Rapport annuel 1999

canne à sucre

Cirad

Rapport annuel 1999
canne à sucre

Centre
de coopération
internationale
en recherche
agronomique
pour le
développement

**Département
des cultures
annuelles
Cirad-ca**

**Programme
Canne à sucre**

Edition
service des éditions,
délégation à l'information
scientifique et technique, Cirad

Mise en pages
Crayon & cie, 34560 Montbazin

Impression
Imprimerie Impact, 34135 Fréjorgues

Illustrations de couverture

Canne à sucre au Vietnam
Cliché : P. Gathion

Hybridation *in situ*
Cliché : A. D'Hont

© Cirad septembre 2000

Avant-propos

Le mandat du programme Canne à sucre comprend des activités de recherche, de formation et d'expertise. Les recherches que nous menons, qu'elles soient fondamentales ou situées dans un contexte de production, sont toutes finalisées sur la production de canne à sucre ou sur le fonctionnement des exploitations cannières. Les « produits » des différentes équipes de recherche sont donc différents mais ils se situent tous dans une programmation cohérente au service de la filière canne à sucre.

Notre implication dans les domaines de recherche liés à la plante (génome, pathologie, sélection variétale, entomologie) reste forte et permet une production scientifique de premier plan. Nous avons accentué nos efforts sur les thématiques agronomiques prometteuses pour l'avenir, à l'échelle de la parcelle comme à l'échelle du bassin de production. Les premiers résultats permettent la mise au point d'outils de gestion des parcelles et d'aide à la décision des producteurs. Ils débouchent, en faisant varier leur échelle d'intégration, sur une meilleure gestion de l'espace et de l'environnement des régions de production. Nous poursuivrons ces efforts, convaincus qu'il s'agit d'outils déterminants pour la pérennité de la filière.

Le programme mène la plupart de ses activités en partenariat. Les efforts fournis au cours des dernières années ont porté des fruits : nos partenariats se sont diversifiés, nous avons noué des liens scientifiques avec de nouveaux pays, de nouveaux partenaires — institutions et sociétés privées — et nos équipes basées dans les départements français d'outre-mer ont développé des actions communes avec les pays de leur région respective.

Au moment de quitter la responsabilité du programme canne à sucre, je souhaite redire le plaisir que j'ai éprouvé pendant toutes ces années avec les équipes canne à sucre du Cirad, et dans les très nombreux contacts avec tant d'institutions dans le monde de la canne.

Etienne Hainzelin
Chef du programme Canne à sucre du Cirad

Rapport annuel 1999
canne à sucre

Connaissance du génome, amélioration variétale et protection de la canne à sucre

Connaissance du génome 9

Cartographie fine d'un gène majeur de résistance à la rouille chez le cultivar R570 9

Déterminisme génétique de la teneur en sucre 11

Impact de la sélection pour la richesse en sucre sur la diversité moléculaire 11

Structure du génome des cultivars et des mécanismes d'introgression par cytogénétique moléculaire 12

Développement de marqueurs microsatellites 13

Installation et maintien de la vitrothèque 13

Déterminisme génétique de la résistance à l'échaudure des feuilles 14

Déterminisme génétique de la résistance à la rouille et au charbon à la Réunion 15

Amélioration variétale 15

Création et sélection en Guadeloupe 15

Production de matériel végétal assaini en Guadeloupe 19

Appui de la pathologie à l'amélioration variétale en Guadeloupe 20

Comportement des variétés FR à l'égard de la mosaïque 21

Appui méthodologique à l'amélioration variétale à la Réunion 22

Appui de la pathologie à l'amélioration variétale à la Réunion 22

Pathologie 23

Quarantaine de canne à sucre à Montpellier 23

Etudes épidémiologiques de l'échaudure des feuilles 24

Variabilité et composantes du pouvoir pathogène de *Xanthomonas albilineans* 26

Epidémiologie moléculaire des *Xanthomonas* pathogènes 27

Résistance à la rouille et variabilité du pouvoir pathogène de *Puccinia melanocephala* 28

Contrôle des maladies en Guadeloupe 29

Surveillance des maladies à la Réunion 30
Caractérisation et impact du syndrome de la feuille jaune à la Réunion 30
Appui en phytopathologie à la production sucrière 32

Entomologie 34
Lutte intégrée contre les foreurs à la Réunion 34
Résistance du cultivar R570 à la chenille mineuse *Chilo sacchariphagus* (Lep : Pyralidae) 35

Amélioration de la productivité des bassins canniers à la Réunion

Amélioration de la production des zones cannières 39
Appui à la gestion des groupements et des organismes de travaux 39
Gestion et maintenance des matériels 40
Coordination technique de l'Association réunionnaise pour la modernisation de l'économie sucrière 41
Organisation de l'approvisionnement des sucreries 41
Logistique d'approvisionnement des sucreries 42
Amélioration des techniques culturales 43
Amélioration de la productivité des micro-régions cannières 46
Stratégies cannières dans les Hauts de l'Ouest 47
Actualisation du conseil en désherbage 47

Modèles de fonctionnement biophysique et outils de diagnostic 48
Modélisation de la croissance de la canne à sucre 48
Développement du conseil Irricanne 49
Modélisation du rationnement hydrique et régionalisation des modèles climatiques 50
Simulation de rendements pour différents scénarios d'irrigation 51

Stratégie des acteurs et compétitivité de la filière cannière en Guadeloupe

Analyse des stratégies des planteurs 55
Mise au point d'un système d'information spatialisé 55

Interaction génotype-environnement 56
Evolution de la teneur en azote de la canne à sucre 57
Evolution de la teneur en sucre lors du vieillissement des cannes 57
Typologie des systèmes de production à la Martinique 58
Atelier annuel du réseau Wisben 59

Accompagnement scientifique des productions sucrières

Premier atelier régional sur l'amélioration variétale en Afrique de l'Ouest et du Centre 61
Lutte contre les mauvaises herbes sur les périmètres sucriers de Côte-d'Ivoire 61
Pilotage de l'irrigation sur les périmètres sucriers de la Sucaf en Côte-d'Ivoire 62
Base de données pour les opérations de transport à la Sucaf en Côte-d'Ivoire 64
Evaluation des divisions des études agronomiques de Sucrivoire en Côte-d'Ivoire 64
Appui à la Quang Ngai Sugar Corporation au Vietnam 65
Etude des ressources en eau de la province de Tây Ninh au Vietnam 65
Coût de production de la canne à sucre à la Réunion 67
Scénarios de transport de la canne à sucre à la Réunion 67
Formation en milieu professionnel à l'Île Maurice 69
Analyse fréquentielle des besoins en eau sur le périmètre sucrier de Savé au Bénin 69
Mode d'organisation chez les petits planteurs en Afrique du Sud 70
Synthèse des travaux du Cirad sur l'eau et la canne à sucre 71

Annexes

72

Connaissance du génome, amélioration variétale et protection de la canne à sucre

Cliché D. Bourdat

Connaissance du génome

• Cartographie fine d'un gène majeur de résistance à la rouille chez le cultivar R570

C. Asnaghi, C. Kaye, S. Ruffel, L.-M. Raboin, A. D'Hont
H. Télismart, F. Paulet

Un gène majeur de résistance à la rouille chez le cultivar R570 a été identifié en 1996 par le Cirad. Ce gène avait été trouvé lié à environ 7 centimorgans à un marqueur RFLP (Restricted Fragment Length Polymorphism) révélé par la sonde CDSR 29. Il s'agit du premier gène majeur identifié chez la canne à sucre. Il représente donc un bon candidat pour tester la faisabilité du clonage positionnel chez un haut polyploïde tel que la canne à sucre, ce qui a suscité l'intérêt du Consortium international des biotechnologies de la canne à sucre (Icsb). Ce procédé implique, dans un premier temps, la réalisation d'une carte fine autour de ce gène. Deux approches ont été entreprises : l'une exploite la synténie existante entre les graminées, l'autre est fondée sur la comparaison, au moyen des AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism), de mélanges d'ADN d'individus sensibles d'une part, résistants d'autre part. Ensuite, il s'agira de cloner ce gène en utilisant la banque BAC (Bacterial Artificial Chromosomes) que l'Icsb a fait construire à partir du cultivar R570.

Exploitation de la synténie entre les graminées. Cette approche exploite les similarités entre les cartes génétiques des graminées. La comparaison des cartes de la canne à sucre, du sorgho, du maïs et du riz a permis d'identifier chez ces espèces les régions homéologues au segment du chromosome portant le gène de résistance à la rouille chez la canne à sucre (figure 1). Les marqueurs de ces régions ont été cartographiés chez R570. Le gène a pu être localisé à l'extrémité d'un groupe de coségrégation du groupe de liaison VII de la carte de R570. Toutefois, il n'a pas été possible ni de se rapprocher du gène ni de l'encadrer, bien que la synténie et la colinéarité soient relativement bien conservées dans la région ciblée. Ces difficultés sont dues à la position du gène en bout de chromosome. En effet, les régions homéologues sur le groupe de liaison D du sorgho, le chromosome 2 du riz et le chromosome 4 du maïs sont également situées en bout de chromosome et les locus RFLP les plus extrêmes de ces régions qui s'hybrident avec l'ADN de canne à sucre sont cartographiées en dessous du marqueur CDSR29 chez R570. La zone homéologue du chromosome 5 du maïs se situe dans la région centromérique mais elle est adjacente à un point de rupture de synténie ; les loci RFLP situés au-dessus de ce point sont cartographiés dans le groupe de liaison IX de la carte de R570.

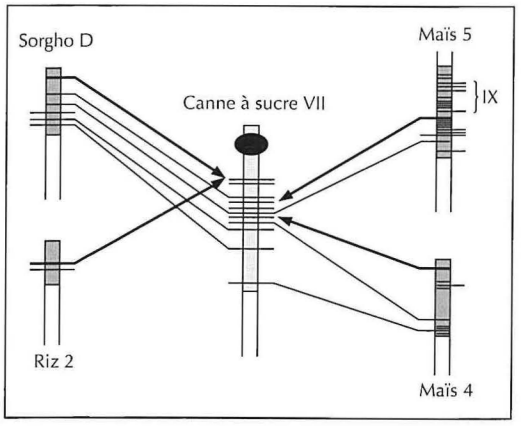


Figure 1. Relation synténique entre la canne à sucre, le sorgho, le maïs et le riz dans la région portant le gène majeur de résistance à la rouille chez le cultivar R570.

Comparaison de mélanges d'ADN d'individus sensibles et résistants à la rouille. Cette approche, qui avait permis d'identifier sept marqueurs AFLP entourant le gène, a été poursuivie cette année. Trois cents

couples d'amorces supplémentaires ont été définis et analysés. Plusieurs problèmes liés à la qualité des profils obtenus sont apparus, dus, probablement en partie, à la nature hautement polyploïde de la canne à sucre. Un marqueur localisé à 1,9 centimorgan du gène a été identifié. Le gène est donc maintenant encadré, dans un intervalle de 10 centimorgans, par huit marqueurs AFLP, les plus proches étant situés à 1,9 et 2,2 centimorgans.

Criblage de la banque BAC de R570 avec les marqueurs flanquant le gène de résistance. Le rapport entre la distance physique et la distance génétique a été très approximativement estimé à 1 500 kilobases par centimorgan chez le cultivar R570. Toutefois, ce rapport serait très variable selon les régions du génome ; en particulier, il serait souvent moindre dans les régions sub-terminales des chromosomes. Une progression vers le gène a donc été initiée à partir des deux marqueurs les plus proches du gène. Ces marqueurs, « actctg9R » et « attcag » ont été clonés puis utilisés comme sondes sur les cinq membranes contenant les 103 296 clones de la banque BAC de R570. Ils ont permis d'identifier, respectivement, cinq et neuf BAC. Parmi ces BAC, deux contiennent les marqueurs « actctg9R » et deux contiennent le marqueur « attcag ». Les extrémités de l'un d'eux ont été clonées de façon à initier une première étape de marche sur le chromosome.

Comparaison des sources de résistance à la rouille par l'intermédiaire du déséquilibre de liaison. La diversité restreinte à l'origine des cultivars modernes de canne à sucre, ainsi que le faible nombre de méioses depuis les premiers croisements interspécifiques, sont à l'origine du déséquilibre de liaison qui existe entre certaines combinaisons alléliques dans les variétés actuelles. Plusieurs études réalisées au Cirad ont montré que ce phénomène est réparti sur l'ensemble du génome et qu'il concerne majoritairement des loci proches. La présence de déséquilibres de liaison entre des facteurs génétiques participant à l'élaboration d'un caractère agronomique et des marqueurs moléculaires pourrait être utilisée pour repérer les allèles favorables dans les variétés. Une descendance obtenue par Copersucar (Brésil) issue du croisement SP81-1763 (sensible) x SP82-3349 (résistant), qui ségrège de façon monofactorielle pour la résistance à la rouille, a été analysée avec les huit marqueurs AFLP liés au gène de résistance chez le cultivar R570. Trois marqueurs parmi ces huit sont liés à la résistance à la rouille chez SP82-3349. La proximité d'un ancêtre commun chez R570 et SP82-3349 est certainement à l'origine de la conservation de l'haplotype porteur de la résistance entre ces deux cultivars. L'étude d'autres cultivars, sélectionnés à Maurice, montre que les marqueurs étudiés ne sont pas associés à la résistance à la rouille chez ces cultivars, bien que les combinaisons entre ces marqueurs ne semblent pas être aléatoires. L'interprétation de ces résultats doit être prudente car ils sont imparfaits compte tenu des marqueurs utilisés, des caractéristiques des variétés ou encore des méthodes d'évaluation du caractère étudié.

Cartographie d'analogues de gènes de résistance. Neuf analogues de gène de résistance provenant du maïs, dont certains sont liés à la

résistance à la rouille chez le maïs, ont été localisés chez R570. Ils sont cartographiés en position colinéaire chez la canne à sucre par rapport au maïs. Aucun ne coségrège avec la résistance à la rouille chez le cultivar R570.

• Déterminisme génétique de la teneur en sucre

N. Reffay, A. D'Hont
F. Paulet

Afin de mieux appréhender le déterminisme génétique de la variation de la teneur en sucre chez la canne à sucre, la recherche des QTL (Quantitative Trait Loci) impliqués dans ce caractère a débuté en collaboration avec le Cerf depuis 1995. Une première étude a été réalisée dans le cadre de la thèse de Jean-Yves Hoarau à partir de 300 individus issus de la fécondation du cultivar R570. La ségrégation de la teneur en sucre a été évaluée à partir d'un essai en bloc complet randomisé à cinq répétitions durant deux années à la Réunion. De plus, une carte comportant 903 marqueurs AFLP rassemblés en 115 groupes de coségrégation a été construite. Ceci a permis de détecter neuf QTL à effet faible (3 à 5 %). L'objectif était de cartographier, sur un sous-ensemble de 112 individus de cette même population, un certain de nombre de gènes impliqués dans le métabolisme des sucres et de tester la coïncidence entre les QTL codant pour la teneur en sucre et ces gènes. Le polymorphisme RFLP, révélé par treize gènes clonés provenant de la canne à sucre ou du maïs et impliqués dans le métabolisme des sucres, a été analysé. Dix-sept marqueurs correspondant à neuf gènes ont été localisés sur 24 des groupes de coségrégation de la carte AFLP. Ces gènes correspondent à une bêta-galactosidase, une fructose bi-phosphatase, le gène opaque-2, le gène brittle-2, le gène shrunken-2, une invertase vacuolaire, une enolase, deux fructose-synthases. La relation entre la ségrégation des marqueurs et la variation de la teneur en sucre a été étudiée par une analyse de variance à un facteur. Aucun QTL n'a été détecté au seuil raisonnable de 5 ‰ et sept QTL ont été détectés à un seuil de 1 %. D'une façon générale, les QTL détectés ont un effet faible et sont peu répétables, ce qui illustre la difficulté de ce type d'étude chez un haut polyploïde tel que la canne à sucre.

• Impact de la sélection pour la richesse en sucre sur la diversité moléculaire

S. Alleyne (étudiante en thèse à la Barbade), A. D'Hont
F. Paulet

Depuis une dizaine d'années, le Wicscbs (West Indies Central Sugar Cane Breeding Station) a entrepris de tester la limite au delà de laquelle la teneur en sucre ne peut plus être accrue chez la canne à sucre par

sélection récurrente. Après trois cycles de sélection, une population très riche en sucre a pu être créée avec une mesure de brix de 27,6 % contre 22,4 % pour la moyenne des 37 parents de départ. L'objectif est d'utiliser les marqueurs moléculaires pour, d'une part, étudier la diversité génétique de cette population enrichie par rapport à la population de départ et pour, d'autre part, tester la possibilité d'identifier au moyen de cette population les régions du génome impliquées dans le déterminisme génétique de la teneur en sucre. Les 37 parents et les 144 descendants issus du troisième cycle de sélection récurrente ont été analysés au moyen de quatre combinaisons d'amorces AFLP. Ceci a permis de révéler 228 marqueurs polymorphes. Un microsatellite a également été utilisé pour comparer les 181 individus ; il a permis d'identifier 17 marqueurs polymorphes. L'analyse de la diversité moléculaire révèle qu'il y a eu une légère réduction de la diversité dans la descendance par rapport aux parents. En revanche, la comparaison du nombre moyen de bandes AFLP indique que la descendance est plus hétérozygote que les parents. La distribution des fréquences des 245 marqueurs a été analysée pour l'ensemble des individus. Le test de Fisher révèle que 25 marqueurs présentent une différence de fréquence significative entre les parents et la descendance. Ces différences peuvent résulter d'un effet d'échantillonnage ou être liées à la sélection pour la teneur en sucre. L'analyse des variances a montré que deux de ces marqueurs sont significativement liés à la mesure de brix. La présence de l'un d'eux est liée à une augmentation de la teneur en sucre alors que la présence de l'autre correspond à une diminution de la teneur en sucre.

• Étude de la structure du génome des cultivars et des mécanismes d'introgression par cytogénétique moléculaire

V. Frison, A. D'Hont

Pour élargir la variabilité génétique des cultivars, plusieurs stations de sélection à travers le monde ont entrepris d'exploiter certains genres apparentés à la canne à sucre (complexe *Saccharum*), en particulier les genres *Erianthus* et *Miscanthus*. Ces programmes rencontrent toutefois de nombreuses difficultés. Depuis quelques années, les marqueurs moléculaires et l'hybridation génomique *in situ* (GISH) sont utilisés pour suivre les programmes d'introgression impliquant le genre *Erianthus*. La GISH a été utilisée pour élargir au genre *Miscanthus* l'étude de la différenciation des génomes au sein du complexe *Saccharum*. Chez le clone Raïata, hybride intergénérique entre *Saccharum* et *Miscanthus*, les chromosomes provenant des deux genres parentaux ont pu être différenciés. Ce clone est issu d'une transmission de chromosomes 2n + n puisqu'il comprend environ 80 chromosomes issus du genre *Saccharum*, vraisemblablement de *S. officinarum* (2n = 80), et 19 chromosomes issus du genre *Miscanthus* (2n = 38). La

différenciation obtenue par GISH entre les chromosomes de *Saccharum* et de *Miscanthus* est plus faible que celle obtenue entre les chromosomes de *Saccharum* et *Erianthus,* ce qui semble montrer que le genre *Miscanthus* est plus proche du genre *Saccharum* que ne l'est le genre *Erianthus.* Ces travaux confirment les résultats obtenus lors de l'analyse de la répartition de séquences répétées spécifiques dans le complexe *Saccharum.*

• Développement de marqueurs microsatellites

A. D'Hont
F. Paulet

Les microsatellites sont des répétitions en tandem d'une courte séquence d'ADN (deux à six paires de bases). Les marqueurs microsatellites sont obtenus par amplification PCR (Polymerase Chain Reaction) à partir d'amorces correspondant aux séquences flanquant les unités de répétition. Ils révèlent un polymorphisme lié à la variation du nombre d'unités de répétition au cours de l'évolution. Ces marqueurs sont fondés sur la technique PCR qui présente l'avantage d'être rapide, facile à mettre en œuvre, assez peu coûteuse et donc potentiellement facile à transférer sur les lieux où s'effectue la sélection variétale. Depuis deux ans, ce type de marqueur est développé chez la canne à sucre pour l'identification variétale, le contrôle des croisements et la cartographie génétique. Plusieurs banques enrichies en microsatellites avaient été construites en 1998. Deux cent quatre-vingt huit clones contenant un microsatellite ont été séquencés dans le cadre d'un projet avec le centre national de séquençage, le Génoscope d'Evry.

Cette année, cent quatre-vingt onze de ces séquences ont été analysées. Une centaine de couples d'amorces, définie dans les séquences flanquantes des microsatellites, est actuellement testée. Trente-sept couples d'amorces ont d'ores et déjà donné des profils exploitables. Quelques uns de ces loci microsatellites révélant un bon niveau de polymorphisme et dont les profils sont faciles à lire ont été sélectionnés. Ils sont utilisés pour l'identification variétale et le contrôle des croisements (figure 2).

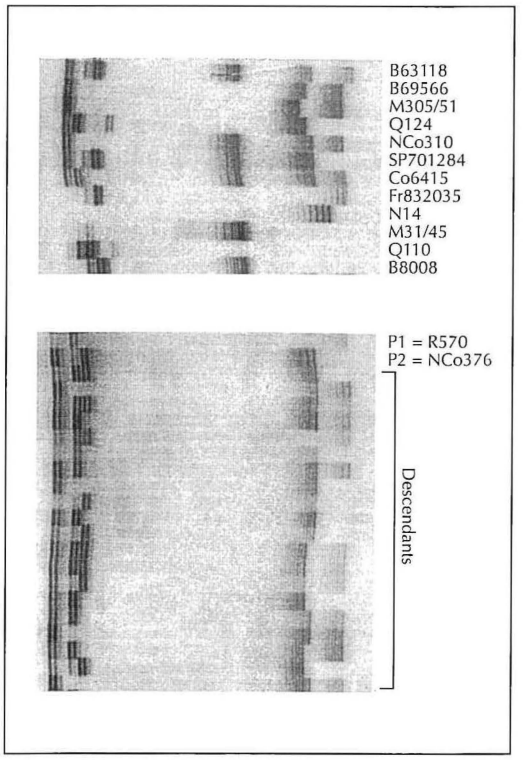


Figure2. Polymorphisme obtenu avec un microsatellite sur quelques cultivars de canne à sucre et quelques descendants.

• Installation et maintien de la vitrothèque

F. Paulet, L.-M. Raboin

Divers clones provenant des différents pays producteurs de canne à sucre et issus de la quarantaine internationale du Cirad à Montpellier ont été installés et sont maintenus *in vitro* à Montpellier. Pour cette installation, le prélèvement de bourgeons est effectué sur des cannes issues de la quarantaine. Après stérilisation, chaque bourgeon est placé

en boîte de Petri sur le milieu de culture de Murashige et Skoog. Quand celui-ci est suffisamment développé, il est transféré en tube. Les plantes produites tallent naturellement sans adjonction de régulateur de croissance. La vitrothèque de Montpellier comprend les cultivars suivants : B5992, B511129, B63379, B69566, B70532, B8008, B80689, B82139, Co449, Co957, Co997, Co6415, FR8069, FR832035, N12, N14, N53216, NCo376, R570, R579, SP791011. Cinq vitroplants sont conservés par cultivar. Ils sont multipliés quatre ou cinq fois par an.

Par ailleurs, une collection de 200 clones est maintenue *in vitro* à la Réunion (variétés commerciales, variétés FR et clones utilisés pour la cartographie génétique). Une trentaine de variétés FR de cette collection est en cours de sevrage dans la serre de quarantaine du Cerf pour être évaluée sur le terrain.

• Déterminisme génétique de la résistance à l'échaudure des feuilles

B. Offmann

L'analyse génétique de la résistance à *Xanthomonas albilineans*, agent de la maladie de l'échaudure des feuilles, a été entreprise à la Réunion et à Maurice. Lors d'expérimentations agronomiques où la canne a été inoculée artificiellement par l'agent pathogène, la résistance de clones issus de l'autofécondation de R570 a pu être mesurée suivant deux critères d'évaluation : la sévérité des symptômes et les populations bactériennes dans une portion de tige. Les symptômes caractéristiques de cette maladie (lignes blanches, chloroses, émission d'ailerons) ne se sont cependant pas exprimés en 1999. Ce phénomène est attribué à une perte du pouvoir pathogène de la souche bactérienne utilisée pour l'inoculation. En revanche, une ségrégation de la quantité de bactéries présentes dans les tiges a été observée, confirmant ainsi que la seule mesure des symptômes est insuffisante pour caractériser la résistance à cette maladie. La quantité de bactéries présentes en dessous du point d'inoculation est une variable de type quantitatif, comme le montre le graphique des résultats obtenus (figure 3).

Ces données agronomiques ont été confrontées aux données moléculaires déjà disponibles pour la carte génétique AFLP de R570. Onze régions réparties sur l'ensemble du génome pourraient être impliquées dans la résistance à cette bactériose. Même si ces résultats restent à confirmer, il est vraisemblable que le déterminisme génétique de la résistance est de nature quantitative et donc polygénique. Chaque QTL interviendrait pour un pourcentage modeste dans la variation phénotypique.

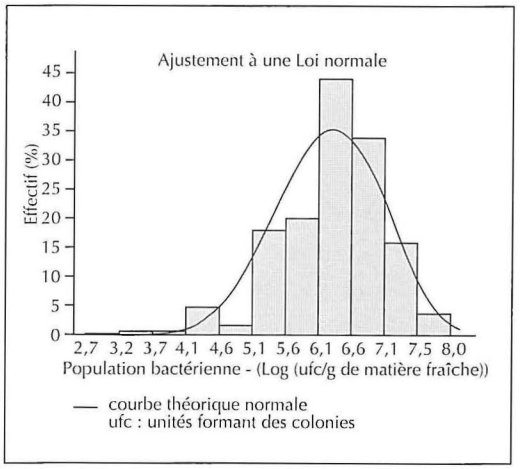


Figure 3. Distribution des clones en fonction de l'importance de la colonisation par *Xanthomonas albilineans*.

• Déterminisme génétique de la résistance à la rouille et au charbon à la Réunion

L.-M. Raboin, D. Drouet
H. Télismart, I. Promi, M. Hoarau

La rouille. Pour les besoins du projet de localisation fine du gène de résistance à la rouille de R570, mené à Montpellier, 320 clones sensibles issus de l'autofécondation de R570 ont été sélectionnés et mis en parcelle de conservation sur la station de la Mare. La sensibilité de ces clones sera de nouveau confirmée en juillet et leur ADN sera extrait au cours de l'année 2000.

L'étude de la sensibilité à la rouille dans le croisement NCo376 x R570 montre un ratio net de trois résistants pour un sensible. La ségrégation observée dans cette descendance est vraisemblablement due à deux gènes majeurs de résistance à la rouille : l'un, déjà connu, présent en simple copie dans le génome de R570 et l'autre, présent en simple copie aussi dans le génome de NCo376. Il n'est d'ailleurs pas impossible que ce gène soit identique dans les deux variétés compte tenu des ascendants qu'elles ont en commun (POJ2878 et Co213 notamment).

Le charbon. Deux croisements sont en cours d'évaluation pour leur comportement à l'égard du charbon dans un essai préliminaire mené en collaboration avec le Cerf. Cent clones du croisement NCo376 x R570 et cent clones du croisement R570 castrée x MQ76-53 ont été inoculés par trempage de boutures dans une suspension de spores. L'émission de fouets a été suivie régulièrement tous les quinze jours. Peu de fouets sont apparus sur l'ensemble de la parcelle. On peut cependant s'attendre à une intensification de la maladie en repousse, la maladie devant s'installer progressivement dans la parcelle à partir des premières souches charbonneuses apparues en canne vierge. Les premiers résultats sont prometteurs quant à l'obtention d'une ségrégation exploitable dans l'une ou l'autre des descendances en évaluation (figure 4).

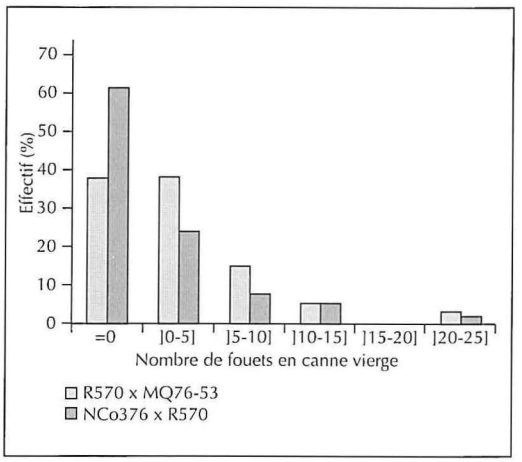


Figure 4. Distribution des 100 clones dans les croisements NCo376 x R570 et R570 x MQ76-53, évalués sur la station du Gol, en fonction de leur sensibilité au charbon (nombre de fouets produits) en canne vierge.

Amélioration variétale

• Création et sélection en Guadeloupe

D. Roques, P. Oriol, P. Letourmy (Cirad-ca, mabis)
G. Gelabale, L. Touby, M. Cadet, G. Algou

Cette opération de recherche a pour objectif de fournir régulièrement aux partenaires du Cirad du matériel végétal nouveau, sous forme de variétés présélectionnées. Celles-ci poursuivent leur sélection dans le cadre des schémas locaux de sélection conduits par les opérateurs

sucriers participant au réseau de la quarantaine du Cirad. En Guadeloupe, le Cirad réalise les stades suivants de sélection de façon régionalisée, pour les besoins de la production sucrière locale.

Chaque année, un grand nombre de clones nouveaux (clones FR) sont créés puis évalués par étapes successives dans le schéma de sélection. Les trois premières étapes de ce schéma permettent de présélectionner une cinquantaine de clones sur des critères héritables et peu sensibles à l'environnement. Ils sont ensuite diffusés dans les différents sites après un passage en serre de quarantaine du Cirad à Montpellier.

Pour la Guadeloupe, ces clones FR présélectionnés alimentent directement les étapes ultérieures de la sélection locale. A ces clones FR s'ajoutent chaque année une cinquantaine de clones issus du réseau Wisben (West Indies Sugarcane Breeding and Evaluation Network, Barbade), ainsi que des variétés commerciales d'origines diverses.

