

# Croissance de la canne et stress hydrique : les apports d'un modèle plante

## Introduction

Dans le contexte actuel de rareté et de coût élevé de l'eau, les planteurs de canne et les sociétés de service doivent améliorer l'utilisation et la fourniture de cette ressource aux trois niveaux suivants : parcelle, exploitation, réseau. Les normes d'efficacité de l'eau, les essais de rationnement et le bilan hydrique sont les outils les plus fréquemment employés pour optimiser la gestion de l'eau. Cependant, ils sont, dans leur ensemble, très imprécis, coûteux et d'une portée limitée dans le temps et l'espace, et inaptes à déterminer l'efficacité de l'eau sur le rendement.

L'emploi d'un modèle de croissance dynamique de la canne, qui intègre à la fois le bilan hydrique et la réponse de la plante au stress hydrique, permet d'affiner l'optimisation de l'irrigation. Son intérêt est renforcé quand la satisfaction systématique des besoins n'est plus concevable du fait de la rareté et du coût de l'eau.

Plusieurs modèles existent actuellement : Canegro, Apsim-Sugar, Q-Cane, Mosaic. Le modèle Mosaic, présenté ici, a été calé et validé sur des sites de différents climats contrastés de la Réunion. L'étude du fonctionnement du couvert, et notamment de l'effet du stress hydrique, permet de mieux cerner la complexité de cet effet. Quelques exemples d'utilisation du modèle de croissance montrent l'intérêt de l'approche modélisatrice.

## Le modèle de croissance Mosaic

### Présentation générale

Le modèle associe la croissance de la culture et le bilan hydrique du système eau-sol-plante (figure 1).

L'élaboration dynamique de la biomasse est le résultat de trois processus : l'interception du rayonnement par la surface foliaire, la conversion du rayonnement intercepté en biomasse aérienne puis la répartition de cet accroissement de biomasse. Selon les besoins de croissance, la biomasse est répartie entre, d'une part, des structures, les feuilles et les racines (les capteurs), la fibre des tiges (les organes de soutien et de stockage) et, d'autre part, le sucre stocké dans les tiges. L'indice foliaire calculé permet de définir les besoins en eau de la canne. Les apports d'eau et la gestion du bilan hydrique fournissent les indicateurs de stress hydrique nécessaires au modèle de croissance.

### La construction et le calage du modèle

Le modèle est calé pour des repousses de la variété R570 étudiées à la Réunion (MARTINE, 1996, 1997, 1998) et en Guadeloupe (GAY

J.-F. MARTINE  
Cirad-ca, station de la Bretagne,  
BP 20, 97408 Saint Denis Messageries  
Cedex 9, Réunion  
jean-francois.martine@cirad.fr

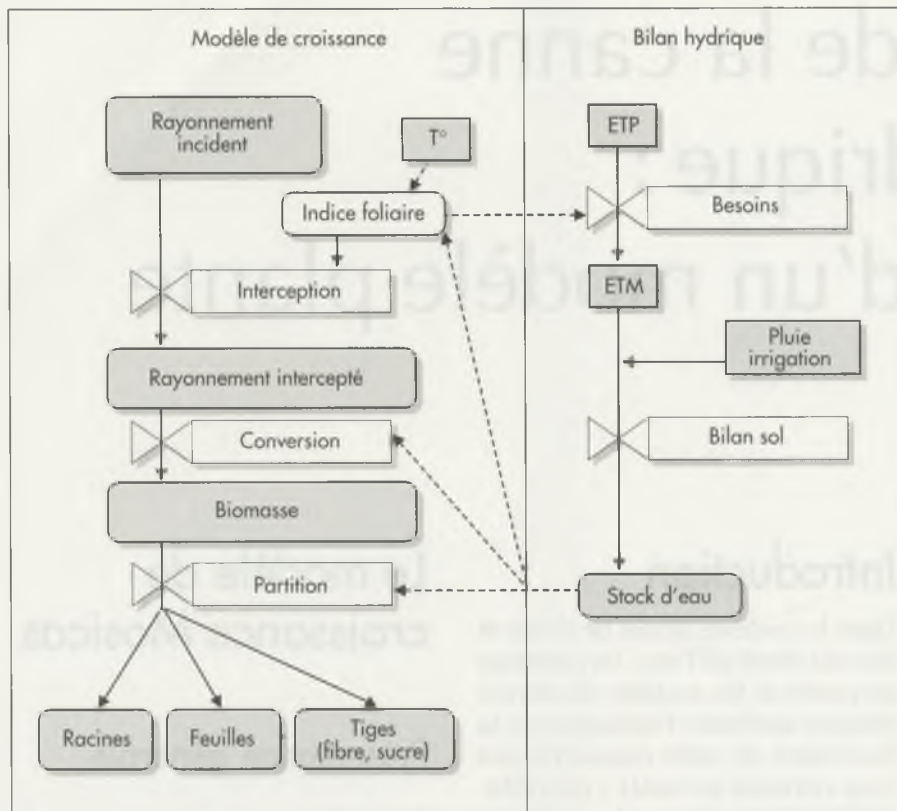


Figure 1. Liaison entre le bilan hydrique et la conception du modèle de croissance.

et POULET, 1998). Il a été mis au point en deux phases :

- en conditions optimales de croissance sans stress hydrique ni minéral sur des sites très contrastés. La mesure des effets du rayonnement, de la température et de leur interaction sur les trois processus cités plus haut a permis de construire un modèle de croissance appelé Mosaic ;
- à la Réunion, en condition de stress hydrique. L'effet du ratio observé stock/réserve a été analysé et inclus dans ce modèle.

