

## Développement d'un outil de simulation de la croissance du cotonnier ouvert à l'expertise de l'utilisateur

Abdoulaye Ndour<sup>1</sup>  
Moustapha Gueye<sup>1</sup>  
Gilles Pereau<sup>3</sup>  
Pierre Martin<sup>2,3</sup>  
Pascal Clouvel<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Société de développement et des fibres textiles (Sodefitex),  
Km 4,5,  
Boulevard du Centenaire  
de la Commune de Dakar,  
BP 3216,  
Dakar,  
Sénégal  
<abdoulaye.ndour@sodefitex.sn>  
<moustapha.gueye@sodefitex.sn>

<sup>2</sup> Centre de coopération internationale  
en recherche agronomique  
pour le développement (Cirad),  
34398 Montpellier cedex 2,  
France  
<pierre.martin@cirad.fr>  
<pascal.clouvel@cirad.fr>

<sup>3</sup> ITK,  
Société de développement et de diffusion  
de systèmes d'aide à la décision  
pour l'agriculture,  
5, rue de la cavalerie,  
34000 Montpellier,  
France  
<pascal.clouvel@cirad.fr>  
<gpereau@yahoo.fr>

### Résumé

Confrontée à la difficulté d'évaluer l'effet des pratiques des producteurs en matière de fertilisation minérale, la Sodefitex se pose la question de l'utilisation des outils de simulation. La collaboration technique entre équipes de recherches et de développement a donné lieu à la mise au point d'une version expérimentale du modèle COTONS<sup>®</sup> adaptée à l'expertise des techniciens au Sénégal. Le diagnostic porté sur la nature des données disponibles et les conditions spécifiques de culture rencontrées au Sénégal a conduit à proposer une version hybride cumulant les avantages du modèle standard avec ceux des modèles simples utilisés pour l'évaluation de la production à une échelle régionale. Les solutions techniques proposées ont ensuite été mises en œuvre pour le calibrage de deux variétés cultivées au Sénégal et des tests de validation ont été réalisés à partir des données recueillies sur 3 sites et 4 années d'expérimentation. La démarche semble prometteuse pour la mise au point d'un outil destiné au conseil agricole.

**Mots clés :** coton ; Sénégal ; modèle de simulation ; croissance.

**Thèmes :** productions végétales ; méthodes et outils.

### Abstract

#### Development of a cotton growth simulation tool open to users' expertise

Faced with the problem of assessing the impact of farmers' nitrogen supply practices on cottonseed yield, Sodefitex is currently seeking solutions to improve the use of crop simulation models. Technical collaboration between research and development teams resulted in the design of an experimental COTONS<sup>®</sup> model release which could be run using technicians expertise on soil and plant development. Diagnoses on available data and specific Senegalese crop conditions led to propose an hybrid version, bringing together the advantages of both standard and simple models releases used for production estimates at regional level. Technical options were then used for two current variety calibrations, and validation tests were carried out using three sites and four-year experimental data. The process seems promising for the setting up of a farming advice-oriented tool.

**Key words:** cotton; Senegal; simulation models; growth.

**Subjects:** vegetal productions; tools and methods.

Tirés à part : P. Clouvel

Entre aléas climatiques récurrents, incertitudes sur le prix de vente des produits et organisation du travail à l'échelle de l'exploitation agricole, les producteurs africains sont confrontés à des arbitrages quotidiens en matière de conduite culturale. C'est le cas

en particulier des engrais, le plus souvent disponibles en quantité limitée du fait de leur coût, et dont l'application fait l'objet de choix entre cultures, d'une part, et entre parcelles de la sole cotonnière, d'autre part [1]. Au Sénégal oriental ou en Casamance par exemple, certains pro-

ducteurs appliquent l'engrais ternaire (NPK) sur les parcelles les moins fertiles et réservent l'urée aux parcelles régulièrement amendées par les troupeaux bovins [2]. Compte tenu des interactions entre fertilité du sol, quantité d'engrais apportée, calendrier cultural et conditions climatiques, les dispositifs expérimentaux classiques ne permettent pas de quantifier l'effet de ces pratiques sur le rendement de la culture cotonnière. Le recours aux outils de simulation peut en revanche les prendre en compte. Pour le cotonnier, la référence en matière de modèle destiné à la quantification des pratiques à l'échelle de la parcelle est GOSSYM [3], modèle développé à l'usage des producteurs nord-américains. De même que Pnutgro pour l'arachide [4], GOSSYM appartient à la famille des modèles complexes dont l'emploi requiert une connaissance précise des caractéristiques du milieu. Or, dans les pays africains, les données climatiques requises comme la température de l'air, le rayonnement et la vitesse du vent sont difficilement accessibles au pas de temps quotidien et il serait trop onéreux d'envisager le recours à des analyses physico-chimiques des sols pour l'ensemble des parcelles. D'autres modèles plus simples à mettre en œuvre existent à l'exemple des modèles développés sur arachide [5] ou sur mil [6]. Ces modèles s'adressent toutefois à l'évaluation de la production à une échelle régionale et ne conviennent donc pas à la simulation du rendement à l'échelle de la parcelle. S'il est vrai que les données requises pour lancer une simulation sont difficiles à réunir, il n'en demeure pas moins que celles-ci, relatives aux conditions de développement de la culture dans un milieu connu, font écho à une expertise du technicien. Les questions se posent alors de la capacité de l'outil de simulation à agréger cette expertise et à satisfaire à l'attente des techniciens. Ces questions, à l'interface entre la recherche et le développement, ont fait l'objet d'une étude conduite au Sénégal par la Société de développement et des fibres textiles (Sodefitex) en collaboration entre le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad) et le Centre national d'études agronomiques des régions chaudes (Cnearc). L'objectif de l'article est de décrire la démarche utilisée pour mettre au point l'outil de simulation. Celle-ci comporte trois phases : le diagnostic sur la demande ; la proposition de solutions techniques pour mettre au point un outil