Création variétale. L'élargissement de la diversité génétique se poursuit par l'introduction annuelle d'une cinquantaine de clones nouveaux. La collection de travail comprend actuellement plus de 1 600 génotypes, hybrides commerciaux, hybrides de première génération, clones sauvages et apparentés à la canne à sucre, disponibles pour les besoins de la création variétale. Les géniteurs d'origine sauvage sont utilisés afin d'introduire de nouvelles caractéristiques de vigueur, de rusticité et de résistance aux maladies dans les populations à sélectionner.

Pendant la campagne de floraison de la canne à sucre, d'octobre à décembre, 170 hybridations ont été réalisées. Soixante d'entre elles sont destinées à alimenter le schéma de sélection (tableau 1). Les autres sont des croisements pour les études de génétique et des tests de combinaison. Les semis seront réalisés en 2000 et donneront naissance, après sélection, à la série FR 2001.

Tableau 1. Croisements réalisés en 1999-2000 et production de fuzz pour alimenter le schéma de sélection.

Nombre de croisements destinés à la sélection	
Bi-parentaux	43
Multi-parentaux	17
Total	60
Poids total de fuzz produit (en gramme)	795
Nombre de seedlings par gramme de fuzz	
Bi-parentaux	67
Multi-parentaux	60
Moyenne	63
Nombre potentiel de seedlings	50 085

Etat d'avancement de la présélection. Au stade 1 (tableau 2), où la sélection se fait sur des familles, 74 familles ont été évaluées en 1999. Parmi celles-ci, 37 familles obtenues en 1997 ont été sélectionnées en juin. Les 312 clones retenus seront replantés en stade 2. Ils constituent la série FR 99. Les 37 autres familles obtenues en 1998 donneront naissance à la série FR 2000 après sélection en juillet 2000.

Le stade 2 comporte les séries FR 97 et FR 98. Parmi les 243 clones de la série FR 97, 45 clones ont été retenus pour être plantés en essai de stade 3. Les 191 clones de la série FR 98 sont en cours d'évaluation.

Le stade 3 comprend la série FR 96. Quarante-cinq clones ont été retenus et sont actuellement en phase de multiplication.

Les 50 clones présélectionnés de la série FR 95 ont été expédiés au service de quarantaine du Cirad à Montpellier pour être diffusés auprès des partenaires (Martinique, pays d'Afrique de l'Ouest et d'Afrique centrale, etc.) Parallèlement, cette série poursuit son processus de sélection locale pour la Guadeloupe.

Etat d'avancement de la sélection en Guadeloupe. Le stade 4 (tableau 3) de la sélection, première étape de sélection locale après les étapes de présélection, comprend quatre essais variétaux dont deux essais en cycle de canne plantée et deux essais en première repousse. Plus de 130 clones en canne plantée et 119 clones en repousse ont ainsi été observés. Un nouvel essai de stade 4 comprenant 138 clones a été planté en 1999.

Les essais de stade 5 sont maintenant systématiquement implantés selon un dispositif expérimental en blocs incomplets. Quatre essais de ce type sont actuellement en cours d'exploitation. Un essai en canne plantée a été récolté. Les autres essais seront récoltés lors des prochaines campagnes de récolte, l'un étant conduit en cycle de grande culture et les deux autres ayant été plantés cette année. Les premiers résultats font apparaître plusieurs variétés supérieures ou égales au témoin R570, en particulier les variétés FR900840 et FR910384.

Tableau 2. Etat d'avancement des différentes séries de présélection

N° de série	Stade	Nombre de clones ou de familles évalués	Nombre de clones retenus et état d'avancement
FR 2000	Stade 1	37 familles (1 980 seedlings)	Sélection prévue en juillet 2000
FR 99		37 familles (2 708 seedlings)	312 clones
FR 98	Stade 2	191 clones	Sélection prévue en février 2000
FR 97		243 clones	5 clones
FR 96	Stade 3	45 clones	En cours de multiplication
FR 95	Diffusion	50 clones présélectionnés expédiés en quarantaine à Montpellier	

Tableau 3. Effectifs des clones évalués aux trois derniers stades de la sélection en Guadeloupe.

N° de série	Stade	Nombre de clones évalués	Etat d'avancement
FR 95		47	canne plantée
FR 94		67	première repousse
FR 93	Stade 4	52	première repousse
FR 92		38	seconde repousse (11 clones passant au stade 5)
Clones Wisben (lot 98)		73	canne plantée
FR 91		11	canne plantée
FR 90	Stade 5	16	première repousse
Clones Wisben (lot 97)		22	canne plantée
FR 89		6	canne plantée
FR 88	Stade 6	2	première repousse
FR 87		7	seconde repousse

Le stade 6 comprend quatre essais variétaux répartis soit en cycle de grande culture sur la Grande Terre, soit en cycle de culture traditionnelle sur la Basse Terre. Deux de ces essais, l'un en canne plantée et l'autre en première repousse, ont été récoltés. Trois variétés se montrent supérieures ou égales au témoin R570 en Basse Terre : FR832034, FR870285 et R579. Sur la Grande Terre, les trois variétés FR832035, FR870166 et R579 donnent aussi des résultats de rendement en sucre par hectare intéressants par rapport au témoin.

Compte tenu des informations obtenues dans les essais précédents, les variétés FR832034, FR832035 et R579 ont été retenues pour passer en procédure d'agrément. La procédure d'agrément des nouvelles variétés a été nouvellement mise en place en Guadeloupe par la profession sucrière, sur proposition du Cirad. Elle permet de multiplier rapidement ces nouvelles variétés dans le cadre du schéma de pépinières assainies, de valider les résultats de la sélection sur les différents bassins canniers et d'animer des réunion techniques autour de parcelles de démonstration. Cette procédure d'agrément fait intervenir l'ensemble des professionnels sucriers.

Evolutions méthodologiques. Elles concernent l'acquisition puis la sélection de matériel végétal nouveau, issu soit de nouveaux croisements réalisés sur la station de Roujol pour les clones FR, soit de l'introduction régulière de clones présélectionnés de la station de Barbade et de clones d'origine diverses ayant passé deux ans d'observation en quarantaine.

L'amélioration du schéma de sélection est constamment recherchée par une meilleure maîtrise des croisements et des dispositifs expérimentaux.

Les outils de biologie moléculaire sont progressivement appliqués avec le transfert sur place des techniques de détection de légitimité de croisements (PCR, hybridation *in situ*).

Un nouvel essai en famille, planté en 1998 a été récolté et analysé afin d'évaluer l'influence de la compétition sur la variabilité et la puissance statistique des essais. L'effet de compétition pour le tallage entre les plantules et les témoins et l'interaction entre les lignes, mis en évidence antérieurement, ont été confirmés et complétés par un effet compétition à l'intérieur de la parcelle, fonction de la disposition spatiale des touffes. Cette étude confirme l'intérêt de ne prendre en compte dans la comparaison des différents traitements (familles) que les plantules centrales des parcelles élémentaires.

• Production de matériel végétal assaini en Guadeloupe

D. Roques
J. Sapotille , C. Guiougou, M.-C. Planchet, P. Navis, A. Joseph

Le schéma de pépinières de canne à sucre, actuellement en vigueur en Guadeloupe, a été préconisé dès 1987 par le Service de la protection des végétaux, le Cirad et le Ctics pour lutter contre les maladies graves en forte expansion dans les cultures, notamment l'échaudure des feuilles causée par *Xanthomonas albilineans*. Un système de pépinières issues de matériel végétal sain propagé par culture *in vitro* a été adopté pour produire les boutures nécessaires à la totalité des plantations annuelles réalisées en Guadeloupe et à Marie-Galante (2 500 à 3 000 hectares) présentant les meilleures qualités possibles (pureté variétale, qualité sanitaire, vigueur à la levée).

Afin d'obtenir les meilleures garanties sanitaires, les pieds de cuve de multiplication sont obtenus à partir de plants sains installés *in vitro* après deux ans de quarantaine à Montpellier. Les plants sont ensuite multipliés en Guadeloupe par le Cirad au laboratoire de culture *in vitro* de Roujol. Après une phase de sevrage d'environ un mois, les vitroplants sont plantés au champ en première étape de pépinière ou « pépinière mère ». D'autre part, un certain nombre de vitroplants ont été multipliés pour les besoins de la recherche.

Dix variétés de canne à sucre ont été multipliées en 1999 par le laboratoire de culture *in vitro* pour alimenter les pépinières conformément à la commande de l'interprofession sucrière. Un total de 20 254 vitroplants sevrés (toutes variétés confondues) a été produit. L'assainissement des plantations de canne à sucre en Guadeloupe est poursuivi par la production annuelle d'environ 20 000 vitroplants présentant les meilleures garanties phytosanitaires.

• Appui de la pathologie à l'amélioration variétale en Guadeloupe

J.-H. Daugrois
R. Boisne-Noc, S. Joseph, S. Otero, K. Brancourt

La mise au point et l'application en routine de tests de criblage pour l'évaluation de la résistance aux maladies des clones en cours de sélection permet de sélectionner et de distribuer aux producteurs des variétés résistantes.

Criblage des variétés en cours de sélection pour la résistance aux principales maladies.

Charbon

Un test de sélection précoce (stade 1) pour la sensibilité au charbon a été mis en place. Deux méthodes d'inoculation par poudre de spores et par trempage dans une solution ont été testées sur 20 familles. La méthode de trempage des plantules dans une solution de spores à 6×10^6 spores par millilitre s'est révélée efficace. Des différences significatives de sensibilité ont été détectées entre les familles, montrant la possibilité de sélectionner pour ce caractère à un stade très précoce, dans un contexte d'inoculation naturelle importante.

Le criblage des clones des séries FR92 et FR93 en troisième année d'observation (140 clones) est achevé, 67 % des clones sont résistants, 24 % sont intermédiaires et 9 % sont sensibles.

Echaudure des feuilles

Les tests sont achevés pour la série FR94. En utilisant la contamination des tiges après inoculation comme critère de résistance, 34 % des clones ont été classés résistants, 48 % ont été classés intermédiaires et 18 % ont été classés sensibles.

Rabougrissement des repousses

Les résultats obtenus pour la série FR93, inoculée au moyen de couteaux contaminés, sont peu satisfaisants lors de la première récolte. Seuls quelques clones ont effectivement été infectés. Parmi ceux-ci, trois peuvent être considérés comme sensibles. En revanche, les séries suivantes (FR94 et FR95, soit 136 clones) ont été inoculées lors de la plantation des boutures (préparation des boutures à l'aide d'un couteau contaminé) et les résultats obtenus dès la première année sont corrects car 57 % des échantillons et 88 % des variétés ont été infectés. Le dénombrement de la proportion de faisceaux vasculaires colonisés permet un classement de ces clones en fonction de l'intensité de l'infection du bas de tige par *Clavibacter xyli* subsp. *xyli*. Ces résultats incitent à poursuivre ces tests, mais en tentant d'en améliorer l'efficacité.

Actuellement, les variétés en fin de sélection sont réintroduites dans les tests de résistance aux maladies appliqués aux clones FR en cours de

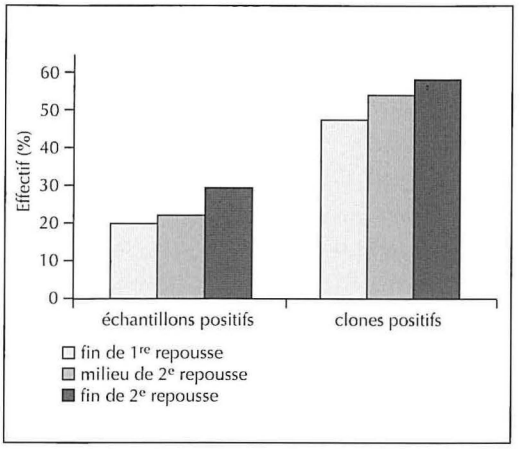


Figure 5. Evolution de la contamination de 59 clones par le ScYLV sur deux cycles de culture.

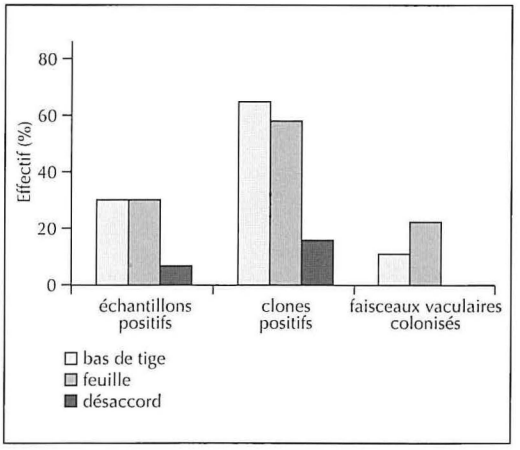


Figure 6. Comparaison du diagnostic du ScYLV par immunoempreinte de tissus foliaires et de tissus.

sélection. C'est ainsi qu'en 1999, neuf variétés en fin de sélection et dix variétés commerciales figuraient dans les divers essais de test de résistance aux maladies.

Criblage variétal pour la résistance au syndrome de la feuille jaune. L'évaluation de la résistance variétale au *Sugarcane yellow leaf virus* (ScYLV) est testée par immunoempreinte de tissus sur les variétés en cours de sélection en Guadeloupe (stade 4). A ce stade, la contamination des plantes peut encore augmenter au cours des cycles de culture (figure 5). Pour estimer l'intensité de colonisation des plantes par le virus, deux types d'échantillons ont été analysés et comparés (figure 6). Hormis quelques désaccords pour les plantes peu colonisées, les résultats obtenus à partir d'échantillons de feuilles et de tiges sont similaires. Toutefois, la proportion de faisceaux vasculaires colonisés est souvent supérieure dans les échantillons foliaires.

Les tests par immunoempreinte de tige ont été appliqués à 80 clones de la série FR93 sur deux années consécutives. Entre les deux cycles de culture, l'importance de l'infection de la parcelle (nombre moyen de faisceaux vasculaires colonisés, nombre d'échantillons positifs et nombre de clones positifs) est similaire. En revanche, pour certains clones, on observe une forte variation des résultats obtenus entre les deux cycles. Cette variation pourrait être liée au type d'échantillonnage effectué ou à un phénomène de latence du virus.

En marge de ces travaux, l'utilisation du diagnostic foliaire du ScYLV par immunoempreinte avant les envois en quarantaine à Montpellier, a permis de diminuer fortement le nombre de clones FR éliminés entre les deux cycles de quarantaine pour cause d'infection par le ScYLV.

• Comportement des variétés FR à l'égard de la mosaïque

P. Rott, J.-C. Girard, M. Chatenet
M. Muller, M.-J. Darroussat

La mosaïque causée par le *Sugarcane mosaic virus* (SCMV) ou le *Sorghum mosaic virus* (SrMV) n'existant pas en Guadeloupe, le comportement des variétés FR créées par le Cirad est évalué au Cirad à Montpellier. Quarante-huit variétés de la série FR95 ont été introduites en septembre 1999 et inoculées en serre à Montpellier avec le SCMV (isolat du Cameroun). Les variétés ont été réparties en trois classes en fonction de leur comportement fondé sur le développement de symptômes après inoculation : 33 variétés résistantes (69 %), 8 variétés intermédiaires (17 %) et 7 variétés sensibles (15 %).

• Appui méthodologique à l'amélioration variétale à la Réunion

L.-M. Raboin

Une base de données sur la génétique de la canne à sucre est en cours de construction. Elle fonctionne avec le logiciel ACEDB (ACEDB for Microsoft Windows, R. Durbin, J. Thierry Mieg, R. Bruskiewich). Les informations concernant la généalogie, le comportement par rapport aux maladies, les caractéristiques générales des variétés et la floraison des clones à la Réunion ont été rassemblées dans cette base. Le système utilisé permet une navigation interactive puissante. Le système peut remonter dans la généalogie des variétés.

• Appui de la pathologie à l'amélioration variétale à la Réunion

J. Notaise
H. Lombard, G. Gauvin, J.-C. Ribotte

La lutte contre les maladies de la canne à sucre est, en grande partie, fondée sur l'utilisation de variétés résistantes. L'objectif du travail effectué, années après année, est de s'assurer par des expérimentations réalisées en conditions d'infestation artificielle, que les obtentions du Cerf présentent un niveau suffisant de résistance aux principales maladies.

Pour la seconde année consécutive, 26 variétés de canne à sucre ont été testées à Saint-Benoît pour leur résistance à l'échaudure des feuilles. Sur la base de l'indice de maladie obtenu à six mois, cinq clones ont été classés moyennement sensibles et les 21 restant ont été notés tolérants ou résistants. La distinction entre les clones tolérants et les clones résistants n'a pu être effectuée du fait du faible développement de la maladie cette année. Trente-trois variétés de canne à sucre ont également été testées à Saint-Benoît pour leur résistance à la gommose. Sur la base de l'indice de maladie obtenu à six mois, les variétés peuvent être différenciées sur une échelle allant de 0 à 100. Certaines variétés ont une note proche de 0 (résistant) et d'autres ont des notes supérieures à 50 (sensible). Dans les deux essais, on obtient donc une discrimination entre les différentes variétés testées pour leur intensité de résistance à la maladie étudiée.

Pathologie

• Quarantaine de canne à sucre à Montpellier

P. Rott, M. Chatenet, J.-C. Girard
J.-F. Bousquet, M.-J. Darroussat, R. Habas, M. Muller

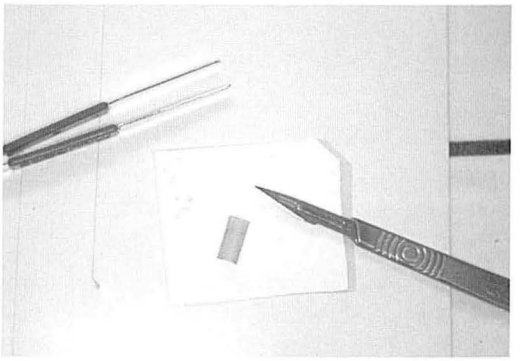
Culture en serres de quarantaine. Une centaine de variétés de canne à sucre a été cultivée en serre de quarantaine de première année et une autre centaine de variétés en serre de quarantaine de deuxième année. Les conditions de culture en pot avec arrosage goutte-à-goutte sont celles décrites par ailleurs (Agriculture et développement, 1997, 13 : 22-28).

Quatre-vingt variétés ont été libérées de quarantaine au cours de la campagne 1998-1999 : 11 variétés internationales (option 1), 28 variétés FR produites et fournies par le Cirad en Guadeloupe (option 2) et 41 variétés fournies par la Wicscbs à Barbade (option 3). Les boutures de canne à sucre ont principalement été envoyées en Afrique (Burkina Faso, Cameroun, Congo, Côte d'Ivoire, Egypte, Mali, Ouganda, Sénégal, Soudan, Tchad) mais aussi aux Antilles (Barbade, Guadeloupe, Martinique), dans les Mascareignes (Madagascar, Réunion) et en Asie (Chine, Vietnam).

Diagnostic et détection des maladies. Les variétés cultivées en première année de quarantaine ont fait l'objet d'un dépistage systématique en laboratoire pour la recherche de *Xanthomonas albilineans* (échaudure des feuilles), de *Clavibacter xyli* subsp. *xyli* (rabougrissement des repousses), du SCMV (mosaïque) et du ScYLV (syndrome de la feuille jaune). Un cas d'échaudure a été détecté sur la variété FR 940319 ; les autres tests se sont révélés négatifs sauf ceux concernant le ScYLV. Ce luteovirus a été détecté par la technique moléculaire de RT-PCR (Reverse Transcription - Polymerase Chain Reaction) et par empreinte de nervure foliaire sur membrane de nitrocellulose (immunoempreinte) dans deux variétés sur 52 originaires de Guadeloupe, dans aucune des 27 variétés originaires de Barbade, dans sept variétés sur les neuf originaires du Brésil et dans six variétés sur 31 d'origines géographiques diverses.

Par ailleurs, des tests de détection complémentaires développés par d'autres chercheurs ont été adaptés aux conditions du laboratoire du Cirad à Montpellier. Il s'agit en particulier de la technique RT-PCR pour le SCMV et pour le *Fiji disease virus* (FDV), responsable de la maladie de Fidji, ainsi que de la technique de PCR nichée pour les phytoplasmes associés au syndrome de la feuille jaune.

Le syndrome de la feuille jaune est très généralement associé au ScYLV mais, selon les travaux sud-africains, il semble qu'il puisse aussi résulter de la présence de phytoplasmes. Ces derniers sont délicats à mettre en évidence, même si le développement de méthodes de biologie



Immunoempreintes de nervure foliaire de canne à sucre atteinte du ScYLV. (cliché P. Rott)

moléculaire a beaucoup facilité leur détection et leur étude. Les expériences réalisées à ce jour (PCR nichée suivie de RFLP) n'ont pas permis de trancher de façon concluante quant à la présence ou à l'absence de phytoplasmes dans des échantillons de feuilles de canne à sucre en provenance de la Réunion et de la Guadeloupe.

Assainissement de la canne à sucre atteinte du syndrome de la feuille jaune. Il a été démontré en 1998 que la culture de méristème est efficace pour assainir la canne à sucre atteinte du virus de la feuille jaune causée par le ScYLV. Une action systématique d'assainissement a depuis été mise en place à la quarantaine du Cirad à Montpellier pour éliminer ce virus dans les variétés élites de canne à sucre. Vingt-six variétés infectées par le ScYLV ont ainsi été installées *in vitro* par culture de méristème en 1999. Par ailleurs, huit variétés assainies en 1998 (présence du virus non détectée dans les vitroplants par RT-PCR) ont été sevrées et installées en 1999 en serre de quarantaine de première année. La recherche du virus dans ces plantes par la technique RT-PCR et par immunoempreinte a été négative ; les variétés assainies seront progressivement intégrées à la quarantaine de deuxième année pour envoi aux utilisateurs.

• Etudes épidémiologiques de l'échaudure des feuilles

P. Rott, M. Chatenet, J.-C. Girard, M. Royer, A. Cousin,
J.-H. Daugrois, P. Champoiseau
J.-F. Bousquet, M-J. Darroussat, R. Habas, M. Muller,
R. Boisne-Noc, S. Joseph

Importance de l'âge physiologique sur le développement de l'échaudure des feuilles. Deux expérimentations ont été conduites en 1999 sous tunnel plastique à Montpellier. La première avait pour objectif de vérifier en conditions contrôlées le comportement au champ de trois variétés à l'égard de *X. albilineans* : H70-174 (très sensible), B69566 (sensible) et Co6304 (très résistante). Des plantes en pots ayant déjà formé de cinq à dix entre-nœuds ont été inoculées par la méthode de décapitation-dépôt avec une suspension de la souche *X. albilineans* GPE5SR (10^8 unités formant des colonies par millilitre). Les symptômes ont été relevés mensuellement et, quatre mois et demi après l'inoculation, l'importance de la colonisation a été déterminée par la technique des empreintes sur le milieu sélectif. Bien que l'expression des symptômes n'ait pas été très marquée, notamment sur la variété sensible B69566, la colonisation des tiges reflète le niveau de résistance des variétés au champ :

- variété H70-174 très colonisée, indice de colonisation vers le haut (IDCh) = 94 ;
- variété B69566 moyennement colonisée, IDCh = 66 ;
- variété Co6304 peu colonisée, IDCh = 22.

Gouttes de rosée sur les feuilles de canne à sucre. (cliché J.-H. Daugrois)

La seconde expérimentation avait pour but de vérifier l'importance de l'âge physiologique de la canne au moment de l'inoculation dans l'évolution de la maladie. L'essai a été réalisé sur plantes en pots. Des séries de plantes âgées respectivement d'environ deux, trois, quatre, cinq et six mois ont été inoculées par la méthode de décapitation-dépôt avec la souche de *X. albilineans* GPE5SR (10^8 unités formant des colonies par millilitre). Symptômes et colonisation des tiges ont été évalués comme pour l'essai précédent. L'expression des symptômes a été très discrète, mais l'analyse des IDCh révèle un comportement très différent des cannes les plus jeunes au moment de l'inoculation. En effet, l'IDCh est beaucoup plus faible pour les cannes âgées de deux mois à l'inoculation que l'IDCh des autres traitements. Ce résultat confirme que l'agent pathogène a du mal à coloniser une tige n'ayant pas encore formé d'entre-nœuds bien apparents au moment de l'inoculation. Une incidence de la colonisation des tiges sur leur élongation, phénomène par ailleurs dépendant de l'âge des plantes au moment de leur inoculation, est également possible et devra être confirmée.

Dynamique des populations de *Xanthomonas albilineans* dans la plante. Un troisième essai concernant cette thématique a été mené en 1999 en Guadeloupe. Les pertes de rendement n'ont pu être confirmées pour cause de contamination naturelle des parcelles témoins. En revanche, la dynamique des populations bactériennes dans les variétés testées est bien liée à la résistance variétale. Les densités des populations bactériennes dans les tiges sont plus élevées pour les variétés les plus sensibles. De plus, pour ces variétés, la colonisation des plantes peut s'étendre jusqu'au système souterrain : 70 % des échantillons de racine du cultivar CP681026 (très sensible) et 17 % des échantillons de racine de B69566 (sensible) ont été colonisés par la souche bactérienne.

Dissémination aérienne de *Xanthomonas albilineans* en Guadeloupe. En mai 1999, trois parcelles de canne à sucre ont été plantées dans différentes zones écologiques de Guadeloupe avec des vitroplants sains. Les premières bactéries de l'espèce *X. albilineans* ont été isolées de gouttes de rosée, quatre à cinq semaines avant l'apparition de symptômes. La contamination des trois parcelles étudiées ne s'est pas effectuée de façon synchrone. Les premières bactéries ont été isolées respectivement le 19 juillet, le 15 septembre et enfin le 3 novembre 1999. La rapidité de la contamination semble dépendre de la proximité de plants de canne à sucre contaminés et du climat. Les populations bactériennes relevées dans les gouttes de rosée peuvent atteindre 10^7 unités formant des colonies par millilitre (figure 7). Les proportions de gouttes contaminées après sept mois de culture étaient, dans l'ordre chronologique de la contamination des trois parcelles, de 100 %, 57,5 % et 14 %. Ces travaux seront poursuivis par l'évaluation de la contamination des tiges après infection des parcelles par voie épiphyte.

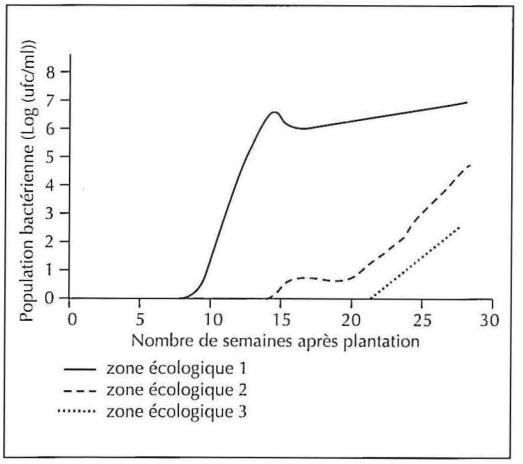


Figure 7. Population de *Xanthomonas albilineans* dans les gouttes de rosée.

• Variabilité et composantes du pouvoir pathogène de *Xanthomonas albilineans*

P. Rott, M. Chatenet, J.-C. Girard, F. Hinnewinkel , L.-M. Raboin, J. Notaise, M. Royer, C. Brayer, A. Cousin, J.-H. Daugrois, P. Champoiseau
J.-F. Bousquet, M.-J. Darroussat, R. Habas, M. Muller, R. Boisne-Noc, S. Joseph

Variabilité du pouvoir pathogène de *Xanthomonas albilineans* à la Réunion. Deux variétés de canne à sucre, l'une sensible (B34104), l'autre tolérante (R570), ont été inoculées sous un tunnel de plastique avec dix isolats de *X. albilineans.* Le pouvoir pathogène a été évalué en mesurant l'évolution des symptômes dans le temps (méthode Area Under Disease Progress Curve, AUDPC), l'élongation des tiges (taille de la tige au-dessus de la zone d'inoculation), ainsi que les densités bactériennes au-dessus (nœud +6) et en dessous (nœud -5) de la zone d'inoculation. La majorité des souches a provoqué des symptômes notables chez la variété sensible B34104, mais pas chez la variété tolérante R570. Une seule souche était vraiment agressive chez les deux variétés et trois souches étaient non agressives quelle que soit la variété. Par ailleurs, une relation a été mise en évidence entre l'intensité des symptômes, les populations bactériennes dans le haut des tiges et la croissance des tiges (exprimée en terme d'élongation et non de nombre d'entre-nœuds) (figure 8).

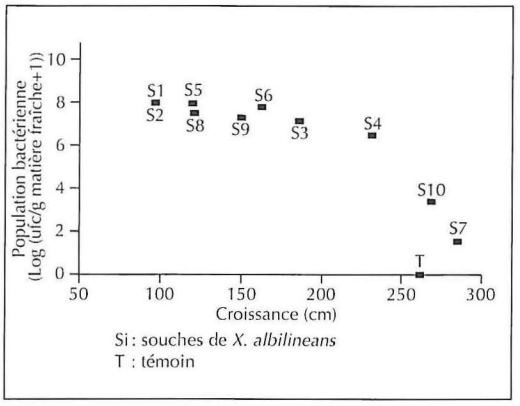


Figure 8. Distribution des souches de *Xanthomonas albilineans* en fonction de l'élongation des tiges de la variété B34104 et des populations bactériennes au niveau du nœud +6.

Variabilité du pouvoir pathogène de *Xanthomonas albilineans* en Guadeloupe. L'agressivité de sept souches de *X. albilineans* originaires de Guadeloupe a été testée pour la seconde fois sur quatre variétés de canne à sucre : deux variétés sensibles, une variété tolérante et une variété résistante. Les résultats confirment une variabilité de l'agressivité des souches de l'agent pathogène pour les deux paramètres considérés : intensité des symptômes observés après inoculation et densité des populations bactériennes dans la tige (au-dessous et au-dessus de la zone d'inoculation) (figure 9). L'évolution des symptômes (AUDPC) est liée aux populations bactériennes dans la tige. Les trois souches les plus agressives provoquent les symptômes les plus importants et leurs populations bactériennes au-dessus de la zone d'inoculation sont significativement plus élevées que celles des quatre autres souches testées. Les dénombrements des populations bactériennes dans la tige ont permis de mettre en évidence une interaction entre la variété et la souche qui serait plutôt liée à une variation de l'agressivité des souches qu'à l'existence de races.