## Le fonctionnement du couvert végétal

### En l'absence de stress hydrique

L'élaboration de la biomasse évolue de façon continue : avec tout d'abord une phase de fabrication prédominante de capteurs (les racines et les feuilles), puis une phase d'accumulation préférentielle de

biomasse de tige. Durant ces périodes, la fabrication de feuilles ne cesse jamais, excepté s'il y a 100 % de floraison, ce qui est rare puisque la variété cultivée fleurissant le plus à la Réunion ne dépasse pas 60 % de floraison.

La première période est conditionnée essentiellement par la température, la seconde à la fois par le rayonnement et la température. Le rendement potentiel final dépend donc fortement de l'interaction entre la température et le rayonnement (MARTINE *et al.*, 1999).

La figure 2 montre les dynamiques de fabrication des différents organes. On note l'absence de phases très nettes avec arrêt de fabrication d'organe et début d'élaboration d'autres organes. Les stades principaux du cycle de la canne pour la variété R570 ont été déterminés (tableau 1). Dans la suite du document, les chiffres cités concernent cette variété.

Canne vierge de 4,5 mois. Fermeture presque complète du feuillage (Banian). (© Cirad)



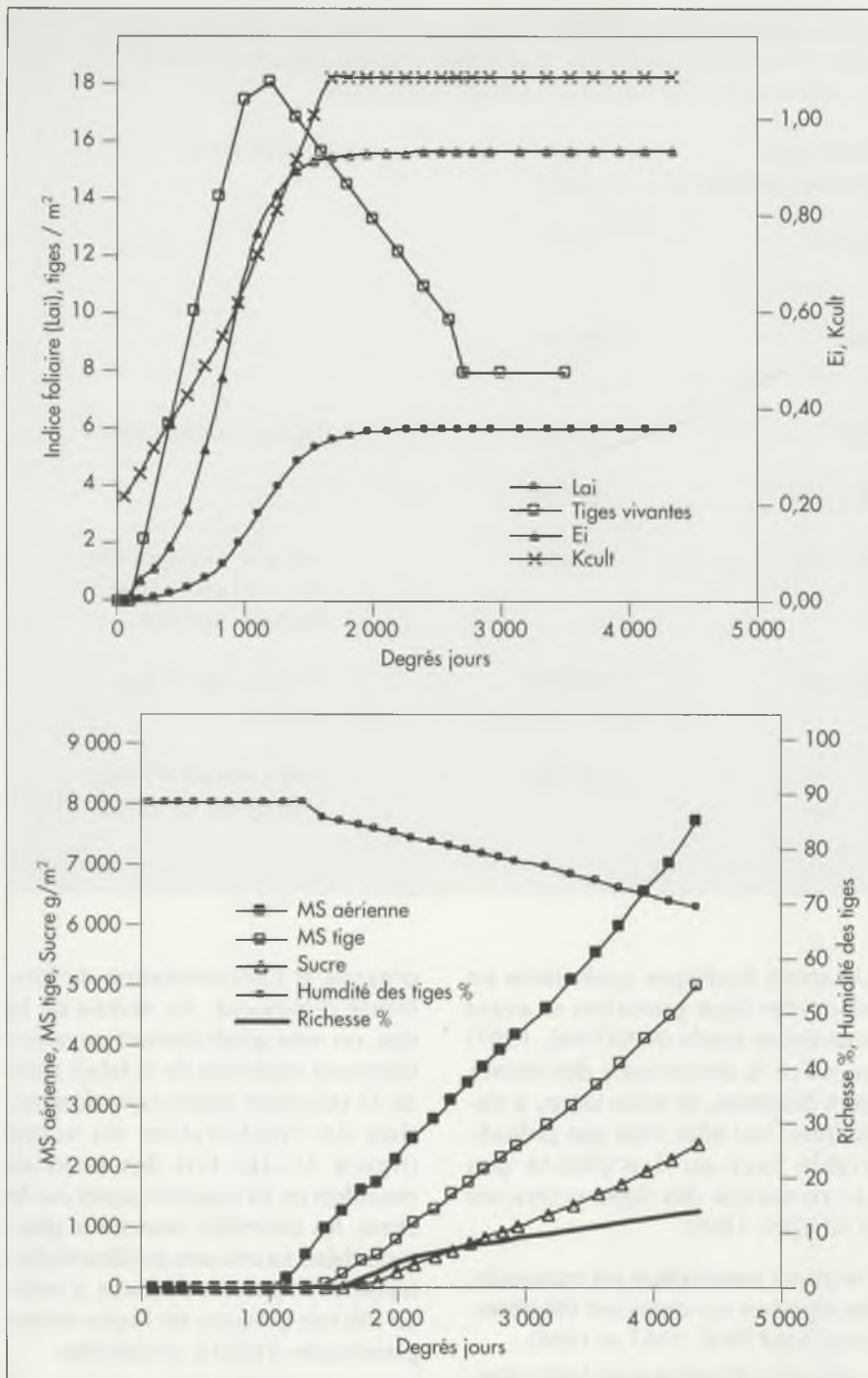


Figure 2. Evolution de différents états du couvert simulés, en fonction de la somme des degrés jours en base 12.