de simulation adapté aux conditions de culture sénégalaises et à l'agrégation de l'expertise ; et le test de la version expérimentale proposée (COTONS<sup>®</sup>-Sénégal).

## Diagnostic

Cette étape a pour objet de confronter le fonctionnement et la mise en œuvre de la version standard de COTONS<sup>®</sup> [7] à son usage dans le cadre de l'étude. Dans cette version, les fonctions physiologiques utilisées sont celles de GOSSYM telles que décrites par Hodges *et al.* [3]. Ces fonctions comportent des paramètres destinés à rendre compte de la variabilité de fonctionnement induite par les caractéristiques génétiques des variétés cultivées. Comme l'ensemble des modèles de simulations mécanistes, GOSSYM fonctionne sur la base du bilan entre la demande en carbone des organes en croissance et l'offre fournie par la photosynthèse. Il se distingue toutefois des autres modèles par l'emploi d'un modèle de développement et de morphogenèse pour simuler la demande à l'échelle de l'organe. Dans COTONS<sup>®</sup>, cette fonctionnalité de GOSSYM est utilisée pour construire l'architecture 3D d'un plant moyen et la visualiser. Grâce à ces fonctions, l'évaluation d'une simulation ne porte pas uniquement sur le rendement final mais également sur les états de croissance observés au cours du cycle : nombre de nœuds de la tige principale et développe-

ment des ramifications secondaires pour les parties végétatives, nombre et âge des fruits pour les parties fructifères.

## Inventaire des données disponibles

### Climat

Le bassin de production cotonnière s'étend au sud du Sénégal entre 12,05° et 14,05° de latitude Nord et 11,2 et 16,1° de longitude Ouest (*figure 1*). La pluviométrie fait l'objet d'un suivi régulier de la part de l'encadrement de la Sodefitex, et des enregistrements sont donc disponibles au niveau de chaque village. Ce n'est malheureusement pas le cas des autres variables, uniquement disponibles au niveau des stations météorologiques de Tambacounda au nord de la zone cotonnière et Kolda au sud pour les années 1950 à 1980.

Durant cette période, la pluviométrie a connu une forte tendance à la baisse sur l'ensemble du bassin cotonnier. Depuis quelques années, cette tendance s'inverse sensiblement au sud et au centre de la zone (Velingara) et, dans une moindre mesure, au nord. La variabilité explorée sur les deux stations de 1950 à 1980 se situe entre 500 et 1 600 mm de pluviométrie annuelle, ce qui permet de couvrir la gamme actuellement observée sur l'ensemble du bassin cotonnier sénégalais.

### Données agronomiques de référence

Les données proviennent des observations réalisées au cours de six campagnes d'expérimentation successivement

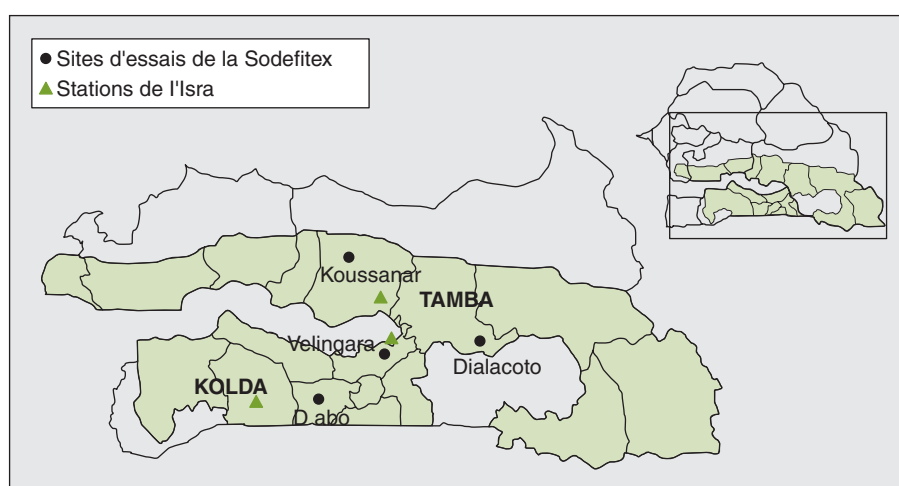


Figure 1. Bassin de production du coton au Sénégal ; localisation des stations climatiques et des centres d'expérimentations.