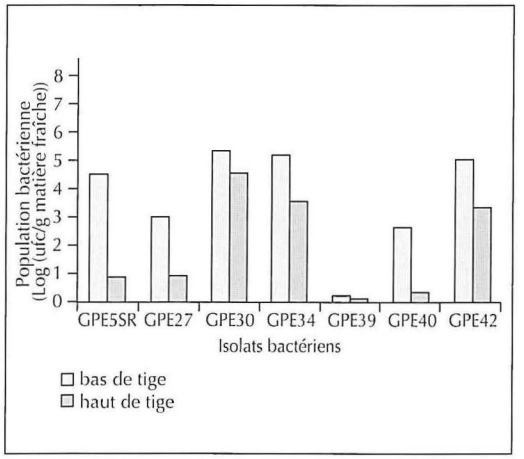


Figure 9. Comparaison de sept isolats de *Xanthomonas albilineans* originaires de Guadeloupe, testés sur quatre variétés de canne à sucre.

L'importante variabilité du pouvoir pathogène de *X. albilineans* mise en évidence à la Réunion et en Guadeloupe incite à un choix judicieux des souches de la bactérie lors du criblage variétal pour la résistance à l'échaudure des feuilles.

Biosynthèse de l'albicidine et résistance à l'albicidine chez *Xanthomonas albilineans*. *X. albilineans* est un agent pathogène inféodé au xylème, responsable de l'échaudure des feuilles de la canne à sucre. Cette bactérie produit une phytotoxine, l'albicidine, qui inhibe de façon spécifique la réplication des ADN chloroplastiques et bactériens. L'analyse moléculaire de mutants non producteurs d'albicidine obtenus par mutagenèse insertionnelle du transposon T*n5-GusA* (Rott *et al.*, 1996. Journal of Bacteriology 178 : 4 590 - 4 596) a permis, en 1998, d'identifier trois régions de gènes impliqués dans la biosynthèse de la toxine chez la souche originaire de Floride Xa23R1. Les gènes situés au niveau de ces régions, appelées I, II et III, sont localisés dans des zones respectives de 48, 9 et 3 kilobases. La troisième région de biosynthèse a été caractérisée en 1999. Celle-ci, après isolement et clonage chez *Escherichia coli*, a permis de restaurer la production de la toxine chez deux mutants non producteurs de toxine et non complémentés par les régions I et II. L'analyse de la séquence de la région III et des sites mutés a permis d'identifier cinq phrases de lecture directe (Open Reading Frame, ORF) et de proposer une fonction pour quatre d'entre elles (ORF1, ORF2, ORF4 et ORF5).

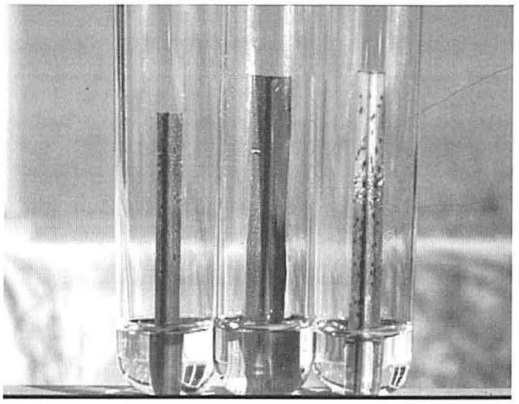
Parallèlement, un gène de résistance à l'albicidine, *albE,* a récemment été découvert chez une souche australienne de *X. albilineans* (Wall, 1996. PHD Thesis, University of Queensland, Australie). Des séquences homologues à ce gène avaient été recherchées en 1998, par PCR, dans la souche Xa23R1 au moyen d'amorces définies à partir de la séquence de *albE*. En 1999, plusieurs fragments ont été amplifiés à partir de Xa23R1, mais aucun d'eux ne présentait de similitude avec la séquence du gène australien. Une séquence similaire au gène australien a donc été recherchée chez une autre souche australienne (Xa126R1) afin d'identifier une sonde pour localiser le gène de résistance dans la souche de Floride Xa23R1. Un fragment PCR d'environ un kilobase, présentant une identité en acides nucléiques avec *albE* de 97 % sur 767 paires de bases, a été obtenu.

• Epidémiologie moléculaire des *Xanthomonas* pathogènes

L. Gagnevin (Cirad-amis, protection des cultures)

Plusieurs espèces de *Xanthomonas* attaquent la canne à sucre et les symptômes qu'elles produisent sont souvent similaires (nécroses, stries, blanchiment du feuillage, etc.). De même, leurs caractéristiques culturales, biochimiques ou sérologiques ne permettent pas toujours de les différencier. L'objectif des travaux engagés est la mise au point d'outils d'étude de la diversité moléculaire de ces *Xanthomonas* et notamment celle de *X. albilineans*, agent causal de l'échaudure des feuilles. La présence de gènes *Hrp* et *avr* a été recherchée dans une vingtaine de souches de *X. albilineans*. L'ADN de ces souches ne s'est pas hybridé avec les sondes pXV9 *(Hrp* de *Xanthomonas vesicatoria)*, pBS *avr* Xa10 (gène de type *avr* bs 3 de *X. oryzae*) et IS 1595 (élément

insertionnel répété de *Xanthomonas* sp. du manguier). Ces résultats sont surprenants mais intéressants puisque les gènes *Hrp* sont communs à la plupart des bactéries phytopathogènes et ils ont été mis en évidence dans quasiment toutes les espèces de *Xanthomonas* où elles ont été recherchées.



Sporulation de rouille sur fragment foliaire de canne à sucre inoculé avec *Puccinia melanocephala* (témoin à l'eau au centre). (cliché P. Rott)

• Résistance à la rouille et variabilité du pouvoir pathogène de *Puccinia melanocephala*

C. Asnaghi, P. Rott, M. Chatenet, J.-C. Girard
J.-F. Bousquet, M.-J. Darroussat, R. Habas, M. Muller

La rouille est une maladie répandue chez de nombreuses céréales et les études de résistance à cette maladie ont permis de mettre en évidence de nombreux gènes spécifiques de résistance aux différentes rouilles. Un gène majeur de résistance à la rouille de la canne à sucre, causée par *Puccinia melanocephala*, a été identifié dans une descendance autofécondée du cultivar R570 par Daugrois et *al.* en 1996 (Theoretical and Applied Genetics 92 : 1 059 - 1 064). Un travail de thèse a été entrepris en 1997 par C. Asnaghi pour construire une carte génétique à haute résolution autour de ce gène de résistance.

R570 est un cultivar résistant à la rouille dans tous les pays où il a été évalué ou utilisé. Cependant, différents facteurs génétiques spécifiques pourraient être à l'origine de cette résistance. Il était donc important de tester l'étendue d'action du gène majeur de résistance identifié chez R570 afin de juger l'intérêt d'utiliser ce gène dans les programmes d'amélioration de la canne à sucre. La répartition géographique de *P. melanocephala* est vaste et, bien que quelques études rapportent l'existence de plusieurs races de l'agent pathogène en Inde, à Hawaii et en Floride, la diversité globale du champignon a été peu étudiée. Sept isolats viables de rouille d'origines géographiques variées (Brésil, Colombie, Floride, Guadeloupe, Réunion et Zimbabwe) ont été introduits à Montpellier afin de les confronter à R570, à deux cultivars sensibles à la maladie, H49-5 et B4362, ainsi qu'à 18 clones (neuf sensibles et neuf résistants) issus de l'autofécondation de R570. L'objectif était de déterminer si un de ces isolats était capable de surmonter la résistance du gène majeur de résistance à la rouille et s'il existait différents facteurs génétiques impliqués dans la résistance à ces différents isolats.

Deux méthodes d'inoculation (pulvérisation d'une suspension de spores et dépôt de carrés de gélose préalablement recouverts de spores) et deux types de matériel végétal (vitroplants et fragments de feuilles maintenus en survie) ont d'abord été évalués à l'aide d'une souche de *P. melanocephala* originaire de la Réunion. La résistance de R570 ne s'exprime pas sur des vitroplants dans les conditions de culture *in vitro*. En revanche, la technique des « feuilles détachées » (pulvérisation d'une suspension de spores du champignon sur des

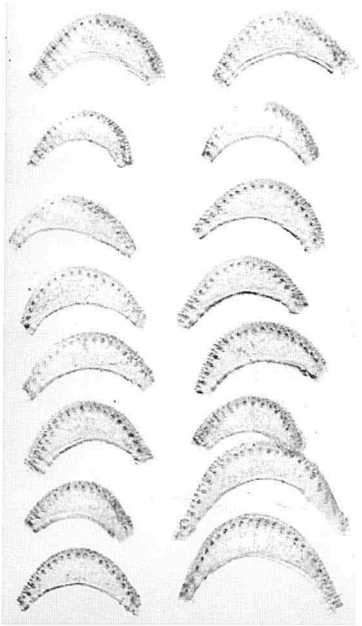
fragments foliaires maintenus en survie) permet une expression de la résistance à la maladie comparable à celle qui est observée au champ. Cette technique a donc été utilisée pour inoculer les divers cultivars et clones de canne à sucre avec les sept isolats de *P. melanocephala*. Le cultivar R570 est résistant et les deux cultivars H49-5 et B4362 sont sensibles à l'égard de tous les isolats de l'agent pathogène. Par ailleurs, la même ségrégation de résistance à l'égard de ces sept isolats de rouille a été observée pour les 18 clones issus de l'autofécondation de R570. Ces résultats suggèrent que la région chromosomique qui porte le gène de résistance identifié chez R570 contrôle la résistance à *P. melanocephala* dans de nombreuses zones géographiques.

• Contrôle des maladies en Guadeloupe

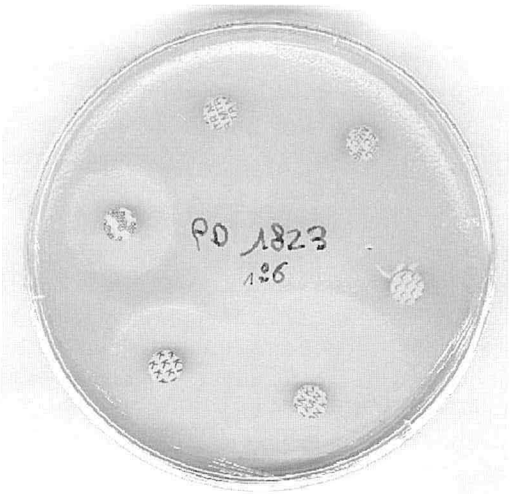
J.-H. Daugrois
R. Boisne-Noc, S. Joseph

Evolution phytosanitaire en Guadeloupe et dans la Caraïbe. De nombreux cas d'échaudure des feuilles, de stries chlorotiques et de pourriture d'apex ont été observés lors d'un contrôle phytosanitaire visuel en Basse Terre de 12 parcelles de la variété B69566 sélectionnées comme pépinières mais non issues du schéma officiel. Une des parcelles présentait aussi des symptomes de « wilt », dont l'agent causal supposé *(Fusarium sacchari)* n'a pas été isolé, et des attaques de charançons *(Metamasius hemipterus)*. Ces deux derniers organismes affectant la canne à sucre ont aussi été notés sur un essai de fin de sélection situé dans le sud de la Grande Terre. De plus, la présence de *X. albilineans* a été observée dans plusieurs parcelles commerciales dont une parcelle de jeune repousse de R570.

Impact des maladies sur le rendement des variétés cultivées. *Clavibacter xyli* subsp. *xyli*, agent causal du rabougrissement des repousses (RSD) est présent en Guadeloupe et en Martinique. Il a été diagnostiqué dans plusieurs parcelles industrielles et, parmi les variétés cultivées, certaines sont considérées comme sensibles à cette maladie. Une étude sur l'impact du rabougrissement des repousses sur trois variétés cultivées en Guadeloupe et en Martinique (R570, B8008 et B5992) a été engagée en 1998. Dès le premier cycle de culture (canne plantée), la maladie du rabougrissement des repousses a eu un effet négatif sur la hauteur des tiges. De plus, les premiers résultats obtenus montrent que les trois variétés étudiées ont un comportement différent quant à la colonisation des tiges par l'agent pathogène. L'impact sur les rendements semble lié à ces différences. Ces résultats devront être confirmés lors de l'analyse des cycles de culture suivants (repousses).



Détection par immunoempreinte du virus responsable du syndrome de la feuille jaune dans les nervures de feuilles de canne à sucre. La présence des virus situés dans les vaisseaux (extrémité supérieure des nervures) est détectée grâce à la coloration bleue survenue après réaction enzymatique. (cliché J. Notaise)



Antibiogramme réalisé sur la souche bactérienne PD 1823 (*Xanthomonas axonopodis* pv.vasculorum) à l'aide de disques imbibés d'antibiotique. Les antibiotiques diffusent dans la gélose à partir des disques. La sensibilité de la souche bactérienne testée est donnée par la taille du halo (pas de croissance bactérienne) autour de chaque disque. (cliché J. Notaise)

• Surveillance des maladies à la Réunion

J. Notaise
H. Lombard, J.-C. Ribotte, G. Gauvin

L'étude de la répartition du virus responsable du syndrome de la feuille jaune au sein d'une collection variétale du Cerf a été entreprise et sera poursuivie en 2000 pour permettre de comprendre l'évolution de la maladie. En 1999, 103 variétés ont été testées pour la présence du virus par la technique de l'immunoempreinte de la nervure foliaire. Pour chacune des variétés, 50 feuilles représentant 50 tiges, ont été testées. La moitié des variétés ont plus de 90 % de leurs tiges infectées et seulement 16 % des variétés sont indemnes de virus.

L'expertise moléculaire d'un lot de canne à sucre pour la détection du virus de la maladie de Fidji a été réalisée dans le laboratoire de biologie moléculaire du Cirad à Saint-Pierre. Aucune des variétés de canne à sucre testées n'était malade. Parallèlement, une étude sur le développement de l'échaudure des feuilles suivant l'âge physiologique de la canne à sucre était menée sous serre tunnel. Cet essai est conduit en parallèle au Cirad en Guadeloupe et au Cirad à Montpellier. La synthèse de ces résultats permettra de connaître, en fonction de l'âge physiologique de la canne à sucre, la réaction de la plante vis-à-vis du développement de la maladie.

La diversité génétique et la variabilité du pouvoir pathogène des *Xanthomonas* pathogènes de la canne à sucre sont également analysées. Ces recherches, menées dans le cadre d'une thèse, ont plusieurs objectifs. Tout d'abord, la diversité génétique et la structure des populations des cinq *Xanthomonas* pathogènes de la canne à sucre seront étudiées. Ensuite, la variabilité du pouvoir pathogène de l'agent causal de la gommose (*Xanthomonas axonopodis* pv. vasculorum) sera caractérisée grâce aux essais en serre et au champ. Enfin, une analyse de la corrélation entre la diversité génétique et la variabilité du pouvoir pathogène de ces espèces pathogènes de la canne à sucre sera entreprise.

• Caractérisation et impact du syndrome de la feuille jaune à la Réunion

L. Rassaby (étudiante en thèse à l'université de la Réunion)
J.-C. Ribotte, G. Gauvin

En 1998, une première enquête sur la présence et la répartition du syndrome de la feuille jaune a montré une large répartition de la maladie sur les principales variétés commerciales sur toute l'île. Suite à ces résultats, les travaux concernant la maladie ont été poursuivis en 1999 dans le cadre d'une thèse de doctorat intitulée « le syndrome de la feuille jaune causé par le ScYLV à la Réunion : caractérisation et

impact ». Ce travail de recherche est orienté selon quatre grands axes : impact économique, dynamique virale, vection de la maladie et variabilité génétique.

Plusieurs essais ont été mis en place en 1999, sur le terrain et en serre étanche aux insectes, dans le but de déterminer l'impact du virus sur la plante hôte et d'étudier l'évolution des populations virales.

Le suivi des taux d'infection virale de trois variétés — R570, R575 et R577 — dans des parcelles de production réparties sur trois sites — la Mare, Saint-Benoît et Savanna — a révélé des taux d'infection stables (tableau 4). Ce résultat confirme l'hypothèse, émise en 1998, de différences d'intensité de colonisation selon les variétés et selon les sites de production. En revanche, une nouvelle hypothèse peut être émise sur le fait que la dissémination de la maladie sur l'île ne serait pas due principalement à des insectes vecteurs mais plutôt à la plantation de boutures infectées.

Enfin, des expérimentations en serre ont montré une présence systémique du virus dans la plante dès le premier mois de culture, pour toutes les variétés étudiées. Cet essai sera poursuivi pendant un cycle entier de récolte afin de mettre en évidence d'éventuelles différences variétales dans l'évolution des populations virales.

Tableau 4. Evolution du pourcentage de feuilles porteuses de luteovirus sur 12 mois par la technique des immunoempreintes.

Variétés Sites, repousses, âges et dates	R570	R575	R579	Moyenne par prélèvement	Moyenne par site
La Mare					51,7 c
vierge (10 mois — 07/98)	18	100	35	51,0	
1re repousse (5 mois — 01/99)	20	97	21	46,0	
1re repousse (10 mois — 06/99)	24	98	52	58,0	
Saint-Benoît					91,7 a
2e repousse (10 mois — 07/98)	94	100	90	94,7	
3e repousse (5 mois — 02/99)	97	100	92	96,3	
3e repousse (10 mois — 07/99)	87	92	73	84,0	
Savanna					64,5 b
4e repousse (10 mois — 07/98)	50	100	52	67,3	
5e repousse (5 mois — 02/99)	38	100	66	68,0	
5e repousse (10 mois — 07/99)	32	99	44	58,3	
Moyenne par variété	51,1 b	98,4 a	58,3 b		

100 feuilles par site et par variété - statistique : test de Kramer au seuil 5 %

• Appui en phytopathologie à la production sucrière

P. Rott, M. Chatenet, J.-C. Girard, J. Daugrois
J.-F. Bousquet, M.-J. Darroussat, R. Habas, M. Muller

Mission d'expertise sur la situation phytosanitaire de la canne à sucre au Pérou. Une mission d'expertise en phytopathologie de la canne à sucre a été réalisée au Pérou à la demande de l'Agro Industrial Paramonga SA. L'objectif était d'analyser la situation phytosanitaire de la canne à sucre à Paramonga, avec une attention particulière sur un jaunissement atypique des feuilles de canne à sucre.

Vingt-deux maladies ont déjà été déclarées au Pérou mais seules la striure brune *(brown stripe)*, les taches ocellées *(eye spot)*, la pourriture rouge de la gaine foliaire *(red rot of the leaf sheath)*, les taches annulaires *(ring spot)*, la rouille *(rust)* et la fumagine *(sooty mould)* ont été observées au cours de cette mission. Ces maladies étaient presque exclusivement présentes dans la collection variétale de canne à sucre. Les variétés cultivées sont résistantes aux maladies majeures de la canne à sucre déclarées au Pérou. En revanche, un jaunissement anormal des feuilles a été remarqué sur les variétés H50-7209 et H32-8560 qui occupent plus de 70 % des surfaces cultivées. Ce jaunissement, appelé *Paramonga yellow leaf* (PYL), est proche de celui attribué au *Yellow leaf syndrome* (YLS) causé par le *Sugarcane yellow leaf virus* (ScYLV), même s'il s'en distingue par certains aspects. Le ScYLV a été détecté au Cirad à Montpellier par la technique des immunoempreintes dans 49 échantillons foliaires prélevés au champ à Paramonga. La présence du virus a aussi été confirmée par RT-PCR dans des boutures de cannes malades importées à Montpellier. Il est donc envisageable que le ScYLV soit impliqué dans le PYL et des études complémentaires doivent être effectuées pour le démontrer.

Plusieurs maladies majeures de la canne à sucre existent au Pérou (taches ocellées, rabougrissement des repousses, rouille, YLS, PYL, etc.) mais aucune mesure particulière n'est prise par l'Agro Industrial Paramonga SA pour lutter contre ces maladies : pas de pépinières ni de thermothérapie des boutures. De plus, peu de variétés sont cultivées sur des surfaces importantes. Différentes recommandations ont donc été faites à l'Agro Industrial Paramonga SA :

- développer un programme de criblage variétal pour l'identification de nouvelles variétés à cultiver ;
- développer un système de pépinières ;
- promouvoir et effectuer des recherches sur les maladies telles que le *Paramonga yellow leaf.*

Mission d'expertise sur la situation sanitaire de la canne à sucre en Jamaïque. Une mission d'expertise en phytopathologie de la canne à sucre a été réalisée en Jamaïque à la demande du Sugar Industry Research Institute (Siri) à Mandeville en Jamaïque. L'objectif était

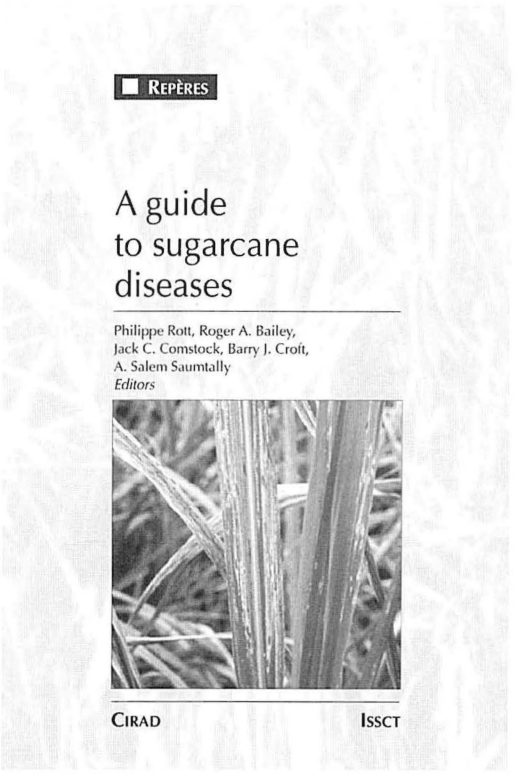
d'identifier les maladies présentes et leur importance avec une attention particulière sur un problème de dépérissement de la canne à sucre dans certaines exploitations du nord de la Jamaïque.

Dix maladies ont pu être observées lors de la mission sur les vingt déjà déclarées en Jamaïque. Des symptômes de la maladie des taches jaunes *(yellow spot)* ont été vus à plusieurs reprise sur une variété commerciale alors que cette maladie n'était pas déclarée en Jamaïque. La mosaïque et l'échaudure des feuilles n'ont pas été identifiées lors de cette mission alors qu'elles sont déclarées en Jamaïque. Les maladies majeures rencontrées, outre les taches jaunes, sont le charbon *(smut)*, la rouille *(rust)*, la striure brune *(brown stripe)*, les taches ocellées *(eye spot)*. Quelques plants de canne à sucre présentaient des symptômes anormaux de jaunissement de la nervure centrale, similaires à ceux attribués au *yellow leaf syndrome* (YLS) causé par le ScYLV. Les diagnostics effectués par immunoempeinte pour la recherche du ScYLV se sont révélés négatifs. Les symptômes de dépérissement présents en grand nombre dans une ferme du nord de la Jamaïque sont similaires à ceux décrits pour la maladie de la pourriture d'apex, maladie dont la cause est encore inexpliquée.

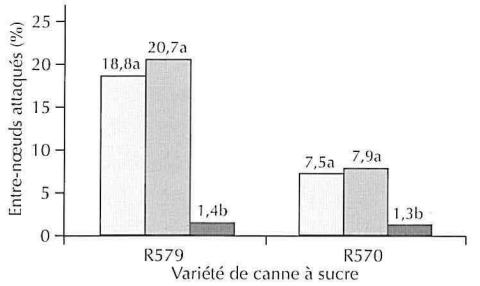
A l'issue de cette mission, les principales recommandations faites au Siri sont les suivantes :

- planter des variétés résistantes au charbon et contrôler les parcelles sources de boutures ;
- planter des variétés résistantes aux maladies foliaires comme la maladie des taches jaunes ou la maladies des taches ocellées dans les zones où ces maladies sont favorisées ;
- promouvoir des recherches sur le dépérissement des cannes observé à Richmond farm.

Edition d'un nouveau livre sur les maladies de la canne à sucre et mise à jour du logiciel D-CAS. La section pathologie de l'International Society of Sugar Cane Technologists (Issct) a décidé depuis plusieurs années d'éditer un nouveau livre sur les maladies de la canne à sucre. Suite à une offre du Cirad, qui a développé D-CAS (un logiciel d'aide au diagnostic des maladies de la canne à sucre), la section pathologie de l'Issct a confié au Cirad la production de cet ouvrage sur les maladies de la canne à sucre et la réactualisation du logiciel D-CAS. Les deux produits seront copubliés par l'Issct et le Cirad. Soixante-neuf manuscrits traitant notamment de neuf maladies bactériennes, 36 maladies fongiques, quatre maladies à phytoplasmes, sept maladies virales et six maladies d'origine indéterminée, ont été rédigés en 1999 par 47 auteurs. La sortie du livre et celle du logiciel sont prévues pour juillet 2000.



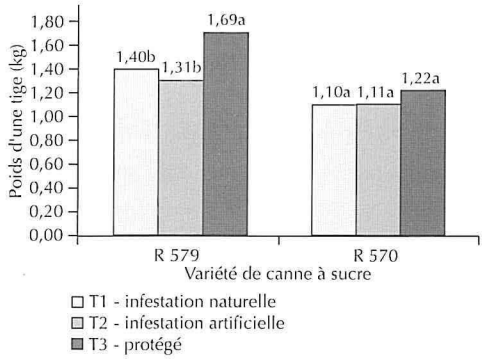
Un nouveau livre sur les maladies de la canne à sucre, édité par l'Issct et le Cirad : a guide to sugarcane diseases. (cliché Cirad)



R579 : CV % = 57,1 ; F = 112,22 ; P = 0,0001
R570 : CV % = 109,8 ; F = 21,87 ; P = 0,0001

Les moyennes (histogrammes) (N = 60) suivies par les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes à P = 0,05 (test SNK, Proc GLM, SAS Institute, 1990).

Figure 10. Importance des attaques de foreurs dans les parcelles protégées et soumises à l'infestation naturelle et artificielle.



R579 : CV % = 26,3 ; F = 15,62 ; P = 0,0001
R570 : CV % = 27,6 ; F = 2,6 ; P = 0,0744

Les moyennes (histogrammes) (N = 60) suivies par les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes à P = 0,05 (test SNK, Proc GLM, SAS Institute, 1990).

Figure 11. Poids moyen d'une tige dans les parcelles protégées et soumises à l'infestation naturelle et artificielle par les foreurs.

Entomologie

• Lutte intégrée contre les foreurs à la Réunion

R. Goebel
E. Fernandez, L. Bègue, R. Tibère, J.-C. Gauvin, M.-C. Gauvin

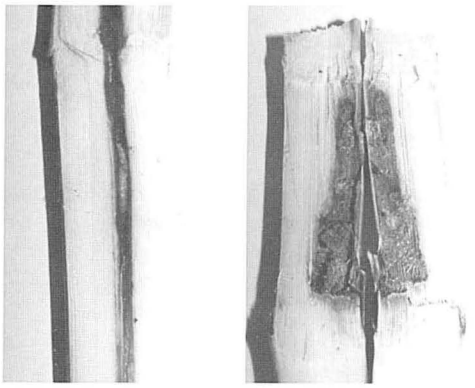
Sondage dans les exploitations cannières. Les petites exploitations des Hauts restent principalement touchées par les attaques des foreurs de souches, *Sesamia calamistis* (foreur rose) et *Tetramoera schistaceana* (foreur blanc). Les cœurs morts (dessèchement du fouet foliaire terminal) provoqués par ces ravageurs sont à l'origine de pertes parfois importantes de plants (20 à 40 % selon les exploitations) au démarrage de la culture, qui s'intensifient dans des conditions de croissance difficile ou de carence en éléments fertilisants. Dans ces conditions, le tallage ne peut compenser les pertes et les retards de croissance sont significatifs.

L'analyse des attaques du foreur ponctué *(Chilo sacchariphagus)*, qui concernent les cannes ayant des entre-nœuds bien différenciés, a révélé des différences de comportement importantes entre les deux variétés sondées (R570 et R579). Ainsi, R579 a toujours un taux d'entre-nœuds attaqués plus de deux fois supérieur à celui de R570 et cela dans plus de 50 % des exploitations. Le diagnostic sur les foreurs va être davantage ciblé sur des zones cannières sensibles (les Hauts par exemple) en recherchant les facteurs qui favorisent le développement et le maintien des foreurs.

Résistance variétale. Plusieurs expérimentations et tests en infestation artificielle ont montré la capacité de résistance du cultivar R570 aux attaques du foreur ponctué *C. sacchariphagus*, par rapport au cultivar R579, très sensible. Cette résistance permet d'expliquer le faible niveau d'attaque observé dans les essais comparatifs (figure 10) et l'absence de pertes en poids de tige (figure 11). On notera d'ailleurs une productivité plus faible de R570 par rapport à R579, dans les parcelles protégées.

Cette résistance s'exprime au niveau des entre-nœuds, lieu de pénétration des larves en pleine croissance. On peut évoquer un rôle de barrière mécanique pour R570 puisque les larves ont une certaine difficulté à pénétrer puis à progresser dans la moelle de l'entre-nœud mais il reste à identifier formellement la nature de cette résistance.

Prédation et parasitisme. L'impact important des fourmis *(Pheidole megacephala F.)* sur le stade œuf du foreur a été confirmé à Savanna et à Sainte-Marie. Cette année encore, la prédation des œufs à Savanna a été particulièrement forte et régulière (80 à 100 % des œufs détruits) et le taux de parasitisme dû à *Trichogramma chilonis* Ishii a été très faible (moins de 5 % dans les mois les plus propices). Un antagonisme entre prédation et parasitisme n'est pas exclu, les fourmis dévorant les œufs



Dégâts légers sur le cultivar R570, à gauche et sévères sur le cultivar R579 à droite. (cliché R. Goebel)

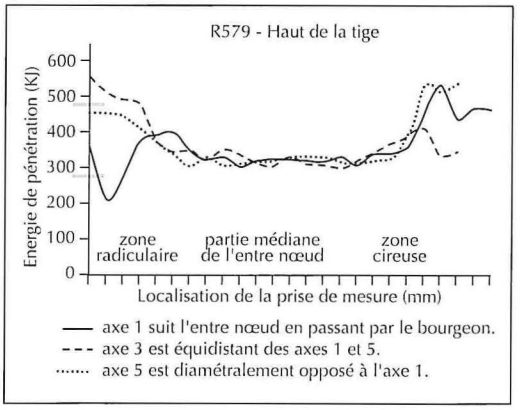


Figure 12. Cartographie de la résistance mécanique de l'entre-nœud sur le cultivar R579.