Lai, indice foliaire ; Ei, efficacité d'interception ; Kcult, coefficient cultural ; MS, matière sèche aérienne, tige ; Sucre, en grammes par m<sup>2</sup> ; Humidité des tiges (%), Richesse (%).

Durant la phase de mise en place du couvert, l'émission et la croissance des tiges et des feuilles dépendent surtout de la température. Les feuilles apparaissent tous les 83 degrés jours (°jour) avec un seuil de 12 °C (VEDIE, 1993). La surface foliaire par feuille aug-

mente de 35 cm<sup>2</sup> à chaque feuille et se stabilise à 900 cm<sup>2</sup> à partir de la 25<sup>e</sup> feuille (VEDIE, 1993). La variation d'indice foliaire se déduit de la température et détermine l'évolution de l'interception du rayonnement. L'accumulation de biomasse aérienne est faible

tant que l'interception reste réduite. L'élongation des tiges est faible.

Puis, à partir d'un certain degré de couverture — 12 à 15 feuilles sur les tiges primaires, soit une efficacité d'interception d'environ 0,85 — la sénescence des feuilles les plus âgées apparaît au même rythme que l'apparition des nouvelles. On observe ainsi la présence d'un tapis vert permanent de 9 à 12 feuilles correspondant à une stabilisation de l'indice foliaire à un maximum de 6 à 8. La matière sèche des limbes verts reste constante puis diminue faiblement tant qu'il n'y a pas de stress hydrique. A ce même stade d'interception, il y a arrêt du tallage et sénescence des jeunes talles. Seules subsistent les tiges primaires (8 par m<sup>2</sup>) formées au début du cycle dans les 2 à 6 premiers mois selon le site.

L'efficacité de conversion du rayonnement intercepté en biomasse est de 3,5 g/mégajoule (MJ) (MARTINE *et al.*, 1999). Les tiges reçoivent une part de plus en plus importante de la biomasse fabriquée, jusqu'à 70-75%. Cette accumulation s'accompagne d'une élongation de 0,12 cm/°jour au-dessus d'un seuil de 12 °C (GENERE, 1986).

Pour le planteur, la partie intéressante de la plante est la tige utilisable, c'est la partie de la tige ayant achevé sa croissance. Elle est dure, propre et exempte de paille et de bout blanc (extrémité supérieure de la tige).

Deux seuils méritent d'être signalés :  
 – l'apparition de tige utilisable, lorsque la productivité végétale de tige totale atteint 140 g/m<sup>2</sup>, soit 4 à 8 mois après la coupe selon les sites ;  
 – le sucre commence à s'accumuler dans les tiges utilisables, lorsqu'elles constituent une masse de 170 g/m<sup>2</sup>. Ce dernier processus atteint très rapidement un rythme stable : 0,51 g de sucre par gramme de matière sèche de tige utilisable nouvellement élaborée.

La formation et l'accumulation de sucre commencent avant la phase de maturation et ne sont pas déterminées par l'apparition de températures basses ou de stress hydrique



Tableau 1. Stades principaux de la canne en degrés jours (°J) ( $\Sigma$ Tmoy-12 depuis coupe précédente) sur repousse de R570 cultivée sans facteur limitant. Les âges minimum et maximum correspondent respectivement à des cultures de « fin de campagne » (1<sup>er</sup> novembre) sur le littoral et de « début » (15 juillet) à 800 m d'altitude à la Réunion.

Stade	Temps thermique (somme des degrés jours en base 12)	Age (jours)	Observations
Début levée	150-200	8-35	
Fin d'apparition des tiges primaires présentes à la récolte	500	40-110	
Cannaïson	950	70-160	Tiges primaires à 30 cm
Fin tallage, début sénescence	1 200-1 300	90-190	
Début tige usinable	1 400-1 700	90-190	140 g/m <sup>2</sup> MS tige totale ou 1 140 g/m <sup>2</sup> MS de biomasse aérienne
Début accumulation sucre	1 800-2 000	110-215	170 g/m <sup>2</sup> de MS tige usinable
Début floraison		200-310	Début mai sur le littoral à début juin en altitude

(ROBERTSON *et al.*, 1996). D'un point de vue phénologique, il n'y a pas de maturation à proprement parler. Cependant le ratio sucre / tige (exprimé en matière sèche) peut augmenter lors d'une forte réduction de croissance associée à une faible diminution de la photosynthèse. La limite supérieure de ce ratio varie de 0,45 à 0,5 selon les variétés (ROBERTSON *et al.*, 1996 ; MARTINE, 1997).

## Effet d'un stress hydrique

L'effet d'un stress hydrique dépend du niveau de remplissage de la réserve utile (stock utile / réserve utile) et de l'état du couvert.

L'apparition d'un stress hydrique au début de la mise en place du couvert, correspondant à l'émission des tiges primaires (LANGELLIER, 1990), entraîne un ralentissement important de leur apparition, pouvant être préjudiciable au rendement final.

Un stress hydrique après mise en place des tiges primaires et avant couverture totale (MARTINE, 1997) accélère la sénescence des jeunes tiges destinées, de toute façon, à disparaître. Cet effet n'est pas préjudiciable tant qu'il n'affecte pas la croissance des tiges primaires (GAUDIN, 1999).