Figure 1. Senegalese cotton production area: locations of weather stations and experimental sites.

**Tableau 1. Données agronomiques enregistrées dans la base de données expérimentales.**

Table 1. Contents of the experimental database.

Variété	Site	Année	Pluie (mm)	1 <sup>re</sup> pluie (1)	Semis	Essai (2)	N (kg/ha)	Suivi (3)	Coton-graine (kg/ha)	
Stam 42	Koussanar	1999	936	15/6	20/7	V	20	P C	1 900-2 400	
	Dialacoto	1999	1 010	15/6	20/7	V	20	P C	1 900	
		2003	1 218	8/6	4/7	F3	40	P C	750-1 000	
		2003	1 218	8/6	8/7	W	20	P	1 500-1 900	
	Dabo	1999	1 318	15/5	20/7	V	50	P C	850-1 900	
		2003	1 100	8/6	27/6	F3	50	P C	2 750-3 150	
		2003	1 100	8/6	11/7	W	50	C	1 400-1 800	
		2003	1 100	8/6	1/7	V	50	P	1 350	
	Stam F	Koussanar (Sinthiou Malème)	1991	621	15/6	19/7	F1	0-40	C	950-1 950
			1992	734	15/5	15-30/7	F2	0-60	C	1 300-2 350
1993			645	25/5	15-30/7	F2	0-60	C	950-1 250	
1994			933	25/5	1/7	F2	0-80	C	1 200-2 100	
Velingara		1991	715	15/6	9/7	F1	0-40	C	850-1 700	
		1992	892	10/6	20/7	F2	0-60	C	300-700	
		1993	754	25/5	30/7	F2	0-60	C	650-1 100	
		1994	1 008	25/5	1-10/7	F2	0-80	C	450-1 750	
Kolda		1991	767	15/6	20/7	F1	0-40	C	550-1 250	
		1992	1 316	15/6	25/7	F2	0-60	C	400-850	
		1993	1 126	10/6	20/7	F2	0-60	C	800-1 150	
		1994	1 149	10/6	1-5/7	F2	0-80	C	700-1 100	

(1) Première pluie de semis (supérieure à 20 mm) ; (2) F1 : essai fertilisation (dose d'engrais) ; F2 : formules d'engrais ; F3 : dates d'épandage ; V : essai variétal (Stam 42=variété témoin) ; W : travail du sol ; (3) P : phénologie (dates de floraison, d'ouverture des capsules, du cut-out) ; C : croissance (hauteurs à 60 jours après semis, à 90 jours, nombre de nœuds de la tige principale à 90 jours).

conduites par l'Institut sénégalais de recherche agronomique (Isra), puis par la Sodefitex entre 1991 et 2003. Deux variétés sont actuellement cultivées : Isco PG dans les zones à faible pluviosité, et Stam 42 dans le reste du bassin cotonnier. Stam 42 et Stam F qu'elle a remplacée depuis 1995 sont les variétés les mieux renseignées dans la base de données des résultats expérimentaux. Pour ces deux variétés, la base de données décrit 175 situations de culture (31 pour Stam 42 et 144 pour Stam F) dont la gamme de rendement va de 300 à 3 150 kg/ha pour des pluviosités annuelles comprises entre 620 et 1 710 mm. Les dates de semis s'échelonnent du 1<sup>er</sup> au 30 juillet, alors que la saison des pluies est déjà bien installée, la base de données permet surtout d'explorer une variabilité d'alimentation hydrique de la floraison à la fin du cycle de la culture. Les observations réalisées sont décrites dans le *tableau 1*.

## Options de modélisation

Dans les modèles simples cités en introduction, la biomasse est distribuée entre types d'organes (feuilles, tiges, racines et fruits) selon des règles d'allocation évolutives en fonction du stade de développement de la plante et le sol est considéré comme un réservoir dans lequel les racines sont distribuées de façon homogène. Dans COTONS<sup>®</sup>, le fonctionnement du sol et le développement des racines sont assurés par le modèle RHIZOS [8] qui simule la disponibilité spatiale en eau et en azote dans le sol.

Chaque option de modélisation présente des avantages et des inconvénients par rapport aux usages faits des modèles. L'avantage de disposer d'une représentation 3D en regard d'observations réalisées à la parcelle a déjà été signalé précédemment. En contrepartie, le fonctionnement de RHIZOS requiert une connaissance précise des caractéristi-

ques du sol et de leur distribution spatiale que la simple expertise n'est pas en mesure d'apporter. Dans les modèles simples au contraire, l'accès aux variables de croissance des parties aériennes n'est pas évident du fait du regroupement des organes par type. En revanche, la représentation du sol permet l'exercice d'une expertise sur l'état hydrique de la culture en relation avec celui du sol et la profondeur d'enracinement [9].