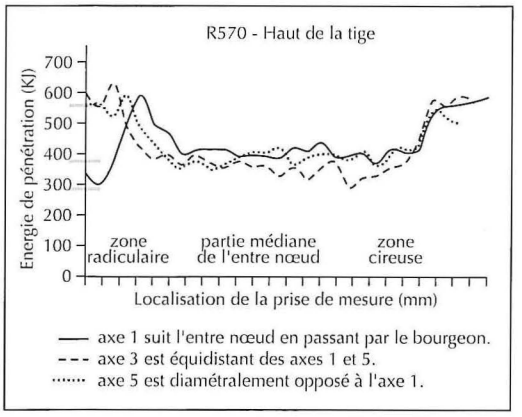


Figure 13. Cartographie de la résistance mécanique de l'entre-nœud sur le cultivar R570.

déjà parasités par les trichogrammes. Ce constat incite à une réflexion sur l'utilisation de ce parasitoïde dans des exploitations comme Savanna.

• Résistance du cultivar R570 à la chenille mineuse *Chilo sacchariphagus* (Lep : Pyralidae)

B. Morin, R. Goebel, P. Letourmy (Cirad-ca, mabis),
J. Escoute (Cirad-amis, Biotrop)
G. Fliedel (Cirad-ca, cultures alimentaires),
B. Vercambre

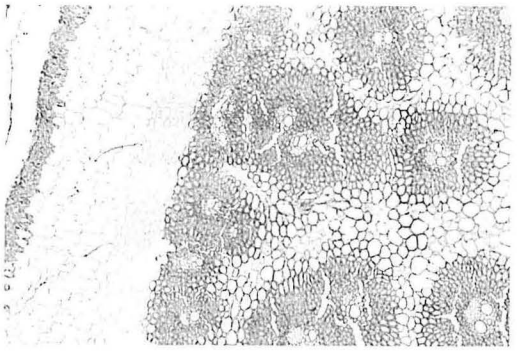
Des études antérieures sur le terrain et en conditions contrôlées ont pu mettre en évidence la résistance du cultivar R570 (diffusé depuis 1980) par rapport au cultivar R579 (diffusé récemment) vis-à-vis des attaques de ce ravageur (Goebel, 1997 ; Vercambre *et al.*, 1997). Suite aux études préliminaires poursuivies en 1998, la recherche d'outils et de méthodes adaptés à la mesure de la résistance mécanique à la pénétration a été approfondie et diversifiée. Les travaux de pénétrométrie ont été repris et complétés par une analyse histologique des différents tissus constitutifs de la tige, afin de déterminer des critères pertinents de résistance variétale. De plus, cette recherche a conduit à explorer les capacités d'un outil de mesure original fondé sur la comparaison de vibrations acoustiques résultant de chocs non destructifs. Le matériel végétal utilisé était composé de boutures de deux ou trois entre-nœuds, âgées de huit à dix mois, et provenait de la Réunion (six envois entre juin et août 1999).

Pénétrométrie. Deux instruments mesurant la résistance à la pénétration ont fait l'objet de divers essais comparatifs : l'instron et le texturomètre. La possibilité d'enregistrer les données sur ordinateur et de tracer les courbes d'efforts correspondantes a fait adopter ce dernier outil après vérification que tous deux fournissaient la même précision de mesure.

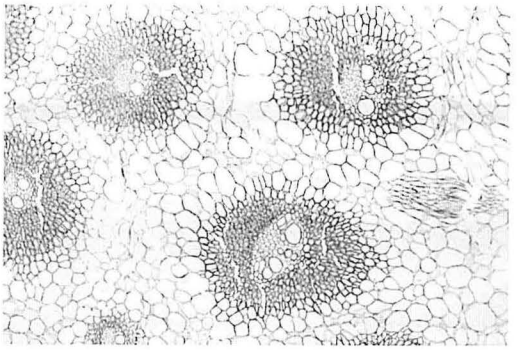
Une cartographie de l'entre-nœud (piqûre tous les deux millimètres sur trois axes a été effectuée sur les deux cultivars afin de déceler les sites de moindre résistance mécanique à la pénétration. Un gradient de résistance du haut vers le bas de la tige mais aussi à l'échelle de l'entre-nœud distingue des zones de forte résistance par rapport à l'entre-nœud lui-même : la zone cireuse et radiculaire (figure 12 et 13).

Des essais complémentaires, appuyés par des analyses statistiques, ont mis en évidence des différences très significatives de résistance entre les deux cultivars au niveau de l'entre-nœud lui-même et à moindre degré sur la zone radiculaire. La résistance de l'entre-nœud constituerait ainsi un premier critère de différenciation variétale.

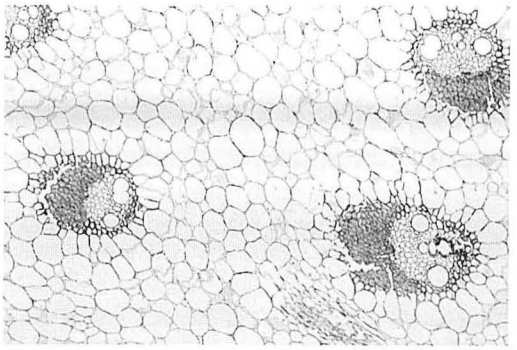
Des mesures de pénétrométrie effectuées avec une aiguille, munie ou non de sa pointe, sur des tranches (un à quatre millimètres d'épaisseur) découpées longitudinalement dans un entre-nœud, ont permis de comprendre l'incidence de chaque tissu sur la résistance à la



Zone radiculaire R570 : couche avec épiderme.
(cliché B. Morin)



Zone radiculaire R570 : couche dans la zone corticale.
(cliché B. Morin)



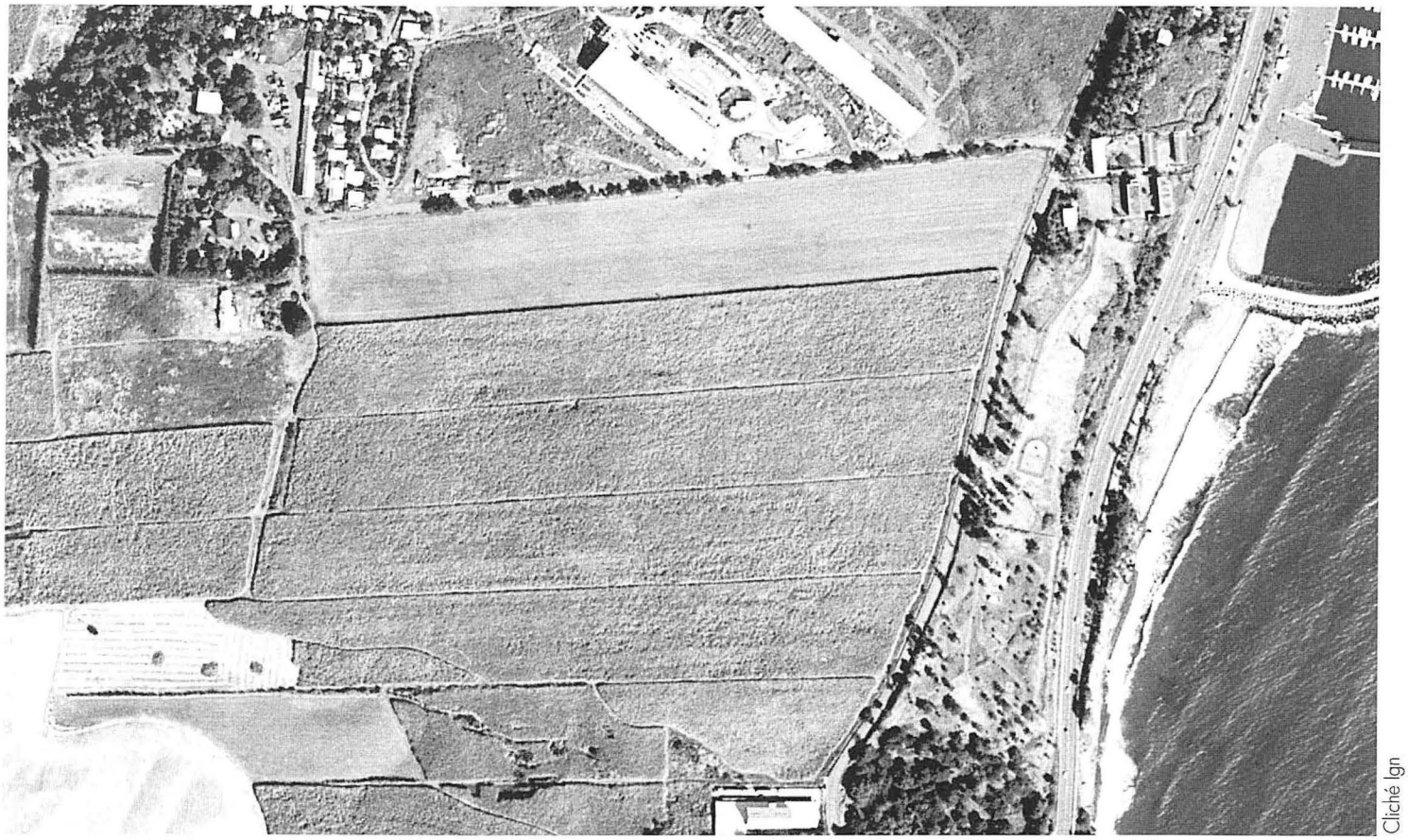
Zone radiculaire R570 : couche vers la moelle.
(cliché B. Morin)

pénétration. Les résultats indiquent, d'une part, que les premiers millimètres traversés à partir de l'épiderme sont responsables de la plus grande partie de la résistance globale, d'autre part, que ce sont les couches suivantes qui permettent de distinguer statistiquement les deux cultivars.

Histologie. La description des tissus de la canne saine a été réalisée afin de comprendre, pour chaque zone, quels étaient les tissus mis en jeu dans la résistance mécanique. La lignine, principale responsable de la dureté des tissus, a été révélée par coloration au phloroglucinol et au bleu de méthylène aluné. Sa répartition est très variable selon le tissu et la zone de l'entre-nœud étudié. Dans cette analyse, le cortex s'est distingué des autres tissus et semble correspondre à la zone de plus forte résistance, quelle que soit la zone sur l'entre-nœud, expliquant ainsi la résistance prépondérante de la première couche observée en pénétrométrie. L'analyse de la répartition de la lignine semblerait apporter quelques éléments de différenciation variétale, mais ceci doit être vérifié statistiquement.

Caractérisation des cultivars R570 et R 579 par la méthode du BING. La méthode du BING (Beam Identification by Non destructive Grading) est une méthode récente de mesure de la résistance mécanique, appliquée habituellement aux grumes de bois. Elle a pu mettre en évidence un comportement très différencié des deux cultivars et présente l'avantage d'être très pratique à l'emploi. Cependant une réflexion d'ordre théorique et des essais supplémentaires sur d'autres variétés permettraient de s'assurer du bien-fondé de l'utilisation faite de l'appareil pour évaluer la résistance mécanique.

Amélioration de la productivité des bassins canniers à la Réunion



Cliché Ign

Amélioration de la production des zones cannières

• Appui à la gestion des groupements et des organismes de travaux

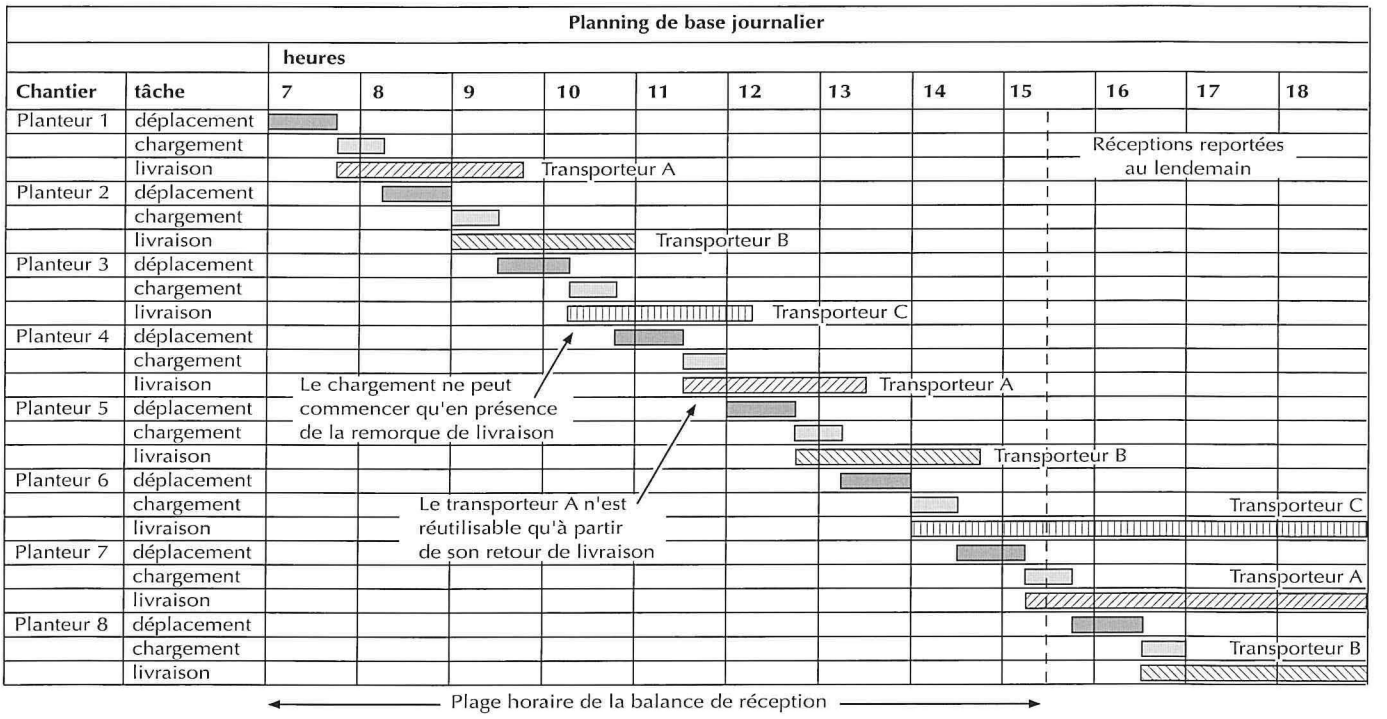
J.-C. Dagallier
D. Deurveilher

Les actions menées ont pour objectif de rentabiliser et de pérenniser les groupements de planteurs et les organismes prestataires de travaux. Les outils proposés doivent leur permettre de faire des choix argumentés d'organisation, de technique ou d'investissement.

Dans les groupements de chargement mécanique, les opérations de transport ont été intégrées dans les modèles de suivi. Cette intégration a permis de calculer la dimension à donner à cette activité et, ainsi, de répartir la charge de travail entre les transporteurs retenus.

Les outils proposés ont permis de fournir à la fois un planning de travail de chargement et de transport, des objectifs chiffrés et des documents de contrôle de l'activité (figures 14 et 15). Ce modèle de suivi a été appliqué par l'entreprise Angama à la nouvelle planification des livraisons après les incendies de Bellevue et de

Figure 14. Diagramme de GANTT de l'activité de chargement et de transport (GANTT : représentation graphique des plannings avec visualisation de l'enchaînement des tâches).



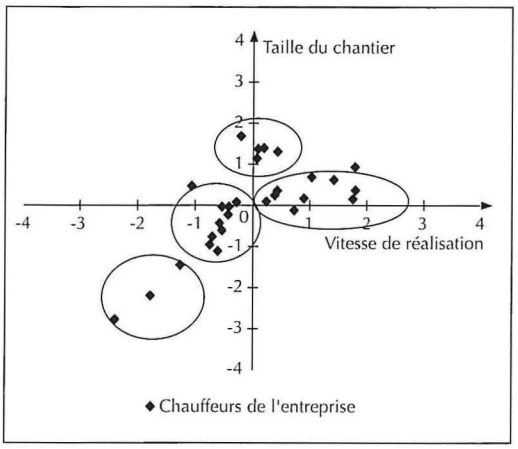


Figure 15. Graphe des performances : cas de l'entreprise agricole Angama.

Vincendo. La Chambre d'agriculture de Saint-Benoît a également utilisé ce modèle pour négocier les nouveaux quotas de cannes de la Cuma « Rocher Fleuri ».

• Gestion et maintenance des matériels

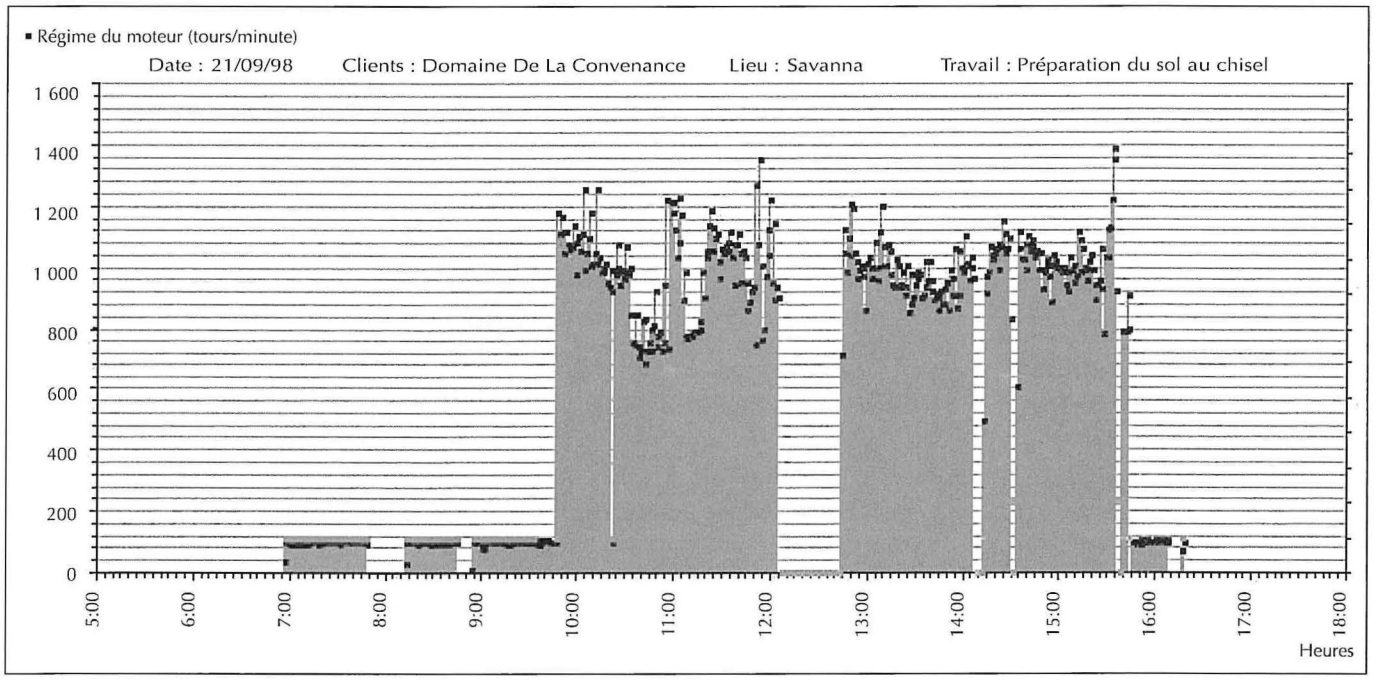
J.-C. Dagallier
D. Deurveilher

Les actions en cours visent à évaluer la fiabilité des centrales embarquées montées sur les engins, à corriger éventuellement les défauts de programmation et à affiner l'exploitation à partir des données enregistrées.

Les outils « Sadem » (Système d'acquisition de données embarqué sur les machines) et « Sadem Gestion » ont permis cette année le suivi des consommations réelles de carburant liées aux activités des engins (figure 16). Des outils d'extrapolation des activités des matériels et des véhicules de transport de la Sica Promocanne ont été mis au point.

Les suivis spécifiques effectués sur la machine Simon® précisent les conditions de l'organisation des chantiers à respecter pour utiliser la machine de façon rentable. Les modèles utilisés pour le chargement mécanique ne sont pas transposables en l'état pour la gestion des groupements de coupe mécanique.

Figure 16. Visualisation de la consommation de carburant (vibrogrammes associés aux bons de livraison ou de fin de chantier).



• Coordination technique de l'Association réunionnaise pour la modernisation de l'économie sucrière

B. Siegmund

L'Armes, Association réunionnaise pour la modernisation de l'économie sucrière, créée en 1974, regroupe tous les acteurs de la filière canne à sucre à la Réunion (pouvoirs publics, producteurs de canne à sucre, industriels sucriers, organismes de recherche et de développement). La Direction de l'agriculture et de la forêt anime cette association et en assure le secrétariat. Depuis 1992, le Cirad détache un agent qui assure la coordination technique avec les collectivités et les services de l'Etat. A ce titre, le Cirad participe à l'élaboration des mesures d'aide et propose des évolutions en fonction des difficultés observées sur le terrain. De manière formelle, il propose la répartition de certains crédits en fonction des différentes zones de production.

Le travail consiste à participer à la définition des actions de recherche et de développement et à apporter un appui technique aux organismes de travaux qui font le relais avec les producteurs de canne à sucre.

En 1999, les principales activités du coordinateur technique ont porté sur :

- l'intérim de la direction des Sica Promocanne et La Mare à la demande de leurs conseils d'administration ;
- le secrétariat de la commission d'instruction des demandes de travaux chargée d'examiner les demandes de financement des travaux d'améliorations foncières, de voirie, etc. ;
- la participation à l'élaboration des documents pour le troisième plan de développement relatif à la filière canne à sucre ;
- la programmation des travaux et le suivi des réalisations du projet d'irrigation de l'Ouest réunionnais ;
- le plan de modernisation du Ctics en tant que membre de son comité technique ;
- l'évolution des structures des organismes de travaux qui interviennent auprès des agriculteurs.

• Organisation de l'approvisionnement des sucreries

S. Gaucher (étudiante en thèse à l'université Paris XI)

Cette étude, entreprise dans le cadre d'une thèse, s'est orientée vers les problématiques relationnelles entre les clients et les fournisseurs qui régissent l'approvisionnement des usines de première transformation. Les nombreux aléas et sources d'incertitudes, auxquels la fonction d'approvisionnement doit faire face, pèsent sur l'efficacité des filières

agroalimentaires, aussi bien du point de vue des industriels que de celui des agriculteurs. La recherche des gains dégagés par une filière passe donc, entre autres, par une meilleure maîtrise de cette fonction d'approvisionnement.

Plusieurs objectifs sont poursuivis :

- porter un diagnostic sur l'organisation de l'approvisionnement des sucreries en termes de sources d'inefficacité et de dysfonctionnement ;
- concevoir un outil de simulation permettant de tester l'impact de modifications de cette organisation sur le fonctionnement global du système et ses performances ;
- comparer différents scénarios d'évolution de l'organisation afin de fournir un support à la réflexion des acteurs et à leurs décisions quant aux choix à effectuer.

L'organisation des relations d'approvisionnement entre les clients et les fournisseurs a été étudiée par un travail empirique d'analyse de la logistique des approvisionnements et par la conception d'un modèle informatique de simulation de l'impact sur les systèmes de réception et de transport.

Les problèmes de contractualisation entre les producteurs et les industriels ont été abordés sur un plan plus théorique et un premier modèle a été conçu pour caractériser les types de contrat.

Un deuxième modèle traite de la gestion des approvisionnements d'une industrie. Il permet de comparer une gestion centralisée et une gestion décentralisée de l'approvisionnement en matière première d'un industriel sous l'angle des politiques de commande et de stockage.

• Logistique d'approvisionnement des sucreries

S. Loison, S. Gaucher (étudiante en thèse à l'université Paris XI), L.-G. Soler (Inra Grignon)

Ce travail sur les problèmes de logistique, réalisé en commun par le Cirad et l'Inra, est parti d'un double constat :

- le moyen d'action essentiel pour accroître l'efficacité de la filière canne à sucre réside dans la réduction des coûts des opérations de récolte, de transport et de réception des cannes, de la parcelle à l'usine ;
- compte tenu des enjeux importants pour chaque type d'acteur, il est indispensable de trouver des solutions acceptables à la fois par les industriels et par les planteurs.

Il s'agit donc de fournir des éléments pour aider aux négociations entre les industriels et les planteurs sur l'organisation de l'approvisionnement des sucreries.

Après une description détaillée de l'organisation des opérations de récolte, de transport et de réception et après un travail d'enquête auprès des planteurs, un logiciel a été conçu permettant de simuler divers fonctionnements logistiques (durée des opérations, délai d'acheminement, longueur des files d'attente, durée de stockage, etc.). Ce logiciel permet de tester les conséquences de modifications logistiques sur les flux et les coûts ainsi que les contraintes générées par les planteurs et les industriels.

• Amélioration des techniques culturales

D. Pouzet, J.-F. Martiné
A. Philoté, M. Jeannette, R. de Larichaudy

Ajustement de la fertilisation aux fortes productions. Les besoins minéraux sont précisés en conditions proches des conditions optimales du potentiel agroclimatique, afin de les modéliser. Le principe de la dilution minérale, selon lequel la teneur minérale de la plante, ramenée à la biomasse produite, diminue lorsque les rendements augmentent, est aussi analysé. Ce phénomène connu, mais rarement pris en compte dans la détermination des besoins minéraux des cultures, a été vérifié sur la canne à sucre pour la plupart des éléments étudiés.

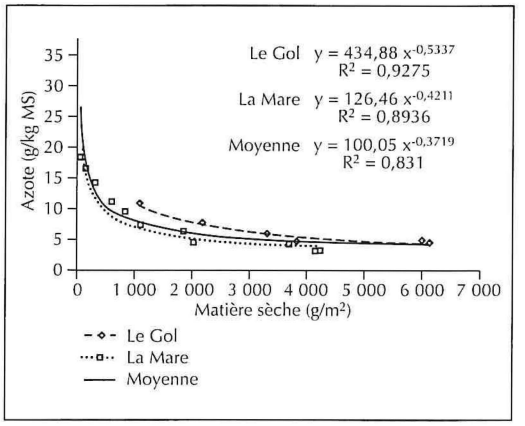


Figure 17. Courbes de dilution de l'azote dans la biomasse de la canne à sucre.

La courbe de dilution de l'azote (figure 17) permet d'évaluer la teneur en azote (N) de la canne à sucre à partir de la matière sèche totale (MS) par la relation :

N (gramme par kilogramme de matière sèche) = 100,05 x MS $^{-0,3719}$ (gramme par mètre carré de sol couvert).

La courbe de dilution du phosphore (figure 18) permet de déterminer la teneur en phosphore (P) de la canne à sucre à partir de la matière sèche totale par la relation :

P (gramme par kilogramme de matière sèche) = 8,5067 x MS $^{-0,2302}$ (gramme par mètre carré de sol couvert).

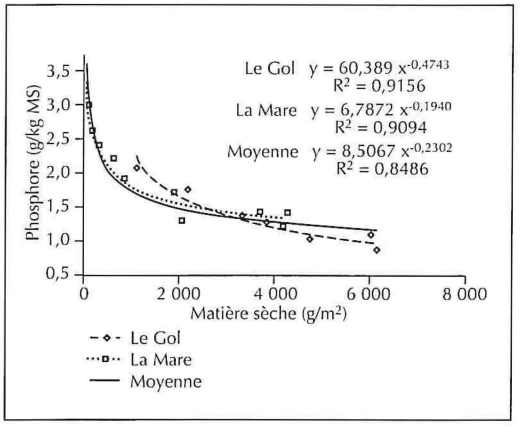


Figure 18. Courbes de dilution du phosphore dans la biomasse de la canne à sucre.

Contrairement à l'azote et au phosphore, le potassium en excès dans le sol peut être stocké dans la plante, entraînant des consommations dites de luxe. La courbe de dilution en potassium (K) conduit à la relation suivante (cultivar R570, Le Gol) :

K (gramme par kilogramme de matière sèche) = 606,61 x MS $^{-0,427}$ (gramme par mètre carré de sol couvert).

Ces trois relations permettent de proposer des corrections aux conseils en fertilisation NPK actuellement pratiqués à la Réunion pour les rendements élevés.

Pour les minéraux secondaires répondant à une loi de dilution tels que le calcium, le magnésium, le manganèse, la silice, le soufre et le zinc, il

existe des normes d'exportation minérale minimale (et non de conseil en fertilisation d'entretien).

Pour les autres minéraux secondaires sans loi de dilution apparente, tels que l'aluminium, le molybdène, le titane, le bore, le cuivre, le fer et le sodium, les mobilisations sont considérées comme proportionnelles au rendement.

L'application de ces résultats conduit à des économies d'engrais, mais l'intérêt principal est de nature environnementale et concerne la durabilité de l'agriculture cannière. La diminution des charges en engrais minéraux réduit d'autant plus les risques de pollution et d'acidification du sol qu'elle s'applique aux cultures à haut potentiel de production. La mise en œuvre pratique de ce conseil plus précis nécessite une phase de vérification à conduire sur des parcelles de cultures intensives, essentiellement en zone irriguée.

Chaulage des sols acides. Le bien-fondé du conseil en chaulage des sols acides a fait l'objet d'études et de tests conduits sur des parcelles cultivées, en collaboration avec la Chambre d'agriculture, la Sica Promocanne et la société industrielle des engrais de la Réunion.

Ces études ont permis de parfaire les techniques de chaulage et les modalités d'apport (nature et forme du matériau calcique). Le suivi de la nutrition minérale des parcelles permet d'observer que, trois ans après le chaulage, la teneur des feuilles en calcium et en magnésium continue à être significativement plus élevée sur les parcelles chaulées. Le chaulage ne modifie pas significativement les teneurs foliaires en éléments majeurs (N, P, K). En revanche, sur les parcelles non chaulées, il existe une compensation du déficit en cations (Ca, Mg) par une présence plus élevée, bien que non significative, de potassium.

Ces résultats confirment l'effet positif et durable du chaulage sur la nutrition minérale de la canne à sucre dans des conditions de sol et d'itinéraire technique très variées.

Amélioration du conseil en fertilisation. Le conseil en fertilisation, élaboré à partir de l'analyse de sol, permet un gain significatif de productivité comparé aux pratiques courantes de fumure de la canne à sucre fondée uniquement sur la plante (équilibre NPK et rendement). L'accroissement moyen du rendement, dans des conditions pédoclimatiques très variées, est de l'ordre de 8 % dès la deuxième année et dépasse 10 % la troisième année. La prise en compte des caractéristiques chimiques du sol permet donc une économie d'engrais, par réduction de la dose ou par une meilleure valorisation des apports. Dans le cas contraire, la baisse de production rapide montre la sensibilité de la fertilité du sol aux équilibres minéraux.