Lorsque l'interception est maximale, les réponses suivantes ont été observées (MARTINE, 1997 et 1998) :

- si le déficit hydrique est faible (rapport stock / réserve en eau compris entre 0,7 et 0,8), il accroît la sénescence des feuilles âgées et provoque un assèchement rapide des tiges usinables (figure 3). Ces effets entraînent une diminution de l'indice foliaire et une augmentation de la richesse par assèchement sans qu'il y ait accumulation préférentielle de sucre. La croissance d'organes et l'accumulation de biomasse ne sont pas affectées ;
- lorsque le déficit hydrique est plus sévère (rapport stock / réserve en eau inférieur à 0,7), la croissance des

organes et l'accumulation de biomasse diminuent. Au niveau de la tige, on note généralement un ralentissement important de la fabrication de la structure (fibre) sans diminution de l'élaboration du sucre (figure 3). Du fait des besoins moindres en croissance causés par le stress, les assimilats issus de la photosynthèse fournissent préférentiellement la fabrication de sucre. L'indice foliaire diminue de façon moins prononcée et tend à se stabiliser.

Avant la récolte, si la concentration en sucre est insuffisante pour l'usine, le stress hydrique permet d'accroître cette concentration en réduisant d'abord l'humidité des tiges puis, la croissance des tiges au profit du stockage de sucre (ROBERTSON *et al.*, 1999). Il y a alors maturation induite par le stress. Cependant, il y a un risque à prolonger ce stress, car dès que l'alimentation hydrique de la plante est suspendue ou très réduite, la photosynthèse l'est également et se traduit par la fermeture des stomates, et la survie de la plante est

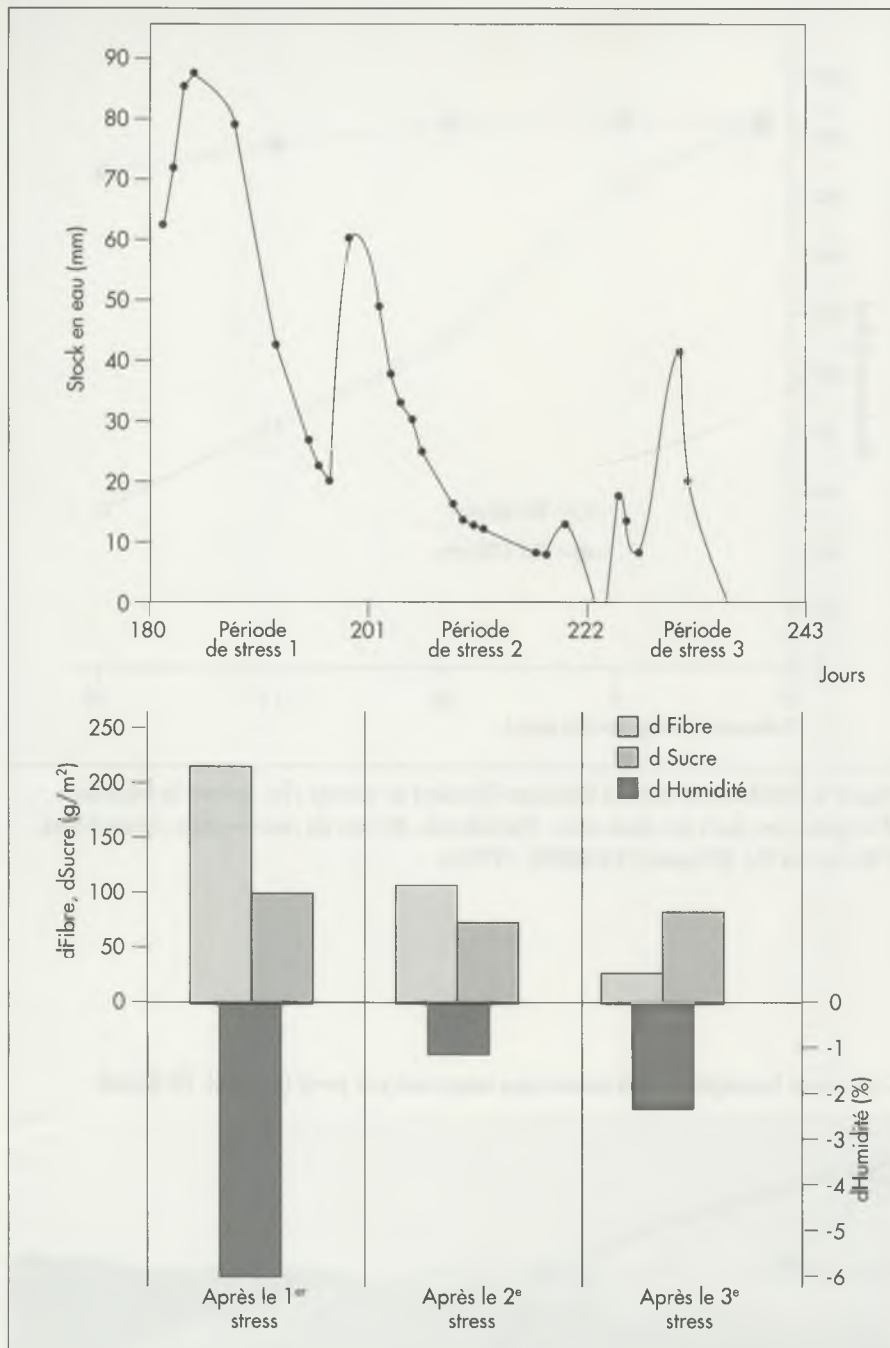


Figure 3. Evolution de la fabrication de fibres (dFibre), de sucre (dSucre), de la variation de l'humidité (dHumidité) en relation avec le stock d'eau du sol (pour une réserve utile de 95 mm) sur trois périodes de stress hydrique continu de 21 jours, l'irrigation étant arrêtée le 180<sup>e</sup> jour, site de Tirano, la Réunion.

