5	0	0.1	2	38	0.8	3.2
1-avr	269.2	0	0.1	2	40	0.9	7.2
2-avr	282.6	14.4	0.1	1	41	1.0	4.4
3-avr	293.9	0	0.1	1	42	0.8	2.4
4-avr	305.1	0	0.1	1	44	0.7	2.2
5-avr	317.8	0	0.1	1	45	0.8	6.4
6-avr	330.8	14.7	0.1	1	46	0.9	4.6
7-avr	342.7	0	0.1	1	48	0.8	2.8
8-avr	353.7	0	0.1	1	49	0.7	1.8
9-avr	364.5	0	0.1	1	50	0.6	1.6
10-avr	375.9	0	0.1	1	51	0.6	1.6
11-avr	389.3	0	0.2	2	53	0.7	5.4
12-avr	404.1	17.3	0.2	2	54	0.8	4.9
13-avr	419.0	0	0.2	2	56	0.7	3.4
14-avr	434.1	0	0.2	2	58	0.6	2.9
15-avr	450.1	0	0.3	2	60	0.7	7.6
16-avr	465.4	16.7	0.3	2	61	0.8	4.7
17-avr	480.7	0	0.3	2	63	0.6	3.6
18-avr	497.0	0	0.3	2	65	0.5	3.1
19-avr	513.0	0	0.4	2	66	0.5	2.2
20-avr	528.0	0	0.4	2	68	0.6	4.6
21-avr	544.5	17.9	0.5	2	70	0.7	5.8

22-avr	563.7	0	0.5	2	72	0.6	4.4
23-avr	581.7	0	0.6	2	74	0.6	10.4
24-avr	596.4	17.5	0.7	1	76	0.7	5.1
25-avr	608.5	0	0.7	1	77	0.6	3.7
26-avr	619.8	0	0.8	1	78	0.5	2.2
27-avr	633.0	0	0.8	2	80	0.6	5.2
28-avr	648.1	17.5	0.9	2	81	0.7	4.9
29-avr	662.3	0	1.0	1	83	0.6	3.3
30-avr	674.7	0	1.0	1	84	0.7	5.6
1-mai	686.2	17.5	1.1	1	85	0.8	4.9
2-mai	696.9	0	1.2	1	87	0.7	3.6
3-mai	707.2	0	1.2	1	88	0.9	4.9
4-mai	718.3	22.5	1.3	1	89	1.0	4.5
5-mai	730.0	0	1.4	0	90	0.9	5.4
6-mai	742.2	0	1.5	0	90	0.8	4.8
7-mai	754.5	0	1.6	0	90	0.9	6.0
8-mai	761.3	25.1	1.6	0	90	1.0	7.5
9-mai	768.1	0	1.7	0	90	0.9	5.9
10-mai	780.2	0	1.7	0	90	1.1	7.4
11-mai	792.0	31.2	1.8	0	90	1.1	6.3
12-mai	803.4	0	1.9	0	90	0.9	5.9
13-mai	814.7	0	2.0	0	90	0.8	5.3
14-mai	826.4	0	2.1	0	90	1.0	6.9
15-mai	838.4	31.3	2.2	0	90	1.1	6.1
16-mai	850.2	0	2.3	0	90	0.9	5.3
17-mai	861.9	0	2.3	0	90	0.8	5.0
18-mai	873.9	0	2.4	0	90	1.0	6.1
19-mai	886.2	28.3	2.5	0	90	1.1	6.8
20-mai	898.4	0	2.6	0	90	0.9	5.4
21-mai	909.5	0	2.7	0	90	0.8	4.5
22-mai	919.9	0	2.7	0	90	0.9	5.3
23-mai	930.9	17.6	2.8	0	90	1.0	5.6
24-mai	943.7	0	2.9	0	90	0.8	6.2
25-mai	959.4	0	3.0	0	90	0.9	7.1
26-mai	975.8	17.5	3.1	0	90	0.9	5.7
27-mai	989.6	0	3.1	0	90	0.8	5.3
28-mai	1001.2	0	3.2	0	90	0.7	4.7
29-mai	1012.5	0	3.2	0	90	0.7	5.7
30-mai	1024.5	12.3	3.3	0	90	0.7	5.5
31-mai	1038.0	0	3.3	0	90	0.6	5.2
1-juin	1051.8	0	3.2	0	90	0.7	5.8
2-juin	1064.8	17.9	3.2	0	90	0.8	4.1
3-juin	1077.9	0	3.1	0	90	0.7	3.7
4-juin	1091.1	0	3.0	0	90	0.6	3.2
5-juin	1104.0	0	3.0	0	90	0.7	4.6
6-juin	1116.9	17.9	2.9	0	90	0.8	5.3
7-juin	1129.8	0	2.8	0	90	0.7	4.2
8-juin	1142.1	0	2.8	0	90	0.8	4.4
9-juin	1154.6	17.5	2.7	0	90	0.9	4.2
10-juin	1167.9	0	2.6	0	90	0.8	4.3