L'étude de la répartition géographique des parcelles suivant les conseils en fertilisation montre une variabilité importante par type de sol ou par zone agroclimatique homogène, attribuable à l'historique de la conduite culturale. Le conseil en fertilisation, applicable à la parcelle, ne peut donc être généralisé à la région et impose une analyse de sol par parcelle.

La mise en œuvre du conseil en fertilisation est cependant délicate. La période critique, pendant laquelle le prélèvement de sol, l'analyse chimique, le conseil lui-même, l'achat des engrais, l'épandage et l'enfouissement (Ca et P) doivent être réalisés, est très courte. Elle se situe entre la fin de la dernière coupe et la replantation. Pour lever cette contrainte, une déclaration des replantations un an à l'avance pourrait être intéressante et offrirait d'autres avantages : régularisation des analyses, prévision des besoins en boutures, organisation des travaux d'aménagement foncier et de replantation des Sica, évaluation du montant des primes. Une incitation financière (bonification de la prime à la replantation, par exemple) pourrait généraliser la pratique de l'analyse des sols l'année précédant la replantation.

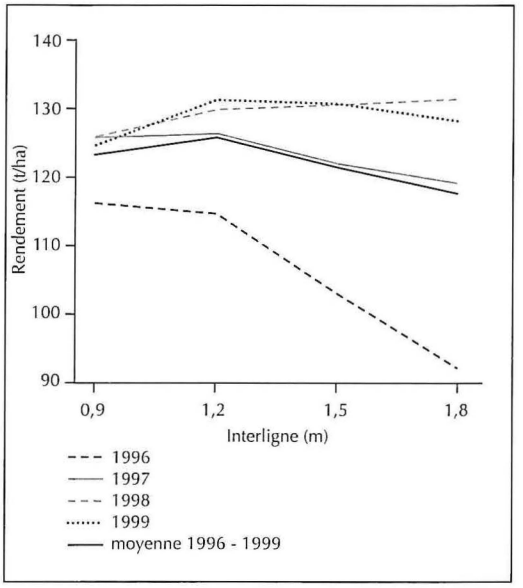


Figure 19. Rendement moyen, en tonnes par hectare, de cannes usinables en basse altitude.

Optimisation de la distance interligne. Diverses études montrent que les relations entre la distance interligne et la production de la canne à sucre dépendent des caractéristiques variétales, mais aussi des conditions climatiques. L'absence de référentiel à la Réunion a justifié la mise en place de deux essais dans des conditions climatiques opposées : en basse altitude et en haute altitude.

En basse altitude (figure 19), malgré un effet sur canne vierge (1996) en faveur d'un resserrement, la distance interligne entre 0,9 et 1,8 mètre n'est pas un facteur important de la production du couvert. Ce paramètre doit donc être, comme c'est le cas, adapté aux contraintes de la mécanisation, sachant qu'il est préférable d'utiliser l'écartement le plus faible compatible avec la mécanisation afin de mieux contenir l'enherbement et l'érosion.

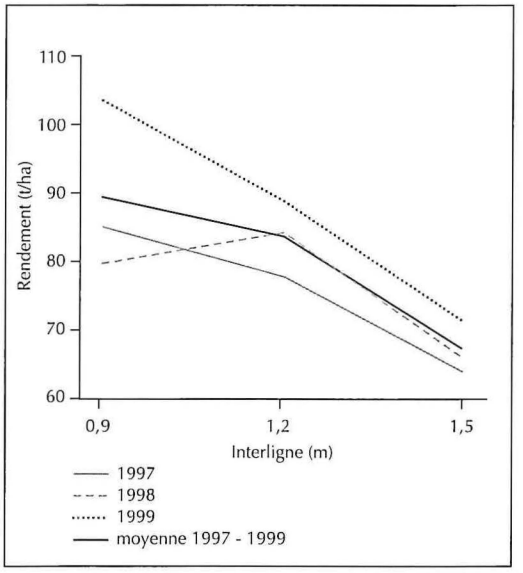


Figure 20. Rendement moyen, en tonnes par hectare, de cannes usinables en haute altitude.

En altitude, malgré un site hétérogène, les meilleurs rendements sont obtenus avec des interlignes de 0,9 mètre, mais l'écart est faible avec les rendements obtenus avec des interlignes de 1,2 mètre. En revanche, le rendement décroît rapidement pour des interlignes situés entre 1,2 et 1,5 mètre (figure 20). L'intérêt économique d'une réduction de l'interligne est renforcé par des effets agronomiques et environnementaux positifs lorsque l'altitude augmente. Le ralentissement de la croissance du couvert avec l'altitude est d'autant plus important que les variétés disponibles sont globalement inadaptées aux basses températures. Le rapprochement des lignes accélère la vitesse de fermeture du couvert végétal et réduit ainsi la phase critique de sensibilité à l'enherbement et à l'érosion.

• Amélioration de la productivité des micro-régions cannières

D. Pouzet, D. Alphonsine
A. Philoté

Le cadre général de cette étude est la gestion de la sole cannière au sein de l'exploitation agricole. Peut-on améliorer la production cannière par un meilleur arbitrage des ressources de l'exploitation entre les différentes productions ? Cette étude a été menée par enquêtes et suivi d'une quinzaine d'agriculteurs. La main-d'œuvre pour la coupe de la canne à sucre est une contrainte importante. La difficulté d'embaucher des coupeurs, leur absentéisme et le faible développement de la mécanisation de la coupe conduisent, surtout dans l'Est, à des pertes de rendement et de richesse ainsi qu'à la baisse de productivité d'autres activités jugées non prioritaires. L'insuffisance de capacité de coupe entraîne notamment des reports de replantation et d'entretien des cannes.

Pour contourner ces problèmes, les stratégies adoptées sont essentiellement individuelles et dépendent du type des exploitations.

Dans les exploitations dont la diversification fournit des ressources financières satisfaisantes, la canne à sucre se situe au même niveau de priorité que les autres productions ; l'agriculteur essaie de maintenir l'effectif des travailleurs temporaires par négociation sur la rémunération ; ces exploitations devraient évoluer vers la mécanisation ou alors vers l'arrêt de la culture.

Dans les exploitations où la canne à sucre est la production principale, soit par son importance économique, soit par ses liens avec l'élevage, la main-d'œuvre temporaire évolue vers une main-d'œuvre permanente ; cette stratégie s'oppose à la mécanisation de la récolte et retarde sa mise en œuvre ; elle conduit à un meilleur équilibre entre les productions.

Dans les exploitations à productions diversifiées, où la culture cannière se trouve dans des conditions marginales de production, par exemple en culture non irriguée, la canne à sucre pourrait être, à terme, abandonnée.

Dans l'ensemble, ces stratégies dénotent un individualisme marqué, même au sein des Cuma. Ce frein au développement de la mécanisation met en évidence la nécessité de développer un conseil spécifique aux groupements de producteurs et à leur gestion.

• Stratégies cannières dans les Hauts de l'Ouest

M. Piraux (Cirad-tera, tropiques humides), D. Guilluy, H. Périno

Pour évaluer le réel potentiel de développement de la canne à sucre dans les Hauts de l'Ouest au regard des objectifs des producteurs, la cellule de recherche-développement des Hauts a caractérisé les stratégies liées à la culture. Une typologie fonctionnelle, fondée sur le rôle de la culture dans l'exploitation et sur des éléments structurels, a pu être élaborée. Les performances techniques et économiques de la culture ainsi que son impact sur le fonctionnement des exploitations ont été identifiés. Une modélisation économique et les trajectoires d'évolution des exploitations ont conduit à élaborer des scénarios d'évolution en fonction de diverses hypothèses. Des propositions pour la mise en place d'un soutien à la culture de la canne à sucre ont été émises selon les groupes typologiques, pour favoriser la viabilité économique des différents types d'exploitation.

• Actualisation du conseil en désherbage

P. Marnotte (Cirad-ca, ecosystèmes cultivés)

Parmi les diverses techniques de maîtrise de l'enherbement en culture de canne à sucre, l'emploi des herbicides occupe une place prépondérante à la Réunion, même si les sarclages mécaniques ou manuels et les techniques de lutte agronomique sont fréquemment mis en œuvre. Cependant, on constate un écart important entre la réglementation phytosanitaire et les pratiques agricoles. D'une part, les récentes réglementations européennes ont entraîné des modifications des droits d'usage de certains produits, d'autre part, de nouvelles molécules utilisables sur la canne à sucre sont apparues sur le marché sans qu'il n'y ait eu d'expérimentation préalable à leur emploi, ni d'homologation.

Culture mineure pour la France métropolitaine, la canne à sucre ne bénéficie que de très peu de travaux de recherche aboutissant à la préconisation des produits phytosanitaires. Les derniers tests sur les herbicides à la Réunion ont été conduits en 1994. Il apparaît actuellement indispensable que les services techniques concernés, Chambre d'agriculture et Service de la protection des végétaux, relancent le processus d'homologation sur la canne à sucre des produits disponibles sur le marché. Il faut reprendre les activités de tri de molécules et actualiser les préconisations sur les herbicides, qui ne peuvent être le fait du seul secteur commercial.

Dans le cadre d'une convention entre le Cirad et la Chambre d'agriculture, un programme d'expérimentations a commencé. Il vise de nouvelles homologations et une actualisation des conseils.

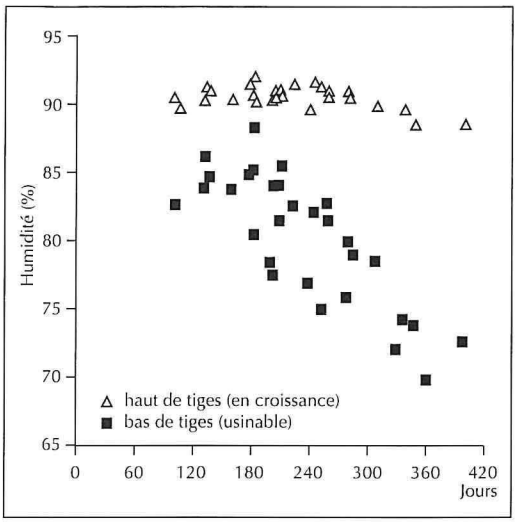


Figure 21. Relation entre l'âge et les humidités des portions de tige usinable et des portions de tige en croissance.

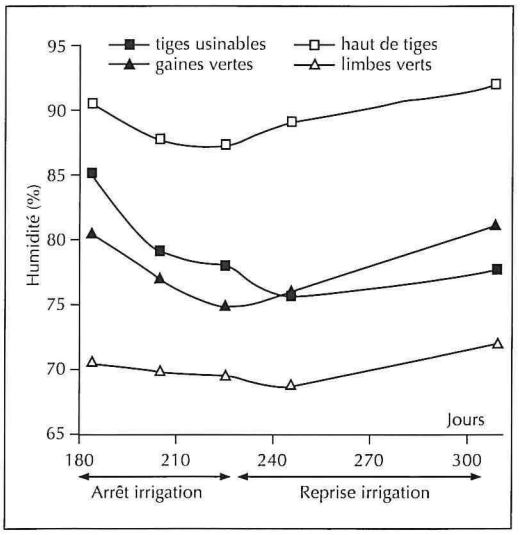


Figure 22. Evolution de l'humidité des organes végétaux au cours d'un arrêt d'irrigation et d'une remise en eau en période sèche.

Modèles de fonctionnement biophysique et outils de diagnostic

• Modélisation de la croissance de la canne à sucre

J.-F. Martiné, P. Lebret, J.-C. Combres
R. de Larichaudy, M. Jeannette, M. Mézino

A la Réunion, où il existe six grands types de sols et 22 zones climatiques différenciées, le Cirad s'est engagé depuis 1993 dans une opération de recherche sur la modélisation de la croissance de la canne à sucre pour :

- quantifier les effets du climat, des variétés et des techniques culturales sur le fonctionnement d'un couvert végétal de canne à sucre ;
- formaliser ces effets au sein d'un modèle de croissance global intégrant la croissance et le bilan hydrique et fournir ainsi un outil d'analyse et d'aide à la décision ;
- appliquer cet outil aux différentes échelles de la parcelle, de l'exploitation et de la région afin de proposer des estimations de production ou de caractériser les productions (facteurs limitants, impact des techniques, etc.).

La biomasse et ses composantes ainsi que l'état hydrique du sol ont été suivis de décembre 1998 à décembre 1999 sur trois sites : Colimaçons (800 mètres d'altitude), Barau (500 mètres d'altitude) et Tirano (200 mètres d'altitude). Les résultats seront appliqués au modèle de croissance de la canne à sucre Mosicas, associé aux bilans hydriques et azotés du modèle Ceres, et au modèle multiplantes Stics. Ces modèles seront calés en conditions climatiques et en conditions d'alimentation hydrique contrastées.

Evolution de la plate-forme de simulation Simulex. Les capacités de simulation sont améliorées par l'incorporation de divers scénarios d'alimentation hydrique et l'association du modèle de croissance Mosicas aux modèles de bilans hydriques et azotés.

Effet de l'âge sur l'humidité des organes végétaux. De 1994 à 1999, des suivis d'humidité ont été réalisés sur les organes végétaux autres que les tiges. Les 90 % d'humidité dans les organes en croissance (partie haute de la tige, figure 21) et les 73 % d'humidité dans les organes assimilateurs (limbes verts) varient peu avec l'âge. Les organes de soutien et de transport ont des humidités qui baissent de 90 à 68 % entre le début et la fin du cycle.

Effet d'un stress hydrique sur l'humidité des organes. Un stress hydrique prolongé entraîne un assèchement sensible des organes de soutien et de transport (figure 22) que sont les tiges usinables et les

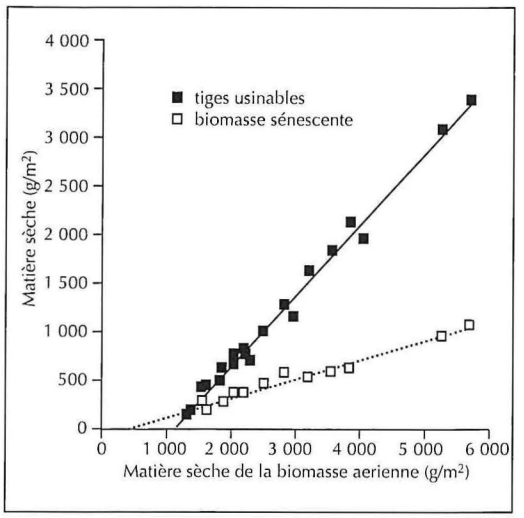


Figure 23. Relations entre les matières sèches de la biomasse aérienne, de la biomasse des tiges usinables et de la biomasse sénescente.

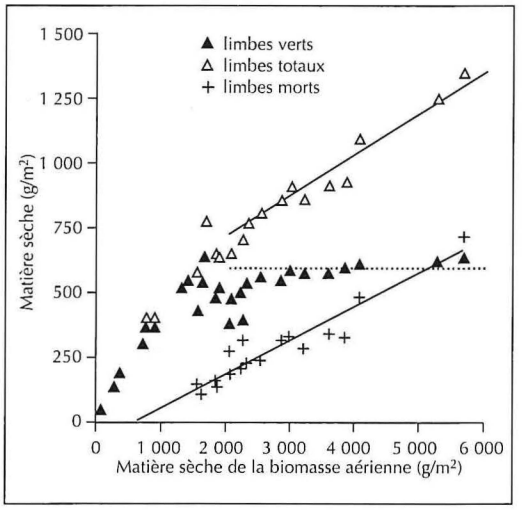


Figure 24. Relations entre les matières sèches de la biomasse aérienne et de la biomasse des limbes.

gaines vertes. Leur humidité remonte avec la remise en eau. Ces variations sont plus faibles dans les tiges hautes et les limbes verts.

Composition de la biomasse aérienne. Les données sur la composition de la biomasse produite permettent de mieux formaliser la partition du carbone assimilé dans le modèle et fournissent des références pour les calculs de mobilisation ou de gestion de biomasse.

Les tiges usinables sont les parties des tiges ayant achevé leur croissance. Elles sont propres et exemptes de pailles et de bouts blancs dont la matière sèche représente en moyenne 15 % du total récolté et transporté.

Les différentes composantes de la biomasse aérienne produite — tiges usinables, limbes, biomasse sénescente — ne peuvent s'exprimer par un pourcentage fixe de cette biomasse aérienne (figures 23 et 24). En effet, aucune des relations entre les composantes et la biomasse aérienne n'est linéaire et ne passe par l'origine.

Au début du cycle, l'essentiel de la biomasse aérienne produite est alloué à l'appareil assimilateur (limbes des feuilles). Cette allocation, de 100 % au début du cycle, diminue jusqu'à un taux stable d'environ 25 %. A partir de ce moment, la sénescence des feuilles apparaît et s'effectue au même taux. Il en résulte une stabilisation de la matière sèche des limbes verts à 600 grammes par mètre carré.

La tige usinable commence à se former lorsqu'environ 1 000 grammes de biomasse aérienne par mètre carré, soit 10 tonnes de matière sèche par hectare, sont produits, c'est-à-dire très peu de temps après la sénescence des feuilles. A partir de ce stade, 75 % de la biomasse aérienne quotidiennement produite sont alors affectés aux tiges usinables.

Les matières sèches de la biomasse aérienne et de la biomasse de ses différentes composantes peuvent être déterminées en fonction du rendement produit (tableau 5).

• Développement du conseil Irricanne

J.-C. Combres

L. Le Mézo, M. Mézino, R. Nativel

Il s'agit d'une opération de développement du pilotage de l'irrigation financée par le Conseil général et l'Europe, à laquelle participent les organismes de développement (Chambre d'agriculture et société d'aménagement des périmètres hydro-agricoles) qui, à terme, s'approprieront l'outil.

Début 1999, le Comité de pilotage du projet a décidé une refonte du logiciel Irricanne sous Oracle pour l'adapter aux spécificités du fonctionnement informatique de la Chambre d'agriculture, permettre de fournir le conseil en irrigation sur le terrain et améliorer certains aspects à la demande des utilisateurs, tout en conservant une base de données

Tableau 5. Matière sèche de la biomasse aérienne et de ses composantes, en fonction du rendement produit.

Rendement à 68 % d'humidité et 15 % de non-canne MF en t/ha	Tiges usinables MS en t/ha	Biomasse aérienne MS en t/ha	Biomasse sénescente MS en t/ha	Feuilles vertes et bouts blancs MS en t/ha	Tiges usinables % biomasse aérienne
60	16,3	33,4	5,8	11,3	49 %
80	21,8	40,8	7,3	11,7	53 %
100	27,2	48,1	8,7	12,2	56 %
120	32,6	55,3	10,2	12,5	59 %
140	38,1	62,7	11,6	13	61 %

MF : Matière fraîche - MS : Matière sèche

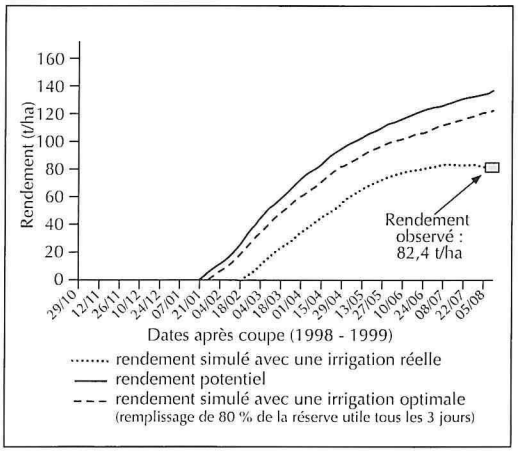


Figure 25. Comparaison des rendements potentiels et des rendements simulés avec une irrigation réelle et une irrigation optimisée.

centralisée aisément exploitable avec des outils bureautiques. Le travail de reprise d'Irricanne est confié au bureau d'études Diaf Océan Indien qui a programmé la remise de l'outil parfaitement opérationnel aux utilisateurs au 15 décembre 2000.

Un module de simulation d'irrigations optimales a été introduit dans la plate-forme Simulex. Il permet de générer des irrigations selon des fréquences variables et des stratégies d'irrigation paramétrables avec un seuil de déclenchement et un taux de remplissage de la réserve du sol.

Il peut être utilisé pour déterminer les besoins en eau théoriques de l'exploitation et pour évaluer les rendements espérés en fonction de la stratégie d'irrigation. La comparaison des rendements potentiels et des rendements simulés pour une irrigation réelle et une irrigation optimisée est présentée dans la figure 25.

• Modélisation du rationnement hydrique et régionalisation des modèles climatiques

J.-C. Combres
B. Mouny-Latchimy, J.-P. d'Export, R. Nativel,
J.-L.Brossier, M. Mézino

Pour obtenir un modèle de croissance et d'élaboration du rendement, il est nécessaire de prendre en compte le rationnement hydrique qui survient en culture pluviale mais également en irrigation optimisée. Il s'agit donc d'établir un modèle d'évapotranspiration de la canne à sucre et de déterminer quel modèle traduit le mieux l'évolution de l'évapotranspiration et du stock d'eau du sol en régime rationné.

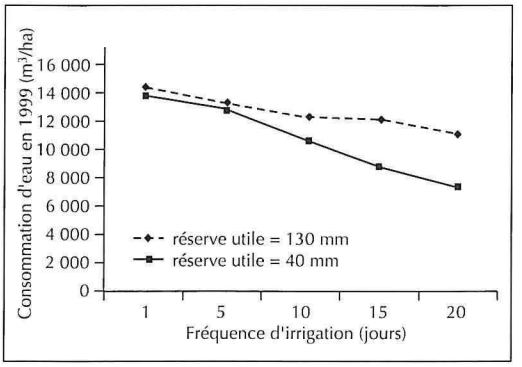


Figure 26. Incidence de la fréquence d'irrigation sur les consommations d'eau à Saint-Pierre (réserve utile = 130 mm) et à Pierrefonds (réserve utile = 40 mm).

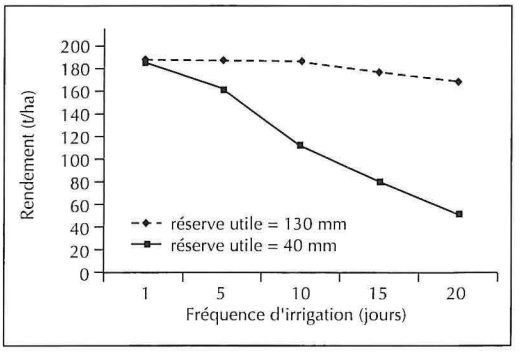


Figure 27. Incidence de la fréquence d'irrigation sur les rendements espérés à Saint-Pierre (réserve utile = 130 mm) et à Pierrefonds (réserve utile = 40 mm).

La simulation avec Simulex permet de mettre en évidence l'influence de la fréquence d'irrigation sur la consommation en eau (figure 26) et sur les rendements maximaux espérés (figure 27) en fonction de deux valeurs de la réserve en eau utile. Sur des sols à réserve utile importante (Grand-Bois, Saint-Pierre, Bassin-Martin), la fréquence d'irrigation influence peu la consommation en eau et n'entraîne pas de baisse de rendement importante. Sur des sols à faible réserve utile (Pierrefonds), l'espacement des arrosages provoque une réduction de la consommation et une baisse importante du rendement.

Pour le calage des modèles de bilan hydrique en micro-irrigation, aucun modèle classique ne peut être ajusté aux mesures. L'incertitude essentielle provient du caractère localisé de la micro-irrigation : dans le sol, il y a un volume irrigué inférieur au volume total du sol d'où l'eau diffuse vers le volume non irrigué. Pour obtenir un modèle représentatif de la zone de mesure, il faut introduire un module de conversion de l'irrigation tenant compte du volume irrigué et une fonction de diffusion liée à la teneur en eau du sol.

• Simulation des rendements pour différents scénarios d'irrigation

L. Le Mézo, J.-C. Combres, M. Mézino

La valorisation de la base de données Irricanne (version 1.00) au travers d'un système d'information géographique, couplé au logiciel de simulation de production de biomasse Simulex, a été réalisée. Ce travail est devenu possible grâce au développement des relevés par GPS (Global Position System) qui ouvrent la voie à la représentation cartographique de la base. Après recadrage et établissement de liens entre les objets géographiques et les valeurs de la base, le logiciel Mapirric a été créé pour donner une vue d'ensemble des parcelles suivies chez un agriculteur, sur plusieurs thèmes agronomiques, aux responsables du conseil à l'irrigation. L'utilisateur est informé sur la configuration morphopédologique (figure 28), les unités d'irrigation par groupe, le planning des irrigations, l'état des réserves hydriques (figure 29) et l'évolution interannuelle des rendements.

Le logiciel Irrisimul permet d'alimenter les tables de simulation et, par la suite, de déterminer les rendements à partir de la plate-forme Simulex. L'observation des rendements simulés à partir des irrigations réelles (figure 30) permet de détecter différentes anomalies : mauvaise utilisation du logiciel (non saisies d'irrigation), utilisation non conforme du matériel d'irrigation, techniques culturales à améliorer (réseau goutte-à-goutte bouché, positionnement des parcelles, vérification sur le terrain des caractéristiques du sol, etc.).

Par leur simplicité et leur clarté, ces outils seront d'une grande utilité pour permettre un dialogue efficace entre l'exploitant et son encadrement technique.

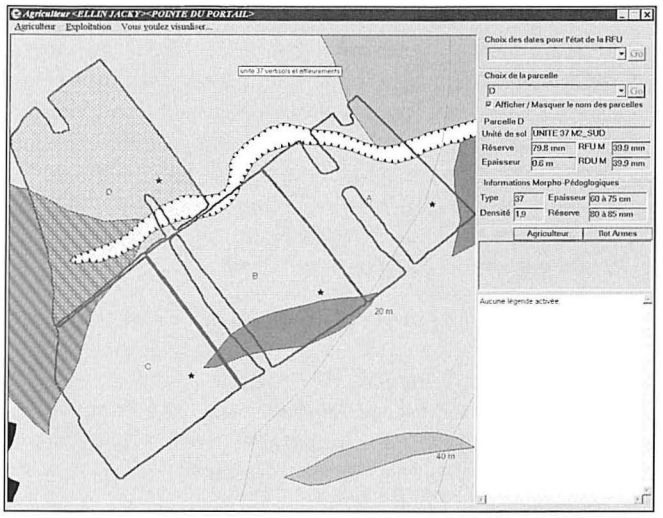


Figure 28. Configuration morphopédologique des unités d'irrigation.

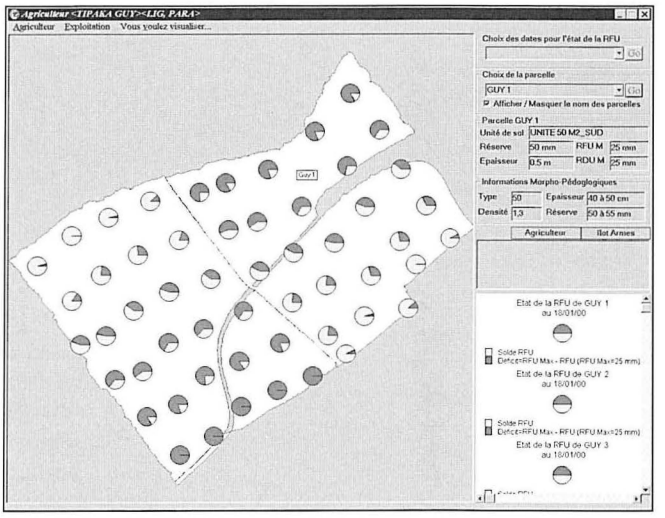


Figure 29. Etat des réserves hydriques à une date donnée.

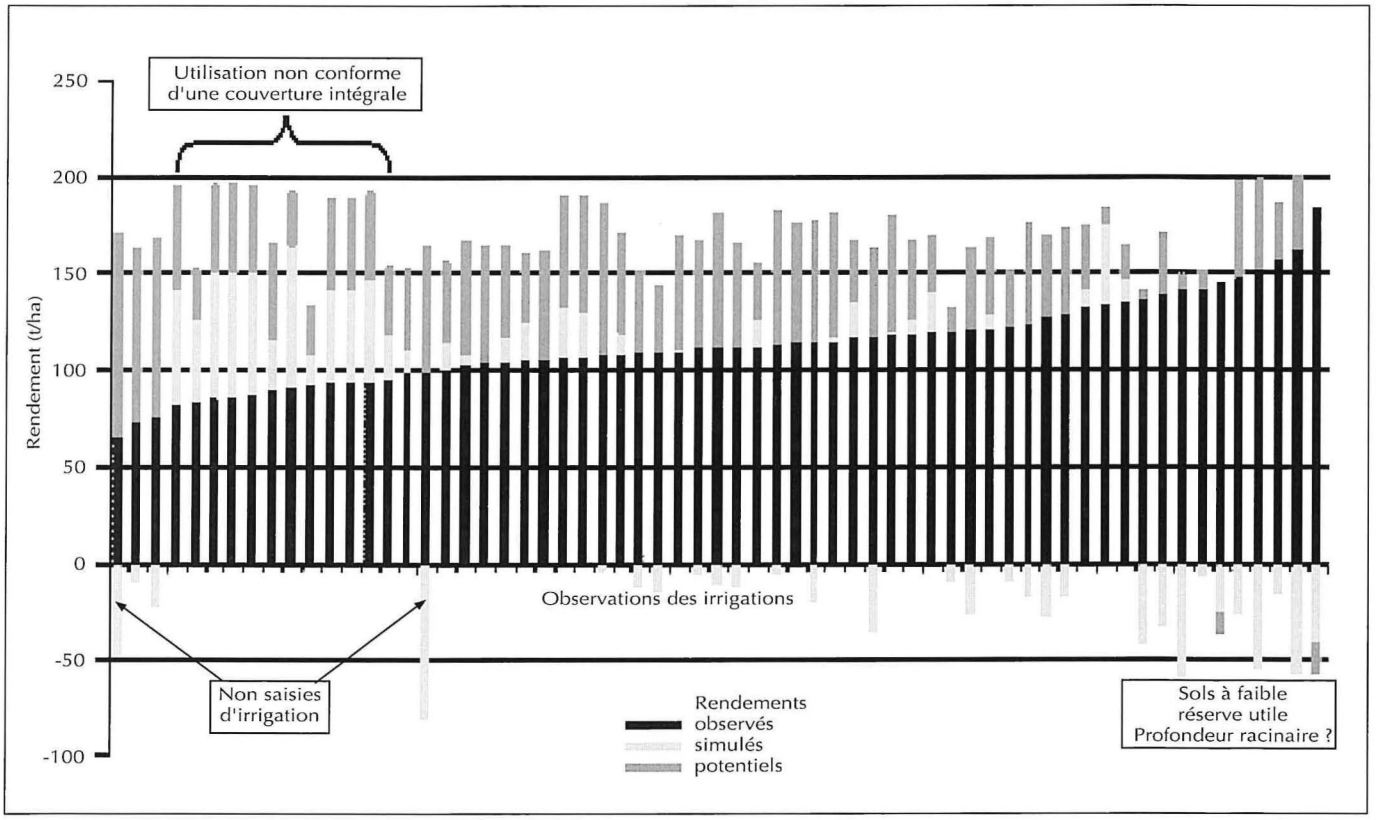


Figure 30. Rendements simulés à partir des irrigations réelles.