maintenue grâce à la consommation de sa réserve de sucres par respiration. Un stress aussi élevé est à éviter.

Sur l'ensemble du cycle, la présence de stress épisodiques n'entraîne pas de diminution du nombre total de feuilles (INMAN-BAMBER, 1994).

Les effets d'un stress hydrique ont été formalisés pour être inclus dans le

modèle de croissance. La conséquence d'un stress hydrique dépend non seulement de la disponibilité en eau mais aussi de l'état du couvert, de l'accumulation de biomasse potentielle et des autres facteurs limitants possibles (température, azote). L'effet du stress hydrique sur le rendement est donc fortement variable.

## Intérêt du modèle

Les études sur la rentabilité de l'irrigation de la canne utilisent comme critères l'efficacité de l'eau d'irrigation (mesurée en tonnes de canne ou de sucre supplémentaires par mm d'eau apporté) et le tonnage additionnel qu'il faut produire pour rentabiliser les charges fixes (équipements). Cette réponse est déterminée selon plusieurs méthodes : les normes communément admises sur l'effet de l'eau associées au bilan hydrique, les essais de rationnement, et très récemment les modèles de croissance.

## L'efficacité de l'eau

L'efficacité de l'irrigation n'est pas une donnée universelle et fixe. Si l'efficacité de la totalité de l'eau utilisée sur le cycle est relativement stable — 0,1 à 0,13 tonnes de cannes / mm d'eau —, en revanche celle de l'eau d'irrigation varie beaucoup plus — 0,05 à 0,3 t / mm — (INMAN-BAMBER *et al.*, 1999). La réponse à l'irrigation dépend de l'échelle de temps utilisée, du stade de la culture, des conditions pédo-climatiques, et de la stratégie d'irrigation adoptée. De plus, l'utilisation de ces résultats dépendra des objectifs visés tels que l'optimisation des profits, la durabilité de la ressource, l'environnement. La variabilité inter-annuelle de l'effet de l'irrigation sur le rendement, liée à l'irrégularité des pluies, constitue généralement le critère le plus important (analyse des risques).

Compte tenu de cette variabilité très importante et de la complexité de la réponse, la méthode combinant les normes d'efficacité et le bilan hydrique ne permet pas d'optimiser l'irrigation.

Les essais de rationnement en eau, généralement très lourds et coûteux à mettre en œuvre, apportent une réponse à un nombre restreint de stratégies sur peu de sites et d'années. Ceci limite fortement l'analyse des risques et des stratégies possibles, et peut entraîner de mauvaises préconisations si les années



de l'étude sont anormales du point de vue climatique.

En revanche, le modèle de croissance complet permet de déterminer l'efficacité de l'irrigation pour un grand nombre de stratégies d'irrigation, sur un nombre d'années important, et dans toutes les situations édaphiques renseignées. L'intégration du modèle à une plate-forme de simulation permet de tester facilement de multiples scénarios d'irrigation. Le modèle Mosicas est intégré dans la plate-forme informatique Simulex (MARTINE, 1997).

### Les quelques utilisations récentes

Les applications récentes sont prometteuses. La simulation d'irrigation permet de mettre en évidence l'influence du tour d'eau (fréquence d'irrigation) sur la consommation d'eau et sur les rendements maximum espérés (figure 4) en fonction du type de sol (COMBRES, 1999). Il est ensuite possible, suivant les conditions pédoclimatiques, d'en déduire le tour d'eau optimum suivant les équipements déjà installés, ou de recommander un type d'équipement avant installation.

Deux exemples montrent l'intérêt d'utiliser un modèle plante. Il permet de prendre des décisions d'ordre économique sur la conduite de l'irrigation en évaluant les risques, et d'intégrer les variabilités complexes des situations (climat et sol) et des scénarios possibles.

Afin d'étudier l'intérêt d'une irrigation supplémentaire, là où la pluviométrie est déjà élevée, SINGELS *et al.* (1999) comparent les efficacités moyennes d'irrigation pour divers scénarios. Les simulations sont conduites pour de nombreuses années, dans des conditions pédoclimatiques variées. Les auteurs précisent les risques climatiques en déterminant les fréquences de revenus positifs espérés pour chaque scénario (figure 5).