## Domaine de validité de GOSSYM

Développé à l'usage des agriculteurs nord-américains, GOSSYM simule de façon satisfaisante la croissance de cotonniers cultivés dans en conditions d'agriculture intensive. Ces conditions diffèrent sensiblement de celles du Sénégal où les producteurs conduisent la culture en condition pluviale, à faible densité de peuplement et utilisent peu d'engrais

minéraux. Ce mode de fonctionnement n'est pas sans incidence sur la modélisation. Ainsi, cultivé à faible densité, le cotonnier émet des ramifications secondaires particulières, les branches végétatives, dont la production peut atteindre 30 % du rendement de la parcelle. Ces ramifications n'apparaissent pas, ou tardivement, en conditions de forte densité et participent à la production pour une part négligeable. Leur développement est mal représenté dans GOSSYM. Par ailleurs, dans RHIZOS, un des « moteurs » de croissance des racines est l'azote disponible dans le sol. Or, non seulement la cinétique de minéralisation de la matière organique (MO) est difficilement modélisable en conditions tropicales [10], mais dans le cas étudié, la teneur en MO du sol et sa distribution dans le profil sont inconnus.

## Solutions techniques proposées

Les solutions proposées consistent à développer une version expérimentale de COTONS<sup>®</sup> adaptée à une mise en œuvre à partir de l'expertise mobilisable au Sénégal. Les données expérimentales ne permettant pas d'explorer l'effet de la densité, le domaine de validité de cette version expérimentale est circonscrit à la densité de 5 plants/m<sup>2</sup>.

### Adaptations du modèle

Dans le modèle de morphogenèse décrit en [11], l'émission des branches végétati-

ves intervient au moment de l'apparition du premier bouton et leur développement est considéré comme synchrone de celui de la tige principale. À dire d'expert, cela semble également être le cas au Sénégal, avec toutefois des différences marquées sur le nombre de nœuds des branches fructifères selon qu'elles sont portées par la tige principale ou les branches végétatives. Dans la version proposée, ces ramifications se développent comme des tiges principales et participent à la fois à l'activité photosynthétique et à la demande des organes en croissance au niveau de la plante entière.

Afin de contourner le problème d'emploi de RHIZOS, une représentation, empruntée aux modèles simples, considère le sol comme un réservoir à deux compartiments [12]. La profondeur du compartiment supérieur augmente avec la progression du front racinaire selon une fonction linéaire du temps. L'état hydrique du sol est exprimé en pourcentage de remplissage du réservoir supérieur ou fraction d'eau transpirable du sol (FTSW, *Fraction of transpirable soil water*). Cette variable varie de 0 au point de flétrissement permanent à 1 à la capacité de rétention au champ. Les résultats obtenus sur cotonnier, décrits par Lacape *et al.* [13], indiquent que la transpiration est affectée par l'état hydrique du sol dès que la FTSW devient inférieure à 0,3. En deçà de cette limite, la transpiration diminue de façon linéaire jusqu'à s'annuler au point de flétrissement permanent. La même allure est observée pour l'expansion foliaire, mais cette fois pour des valeurs de FTSW inférieures à 0,7. D'après les travaux décrits par Gérardaux [14], les mécanismes d'expansion

cellulaire observés sur les entre-nœuds présentent une allure similaire à celle observée sur les feuilles. La même relation est donc appliquée pour moduler la vitesse d'émission (expansion cellulaire intra-bourgeon) et l'allongement des entre-nœuds en fonction de l'état hydrique du sol.

Pour l'azote, se posent deux problèmes non réglés par l'adoption d'une représentation du sol à deux compartiments. Parmi les fonctions qu'il assure, RHIZOS simule la minéralisation de la matière organique et l'infiltration de l'eau de pluie dans le sol et ses conséquences sur la lixiviation de l'azote minéral. Compte tenu des imprécisions inhérentes à l'information fournie par expertise, il n'a pas été jugé utile de proposer un autre modèle. Dans l'option proposée, le modèle de sol à deux compartiments pilote le fonctionnement hydrique de la plante et en particulier ses réactions physiologiques en conditions de moindre disponibilité hydrique, dont l'impact sur la croissance racinaire. Par ce biais, il conditionne donc également le fonctionnement de RHIZOS pour la simulation de l'azote disponible dans le sol.

### Domaines d'exercice de l'expertise

#### Paramètres variétaux

Pour décrire le comportement d'une variété particulière, GOSSYM utilise 33 paramètres. Les modifications apportées sur la représentation du sol et l'impact de sa teneur en eau sur le fonctionnement de la plante permettent de désactiver 11 de ces paramètres. Pour les autres, il est proposé de référer le com-

**Tableau 2. Paramètres définissant le comportement particulier d'une variété au sein d'un type variétal donné.**

Table 2. List of parameters used to define a specific genotype behaviour within a varietal type.