Stratégie des acteurs et compétitivité de la filière cannière en Guadeloupe

Cliché R. Fauconnier

Analyse des stratégies de planteurs

S. Bonotto, P. Guillaume

Face à la diminution des rendements et des surfaces cultivées en canne à sucre depuis 1965, les questions de la durabilité de la filière et de la viabilité économique des exploitations se posent. Des solutions apportant aux producteurs des revenus suffisants tout en préservant l'environnement doivent être proposées. Il importe donc de mieux connaître la population agricole, la place de la canne à sucre dans leurs exploitations et sa contribution au revenu global des producteurs.

Une typologie des stratégies des producteurs a été réalisée en s'appuyant sur l'analyse du revenu global du système d'activité (parts apportées par la canne à sucre, par les autres productions agricoles, par les activités liées à l'agriculture et par les activités non agricoles) et sur des critères descriptifs du système de production. Trois catégories, classées en fonction décroissante du poids de l'activité agricole dans le revenu et de son évolution possible, sont proposées. Chacune d'entre elles est subdivisée en neuf sous-types correspondant à des places différentes de la canne à sucre dans le système d'activité et à des stratégies d'évolution différenciées.

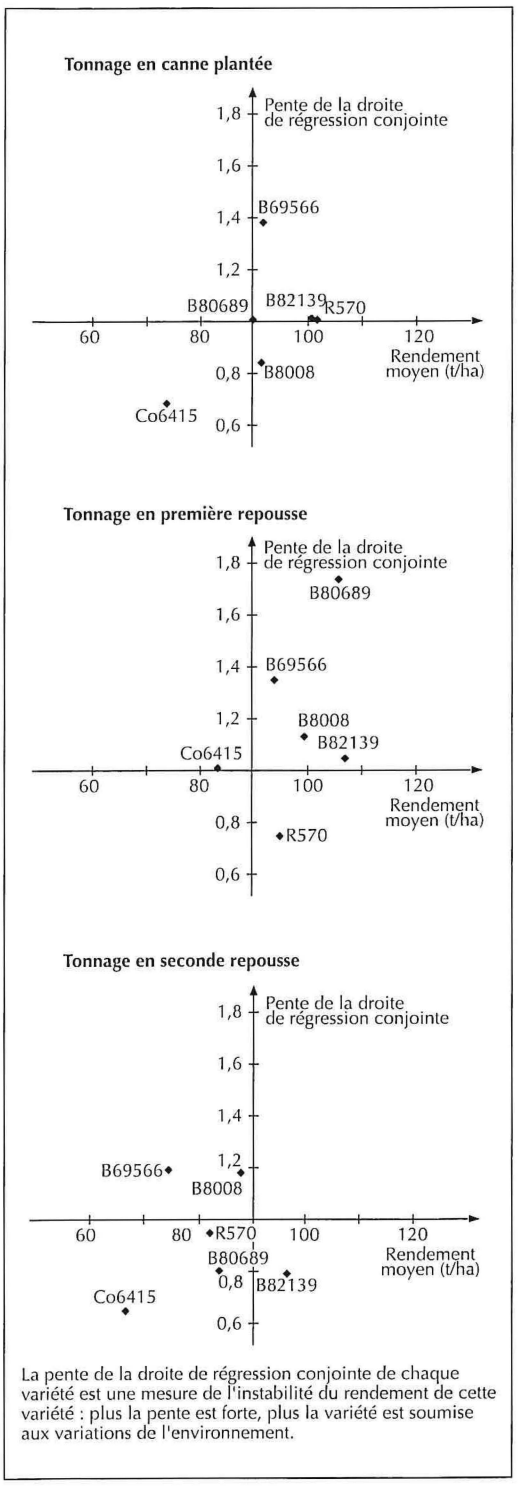
Une typologie des pratiques culturales a été établie en utilisant les travaux de plantation et d'entretien, le degré de mécanisation et les prestations de service, comme critères pour classer les combinaisons de techniques culturales.

Des innovations techniques et organisationnelles, assurant la viabilité économique et la durabilité de la filière, seront testées en milieu réel.

Mise au point d'un système d'information spatialisé

S. Champ, J.-P. Gay, P. Guillaume, G. Lainé (Cirad-amis, agronomie)
N. Lubin

Il s'agit de concevoir un outil synthétique d'aide à la décision, de simulation et de formation, attractif par ses sorties cartographiques et destiné tant aux professionnels qu'aux décideurs. Conçu au départ pour analyser et aider à raisonner la gestion des parcelles cultivées en canne à sucre, son emploi peut d'ores et déjà être élargi à l'étude des problèmes de gestion du territoire agricole. L'outil est constitué d'une base de données créée sous le logiciel Access, reliée au logiciel Map Info de système d'information géographique. Chacune des parcelles cartographiée est attachée à une exploitation dont il est possible de renseigner les caractéristiques principales telle que la surface totale, le degré de formation de l'exploitant, etc. La base répertorie aussi les facteurs explicatifs du rendement : les caractéristiques des sols, les



La pente de la droite de régression conjointe de chaque variété est une mesure de l'instabilité du rendement de cette variété : plus la pente est forte, plus la variété est soumise aux variations de l'environnement.

Figure 31. Analyse de la stabilité du rendement des variétés de canne à sucre en Guadeloupe.

données météorologiques, les variétés, les pratiques culturales ainsi que la typologie des stratégies et des pratiques culturales sur canne à sucre.

La cartographie du parcellaire de canne à sucre a été établie par le Cirad et mise à jour de 1995 à 1999, en utilisant essentiellement la technique des relevés par GPS (Global Position System) différentiel qui fournit, avec une erreur maximale d'un mètre, le dessin et le positionnement dans l'espace d'une parcelle nouvelle ou ayant simplement changé de forme. En effet, d'importants changements sont intervenus récemment sur la Grande Terre dans la sole cannière (près de 25 % des surfaces ont changé d'affectation entre 1995 et 1997). Un contrôle a été effectué, à l'aide de photographies aériennes au 1/30 000e acquises par l'Ign, afin de s'assurer que l'ensemble des parcelles de taille supérieure au tiers d'hectare ont été prises en compte.

Les statistiques issues de cette cartographie confirment cette analyse : la tendance à la diminution des surfaces observée les années précédentes sur la Grande Terre s'est inversée (+ 2 % en un an entre 1998 et 1997 au lieu de - 3 % en deux ans entre 1995 et 1997). La progression observée sur la Basse Terre et sur Marie-Galante s'étant poursuivie, l'ensemble de la sole cannière guadeloupéenne enregistre ainsi une augmentation globale d'au moins 250 hectares en un an.

Cette première carte sert de base actuelle au projet sous le logiciel Map Info. A terme, elle intègrera d'autres grandes productions de Guadeloupe.

Interaction génotype-environnement

P. Cézar, P. Letourmy (Cirad-ca, mabis)

L'objectif de ce travail est de mieux connaître les rendements de diverses variétés de canne à sucre en Guadeloupe selon l'environnement dans lequel elles sont cultivées. Pour ce faire, l'interaction « variété x essai » est étudiée par la méthode de la régression conjointe pour six variables, le tonnage et le brix, en canne plantée, en première repousse et en seconde repousse.

Sur les six variables étudiées, deux ne subissent pas d'interaction « variété x essai » : le brix en canne plantée et le brix en première repousse.

Les droites de régression pour le tonnage des trois repousses et le brix en seconde repousse montrent les tendances des variétés B59566, B8008, B80689, Co6415 et R570 pour chacune des quatre variables subissant une interaction (figure 31). Ces tendances sont différentes selon que la variable étudiée est le tonnage ou le brix et selon la repousse.

Enfin, la méthode d'analyse de covariance avec les plus proches voisins comme covariable ne permettait pas valablement de mettre en évidence les effets de compétition dans ces essais.

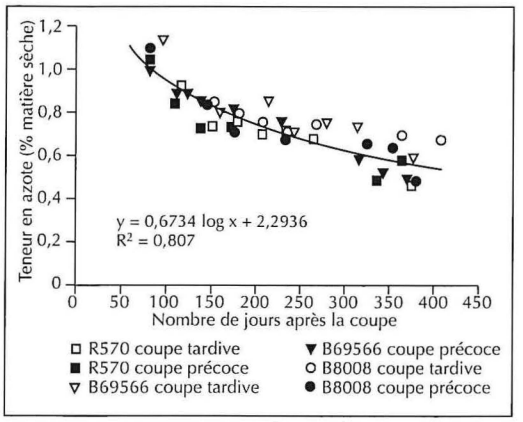


Figure 32. Evolution de la teneur en azote dans la canne à sucre le long de son cycle.

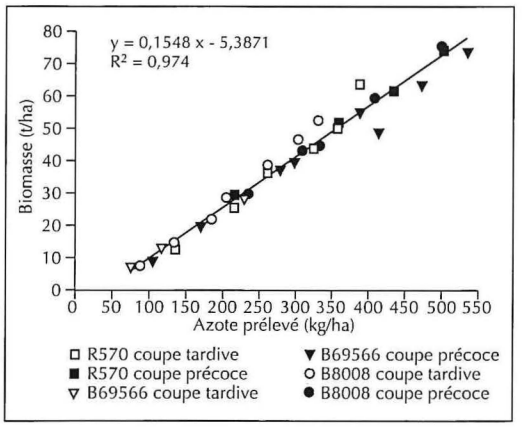


Figure 33. Relation entre la quantité d'azote contenu dans les organes aériens et la biomasse produite.

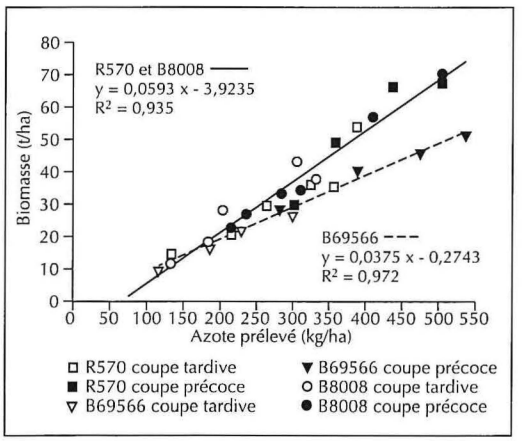


Figure 34. Relations entre la quantité d'azote absorbé et la quantité de matière sèche soluble dans la tige.

Evolution de la teneur en azote de la canne à sucre

J.-P. Gay
J.-L. Poulet, N. Lubin

La modélisation de l'élaboration du rendement de la culture de canne à sucre nécessite de prendre en compte le bilan de l'azote dans le sol et dans la plante à divers stades de la culture. Divers travaux sont réalisés dans ce domaine par le Cirad et dans le monde. Il s'agit ici de vérifier leurs résultats dans les conditions climatiques de la Guadeloupe sur trois variétés, R570, B69566 et B8008, et deux cycles culturaux.

La teneur moyenne de l'azote dans les organes aériens diminue progressivement de 1,13 à 0,61 % entre le quarantième et le quatre centième jour après la coupe (figure 32) et l'on n'observe pas de différences significatives ni entre les variétés ni entre les cycles culturaux.

La fixation de l'azote par la plante évolue suivant trois phases d'accumulation, de stagnation et de régression lors de la maturation de la canne à sucre. Les besoins en azote d'une culture de canne à sucre conduite en conditions optimales sont en moyenne de deux kilogrammes par hectare et par jour pendant toute la phase de croissance linéaire qui peut durer dix mois, avec des pointes à trois kilogrammes pendant la phase du « boom stage ». Une relation linéaire et hautement significative est observée entre la quantité d'azote fixée par la plante et sa biomasse (figure 33).

La quantité de matière sèche soluble dans la tige, elle-même fortement corrélée avec la richesse en sucre, et la quantité d'azote fixée sont liées par une relation linéaire (figure 34).

Evolution de la teneur en sucre lors du vieillissement des cannes

J.-P. Gay
J.-L. Poulet, N. Lubin

Un délai de plusieurs jours s'écoule parfois entre la coupe et le broyage en usine. Une expérimentation réalisée en 1997 sur des cannes plus ou moins propres et en milieu confiné a montré des pertes rapides en saccharose pouvant atteindre 16 % mesuré au polarimètre, soit théoriquement une perte de 100 % en huit à dix jours.

Cette expérimentation a été reconduite sur des cannes propres, en milieu aéré et sur des durées plus longues.

Même si le gâteau et le brix ne varient presque pas au cours du temps (figure 35), la mesure de la teneur en sucre au polarimètre (Pol) baisse

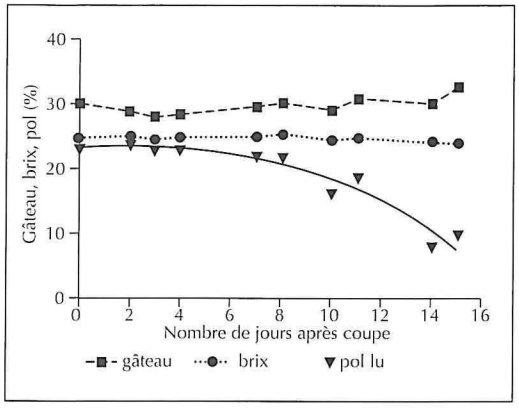


Figure 35. Evolution du gâteau, du brix et du Pol.

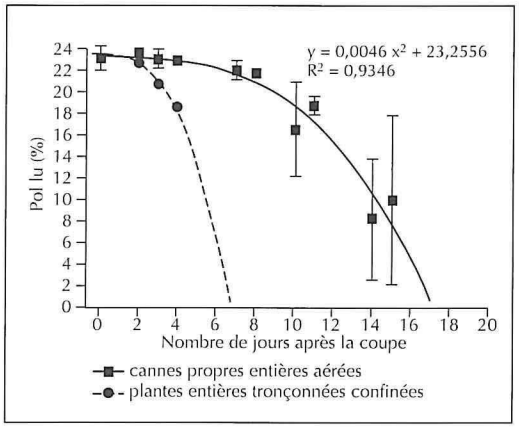


Figure 36. Effets du milieu sur la dégradation des sucres.

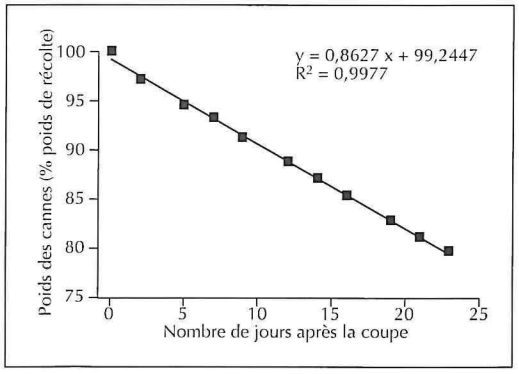


Figure 37. Dessèchement des cannes en milieu aéré couvert.

lentement jusqu'au huitième jour puis chute fortement jusqu'au quinzième jour.

La dégradation des sucres est plus rapide et plus intense (figure 36) quand les cannes sont tronçonnées et conservées dans un milieu confiné où le Pol tombe à zéro en sept jours (au lieu de 17 jours pour des cannes entières en milieu aéré).

En milieu aéré couvert, les cannes se dessèchent lentement (figure 37) et perdent seulement 20 % de leur poids en 22 jours.

Enfin, lors du stockage, les pertes en sucre sont élevées (figure 38) quand les cannes sont sales (avec présence de feuilles et bouts blancs) et conservées en milieu confiné où tout le sucre est perdu en sept jours, au lieu de 16 jours pour des cannes propres en milieu aéré.

Typologie des systèmes de production à la Martinique

H. Mbolidi-Baron (étudiante en thèse du Ctcs Marinique)
M. Joet

En Martinique, moins de 275 planteurs exploitent environ 3 000 hectares et produisent 200 000 tonnes de canne à sucre par an. Ce nombre de planteurs ne cesse de diminuer tandis que se poursuit une concentration de la production au sein d'un nombre limité d'exploitations.

Cependant, depuis 1999, une volonté d'augmenter la superficie de la sole cannière se manifeste afin d'assurer l'approvisionnement de la sucrerie du Galion et des neuf distilleries agricoles en activité. Considérée comme une culture sûre, à prix et à débouché garantis, la canne à sucre doit contribuer au maintien d'un tissu de petits et moyens producteurs dont le rôle socio-économique est essentiel.

L'étude pluriannuelle en cours sur les systèmes de production canniers permet d'ébaucher les voies de la durabilité des exploitations. Il apparaît difficile d'enrayer totalement la disparition des petits planteurs approvisionnant les distilleries agricoles. En effet, la transmission d'une génération à l'autre des exploitations de moins d'un hectare, en location ou en propriété, est compromise dans le contexte de forte spéculation foncière que connaît la Martinique. En terme économique, pour un exploitant valorisant sa propre force de travail, une superficie de 2,5 hectares semble être optimale pour dégager un revenu équivalent au salaire minimum actuel. Certains systèmes fondés sur la pluri-activité, avec des surfaces en canne de deux à quatre hectares et faisant partiellement appel à des prestations de service, notamment pour la récolte, peuvent offrir une solution viable pour les nouveaux installés.

Dans la réflexion sur la durabilité des systèmes de production canniers, il est nécessaire de s'interroger sur les principales conditions de

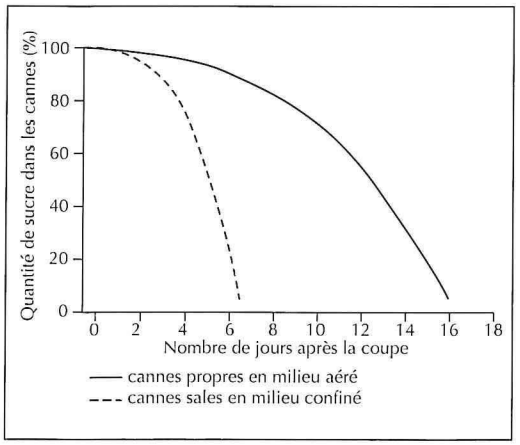


Figure 38. Pertes en sucre dans les cannes lors du stockage.

durabilité de la filière dans son ensemble. L'ancrage des produits à leur terroir, principalement à travers la valorisation de l'appellation d'origine contrôlée « Rhum Agricole Martinique », constitue à ce titre un atout majeur. La vraie révolution de l'appellation d'origine contôlée, fondée sur une dynamique des producteurs, reste à construire.

Atelier annuel du réseau Wisben

E. Hainzelin

L'atelier annuel du réseau de sélection variétale de la canne à sucre dans la Caraïbe (Wisben) a été organisé cette année par le programme canne à sucre du Cirad, membre associé de ce réseau. Cet atelier s'est tenu du 25 au 29 octobre en Guadeloupe.

La station centrale de création variétale de ce réseau, le Wicscbs basé à la Barbade, est connue pour avoir réussi la première hybridation de canne à sucre au monde dans les années 1880. Depuis, ses variétés « B » sont connues et cultivées dans le monde entier. Aujourd'hui, le réseau Wisben est sans doute unique dans le monde de la canne à sucre par son étendue, par la qualité de ses sélections et par son mode de financement. Outre les membres fondateurs de ce réseau (Trinidad, Barbade, Jamaïque, Guyana, Belize et Saint-Kitts), de nombreux pays dans le monde sont associés et expérimentent les variétés pré-sélectionnées de la Barbade (Guadeloupe, Martinique, Panama, Malaisie, Soudan, Sénégal, Congo, Burkina Faso, Cameroun, Tchad, Vietnam et Papouasie) en particulier à travers des contrats spéciaux de la quarantaine du Cirad à Montpellier.

Le Cirad maintient depuis de nombreuses années des liens de coopération très étroits avec le Wicscbs dans les domaines de la biotechnologie et de la pathologie. Des créations communes sont également envisagées. Au cours de cet atelier, la convention liant le Cirad et le Wicscbs a été renouvelée pour cinq ans et les liens avec le réseau canne à sucre d'Afrique en cours de création par le Cirad ont été établis.

Accompagnement scientifique des productions sucrières

Cliché R. Baran

Parcelles expérimentales de canne à sucre.
(cliché R. Fauconnier)

Premier atelier régional sur l'amélioration variétale de la canne à sucre en Afrique de l'Ouest et du Centre

E. Hainzelin

L'Afrique de l'Ouest et du Centre produit environ 500 000 tonnes de sucre, avec des perspectives de croissance importante du fait d'une demande en constante progression. La privatisation des complexes agro-industriels est pratiquement achevée dans les pays de la zone. Les cours mondiaux du sucre étant particulièrement déprimés, ces nouveaux opérateurs privés sont contraints d'améliorer leur compétitivité. Pour ce faire, l'utilisation de variétés améliorées revêt une importance capitale, tant pour l'amélioration des rendements et de la richesse en sucre que pour la résistance aux maladies et l'optimisation des récoltes.

La création de variétés est coûteuse, longue et ne peut être envisagée séparément par chaque opérateur. A l'initiative du Cirad et avec le soutien financier du ministère français des affaires étrangères, les organismes concernés par cette question se sont réunis en atelier de travail à Yamoussoukro en Côte-d'Ivoire, du 5 au 8 octobre 1999. Etaient présents Sucaf-ci, Sucrivoire et Ips (Côte-d'Ivoire), Css (Sénégal), Sosucam (Cameroun), Sn-Sosuco (Burkina Faso), Saris (Congo), Sogesca (République centrafricaine) et Somdiaa (France). Outre le Cirad, plusieurs organismes de recherche travaillant sur l'amélioration variétale de la canne à sucre ont été associés à cet atelier : Cnra de Côte-d'Ivoire, Cerf de la Réunion, Msiri de l'Ile Maurice et Ctcs de la Martinique représentant le réseau Wisben de création variétale de la Barbade.

Cette première rencontre technique a permis de décider la mise en place d'un réseau pour augmenter le nombre de variétés à tester en provenance des centres de création, harmoniser les méthodologies entre les différents opérateurs et favoriser les échanges techniques et les traitements de données sur une base régionale.

La mise en commun de moyens au sein d'un réseau constitue en effet la solution la plus efficace et la plus économique pour résoudre ces questions variétales. Le Cirad a été chargé de poursuivre la mise en place de ce réseau et de faire des propositions concrètes aux opérateurs en lien avec les centres de création.

Lutte contre les mauvaises herbes sur les périmètres sucriers de Côte-d'Ivoire

D. Marion

La campagne de récolte et la campagne de replantation se chevauchant, deux tiers de la superficie cultivée ne présente pas un couvert végétal continu en février : ceci entraîne un développement rapide des

Epandage aérien de maturateur, en Côte-d'Ivoire. (cliché D. Marion)

mauvaises herbes qui ne peut pas toujours être maîtrisé avec les équipements de traitements chimiques et mécaniques disponibles sur les complexes sucriers.

L'application des herbicides par traitement aérien Ulm (Ultra léger motorisé), qui permet en une journée de traiter une superficie cinq à six fois plus grande que celle obtenue avec un traitement par tracteur, a été testée. Sur des parcelles de 20 à 40 hectares, des essais ont été mis en place selon un dispositif en bandes, comparant l'application par Ulm (20 litres par hectare de bouillie) à l'application réalisée au tracteur (environ 160 litres par hectare de bouillie) et au témoin non traité.

Les résultats obtenus montrent que l'efficacité du traitement est fortement dépendante de la présence ou non de *Rottboellia cochinchinensis,* plus difficile à contrôler. En post-levée, le traitement aérien permet une maîtrise équivalente à celle d'une application par tracteur avec l'association amétryne (2 000 grammes par hectare de matière active) + atrazine (2 000 grammes par hectare + paraquat (400 grammes par hectare). En prélevée, l'efficacité du traitement Ulm avec l'association amétryne (2 000 grammes par hectare) + atrazine (2 000 grammes par hectare) + diuron (1 600 grammes par hectare) est apparue moins bonne qu'une application au tracteur.

L'essai de sélectivité du sulfentrazone sur *Cyperus rotondus* et les tests de matières actives sur *Rottboellia cochinchinensis* n'ont pas donné de résultats concluants.

Pilotage de l'irrigation sur les périmètres sucriers de la Sucaf en Côte-d'Ivoire

P. Langellier, J. Parriaud (Cirad-ca, mabis), D. Tran Minh, M. Brouwers

Dans le cadre d'une convention particulière, le Cirad apporte un appui à la Sucaf pour optimiser l'irrigation. Cet appui consiste, en premier lieu, à tester la fonctionnalité du logiciel Irricanne de pilotage de l'irrigation et son adaptabilité aux spécificités des grands complexes sucriers africains. Pour avoir une maîtrise maximale de l'irrigation en termes de tour d'eau et de doses unitaires d'irrigation, Irricanne est appliqué dans le secteur hydraulique R1, sur deux parcelles irriguées sous pivot, deux parcelles irriguées par canons enrouleurs et deux parcelles irriguées en couverture intégrale.

Une étude a permis de comparer l'efficience et l'homogénéité de répartition de l'eau de ces trois systèmes d'irrigation. Une bonne qualité de l'irrigation sous pivot dans la distribution a été observée. Un resserrement de la maille d'arrosage en couverture intégrale a été proposé. Enfin, un bilan de la fertilité actuelle des sols des complexes et une cartographie des réserves en eau utile des sols pour une meilleure valorisation de l'eau et des engrais ont débuté.

Irrigation au pivot lors de la replantation, sur le périmètre Sucaf en Côte-d'Ivoire. (cliché D. Marion)

Les résultats obtenus à mi-parcours montrent que, dans les conditions actuelles, il est impossible d'irriguer avec une dose et une fréquence préconisées par Irricanne (figures 39 et 40) et qu'il est nécessaire de lever certaines contraintes parfaitement identifiées (régulation de la ressource en eau du périmètre, régulation de l'alimentation énergétique, amélioration des réseaux d'adduction et de distribution, coordination des activités de culture et d'irrigation) pour qu'Irricanne fonctionne de façon optimale.

Figure 39. Evolution du bilan hydrique sur la parcelle 205, en couverture intégrale, sur le périmètre Sucaf en Côte-d'Ivoire.

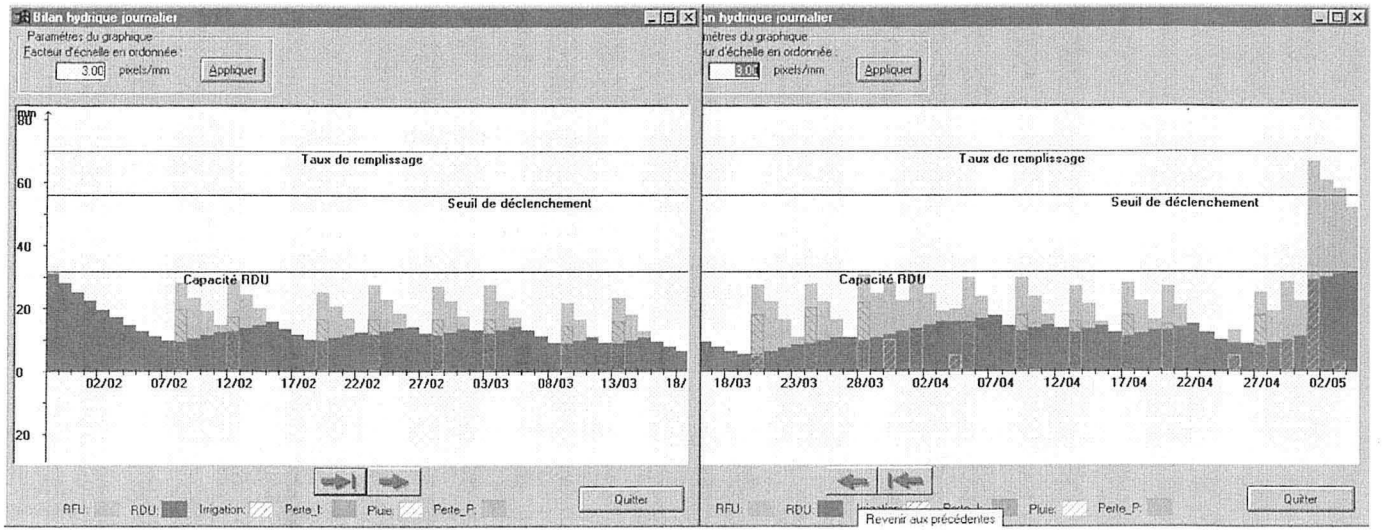
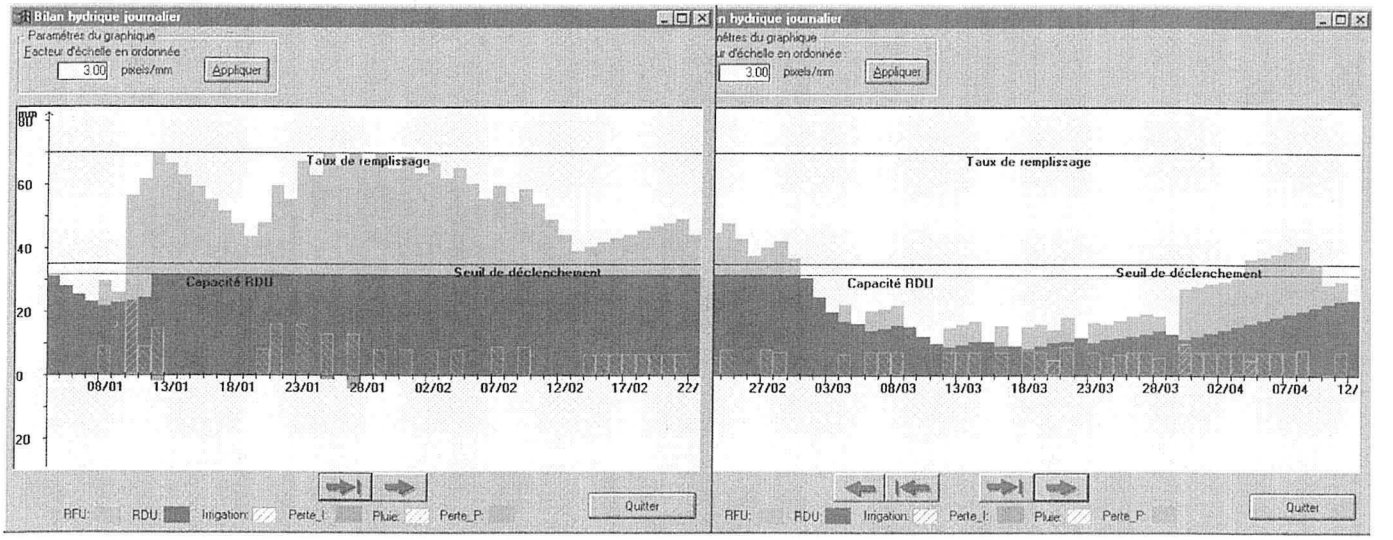


Figure 40. Evolution du bilan hydrique sous le pivot 204, sur le périmètre Sucaf en Côte d'Ivoire.