Enfin, en couplant le modèle de croissance Canegro et des données économiques, SCHMIDT (1996)

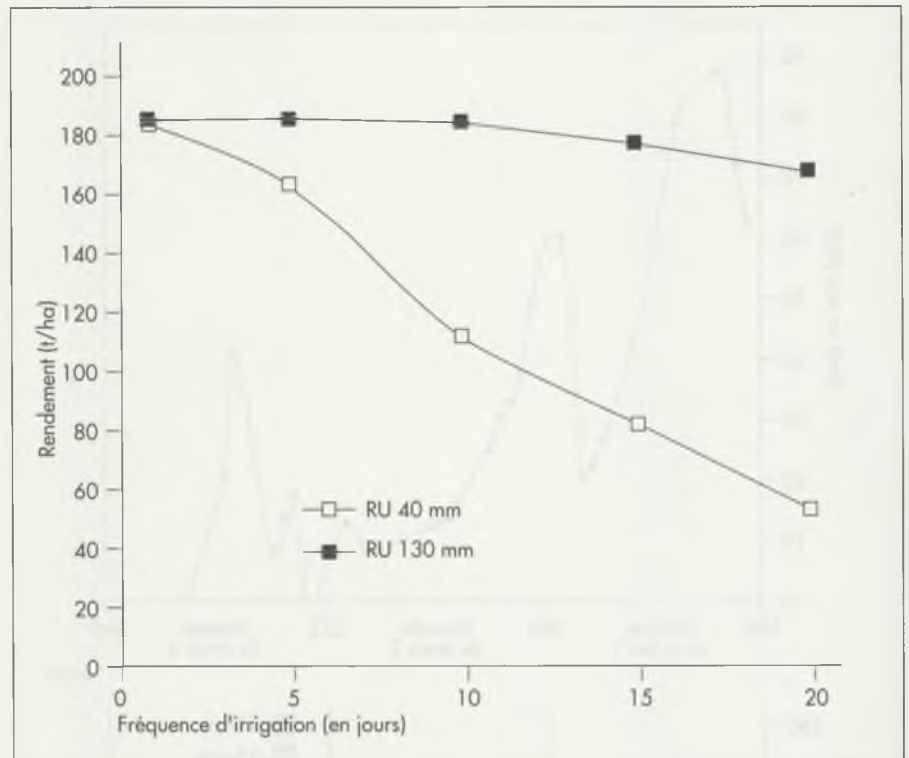


Figure 4. Rendements simulés (Mosicas-Simulex) en tonnes /ha suivant la fréquence d'irrigation en jours sur deux sites : Pierrefonds, 40 mm de réserve utile ; Grand-Bois, 130 mm de RU. (D'après COMBRES, 1999a).

Croissance homogène de la canne sous aspersion par pivot (Sosuco). (© Cirad)



fournit la variabilité interannuelle des profits à l'hectare pour différents sites (figure 6), les scénarios d'irrigation et les niveaux d'investissements.

De la même façon, en couplant le modèle de croissance Apsim et un modèle de programmation linéaire de l'exploitation, BRENAN *et al.* (1999) déduisent les stratégies optimales d'irrigation lors de périodes de faible disponibilité en eau.

Cependant, l'application du modèle exige que les données d'entrée, telles que la réserve utile (COMBRES *et al.*, 1999), soient connues et le modèle validé sur des situations contrastées. Calé par quelques essais de rationnement, il se révèle un outil très performant et peu coûteux.

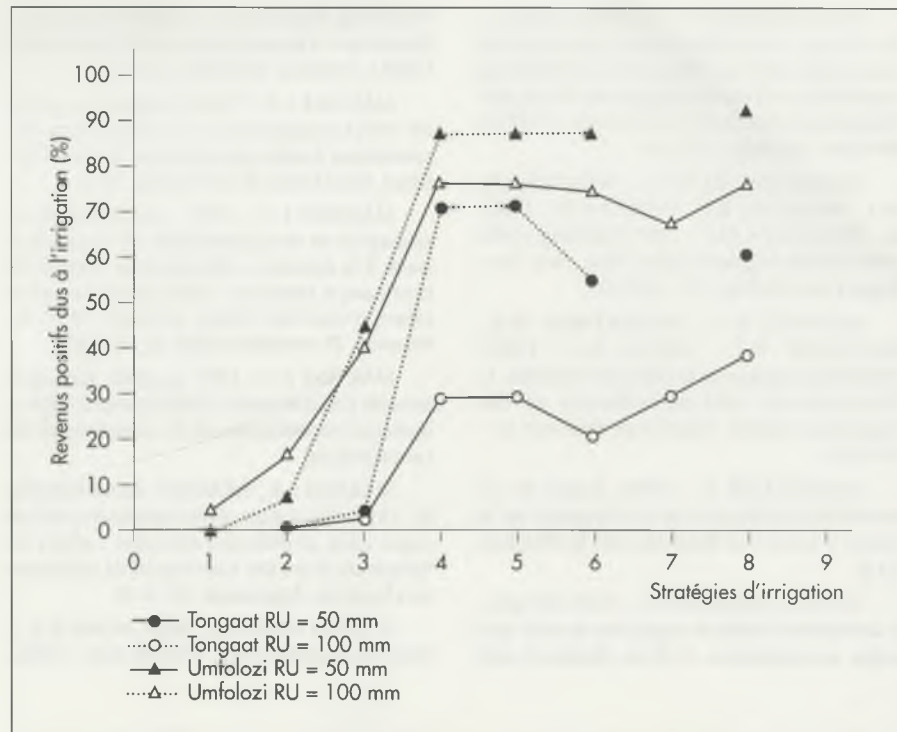


Figure 5. Pourcentages de revenus positifs dus à l'irrigation pour 8 stratégies d'irrigation simulées sur deux sites (Tonga et Umfoloz) en Afrique du Sud et deux niveaux de réserve utile (50 mm et 100 mm) (d'après SINGELS, 1999).