Fonction	Ajustement	N°	IRMA 1243	STAM 42
Phénologie	Date d'apparition du premier bouton	0	0,9	0,5
"	Durée bouton-fleur	11	1	1,2
"	Durée fleur-déhiscence de la capsule	13	1,1	1,2
Architecture	Longueur des entre-nœuds	4	2,3	1,55
Rythme	Émission des boutons sur les rameaux fructifères	6	1,5	1,9
"	Émission des entre-nœuds de la tige principale	14	1,3	1,25
Croissance	Allocation de biomasse aux feuilles	18	1,8	0,78
"	Allocation de biomasse aux fruits	23	1,8	1,9
"	Masse potentielle de la capsule (g)	32	6,5	6,5
Physiologie	Sénescence foliaire	40	1	1,5
Stress	Stade limite d'abscission des fruits (j)	19	7	9

portement de la variété à paramétrer à celui d'un type approchant déjà renseigné dans COTONS<sup>®</sup>. Ces types se distinguent en particulier par le caractère plus ou moins déterminé de leur croissance, en relation avec la répartition de la biomasse entre organes dont les feuilles (SLA, *Specific leaf area* = surface foliaire spécifique). À l'intérieur d'un type, 11 paramètres ont été considérés comme spécifiques d'une variété donnée (tableau 2), les autres étant considérés comme invariant à l'intérieur d'un type.

### Plante

Compte tenu des incertitudes sur leurs déterminants, les nombres potentiels de branches végétatives par plant et de nœuds par branche fructifère sont soumis à l'expertise de l'utilisateur qui en fixe les valeurs *a priori*. Pour la vitesse de progression du front racinaire, les références décrites par Dardanelli *et al.* [15] sont adoptées, soit une progression linéaire 1,1 cm par jour à partir de la levée. La profondeur maximum d'enracinement est établie par expertise de l'utilisateur.

### Sol

COTONS<sup>®</sup> propose un modèle de pédo-transfert [16] permettant d'accéder à la réserve en eau du sol et à la conductivité hydraulique à saturation à partir de la texture. La carte pédologique dressée par Maignien en 1965 donne une idée générale des types de sols du bassin cotonnier et de leur texture. À l'échelle de la parcelle, les sols font l'objet d'une distinction vernaculaire précise selon leurs textures et couleurs en relation avec leur position topographique et une aptitude à produire [2]. Dans des conditions comparables, des valeurs moyennes d'analyse ont pu être établies au Cameroun [17], correspondant à des sols pauvres, moyennement fertiles et fertiles. À défaut de données spécifiques au Sénégal, ces valeurs sont proposées pour caractériser les sols selon trois classes d'aptitude, pour des cultures « standard » de cotonnier.

### Climat

La figure 2 montre la relation existant entre la température moyenne journalière et la pluviométrie durant la saison des pluies pour les deux sites confondus entre 1950 et 1980 ( $R^2 = 0,56$ ). Pour valoriser l'interaction entre ces deux variables, il est proposé de référer la température journalière d'une année non renseignée à celle d'une année type, homologue sur le plan de la date d'installation de la saison des

pluies et de la pluviométrie (figure 3). Le rayonnement journalier, calculé à partir de la durée d'insolation et la vitesse du vent ne présentent pas d'évolution remarquable en relation avec la pluviométrie. Leurs niveaux variant peu en relation avec la situation géographique et la pluviométrie, une valeur médiane quotidienne de ces variables est adoptée quels que soient les sites et années.

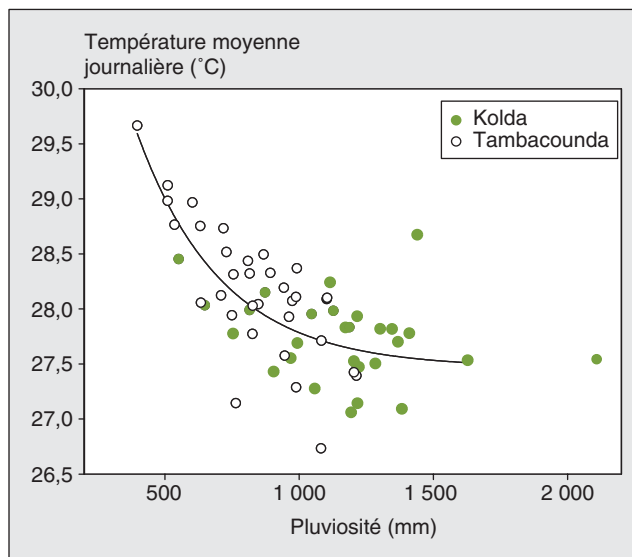


Figure 2. Relation entre la pluviométrie et la température moyenne quotidienne des stations de Kolda et Tambacounda de 1950 à 1980 ( $R^2 = 0,56$ ).