Dans le cas contraire, il faudrait adapter Irricanne aux conditions imparfaites de l'exploitation pour aboutir à une hiérarchisation des parcelles à irriguer en fonction des critères à définir (cannes vierges, bons sols, réseau permettant une bonne irrigation, etc.).

Dans le cadre de cet appui, une base de données de gestion des parcelles existe.

Base de données pour les opérations de transport à la Sucaf en Côte-d'Ivoire

M.-S. Coran, P. Langellier, J. Parriaud (Cirad-ca, mabis)

A la demande de la Sucaf en Côte-d'Ivoire, une base de données pour l'optimisation du transport des cannes récoltées a été créée. Elle permet de déterminer le nombre d'engins nécessaires en fonction du tonnage de récolte prévu, de la distance des parcelles à l'usine et du rythme prévu de broyage aux moulins. Une interface graphique permet la visualisation des chantiers de transport. Cette base de données est en cours de test auprès du service de la motorisation de Sucaf en Côte-d'Ivoire et fera l'objet d'une recherche d'optimisation ultérieure.

Evaluation des divisions des études agronomiques de Sucrivoire en Côte-d'Ivoire

R. Baran

Afin d'acquérir une plus grande autonomie dans la gestion agronomique des périmètres sucriers de Zuenoula et de Borotou d'une superficie totale de 12 000 hectares environ, la société Sucrivoire envisage de développer son service agronomique par la création d'une division des études agronomiques au sein de chaque complexe et de créer un laboratoire d'analyses des sols et des plantes pour appuyer ces divisions.

Après état des lieux, plusieurs propositions ont été faites à Sucrivoire :

- un programme d'expérimentations composé de la sélection variétale et d'études complémentaires concernant la fertilisation, la lutte contre les mauvaises herbes et la préparation des sols ;
- une définition nouvelle et précise du rôle des divisions d'études agronomiques entre l'accompagnement de la production et la participation à la gestion agronomique du complexe sucrier (qualité de la plantation, qualité des traitements d'herbicides, alimentation hydrique et minérale, suivi phytosanitaire, opérations culturales, etc.) ;

Transport de la canne à sucre à Quang Ngaï, Vietnam. (cliché E. Hainzelin)

- un programme d'équipement de chaque division d'études agronomiques : météorologie, thermothérapie, laboratoire d'analyse, matériel informatique ;
- un programme de gestion des ressources humaines : information, formation, organigramme, définition des tâches et évolution.

Appui à la Quang Ngai Sugar Corporation au Vietnam

S. Volper, P. Oriol, D. Tran Minh, C. Poser, M. Brouwers

Le Vietnam envisage de porter sa production sucrière de 600 000 tonnes à un million de tonnes en l'an 2000. Dans cette perspective, l'Agence française de développement, avec le concours du ministère français des affaires étrangères, apporte son appui au complexe sucrier de Quang Ngai (QNSC) pour le triplement de sa capacité de production. Le Cirad collabore à cette opération par la mise en place d'un programme d'expérimentation d'accompagnement encadré par des chercheurs en missions de courte et de longue durées.

Les thèmes retenus concernent les variétés adaptées, le calage de cycles culturaux, les techniques de culture (fertilisation, densité culturale, irrigation, drainage) et la protection des cultures.

En 1999, un laboratoire d'analyse de cannes a été équipé et une station de traitement des boutures par thermothérapie a été installée au centre d'expérimentation de Hanh Thien. Un programme d'expérimentation agronomique en milieu contrôlé et comprenant des essais de variétés, de fertilisation et de densité de plantation est mis en place.

Parallèlement, une enquête générale a été réalisée sur l'ensemble de la zone de production. Ses résultats permettent de mieux connaître les facteurs socio-économiques de la zone et les capacités technico-économiques des planteurs. Ils ont abouti à un programme d'expérimentation en milieu réel, en cours de réalisation chez les planteurs.

Par ailleurs, des séances de formation à l'expérimentation ont été organisées sur la station de Hanh Thien en mai-juin et en novembre-décembre 1999.

Etude des ressources en eau de la province de Tây Ninh au Vietnam

D. Tran Minh

Dans le cadre d'un appui au programme sucrier de la province de Tây Ninh, l'Agence française de développement a demandé une étude pour

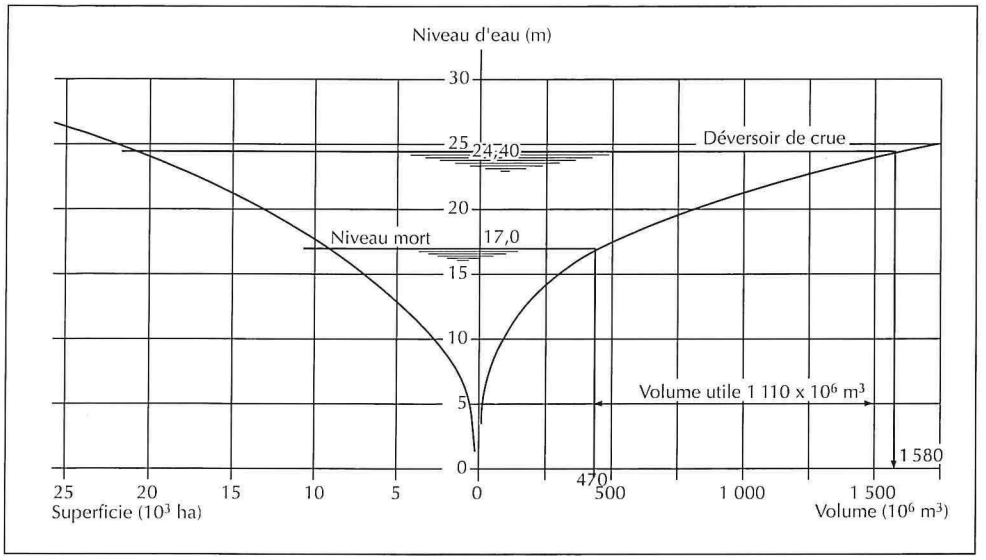


Figure 41. Capacités du barrage de Dâu Tieng en fonction de son remplissage.

s'assurer de la disponibilité en eau d'irrigation de la zone de Tân Hung et du contrôle de la nappe phréatique permettant une culture sans danger de la canne à sucre.

A partir des informations disponibles, les ressources en eau ont été évaluées (figure 41) : pluviométrie, eaux de surface (barrages de Dâu Tiêng, de Tri An et de Phuoc Hoa, rivière de Saigon, eaux souterraines). Les consommations en eau ont été également estimées : besoins en eau de la canne à sucre et des autres cultures pratiquées, besoins des complexes sucriers et des autres industries locales, besoins domestiques et chasse des eaux marines qui remontent dans les rivières (langue salée).

Le bilan établi montre que, malgré des gaspillages importants en eau d'irrigation et une gestion peu satisfaisante des retenues d'eau, il n'y a pas de pénurie d'eau immédiate, compte tenu des superficies à cultiver dans le court terme. Il a cependant été proposé de créer un organisme provincial de coordination dans la gestion des trois barrages d'irrigation et, pour réduire le gaspillage, de facturer l'eau en fonction des volumes consommés (et non en fonction de la superficie irriguée). Il n'y a pas de danger immédiat pour la culture de la canne à sucre dans la zone quant à la remontée de la nappe phréatique. Cependant, à terme, avec l'augmentation de la superficie irriguée et la cohabitation de la culture de la canne à sucre et de la riziculture, une étude des eaux souterraines se révèle nécessaire pour appréhender l'évolution des nappes, en hauteur et en qualité, dans le but d'une utilisation rationnelle de leurs ressources.

Coût de production de la canne à sucre à la Réunion

J.-C. Lassaux (Cirad-ca, écosystèmes cultivés), R. Pirot (Cirad-ca, écosystèmes cultivés), C. Poser

A la Réunion, il est communément admis que la survie de la filière canne à sucre est conditionnée par le maintien de la sole cannière autour de 27 000 hectares, assurant la production d'environ 2 000 000 de tonnes de canne nécessaires aux deux usines de l'île. Le maintien de la sole cannière est étroitement lié à celui du revenu des planteurs qui dépend lui-même de la réduction des coûts de production.

L'étude commandée par l'Odeadom met en évidence des écarts très importants dans les coûts de production, liés aux conditions locales d'exploitation (tableau 6). En revanche, les informations disponibles ne permettent pas de relier ces écarts à une typologie ou à une localisation des exploitations.

Les professionnels évoquent souvent la nécessité de créer une aide au transport pour réduire les coûts. Il semble que les frais de replantation et d'entretien des repousses soient aussi importants que ceux de la coupe, du chargement et du transport. C'est donc l'exploitation dans son ensemble qui doit être prise en compte pour déterminer les compensations dont elle pourrait bénéficier au titre des handicaps naturels.

Scénarios de transport de la canne à sucre à la Réunion

J.-C. Lassaux (Cirad-ca, écosystèmes cultivés), R. Pirot (Cirad-ca, écosystèmes cultivés), C. Poser

A la demande de l'Odeadom, une étude sur les coûts de transport de la canne à sucre a été réalisée par enquête auprès d'un échantillon d'une centaine de planteurs. Sur les 18 situations identifiées dans divers bassins de production, les handicaps de pente, de distance et de voirie n'ont pas une influence directe sur les coûts de transport contrairement aux difficultés d'accès ou de sortie du champ. Celles-ci ont certainement une influence plus grande que la distance à parcourir.

Dans un deuxième temps, des simulations du coût de transport d'une tonne de cannes ont été réalisées sur une période de dix ans d'utilisation des matériels par les groupements (Cuma ou Sica). Elles mettent en évidence l'importance de l'amortissement du matériel dans les cinq premières années : les coûts de transport sont en effet divisés par deux, trois et même par quatre au delà de la cinquième année. L'importance de la subvention du matériel, l'identité du conducteur (propriétaire, adhérent ou salarié) et surtout le tonnage annuel transporté ont également une incidence sur les coûts. En revanche, la

Tableau 6. Coûts d'entretien annuel à l'hectare des repousses de canne à sucre à la Réunion (estimation de la chambre d'agriculture).

Hypothèses d'exploitation	Basse (A)	Moyenne (B)	Forte (C)
1. Engrais 15-12-24	0,8 t/ha x 2 100 F/t 1 680 F	1 t/ha 2 100 F	1,2 t/ha 2 520 F
2. Epandage manuel	2 j. M.O. familiale 648 F	1 j. M.O. familiale 1 j. M.O. extérieure 648 F	2 j. M.O. extérieure 648 F
3. Epandage mécanique	1 h 330 F	1 h 330 F	1 h 330 F
4. Herbicide de pré et postlevée	Prélevée + 1 rattrapage 605 F	Postlevée précoce 650 F	Prélevée + 2 rattrapages 800 F
5. Pulvérisation manuelle à dos	3 j. M.O. familiale	4 j. M.O. familiale	5 j. M.O. familiale
6. Pulvérisation mécanisée à la lance	méca. 330 F/ha 2 j. M. O. fam. 2 j. M. O. ext. 330 F + 648 F 978 F	méca. 330 F/ha 2 j. M. O. fam. 2 j. M. O. ext. 330 F + 648 F 978 F	méca. 330 F/ha 3 j. M. O. fam. 2 j. M. O. ext. 330 F + 648 F 978 F
7. Pulvérisation mécanisée à la rampe	1 h 330 F	1 h 330 F	1 h 330 F
8. Raticide : 60 % subvention	34 F	34 F	34 F
9. Main-d'œuvre irrigation	8 j.M.O.	8 j. M.O.	8 j. M.O.
10. Main-d'œuvre sarclage et divers	12 j. + 7 j.	12 j. + 7 j.	12 j. + 7 j.

A : pas de réaménagement foncier et plantation mécanisée
B : réaménagement foncier et plantation mécanisée
C : réaménagement foncier, épierrage fin
en vue de la coupe mécanisée et plantation mécanisée
M.O. : Main-d'œuvre (familiale ou extérieure)

capacité de la remorque et la longueur du parcours n'ont qu'une incidence limitée sur les coûts.

La réduction des coûts de transport est donc conditionnée par une meilleure rentabilisation des matériels agricoles et une amélioration des voies de communication dans les zones difficiles, notamment dans les Hauts de l'île, zone d'extension reconnue pour la filière.

Formation en milieu professionnel à l'île Maurice

J.-L. Mazot (Cirad-ca, écosystèmes cultivés)

En 1999, comme chaque année, depuis 1988, un programme de formation sur la gestion technique et écononomique des équipements agricoles est mené, auprès des producteurs de canne à sucre, membres de la Mauritius Sugar Producers' Association. La formation est réalisée en majeure partie au sein des propriétés sucrières avec un appui logistique du centre de formation Robert Antoine Sugar Industry Training Centre. Huit modules sont actuellement au catalogue des formations proposées chaque année à l'industrie sucrière : connaissance du tracteur, travail du sol, plantation, pulvérisation, épandage d'engrais, aménagement foncier, organisation de chantier, récolte. Les propriétés s'inscrivent selon leurs besoins à un ou plusieurs modules. Chaque année, 50 à 80 stagiaires sont formés à trois niveaux : cadres, chauffeurs, mécaniciens. Les premières années, la formation était réalisée par des ingénieurs et des techniciens du Cirad. Depuis 1992, la formation est assurée par des formateurs mauriciens encadrés par le Cirad. Ces formateurs sont en majorité des cadres de l'industrie sucrière. Quatre d'entre eux appartiennent au Msiri. Depuis 1992, l'appui du Cirad s'est donc principalement orienté vers un appui pédagogique et technique au profit des formateurs, sous forme de missions une ou deux fois par an. Ces missions servent également à commencer de nouvelles actions de formation et à faire évoluer celles-ci en fonction des besoins de l'industrie sucrière. Dans le cadre de ce programme, deux séminaires ont été récemment réalisés, l'un sur l'épandage mécanique des engrais et l'autre sur les techniques d'évaluation des charges de mécanisation.

Analyse fréquentielle des besoins en eau sur le périmètre sucrier de Savé au Bénin

R. Baran

A la demande de la société Sifca en Côte-d'Ivoire et dans une perspective de remise en production du périmètre de Savé au Bénin,

une étude a été entreprise sur la détermination des besoins en eau de la canne à sucre, à partir des séries agroclimatiques disponibles.

La canne à sucre a été cultivée de 1984 à 1990 sur 2 000 hectares environ dans un périmètre de 5 000 hectares de terres aptes à cette culture. La production du sucre a été effective jusqu'en 1990, date où les activités ont cessé.

Les traitements des données agroclimatiques disponibles, réalisés avec les logiciels Sarra du Cirad, ont permis d'avoir les hauteurs et les fréquences des pluies ainsi que les besoins en eau maximaux de la culture en fonction de ses stades de végétation et de ses cycles de plantation.

Des conseils ont été formulés sur le classement des sols et le réaménagement foncier du périmètre. Les rendements ont été estimés, pour une évapotranspiration maximale sur le cycle de 1100 millimètres d'eau, entre 75 et 81 tonnes de cannes à l'hectare et la richesse en sucre extractible, entre 9,0 et 9,5 %.

Mode d'organisation chez les petits planteurs en Afrique du Sud

P.-Y. Le Gal (Cirad-tera, espaces et ressources)

La filière canne à sucre sud-africaine est composée pour 90 % de petits planteurs, avec des surfaces de l'ordre de 1,5 à 2 hectares par exploitation, qui fournissent 10 % de la production de cannes. Dans le nouveau contexte politique (fin de l'apartheid) et économique (suppression progressive des protections douanières) que connaît le pays depuis 1994, la filière souhaite améliorer l'efficacité de ce secteur de production. Une étude a été réalisée par Cirad-tera en collaboration avec l'Institute of Natural Resources et la South African Sugar Industry, afin d'analyser les modes d'organisation et les performances de la récolte de la canne à sucre chez ces petits planteurs.

Les résultats montrent une forte irrégularité des apports durant la campagne (figure 42) et un allongement des délais de livraison des parcelles à l'usine. Ces dysfonctionnements sont dus aux difficultés que rencontrent les planteurs à coordonner leurs livraisons multiples dans les zones intermédiaires de chargement. Ces difficultés renvoient en partie à l'inefficacité des petites entreprises de travaux agricoles chargées de réaliser la coupe, le chargement et le transport de la canne pour le compte des planteurs. Cette étude devrait se prolonger par une intervention auprès de quelques usines et zones de chargement, afin de les aider à mieux planifier et piloter les transferts de canne des parcelles à l'usine. Cette opération valorisera les acquis obtenus sur ce thème à la Réunion et à l'île Maurice.

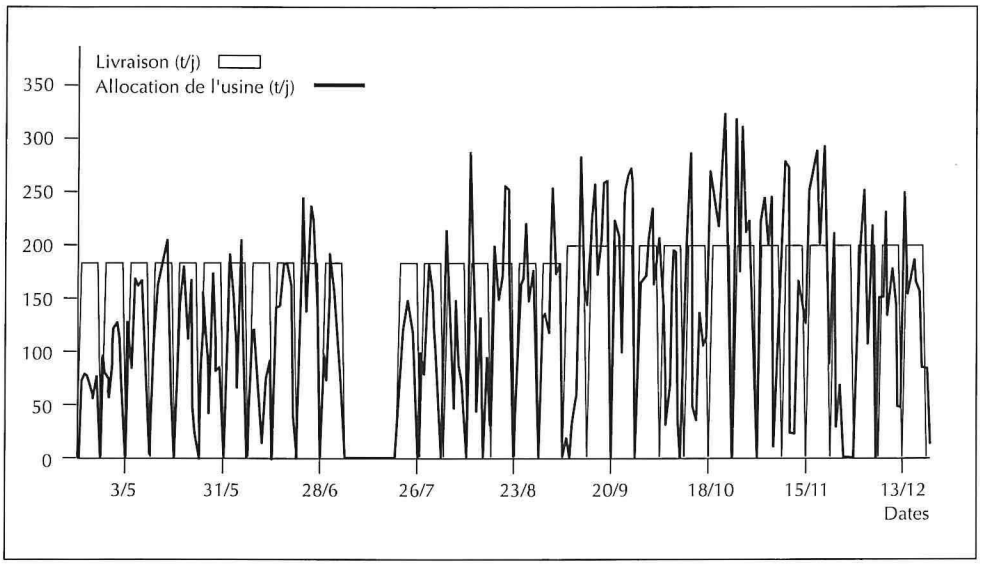


Figure 42. Livraisons et quotas journaliers sur la zone de Mvutshini en 1997.

Synthèse des travaux du Cirad sur l'eau et la canne à sucre

R. Gaudin

Le programme canne à sucre a entrepris en 1999 un travail de synthèse de tous les résultats d'études et de recherches obtenus par le Cirad dans le domaine des relations entre l'eau, le sol et la canne à sucre. Ce travail sera concrétisé par un numéro spécial de la revue *Agriculture et Développement* sur le thème « l'eau et la canne à sucre ». Ce numéro comprendra les chapitres suivants :

- la canne et l'eau ;
- le sol et l'eau ;
- les interactions eau-solutés et l'évolution du sol sous irrigation ;
- le diagnostic hydrique en grande culture ;
- les stratégies de la conduite de l'irrigation.

Un total de vingt-trois articles recouvrent les diverses situations de sols (vertisols, sables roux, sols à caractères andiques) et d'irrigation (irrigation gravitaire, aspersion totale et rampe pivotante, micro-irrigation).

Annexes

Publications

Publications dans des revues à comité de lecture

Ali A.O., Adam A.I., Salih A.A., Brouwers M., 1999. Effect of cultivation of sugarcane on soil bulk density and soil water content. Soudan Journal of Agricultural Research 2 : 19-24.

Alix K., Paulet F., Glaszmann J.C., D'Hont. A. ,1999. Inter-alu like species-specific sequences in the Saccharum complex. Theoretical and Applied Genetics 6 : 962-968.

Baran R., Tuo K., Parriaud J., 1999. Le système d'information géographique, outil d'aide à la gestion. Agriculture et développement (sous presse).

Baron C., Reyniers F.N., Baran R., Muller B., Maraux F., Langellier P., 1999. Application d'un logiciel (Sarra) à l'étude de risques climatiques. Agriculture et développement (sous presse).

Brouwers M., Farinet J.L., 1999. Utilisation agricole des sous-produits de la valorisation de la mélasse. Agriculture et développement (sous presse).

Brouwers M., Osman A.A., Marlet S., 1999. Evolution du sol sous culture irriguée de la canne à Kenana, Soudan. Agriculture et développement (sous presse)

Combres J.C. 1999. Planning d'utilisation des équipements, variabilité spatio-temporelle des termes du bilan hydrique et stratégies d'irrigation, clés de voûte du pilotage de l'irrigation avec Irricanne. Agriculture et développement (sous presse).

Combres J.C., Le Mezo L., Bouron B., Méte M., 1999. Difficultés de détermination de la réserve utile pour le calage et l'utilisation de modèles de bilan hydrique. Agriculture et développement (sous presse).

Combres J.C., Le Mezo L., 1999. Le pilotage de l'irrigation : de la parcelle au périmètre. Agriculture et développement (sous presse).

Courtaillac N., 1999. Influence de l'état hydrique du vertisol de Guadeloupe sur la nutrition azotée et le rendement de la canne à sucre. Agriculture et développement (sous presse).

Cruz P., Guillaume P., 1999. Croissance et nutrition minérale de la canne à sucre au cours de repousses successives. Cahiers Agricultures 8 (2) : 101-107.

Daugrois J.H, Jean-Baptiste J., Lockhart B.E.L., Irey M.S., Chatenet M., Rott P., 1999. First report of sugarcane yellow leaf virus in the French West Indies. Plant Disease 83 (6) : 588.

Davis M.J., Comstock J.C., Rott P., Mirkov T.E., 1999. Sugarcane yellow leaf virus studies. Journal American Society of Sugar Cane Technologists 19 : 65 [= Sugar y Azucar, June 1998 (6) : 33].

Gaudin R., 1999. Evaluation des besoins en eau de la canne. Agriculture et développement (sous presse).

Gaudin R., Brouwers M., Chopart J.L.,1999. L'eau utile et les caractéristiques hydrodynamiques des sols sous culture de canne à sucre. Agriculture et développement (sous presse).

Goebel R., Fernandez E., Bègue J.M., Alauzet C., 1999. Prédation par *Pheidole megacephala* (Hym. : Formicidae) des œufs de *Chilo sacchariphagus* (Lep. : Pyralidae), foreur de la canne à sucre à l'île de la Réunion. Annales de la société entomologique de France, vol. 35, p. 440-442.

Goebel R., Fernandez E., Tibère R., Alauzet C., 1999. Dégâts et pertes de rendement sur la canne à sucre dus au foreur *Chilo sacchariphagus* (Lep. : Pyralidae) à l'île de la Réunion. Annales de la société entomologique de France, vol. 35, p. 476-481.

Guillaume P., Cabidoche Y.-M., 1999. Stratégies de gestion des irrigations sur vertisols de Guadeloupe. Agriculture et développement (sous presse).

Jannoo N., Grivet L., Dookun A., D'Hont A., Glaszmann J.C., 1999. Linkage disequilibrium among sugarcane cultivars. Theoretical and Applied Genetics 6 : 1053-1060.

Jannoo N., Grivet L., Seguin M., Paulet F., Domaingue R., Rao P.S., Dookun A., D'Hont A., Glaszmann J.C., 1999. Molecular investigation of the genetic base of sugarcane cultivars. Theoretical and Applied Genetics 99 : 171-184.

Langellier P., Clopes A., Maraux F., 1999. Etude de la régionalisation des potentiels de production de la canne à sucre à la Réunion. Agriculture et développement (sous presse).

Martiné 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, vol. 19 : 3-12.

Martiné J.F., 1999. Croissance de la canne et stress hydrique : les apports d'un modèle-plante. Agriculture et développement (sous presse).

Rapanoelina M., Gaudin R., Oriol P., 1999. Sables roux, pivots, tensiomètres : un trépied pour l'ajustement des irrigations. Agriculture et développement (sous presse).

Rassaby L., Girard J.-C., Irey M.S., Lockart B.E.L., Rott P., 1999. Survey of sugarcane yellow leaf syndrome in Reunion Island. Sugar Cane International, octobre 1999, p. 16-18.

Todoroff P., 1999. La réflectométrie temporelle (TDR) pour des mesures non destructrices de profils hydriques du sol et le bilan hydrique. Agriculture et développement (sous presse).

Chapitre d'ouvrage

Glaszmann J.C., Jannoo N., Grivet L., D'Hont A. ,1999. La canne à sucre. *In* Diversité génétique des plantes tropicales cultivées, Hamon P., Seguin M., Perrier X., Glaszmann J.C. (éditeurs scientifiques), p. 195-218. Cirad, Montpellier, France, 388 p.

Communications à des colloques

Asnaghi C., Kaye C., Paulet F., Grivet L., Glaszmann J.C., D'Hont A., 1999. Utilization of the syntenie relationship between sugarcane, sorghum, maize and rice to saturate a targeted area in sugarcane. *In* Workshop abstracts International Plant and Animal Genome Conference VII, 1999/01/17-21, San Diego, Etats-Unis. International Plant and Animal Genome Conference, San Diego, Etats-Unis, 240 p.

Bussières P., Battilani, A., Combres J.C., Dumas Y., 1999. IRRIGERE: a generalized version of an irrigation scheduling model for a large range of crops. *In* Third International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops, 1999/06/28-07/02, Estoril, Portugal, sous presse.

D'Hont A., Kaye C., Asnaghi C., Paulet F., Grivet L., Glaszmann J.C.,1999. Fine mapping of a major rust resistance gene in the cultivar R570. *In* Workshop abstracts International Plant and Animal Genome Conference VII, 1999/01/17-21, San Diego, Etats-Unis. International Plant and Animal Genome Conference, San Diego, Etats-Unis, 240 p.

D'Hont A., Grivet L, Hoarau J.Y., Paulet F., Asnaghi C., Kaye C., Jannoo N., Alix K., Offmann B., Girard J.C., Raboin L.M., Rott P.and Glaszmann J.C.,1999. Genetic mapping of favorable traits in sugarcane cultivars. *In* Proceedings XXIII Congress of the International Society of Sugarcane Technologists, 1999/02/22-26, New Delhi, Inde, vol. 1 : 273-277. Sugar Technologists of India, New Delhi, Inde, 1078 p.

D'Hont A., 1999. Les activités de cartographie de la canne à sucre du Cirad-ca et ses impacts potentiels sur la sélection variétale. *In* Premier atelier régional sur l'amélioration variétale de la canne à sucre en Afrique de l'Ouest et du Centre, 1999/10/5-8, Yamoussoukro, Côte-d'Ivoire, p. 187-196. Cirad, Montpellier, France, 239 p.

Daugrois J. H., Jean-Baptiste I., Rott P., 1999. Partial association of sugarcane yellow leaf syndrome (YLS) symptoms and sugarcane yellow leaf virus (ScYLV) in the West Indies. *In* Proceedings XXIII Congress of the International Society of Sugarcane Technologists, 1999/02/22-26, New Delhi, Inde, vol. 2 : 401-403. Sugar Technologists of India, New Delhi, Inde, 1078 p.

Delage C., Rippoles M., Chatenet M., Irey M., Rott P., 1999. Elimination of sugarcane yellow leaf virus from sugarcane by meristem culture. *In* Proceedings XXIII Congress of the International Society of Sugarcane Technologists, 1999/02/22-26, New Delhi, Inde, vol. 2 : 404-405. Sugar Technologists of India, New Delhi, Inde, 1078 p.

Fajou S., Negroni L., Robin S., Marchès S., Gelabale G., Toubi L.; Oriol P., Roques D., Feldmann P., 1999. Family selection on sugarcane seedlings : effect of competition on the selection rate. Atelier de travail du réseau West Indies Sugarcane Breeding and Evaluation Network, 1999/10/27-29, Gosier, Guadeloupe.

Gay C., Kaye C., Paulet F., Rodier-Goud M., Glaszmann J.C., D'Hont A. ,1999. Development of microsatellite marker in sugarcane: constraints related to polyploidy. *In* Workshop abstracts International Plant and Animal Genome Conference VII, 1999/01/17-21, San Diego, Etats-Unis. International Plant and Animal Genome Conference, San Diego, Etats-Unis, 240 p.

Gay C., Kaye C., Paulet F., Rodier-Goud M., Glaszmann J.C., D'Hont A. ,1999. The isolation and characterization of microsatellites in sugarcane. *In* Workshop abstracts International Plant and Animal Genome Conference VII, 1999/01/17-21, San Diego, Etats-Unis. International Plant

and Animal Genome Conference, San Diego, Etats-Unis, 240 p.

Giglioti E.A., Almeida I.M.G., Clerc F., Rott P., Chatenet M., Beriam L.O., Calvalho M.L.V., Masuda Y., Matsuoka S., 1999. False red stripe : a new disease of sugarcane in Brazil. *In* Proceedings XXIII Congress of the International Society of Sugarcane Technologists, 1999/02/22-26, New Delhi, Inde, vol. 2 : 410-411. Sugar Technologists of India, New Delhi, Inde, 1078 p.