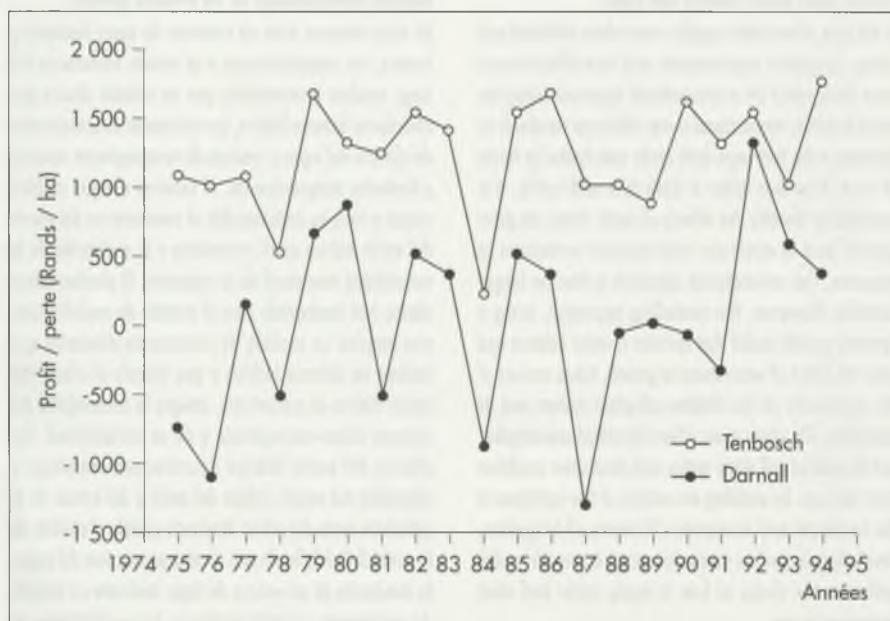


Figure 6. Variabilité des ratios profits/pertes (en rands/ha) dus à l'irrigation suivant les années sur deux sites (Darnall et Tenbosch) en Afrique du Sud. Les simulations ont été effectuées avec une irrigation de 50 mm toutes les quatre semaines (d'après SCHMIDT, 1996).

## Pour en savoir plus

BRENAN L.E., LISSON S.N., INMAN-BAMBER N.G., LINEDALE A.I., 1999. Most profitable use of irrigation supplies : a case study of the Budberg district. Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol. 21 : 274-279.

COMBRES J.-C., 1999. Rapport annuel CIRAD-Réunion, filière canne à sucre : Opération Modélisation du rationnement hydrique de la canne à sucre et méthodologie de régionalisation des modèles bioclimatiques.

COMBRES J.-C., LE MEZO L., BOURON B., METE M., 1999. Réserve utile et mesures d'humidité. Difficulté de calage des modèles de bilan hydrique. Agriculture et développement 24 : 39-47.

GAUDIN R., 1999. Incidence de l'eau sur la culture de la canne à sucre. Agriculture et développement 24 : 4-8.

GAY J.-P., POULET J.-L., 1998. Rendement potentiel de la canne à sucre en Guadeloupe : résultats expérimentaux 1996-1997. Cirad-ca, Petit-Bourg, Guadeloupe, 26 p.

GENERE B., 1986. Une relation simple croissance - température pour la variété R570 irriguée. Fiche d'essai n° 22. Irat, la Réunion, 9 p.

INMAN-BAMBER N.G., 1994. Temperature and seasonal effects on canopy development and light interception of sugarcane. Field Crops Research 36 : 41-51.



INMAN-BAMBER N. G., 1995. Canegro : its history, conceptual basis, present and future uses. *In Proc. Research and Modelling Approaches to Examine Sugarcane Production Opportunities and Constraints*. CSIRO, Brisbane, Australie, p. 31-34.

INMAN-BAMBER N.G., ROBERTSON M.J., MUCHOW R.C., WOOD A.W., PACE R., SPILLMAN A.M.F., 1999. Boosting yields with limited irrigation water. *Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol.* 21 : 203-211.

KEATING B.A., ROBERTSON M.J., MUCHOW R.C., HUTH N.I., 1999. Modelling sugarcane production systems. 1. Development and performance of the sugarcane module. *Field Crops Research* 61 : 253-271.

LANGELLIER P., 1990. Etude de la variabilité multilocale de la croissance de la canne à sucre à la Réunion. *Irat, la Réunion*, 15 p.

LIU D.L., KINGSTON G., 1995. Q-Cane : a simulation model of sugarcane growth and sugar accumulation. *In Proc. Research and*

Modelling Approaches to Examine Sugarcane Production Opportunities and Constraints. CSIRO, Brisbane, Australie, p. 25-29.

MARTINE J.-F., 1996. Mosicas : modèle de fonctionnement et d'élaboration du rendement canne, paramétrage de la R570. *Cirad, Saint Denis de la Réunion*, 40 p.

MARTINE J.-F., 1997. Variabilité de la croissance et des potentialités de la canne à sucre à la Réunion : utilisation du modèle de croissance Mosicas. *Actes du 4<sup>e</sup> congrès international de l'Artas, octobre 1997, la Réunion, 2<sup>e</sup> rencontre Afcas*. p. 353-365.