Figure 2. Relation between daily rainfall and mean temperature in Kolda and Tambacounda from 1950 to 1980 ( $R^2 = 0.56$ ).

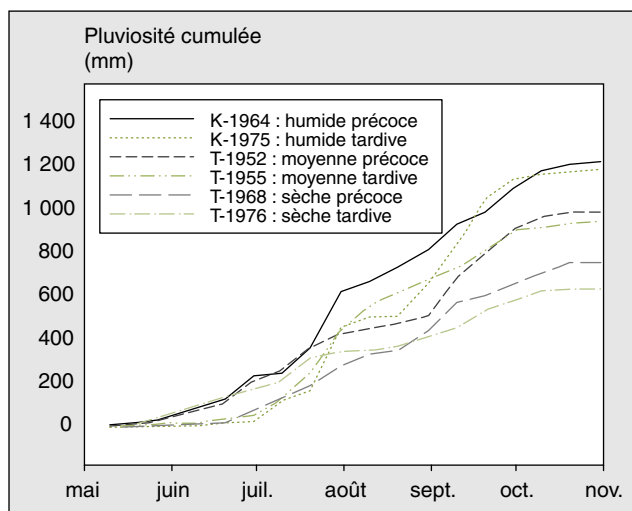


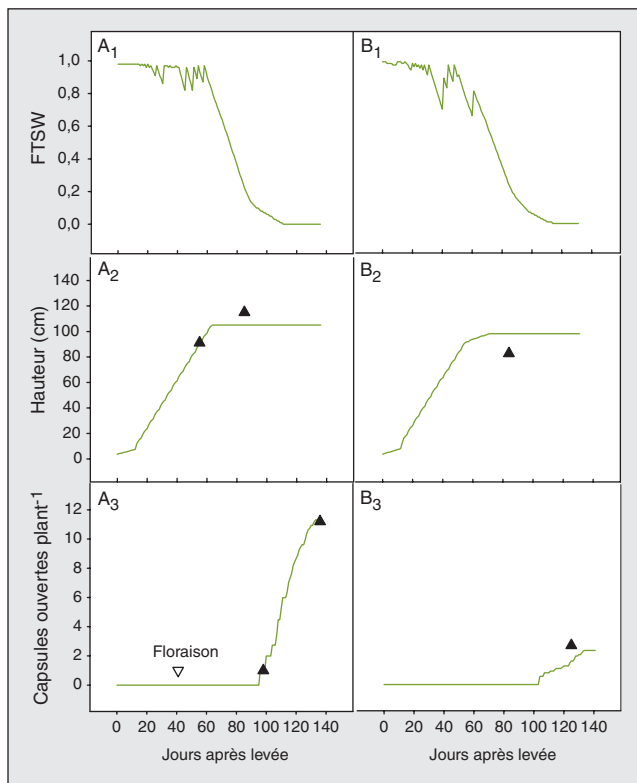
Figure 3. Années types retenues pour représenter la variabilité de régime hydrique du bassin cotonnier sénégalais.

Figure 3. Selected years representing rainfall variability in the Senegalese cotton production area  
Les lignes matérialisent les six années types retenues.

## Test des solutions proposées

Cette partie décrit les modalités de la mise en œuvre des propositions pour le calibrage des variétés utilisées et les tests d'aptitude du modèle à simuler les interactions entre fertilisation azotée et plu-





**Figure 4.** Résultats des simulations de la fraction d'eau transpirable du sol ( $_1$ ), de la hauteur des plants, ( $_2$ ) et du nombre de capsules ouvertes par plant, ( $_3$ ) pour les situations de Dabo en 1999, A) sur Stam 42 et B) Velingara en 1992 sur Stam F.

**Figure 4.** Simulation results of fraction of soil transpirable water contents ( $_1$ ), plant height ( $_2$ ), and number of open bolls per plant ( $_3$ ) for the Dabo experiment in 1999, A) on Stam 42 and B) Velingara in 1992 on Stam F.

Les triangles noirs correspondent aux observations.  
FTSW : fraction d'eau transpirable du sol (*Fraction of transpirable soil water*).

viosité. Dans les simulations, les climats ont été reconstruits comme décrit plus haut et la texture des sols fournie par la carte de Maignien (1965), la profondeur maximum du front racinaire est de 100 cm et les nombres potentiels de branches végétatives par plant et de branches fructifères portées par les branches végétatives sont respectivement fixés à 3 et 3.