11-juin	1181.9	0	2.6	0	90	0.7	3.4
12-juin	1195.8	0	2.5	0	90	0.8	3.8
13-juin	1209.9	15.2	2.4	0	90	0.9	4.7
14-juin	1224.3	0	2.3	0	90	0.8	4.1
15-juin	1238.6	0	2.3	0	90	0.9	4.8
16-juin	1252.8	15.2	2.2	0	90	0.9	4.7
17-juin	1266.5	0	2.1	0	90	0.8	3.7
18-juin	1279.9	0	2.0	0	90	0.7	3.5
19-juin	1293.6	0	2.0	0	90	0.8	4.4
20-juin	1308.9	12.7	1.9	0	90	0.8	5.2
21-juin	1325.8	0	1.8	0	90	0.7	4.4
22-juin	1343.1	0	1.7	0	90	0.7	5.6
23-juin	1359.9	10.4	1.6	0	90	0.7	4.6
24-juin	1376.2	0	1.5	0	90	0.6	3.6
25-juin	1392.5	0	1.5	0	90	0.6	3.9
26-juin	1408.4	7.6	1.4	0	90	0.6	3.2
27-juin	1424.6	0	1.3	0	90	0.6	3.0
28-juin	1441.2	0	1.2	0	90	0.6	3.7
29-juin	1457.8	5.2	1.1	0	90	0.5	2.9

Annexe 2a

Fiche technique

Conseils pratiques pour l'irrigation et la production d'arachide de bouche de qualité dans la vallée du fleuve Sénégal : Fleur 11

Cette fiche est destinée à apporter aux producteurs de la Vallée du Fleuve Sénégal, des conseils pour la maîtrise des quantités et de la fréquence des apports en eau. Ceci dans le but d'améliorer le rendement et la qualité technologique de l'arachide de bouche conformément aux normes définies sur le marché mondial.

Obtention : Sénégal (CNRA de Bambey)

Origine : Chinoise

Clasification botanique : Spanish

Description : Port érigé, grandes folioles, gousses généralement bigraines et bien groupées, graine non dormante

Dans la vallée, les phases phénologiques évoluent en fonction des températures efficaces reçues par la plante

Durée du cycle : 1500 degré-jours (Dj)

Degré-jours : cumul de (Tmoy-tbase)

Température de base : 11 °C

Dates optimales de semis : mi-mars

Densité de semis : 50 cm x 15 cm soit 135 000 pieds ha⁻¹

Trajectoire hydrique :

- la saturation du profil avant le semis ;
- confort hydrique des plantules jusqu'à une semaine avant la floraison (0 à 300 Dj)
- application d'un déficit hydrique modéré pour un meilleur enracinement de la plante et une floraison groupée avant la floraison maximale (entre 300 et 500 Dj);
- alimentation hydrique optimale pendant la phase de floraison intense (500 à 1200 Dj);
- un dessèchement progressif du profil en fin de cycle pour l'équilibre biomasse aérienne, nombre de gousses par plant et qualité du rendement (1200 à 1500 Dj).

Irrigation nette sur le cycle : 600 à 750 mm, variable, selon les sites du delta à la vallée et le type d'années (« froide » ou « chaudes »)

Rendement

Rendement en gousses : 3 à 4 tonnes

Rendement fanes : 4 à 5 tonnes

Qualité du rendement

Rendement HPS (Hand picked selected) : 2 tonnes

Poids 100 graines HPS : 70

Nombre de graine à l'once : 43

Observations : bonne adaptation à la sécheresse et bonne réponse à l'irrigation

Instruments et données météorologiques nécessaires : un thermomètre à minima et maxima, ETP estimée par zone.

Annexe 2b

Fiche technique

Conseils pratiques pour l'irrigation et la production d'arachide de bouche de qualité dans la vallée du fleuve Sénégal : GH 119-20

Cette fiche est destinée à apporter aux producteurs de la Vallée du Fleuve Sénégal, des conseils pour la maîtrise des quantités et de la fréquence des apports en eau. Ceci dans le but d'améliorer le rendement et la qualité technologique de l'arachide de bouche conformément aux normes définies sur le marché mondial.

Obtention : station de Tfton (Georgie, USA)

Origine : Sélection de la station de Tfton

Classification botanique : Virginia, jumbo

Description : cycle de 110 jours, à port érigé et grandes folioles, grosses gousses arrondies, graine de dormance moyenne, excellente qualité comme arachide de Dans la vallée, les phases phénologiques évoluent en fonction des températures efficaces reçues par la plante

Durée du cycle : 1800 degré-jours (Dj)

Degré-jours : cumul de (Tmoy-tbase)

Température de base : 11 °C

Dates optimales de semis : mi-mars

Densité de semis : 60 cm x 15 cm soit 80 000 pieds ha⁻¹

Trajectoire hydrique :

- la saturation du profil avant le semis ;
- confort hydrique des plantules jusqu'à une semaine avant la floraison (0 à 400 Dj)
- application d'un déficit hydrique modéré pour un meilleur enracinement de la plante et une floraison groupée avant la floraison maximale (entre 400 et 600 Dj);
- alimentation hydrique optimale pendant la phase de floraison intense (600 à 1300 Dj);
- un dessèchement progressif du profil en fin de cycle pour l'équilibre biomasse aérienne, nombre de gousses par plant et qualité du rendement (1300 à 1800 Dj).

Irrigation nette sur le cycle : 700 à 800 mm, variable, selon les sites du delta à la vallée et le type d'années (« froide » ou « chaudes »)

Rendement

Rendement en gousses : 4,5 à 5,5 tonnes

Rendement fanes : 5 à 7 tonnes

Qualité du rendement

Rendement HPS (Hand picked selected) : 2 tonnes

Poids 100 graines HPS : 85 à 90

Nombre de graine à l'once : 30 à 32

Observations : non tolérante à la sécheresse mais bonne réponse à l'irrigation

Instruments météorologiques nécessaires : un thermomètre à minima et maxima , ETP estimée par zone.