MARTINE J.-F., 1997 et 1998. Rapports annuels Cirad-Réunion, filière canne à sucre : opération modélisation de la croissance de la canne à sucre.

MARTINE J.-F., SIBAND P., BONHOMME R., 1999. Simulation of the maximum yield of sugar cane at different altitudes : effect of temperature on the conversion of radiation into biomass. *Agronomie* 19 : 3-12.

ROBERTSON M.J., MUCHOW R.C., INMAN-BAMBER N.G., WOOD A.W., 1996.

Relationship between biomass and sucrose accumulation by Sugarcane in Sugarcane *in Research Towards Efficient and Sustainable Production*. Wilson J.R., Hogarth D.M., Cambell J.A. and Garside A.L (Eds). CSIRO, Brisbane, Afrique du Sud, p. 84-86.

ROBERTSON M.J., MUCHOW R.C., WOOD A.W., 1999. A physiological basis for response of sugarcane to drying-off before harvest. *Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol.* 21 : 196-202.

SCHMIDT E.J., 1996. Irrigation of sugarcane : preliminary assessment of economic advantage at selected sites. *Proc. S Afr Sug Technol Ass* 70 : 53-54.

SINGELS A., BEZUIDENHOUT C.N., SCHMIDT E.J., 1999. Evaluating strategies for scheduling supplementary irrigation of sugarcane in South Africa. *Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol.* 21 : 219-226.

VEDIE H., 1993. Etude de l'élaboration de l'indice foliaire de la canne à sucre. *Rapport de stage de DAA*. 39 p. + annexes.

## Résumé...Abstract...Resumen

### J.-F. MARTINE — Croissance de la canne et stress hydrique : les apports d'un modèle plante.

Dans le contexte autrefois fréquent d'eau illimitée et peu chère, les besoins et l'intérêt économique de l'irrigation étaient déterminés par une approche classique utilisant le bilan hydrique, des références internationales d'efficacité de l'eau ou des essais de rationnement coûteux et limités dans le temps. L'eau devenant rare et chère, la connaissance de l'effet du stress hydrique sur la croissance et l'évaluation de la variabilité interannuelle de la réponse deviennent indispensables. L'approche classique n'est donc plus adaptée. En revanche, l'approche modélisatrice, utilisant un modèle de croissance dynamique contenant un bilan hydrique et reliant l'effet du stress hydrique à la croissance, tient compte de la complexité du système climat-sol-plante et de sa variabilité. Les effets du stress hydrique décrits sont complexes et dépendent de l'état hydrique du sol et des états du couvert avant le stress. En rendant possible l'analyse de la variabilité des efficacités techniques et économiques de l'irrigation, la simulation de scénarios d'irrigation à l'aide d'un modèle de croissance permet d'optimiser les modalités d'apport d'eau et les types d'équipements.

Mots-clés : canne à sucre, modèle de croissance, efficacité de l'irrigation, stress hydrique, bilan hydrique, aide à la décision.

### J.-F. MARTINE — Sugarcane growth and water stress: how plant models can help.

In the past, when water supplies were often unlimited and cheap, irrigation requirements and cost-effectiveness were determined by a conventional approach using the water balance, international water efficiency standards or rationing trials that were both costly and limited in terms of time. Now that water is both rare and costly, it is essential to identify the effects of water stress on plant growth and to evaluate inter-annual variations in response. The conventional approach is thus no longer suitable. However, the modelling approach, using a dynamic growth model that contains a water balance and links the effect of water stress to growth, takes account of the complexity of the climate-soil-plant system and its variability. The water stress effects described are complex, and depend on soil water status and plant cover condition prior to stress. By enabling an analysis of the variations in the technical and economic efficiency of irrigation, simulating irrigation scenarios using a growth model optimizes the choice of how to apply water and what equipment to use.

Keywords: sugarcane, growth model, irrigation efficiency, water stress, water balance, decision support

### J.-F. MARTINE — Crecimiento de la caña y déficit hídrico: aportaciones de un modelo planta.

En otros tiempos y en un contexto de agua ilimitada y barata, los requerimientos y el interés económico del riego estaban determinados por un método clásico que utilizaba el balance hídrico, las referencias internacionales de eficacia del agua o ensayos de racionamiento costosos y limitados temporalmente. Al volverse el agua un bien escaso y caro, es indispensable el conocimiento del efecto del estrés hídrico en el crecimiento y la evaluación de la variabilidad interanual de la respuesta. El planteamiento clásico está inadecuado pero el método de modelización, que emplea un modelo de crecimiento dinámico que incluye un balance hídrico y que vincula el efecto del estrés hídrico al crecimiento, integra la complejidad del sistema clima-suelo-planta y de su variabilidad. Los efectos del estrés hídrico descritos son complejos y dependen del estado hídrico del suelo y del estado de la cobertura antes del estrés. Haciendo posible el análisis de la variabilidad de la eficacia técnico-económica del riego, la simulación de escenarios de riego mediante un modelo de crecimiento permite optimizar las modalidades de aportes de agua y los tipos de equipos.

Palabras clave: caña de azúcar, modelo de crecimiento, eficacia del riego, estrés hídrico, balance hídrico, ayuda a la decisión.