## Calibrage variétal

Les paramètres régissant la phénologie et les rythmes de croissance potentiels sont établis en situation de fonctionnement sans stress hydrique (pluviosité favorable et bon niveau de rendement). La variété de référence choisie est IRMA 1243 originaire du Cameroun, représentant le type communément cultivé en Afrique, à croissance indéterminée. Le paramétrage de Stam 42 a été réalisé sur l'essai variétal mené à Dabo en 1999. La pluviosité est celle observée sur le site et la température

celle de l'année de référence 1964 à Kolda (*figure 3*). Le sol correspond à une situation fertile et la teneur en eau initiale du sol fixée arbitrairement à 80 % de la réserve. La *figure 4* ( $A_2$  et  $A_3$ ) montre les résultats de la simulation à l'issue des ajustements successifs réalisés sur le jeu réduit de paramètres (*tableau 2*). Pour approcher du nombre de capsules/plant observé et alors que la phénologie et les rythmes d'émission simulés correspondaient avec les observations, il a fallu procéder à des ajouts virtuels d'azote. Sur la *figure 4-A<sub>1</sub>*, on constate que l'infléchissement de la croissance intervient alors que l'indicateur d'état hydrique du sol (FTSW) présente une valeur supérieure à 0,8. Ce résultat confirme que le paramétrage du modèle de développement est bien réalisé en conditions d'alimentation hydrique non limitante. À titre de validation du paramétrage réalisé en conditions d'alimentation hydrique non limitante, l'aptitude du modèle à reproduire les

observations a été vérifiée avec succès sur huit situations contrastées couvrant la gamme de rendements de 750 à 2 750 kg/ha.

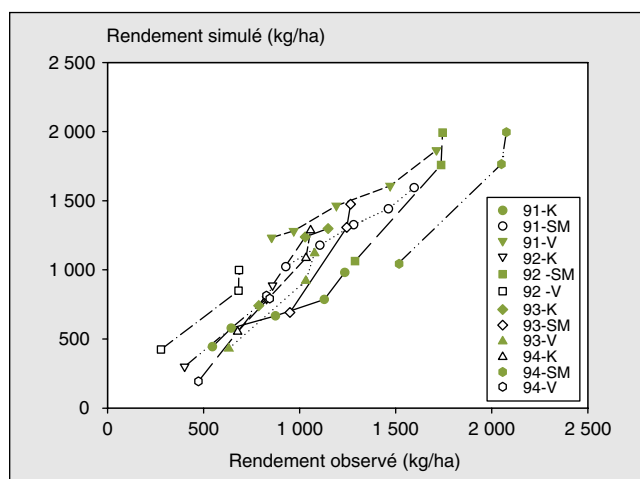
La variabilité climatique explorée sur Stam 42 ne permettant pas de tester le modèle en condition de stress hydrique, les tests ont dû être réalisés sur Stam F. Les informations fournies par Bèye [18] permettent d'avancer l'hypothèse d'un comportement proche de celui de Stam 42, dont elle se distingue toutefois par la qualité de ses fibres. Le même jeu de paramètres a donc été adopté pour les deux variétés. La situation de Velingara 1992 a été choisie pour tester le comportement du modèle en situation de stress hydrique. Pour reproduire le nombre de capsules/plant dans ce cas (*figure 4-B<sub>3</sub>*), le nombre de jours après la floraison à partir duquel un fruit n'est plus susceptible d'abscission (paramètre 19) a été porté à 9 jours.

## Test de COTONS®-Sénégal

Ce travail a été réalisé à partir de l'ensemble des situations disponibles sur Stam F (*tableau 1*). Le comportement des témoins sans engrais permet d'appréhender l'aptitude du sol à fournir de l'azote sur chacun des essais. Ces témoins ont donc été utilisés pour identifier les classes de fertilité convenant le mieux à la situation simulée entre sols pauvres, moyennement fertiles et fertiles. Dans les simulations effectuées, il n'a pas été réalisé d'apport virtuel d'engrais et les résultats traduisent donc bien la réponse du modèle à la fertilisation azotée pratiquée, en interaction avec la pluviosité enregistrée. Sur la *figure 5*, les résultats des simulations sont présentés en fonction des observations et les points de chaque essai reliés par un trait. De manière générale, la pente des segments s'éloigne peu de 1 et on peut dire qu'en regard des incertitudes inhérentes à la méthode, le modèle rend relativement bien compte du résultat des apports d'azote sur le rendement.

## Conclusion et perspectives

Les résultats obtenus montrent que la mise en œuvre de l'expertise du technicien permet de lever les difficultés d'utilisation des modèles de simulation de la



**Figure 5.** Résultat des simulations du rendement (base coton-graine) réalisées sur les 12 essais fertilisation conduits de 1991 à 1994 à Kolda (K), Koussanar (SM) et Vélingara (V). ( $R^2 = 0,816$ , tous sites et traitements confondus).

**Figure 5.** Simulation results of yield (seed cotton) performed from 1991 to 1994 on 12 fertilization trials in Kolda (K), Koussamar (SM) and Velingara (V). ( $R^2 = 0.816$  for all sites and treatments together).

croissance des cultures dans les conditions où les données requises pour les faire fonctionner ne sont pas complètes. Pour ce faire, le modèle « standard » a dû être adapté au prix d'une mobilisation de connaissances en écophysologie et en programmation informatique hors du domaine de compétences de l'encadrement d'une société de production. En ce sens, ce document illustre bien la nécessité pour la recherche de considérer l'usage dans la mise en forme des connaissances sous forme de modèle. Par rapport à l'objectif de la Sodefitec, ce travail constitue une étape dans la mise au point d'un outil destiné au conseil agricole. Ainsi, le modèle expérimental établi n'a pas été testé en conditions de sécheresse de début de cycle et reste à valider sur une gamme étendue de densités de peuplements. Par ailleurs, la diversification prévisible des sources d'approvisionnement en matière de semences et de variétés conduit à préciser la notion de type variétal utilisé pour limiter le nombre de paramètres nécessaires au calibrage d'une variété. Enfin, un effort de recherche reste à porter sur la construc-

tion de l'expertise concernant l'aptitude des sols à produire en relation avec les pratiques en matière de fertilisation organique et les performances de production enregistrées les années précédentes. ■

## Références

1. Dounias I. *Modèle d'action et organisation du travail pour la culture cotonnière : cas des exploitations agricoles du bassin de la Bénoué au Nord Cameroun*. Thèse de doctorat de l'Institut national agronomique de Paris-Grignon (Ina-PG), Paris, 1998.
2. Pureau G. *Modèles de conduite technique et modèle d'élaboration du rendement, outils pour la conception d'itinéraires techniques. Cas de la culture cotonnière au Sénégal*. AGIR - Agronomie et innovation en milieu rural. Montpellier : Centre national d'études agronomiques des régions chaudes (Cnearc), 2005.
3. Hodges HF, Whisler FD, Bridges SM, Reddy KR, McKinion JM. *Simulation in Crop Management : GOSSYM/COMAX*. In : Peart B, Curry RB, eds. *Agricultural systems modeling and simulation*. New York : Marcel Dekker, Inc., 1998.
4. Boote KJ, Jones JW, Hoogenboom G, Wilkerson GG, Jagtap SS. "PNUTGRO" v. 1.02. *Peanut Crop Growth Simulation Model. User's Guide*. Gainesville (Florida) : University of Florida, 1989.

5. Hammer GL, Sinclair TR, Boote KJ, Wright GC, Meinke H, Bell MJ. A Peanut Simulation Model : 1. Model Development and Testing. *Agron J* 1995 ; 87 : 1085-93.

6. Sultan B, Baron C, Dingkuhn M, Sarr B, Janicot S. Agricultural impacts of large-scale variability of the West African monsoon. *Agric For Meteorol* 2005 ; 128 : 93-110.

7. Jallas E. *Improved model-based decision support by modeling cotton variability and using evolutionary algorithms*. PhD Dissertation, MSU, Mississippi, 1998.

8. Boone MYL, Porter DO, McKinion JM. (1991). *RHIZOS 1991 : a simulator of row crop rhizospheres*. ARS-113. Springfield (États-Unis) : US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 1991.

9. Clouvel P, Martin P, Lecoer J, Mohtar RH. *Development of common language to allow technical exchange among crop model users*. Proceedings of the Beltwide Cotton Conference, National cotton council of America, Nashville, 2003.

10. Pansu M, Sallih Z, Bottner P. Modelling of soil nitrogen forms after organic amendments under controlled conditions. *Soil Biol Biochem* 1998 ; 30 : 19-29.

11. Hanan JS, Hearn AB. Linking physiological and architectural models of cotton. *Agric Sys* 2003 ; 75 : 47-77.

12. Sarr B, Lecoer J, Clouvel P. Irrigation scheduling of confectionary groundnut (*Arachis hypogaea L.*) using a simple water balance model. *Agric Water Manage* 2004 ; 67 : 201-20.

13. Lacape MJ, Wery J, Annerose DJM. Relationships between plant and soil water status in five field-grown cotton (*Gossypium hirsutum L.*) cultivars. *Field Crops Res* 1998 ; 57 : 29-43.

14. Géraudeau E. *Mise au point d'un indicateur a posteriori du vécu hydrique du cotonnier*. DEA de l'Institut national agronomique de Paris-Grignon (Ina-PG), Paris, 1999.

15. Dardanelli JL, Bachemeier OA, Sereno R, Gil R. Rooting depth and soil water extraction patterns of different crop in silty loam halustoll. *Field Crops Res* 1997 ; 54 : 29-38.

16. Saxton KC. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Sci Soc Am J* 1986 ; 50 : 1031-6.

17. Crétenet M, Martin P, Mohtar RH. *Risk assessment in decision-making using the COTONS model*. Proceedings of the world cotton research conferences-3 : Rustenburg, Afrique du Sud, ARC-IIC. World Cotton Research Conference, 3, 2003/03/09-13, Cape Town (Afrique du Sud), 2003.

18. Bèye AM. *Programme pluridisciplinaire de recherche sur le coton. Génétique et amélioration variétale. Rapport annuel, campagne 1991/1992*. Paris : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad)-Cultures annuelles, 1993.