Goebel R., Fernandez E., Bègue J.M.., Tibère R., Alauzet C., 1999. Protection intégrée sur la canne à sucre à la Réunion : le cas de *Chilo sacchariphagus* Boj. (Lep : Pyralidae), foreur des tiges. *In* Annales de la Ve conférence internationale sur les ravageurs en agriculture, 1999/12/ 7-9, Montpellier, France, tome III, p. 819-826. Association nationale de protection des plantes, Paris, France, 903 p.

Hainzelin E., 1999. Les enjeux de la recherche cannière en Afrique et le programme Canne à sucre du Cirad-ca. *In* Premier atelier régional sur l'amélioration variétale de la canne à sucre en Afrique de l'Ouest et du Centre, 1999/10/5-8, Yamoussoukro, Côte-d'Ivoire, p. 159-166. Cirad, Montpellier, France, 239 p.

Hoarau J.Y., Offmann B., Grivet L., Payet J., D'Hont A., Glaszmann J.C. ,1999. Genome analysis of sugarcane cultivar R570 (Saccharum spp) by AFLP in order to mark favorable traits. *In* Workshop abstracts International Plant and Animal Genome Conference VII, 1999/01/17-21, San Diego, Etats-Unis. International Plant and Animal Genome Conference, San Diego, Etats-Unis, 240 p.

Jannoo N., Grivet L., Dookun A., D'Hont A., Glaszmann J.C. ,1999 Linkage disequilibrium among modern sugarcane cultivars. *In* Workshop abstracts International Plant and Animal Genome Conference VII, 1999/01/17-21, San Diego, Etats-Unis. International Plant and Animal Genome Conference, San Diego, Etats-Unis, 240 p.

Offmann B., Raboin L.M., Asnaghi C., Kaye C, Ruffel S., Roques D., Girard J.C., Notaise J., Saumtally S., Dookun A., Grivet L., Rott P., Glaszmann J.C., D'Hont A., 1999. Progress in genetic analysis of resistance to rust and leaf scald in sugarcane. *In* Workshop abstracts International Plant and Animal Genome Conference VII, 1999/01/17-21, San Diego, Etats-Unis. International Plant and Animal Genome Conference, San Diego, Etats-Unis, 240 p.

Oriol P., Roques D., 1999. Le schéma d'amélioration variétale de la canne à sucre en Guadeloupe et pour l'Afrique. In Premier atelier régional sur l'amélioration variétale de la canne à sucre en Afrique de l'Ouest et du Centre, 1999/10/5-8, Yamoussoukro, Côte-d'Ivoire, p. 197-209. Cirad, Montpellier, France, 239 p.

Rott P., 1999. Protection de la canne à sucre et rôle de la quarantaine du Cirad-ca de Montpellier. *In* Premier atelier régional sur l'amélioration variétale de la canne à sucre en Afrique de l'Ouest et du Centre, 1999/10/5-8, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, p. 167-172. Cirad, Montpellier, France, 239 p.

Vercambre B., 1999. Les problèmes des ravageurs sur la canne à sucre en Afrique. Perspectives de production intégrée. *In* Premier atelier régional sur l'amélioration variétale de la canne à sucre en Afrique de l'Ouest et du Centre, 1999/10/5-8, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, p. 173 - 186. Cirad, Montpellier, France, 239 p.

Thèse de docteur d'université

Goebel R., 1999. Caractéristiques biotiques du foreur de la canne à sucre *Chilo sacchariphagus* (Bojer, 1856) (Lep : Pyralidae) à l'île de la Réunion. Facteurs de régulation de ses populations et conséquences pour la lutte contre ce ravageur. Thèse de doctorat en entomologie appliquée. Université Paul Sabatier de Toulouse, France.

Habilitation à diriger des recherches

Rott P., 1999. Dossier de titres et travaux rédigé en vue d'obtenir le diplôme d'habilitation à diriger des recherches de l'Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay [diplôme obtenu le 15 avril 1999], Cirad, Montpellier, 36 p.

Rapports

Baran R., 1999. Travail du sol et production de canne à sucre en Guadeloupe. Synthèse des études menées de 1992 à 1996. Etudes sur conventions. Cirad, Montpellier, 35p.

Baran R., 1999. Périmètre sucrier de Savé, Bénin. Analyse fréquentielle de la pluviométrie et des besoins en eau. Implications agronomiques. Cirad, Montpellier, 45p.

Brouwers M., 1999. Propositions pour l'amélioration de la gestion de l'irrigation et de la fertilisation dans les complexes sucriers ivoiriens. Cirad, Montpellier, 24 p.

Brouwers M., Oriol P., 1999. Caractéristiques des écumes de la sucrerie de Qnsc. Caractérisation du milieu

pédologique de la station de recherches agronomique de Qnsc. Implications agronomiques. Cirad, Montpellier, 8 p.

D'Hont A., 1999. Fine mapping of a major rust resistance gene in cultivar R570 with a view towards its cloning through map-based chromosome walking : Project funded by International Consortium for Sugarcane Biotechnology. Cirad, Montpellier, 9 p.

Dagallier J.C., De Ranchin B., Hellmann M., Robert J., Frumence F., 1999. Les groupements : intérêts, inconvénients, incitation. Document de travail Armes - Conseil général, Réunion.

Dagallier J.C., Deurveilher D., Picard F., 1999. Compte rendu de suivi de la coupeuse SIMON, campagne 1999. Document de travail Armes - Conseil général, Réunion.

Drouet D., 1999. Analyse génétique de la résistance à la maladie de l'échaudure des feuilles chez la canne à sucre. Rapport de stage de maîtrise de sciences et techniques de biologie appliquée aux productions végétales et aux industries alimentaires, université de Picardie, 42 p.

Daugrois J. H., 1999. Sugarcane disease survey in Jamaica. Report of consultation in sugarcane pathology 17-23 may 1999. Cirad, Montpellier, 10 p.

Daugrois J. H., Boisne-Noc R. , Joseph S., 1999. Pathologie de la canne à sucre, Guadeloupe. Rapport technique du contrat de plan Etat Région 1998. Dans XIe contrat de plan Etat Région Guadeloupe - P.O.I, 1994-1999, année 4, recherche appliquée pour la canne à sucre, rapport d'activité, période du 01/01/98 au 31/12/98. Cirad, Montpellier, 33 p.

Girard J.C., 1999. Compte-rendu de formation à la South African Sugar Association Experiment Station, Mount Edgecombe, KwaZulu Natal, Afrique du Sud (7-21 février 1999). Cirad, Montpellier, 8 p.

Guillaume P., Analyse tridimensionnelle directe de la porosité structurale des vertisols. Relations entre formes et fonctionnement hydrique. Applications pour la gestion agricole des vertisols. Rapport technique Cper 1998. Cirad, Montpellier, 17 p.

Hainzelin H., 1999. Notes de mission en Inde. XXIIIe congrès Issct à New Delhi. Cirad, Montpellier, 10 p.

Hainzelin H. , 1999. Notes de mission en Chine. Cirad, Montpellier, 28 p.

Lassaux J.C., Pirot R. Poser C., 1999. Etude des coûts de production de la canne à sucre à la Réunion, du 8 février au 21 février 1999. Cirad, Montpellier, 26 p.

Lassaux J.C., Pirot R., Poser C., 1999. Etude des coûts de transport de la canne à sucre à la Réunion, du 22 février au 20 mars 1999. Cirad, Montpellier, 34 p.

Marion D., 1999. Compte-rendu de mission sur le complexe sucrier du Kala Supérieur au Mali du 28 juin au 1er juillet 1999. Cirad, Montpellier, 21 p.

Marion D., 1999. Essais d'efficacité du sulfentrazone en prélevée et en postlevée des mauvaises herbes en culture de canne à sucre. Campagne 1997-1998. Cirad, Montpellier, 22 p.

Notaise J., 1999. Expertise moléculaire d'un lot de canne à sucre pour la détection du virus de la maladie de Fidji. Cirad, Montpellier, 4 p.

Offmann B., 1999. Caractérisation de la résistance à l'échaudure des feuilles dans le croisement R570 x M695/69. Mission effectuée au Msiri, Maurice, du 07 janvier au 30 janvier 1999. Cirad, Montpellier.

Offmann B.,1999. Caractérisation de la résistance à l'échaudure des feuilles dans le croisement R570 x M695/69. Evaluation des symptômes et de la colonisation des tiges. Mission effectuée au Msiri, Maurice, du 16 avril au 02 juin 1999. Cirad, Montpellier.

Oriol P., Feldmann J.H., 1999. Amélioration variétale et production de plants assainis de canne à sucre en Guadeloupe, rapport technique Cper 1998. *In* Recherche appliquée pour la canne à sucre, rapport d'activités du 01/01/98 au 31/12/98, XIe contrat de plan Etat-Région Guadeloupe. Cirad, Montpellier, 52 p.

Oriol P., Daugrois J.H., Feldmann P., 1999. Les variétés de canne à sucre agréées en Guadeloupe et à Marie-Galante en 1999. Cirad, Montpellier, 34 p.

Oriol P., 1999. Suivi des parcelles de canne à sucre conduites par Sude pour le projet sucrier Guyanais : mission du 9 au 12 mai 1999. Cirad, Montpellier, 7 p.

Oriol P., 1999. Appui à la mise en place d'une unité de recherche agronomique à la Quang Ngai Sugar Corporation — Vietnam. Mission du 18 février au 6 mars 1999. Cirad, Montpellier, 53 p.

Parriaud J., 1999. Rapport de mission à la Sucaf-ci, Ferkéssedougou, Côte-d'Ivoire. Appui à la gestion de l'irrigation des périmètres sucriers. Cirad, Montpellier, 11 p.

Parriaud J., 1999. Evaluation de l'état d'avancement du logiciel Irricanne, finalisation d'une version destinée aux

utilisateurs et modalités de transfert du produit au développement. Cirad, Montpellier, 22 p.

Ponaman A.-C., 1999. Compréhension des interactions entre le foreur ponctué *Chilo sacchariphagus* et ses auxiliaires dans l'agrosystème canne à sucre. Aide à la mise en œuvre d'une stratégie de protection. Rapport de stage de maîtrise de biologie des populations et des ecosystèmes, université de la Réunion, 26 p.

Pouzet D., Martiné J.-F., Lienhart B., 1999. Evaluation des conseils en fertilisation de la canne pour les hauts rendements. Variétés R570 et R589 en culture irriguée à satisfaction des besoins sur sol brun fertile. Cirad, Saint-Denis, Réunion, 33 p.

Pouzet D., Hainzelin E., 1999. Place des activités de recherche canne à sucre à la Réunion dans le programme international du Cirad : perspectives 2000. Magazine Cirad Réunion (14) : 2-4.

Pouzet D., Chabalier P.F., 1999. Evaluation du conseil en fertilisation de la canne à sucre. Bilan de 5 années de test en milieu paysan. Cirad, Saint-Denis, Réunion, 14 p.

Rott P., 1999. XXIIIe congrès de l'Issct (Internation society of sugarcane technologists et E.I.D. Parry Ltd (India). Rapport de mission en Inde du 20 février au 4 mars 1999. Cirad Montpellier, 22 p.

Rott P., 1999. Rapport de mission en pathologie de la canne à sucre au Cirad Réunion du 21 au 27 juin 1999. Cirad Montpellier, 11 p.

Rott P., 1999. Report of consultation in sugarcane pathology at the Agro Industrial Paramonga SA in Peru from 8 to 15 August 1999. Cirad Montpellier, 12 p.

Rott P., 1999. Rapport de mission en pathologie de la canne à sucre au Cirad Réunion du 13 au 18 décembre 1999. Cirad Montpellier, 8 p.

Tran Minh D., 1999. Etude des ressources en eau de la province de Tây Ninh (Vietnam). Rapport de mission du 2 avril au 3 mai 1999. Cirad, Montpellier, 18 p.

Tran Minh D., 1999. Protocole d'expérimentation sur l'assainissement agricole des sols à Quang Ngai Sugar Corporation (Vietnam). Rapport de mission du 2 avril au 3 mai 1999. Cirad, Montpellier, 7 p.

Tran Minh D., 1999. Diagnostic de l'irrigation par aspersion dans les périmètres sucriers de la Sucaf-ci (Côte-d'Ivoire). Mission du 21 au 29 juin 1999. Cirad Montpellier, 30 p.

Vercambre B., 1999. Les chenilles légionnaires *Spodoptera exempta* (Lep : Noctuidae) sur canne à sucre. Rapport de mission à la Saris - Congo du 9 au 23 novembre 1998. Cirad Montpellier, 21 p.

Volper S., 1999. Projet d'accompagnement en recherche agronomique sur la canne à sucre à Quang Ngai Sugar Corporation (Vietnam). Rapport de mission du 15 avril au 11 juillet 1999. Cirad, Montpellier, 51 p.

Missions effectuées en 1999

Asnaghi C., Etats-Unis, janvier 1999. Participation au congrès Plant and Animal Genome VII.

Baran R., Guadeloupe, juin 1999. Travail du sol et production de canne à sucre en Guadeloupe. Synthèse des études menées de 1992 à 1996.

Baran R., Côte-d'Ivoire, octobre 1999. Participation à l'atelier sur les variétés de canne à sucre à Yamoussoukro.

Baran R., Côte-d'Ivoire, octobre 1999. Evaluation des études agronomiques de Sucrivoire.

Brouwers M., Côte-d'Ivoire, mars 1999. Mission d'évaluation des données pédologiques sur 4 sites sucriers à la demande de Sucrivoire.

Brouwers M., Vietnam, mai 1999. Caractéristiques des écumes de la sucrerie de Qnsc. Caractérisation du milieu pédologique de la station de recherche agronomique de Qnsc. Implications agronomiques.

D'Hont A., Etats-Unis, janvier 1999. Participation au congrès Plant and Animal Genome VII.

D'Hont A., Guadeloupe, février 1999. Mise en route de la thèse de Sharron Alleyne dans le cadre de l'ATP 97/20.

D'Hont A., Inde, février 1999. Participation au XXXIIIe congrès de l'Issct.

D'Hont A., Guadeloupe, octobre 1999. Participation à l'atelier Wisben et présentation d'un poster.

D'Hont A., Côte-d'Ivoire, octobre 1999. Participation à l'atelier sur les variétés de canne à sucre à Yamoussoukro.

Daugrois J.-H., Martinique, janvier 1999. Expertise sur le syndrome des feuilles jaunes.

Daugrois J.-H., Inde, février 1999. Participation au XXXIIIe congrès de l'Issct.

Daugrois J.-H., Jamaïque, mai 1999. Expertise sanitaire des exploitations sucrières.

Daugrois J.-H., Martinique, juillet 1999. Expertise sur le syndrome des feuilles jaunes.

Feldmann P., Guadeloupe, octobre 1999. Participation à l'atelier Wisben.

Girard J.-C., Afrique du Sud, février 1999. Formation à la South African Sugar association Experiment Station, Mount Edgecombe, KwaZulu Natal.

Goebel R., France, 1999. Participation à la Ve conférence internationale sur les ravageurs en agriculture.

Hainzelin E., Inde, février 1999. Participation au XXIIIe congrès de l'Issct.

Hainzelin E., Réunion, février 1999. Comité scientifique.

Hainzelin E., Chine, février 1999. Visite des centres de recherche sur la canne à sucre dans le Yunnan.

Hainzelin E., Guadeloupe, mai 1999. Animation du projet connaissance du génome, amélioration variétale et pathologie de la canne à sucre ; présentation de l'équipe canne à sucre au directeur du Cirad-ca.

Hainzelin E., Egypte, juin 1999. Etude pour une éventuelle poursuite de la collaboration avec le Scri sur la canne à sucre, financée par le Bureau de liaison des affaires franco-égyptiennes.

Hainzelin E., Guadeloupe, octobre 1999. Participation à l'atelier Wisben.

Hainzelin E., Côte-d'Ivoire, octobre 1999. Participation à l'atelier sur les variétés de canne à sucre à Yamoussoukro.

Hainzelin E., Réunion, novembre 1999. Organisation du comité directeur du projet Irricanne ; participation au comité technique de la canne et du pôle de protection des plantes de la Réunion.

Kaye C., Etats-Unis, janvier 1999. Participation au congrès Plant and Animal Genome VII.

Langellier Bellevue P., Côte-d'Ivoire, octobre 1999. Participation à l'atelier sur les variétés de canne à sucre à Yamoussoukro.

Lassaux J.-C., Réunion, février 1999. Etude Odeadom sur les coûts de production de la canne à sucre à la Réunion.

Lassaux J.-C., Réunion, mars 1999. Etude Odeadom sur les coûts de transport de la canne à sucre à la Réunion.

Letourmy P., Guadeloupe, Martinique, mars 1999. Appui aux chercheurs canne à sucre en Guadeloupe et en biométrie au Ctcs Martinique.

Marion D., Mali, juin 1999. Mission sur le complexe sucrier du Kala Supérieur au Mali.

Marion D., Côte-d'Ivoire, octobre 1999. Participation à l'atelier sur les variétés de canne à sucre à Yamoussoukro.

Marnotte P., Réunion, juin 1999. Expérimentation sur les herbicides de la canne à sucre.

Martiné J.-F., France, décembre 1999. Contacts scientifiques concernant le projet modélisation de la canne à sucre avec l'Inra-Avignon et l'Inra-Grignon.

Offmann B., Maurice, janvier1999. Expertise sur la résistance à l'échaudure des feuilles dans le croisement R570 x M695/69 auprès du Msiri.

Offmann B., Maurice, avril-mai 1999. Expertise sur la résistance à l'échaudure des feuilles dans le croisement R570 x M695/69 auprès du Msiri. Evaluation des symptômes et de la colonisation des tiges.

Oriol P., Vietnam, février 1999. Appui à la mise en place d'une unité de recherche agronomique à la Quang Ngai Sugar Corporation, Vietnam.

Oriol P., Guyane, mai 1999. Suivi des parcelles de canne à sucre conduites par Sude pour le Projet sucrier guyanais.

Oriol P., Côte-d'Ivoire, octobre 1999. Participation à l'atelier sur les variétés de canne à sucre à Yamoussoukro.

Oriol P., Guadeloupe, octobre 1999. Participation à l'atelier du réseau West Indies and Sugarcane Breeding and Evaluation Network.

Parriaud J., Réunion, mars 1999. Evaluation de l'état d'avancement du logiciel Irricanne, finalisation d'une version destinée aux utilisateurs, et modalités de transfert du produit au développement.

Parriaud J., Côte-d'Ivoire, juillet 1999. Mission à la Sucaf-ci, Ferkéssedougou. Appui à la gestion de l'irrigation des périmètres sucriers.

Paulet F., Etats-Unis, janvier 1999. Participation au Congrès Plant and Animal Genome VII.

Peterschmitt M., Egypte, février 1999. Report of consultation in sugarcane virology at Sugar Crop Research Institute of Egypt.

Pirot R., Réunion, mars 1999. Etude Odeadom sur les coûts de transport de la canne à sucre à la Réunion.

Poser C., Réunion, février 1999. Etude Odeadom sur les coûts de production de la canne à sucre ; contact avec les chercheurs du programme Canne à sucre de la Réunion.

Poser C., Maurice, février 1999. Contact avec l'équipe des systèmes d'information géographique du Msiri.

Poser C., Guadeloupe, mai 1999. Contact avec tous les chercheurs du programme Canne à sucre en poste en Guadeloupe ; présentation et animation du projet connaissance du génome, amélioration variétale et pathologie de la canne à sucre.

Poser C., Côte-d'Ivoire, octobre 1999. Participation à l'atelier sur les variétés de canne à sucre à Yamoussoukro.

Rémondat C., Côte-d'Ivoire, octobre 1999. Participation à l'atelier sur les variétés de canne à sucre à Yamoussoukro.

Roques D., Côte-d'Ivoire, octobre 1999. Participation à l'atelier sur les variétés de canne à sucre à Yamoussoukro.

Roques D., Guadeloupe, octobre 1999. Participation à l'atelier du réseau Wisben.

Rott P., Inde, février 1999. Participation au XXIIIe congrès de l'Issct ; visite du R&D Centre à Bangalore, à Pugalur et à Tamilnadu.

Rott P., Réunion, juin 1999. Point des activités sur la pathologie de la canne à sucre à la Réunion ; participation à une réunion avec le Cerf et le Service de la protection des végétaux au sujet d'un système de quarantaine à la Réunion.

Rott P., Pérou, août 1999. Expertise de l'état phytosanitaire des champs de canne à sucre de l'Agro Industrial Paramonga SA à Paramonga.

Rott P., Côte-d'Ivoire, octobre 1999. Participation à l'atelier sur les variétés de canne à sucre à Yamoussoukro.

Rott P., Guadeloupe, octobre 1999. Participation à l'atelier Wisben.

Rott P., Réunion, décembre 1999. Appui aux activités de pathologie canne à sucre du Cirad à la Réunion ; comité de thèse de Laurence Rassaby.

Tran Minh D., Vietnam, avril 1999. Expertise hydraulique du barrage de Dantienex (province de Tây Ninh) ; adéquation ressources - utilisation ; influence des canaux d'irrigation sur l'évolution de la nappe aquifère.

Tran Minh D., Côte-d'Ivoire, juin 1999. Appui à P. Langellier pour la gestion du réseau hydraulique et le contrôle de la distribution d'eau à Ferké.

Tran Minh D., Réunion, novembre 1999. Participation au comité technique de la canne et du pôle de protection des plantes de la Réunion ; organisation du comité directeur du projet Irricanne.

Vercambre B., Côte-d'Ivoire, octobre 1999. Participation à l'atelier sur les variétés de canne à sucre à Yamoussoukro.

Volper S., Vietnam, avril-juillet 1999. Appui à l'équipe Qnsc dans leur programme de recherche dans le cadre de la convention Cirad/Qnsc.

Volper S., Vietnam, octobre-décembre 1999. Mise en place d'essais dans le cadre de la coopération avec Quang Ngai Sugar Corporation.

Chercheurs et stagiaires accueillis par le programme canne à sucre

Connaissance du génome, amélioration variétale et protection de la canne à sucre

Alegria Moran Olinda Marlene (c/o P. Rott). Diversité génétique de la mosaïque de la canne à sucre. Stage de haute spécialisation en pathologie de la canne à sucre. Concytec, Pérou, 1 mois.

Alleyne Sharron (c/o A. D'Hont). Analyse de l'impact de la sélection pour la richesse en sucre sur la diversité moléculaire de la canne à sucre. Université des West Indies (Barbades), thèse, 8 mois.

Champoiseau Patrice (c/o J.H. Daugrois). Epidémiologie de l'échaudure des feuilles de la canne à sucre. Istom, Cergy Pontoise, 6 mois en Guadeloupe.

Cousin Arnaud (c/o P. Rott et M. Royer). Caractérisation des gènes de biosynthèse de l'albicidine et clonage d'un gène de résistance à l'albicidine produite par *Xanthomonas albilineans*, agent causal de l'échaudure des feuilles de la canne à sucre. Ina-pg Thiverval-Grignon, Dea, 6 mois.

Drouet Damien (c/o L.-M. Raboin et B. Offmann). Analyse génétique de la résistance à la maladie de l'échaudure des feuilles chez la canne à sucre. Université de Picardie, maîtrise, 6 mois.

Frison Valérie (c/o A. D'Hont). Contribution à l'analyse du génome de la canne à sucre par hybridation *in situ*. Université Montpellier II, licence, 3 mois.

Lockhart Ben (c/o J.C. Girard). Discussion sur le syndrome de la feuille jaune de la canne à sucre et sur le *sugarcane bacilliform virus*. Université du Minnesota, Etats-Unis.

McIntyre Lynne (c/o A. D'Hont). Formation à la cartographie de marqueurs microsatellites et AFLP chez la canne à sucre. Csiro, Australie, 2 mois.

Morin Béatrice (c/o B. Vercambre). Nature de la résistance variétale de la R570/R579. Esa Purpan Toulouse, diplôme d'ingénieur, 7 mois.

Otero Sarah (c/o J.-H. Daugrois). Les maladies bactériennes de la canne à sucre. Idrh à Abymes (Guadeloupe), maîtrise, 6 semaines.

Ramsamy Jean-Paul et Frontier Yves (c/o L. Rassaby). Comportement de variétés commerciales de canne à sucre en présence du ScYLV et leur assainissement par culture de bourgeons. Université de la Réunion, licence, 2 mois.

Rassaby Laurence (c/o P. Rott). Le syndrome de la feuille jaune causé par le ScYLV à la Réunion : caractérisation et impact. Université de la Réunion, thèse, 12 mois à la Réunion.

Reffay Nathalie (c/o A. D'Hont). Etude des facteurs génétiques contrôlant l'accumulation du sucre chez la canne à sucre et la teneur en fibre chez des variétés de canne à sucre cultivées à la Réunion et en Australie. Université de la Réunion, thèse, 6 mois.

Ruffel Sandrine (c/o A. D'Hont). Cartographie fine d'un gène de résistance à la rouille chez la canne à sucre. Université Paris VII, Dess, 7 mois.

Youssouf Sarah (c/o L. Rassaby). Le syndrome de la feuille jaune à la Réunion : prospection en vue de la mise en place d'un essai comparatif. Université d'Angers, licence, 1 mois.

Amélioration de la productivité des bassins canniers à la Réunion

Haraux Frédéric (c/o J.-C. Combres). Cahier des charges des utilisateurs. Etude du logiciel Simulex. Programmation des requêtes des utilisateurs. Université de Montpellier II, maîtrise, 15 jours.

Loison Stéphanie (c/o D. Pouzet). Analyse et modélisation de la logistique d'approvisionnement des sucreries de cannes à l'ile Maurice et à la Réunion. Ina-pg Paris-Grignon, diplôme d'ingénieur, 5 mois.

Méte Muriel (c/o J.-C. Combres). Bilan hydrique et minéral sous canne à sucre à la Réunion. Faculté des sciences de Saint-Denis (Réunion), thèse, 9 mois.

Mouniama Brice (c/o J.-C. Dagallier). Analyse et vérification fonctionnelle du programme SADEM gestion. Ecole de gestion de Bellepierre, Bts informatique de gestion, 1 mois.

Narayanin Christophe (c/o J.-C. Dagallier). Enquêtes et suivis de chantiers de la coupeuse SIMON. Lycée agricole de Saint-Paul, Réunion, Bac professionnel, 1 mois.

Payet Patricia (c/o J.-C. Combres). Analyse et programmation. Lycée Roland Garros au Tampon (Réunion), Bts, 1 mois.

Ponaman Annie-Claude (c/o R.Goebel). Compréhension des interactions entre le foreur ponctué Chilo sacchariphagus et ses auxiliaires dans l'agrosystème canne à sucre. Université de la Réunion, maîtrise, 3 mois.

Reboul Jean-Gaël (c/o J.-C. Combres). Couplage d'une base données Oracle et d'un logiciel de système d'information géographique (MapInfo). Université de Montpellier II, maîtrise, 1 mois.

Roux Hervé (c/o J.-C. Dagallier). Débogage du programme interne des centrales SADEM. Esigetel, Fontainebleau, diplôme d'ingénieur, 4 mois.

Stratégie des acteurs et compétitivité de la filière cannière en Guadeloupe

Bonotto S. (c/o P. Guillaume et J.-J. Lacoeuilhe). Analyse des pratiques culturales des planteurs de canne du Nord Basse Terre. Cnearc, Montpellier, diplôme d'ingénieur en agronomie tropicale, 6 mois.

Brancourt Koba (c/o J.-H. Daugrois). Maladies bactériennes de la canne à sucre, test de résistance, Legta Vesoul-Meunier, Bts, 7 semaines.

Leinster Luc (c/o J.-H. Daugrois, P. Oriol, D. Roques). Amélioration variétale de la canne à sucre et pathologie. Service de la protection des végétaux de Guadeloupe, 3 semaines.

Merabli David (c/o P. Oriol). Sélection variétale de la canne à sucre en Guadeloupe. Université Antilles-Guyane, maîtrise, 6 semaines.

Robin Stéphanie (c/o P. Feldmann, D. Roques). Méthodes de sélection de la canne à sucre : développement d'un test précoce de sélection pour la résistance à la maladie du charbon et contrôle de la compétition. Université Antilles-Guyane, maîtrise, 5 semaines.

Rossard Julien (c/o J.-P. Gay). Modélisation, croissance, développement de la canne à sucre. Ifaid Aquitaine, Bordeaux, maîtrise, 8 mois.

Accompagnement scientifique des productions sucrières

Coran Marie-Stéphanie (c/o J. Parriaud et P. Langellier). Mise en œuvre d'un système d'information géographique pour la gestion d'une exploitation de canne à sucre. Ensg Marne la Vallée, 20 jours à Montpellier, 3 mois en Côte-d'Ivoire.

Kouame A.-G. (c/o P. Langellier). Caractéristiques hydriques et hydro-dynamiques des sols de Ferkéssedougou, Côte-d'Ivoire.

Participation des chercheurs à diverses formations

Baran R. : cours sur la canne à sucre, à la Section des industries agricoles et alimentaires des régions chaudes, Montpellier.

Combres J.-C. : travaux pratiques sur l'irrigation pour formations des agriculteurs irrigants à la Chambre d'Agriculture de la Réunion.

Combres J.-C. : conférence sur l'irrigation à la manifestation agricole Agro Saint-Pierre, Réunion.

D'Hont A. : cours sur l'utilisation des marqueurs moléculaires en génétique et amélioration des plantes organisé par Biotrop, Montpellier.

D'Hont A. : intervention dans le cadre du Dea de ressources phytogénétiques et interactions biologiques à l'université de Montpellier II/Ensa de Montpellier.

Dagallier J.-C. : cours sur l'initiation à l'analyse de bilans et de comptes de résultats - gestion des Cuma, demandé par l'Association pour la promotion rurale, Réunion.

Daugrois J.-H. : cours de bactériologie en maîtrise de sciences agronomiques et développement rural, à l'université Antilles-Guyane.

Daugrois J.-H. : cours de lutte contre les maladies de la canne à sucre, à l'université Antilles-Guyane.

Daugrois J.-H. : formation sur le diagnostic de la maladie du rabougrissement des repousses lors de l'atelier Wisben en Guadeloupe.

Daugrois J.-H. : travaux dirigés sur la défense des cultures, à l'université Antilles-Guyane.

Feldmann P. : cours de génétique des populations pour la maîtrise de biologie des organismes, des populations et des ecosystèmes, à l'université Antilles-Guyane.

Feldmann P. : cours d'amélioration des plantes pour la maîtrise de sciences agronomiques et développement rural, à l'université Antilles-Guyane.

Feldmann P. : cours d'amélioration de la canne à sucre pour la maîtrise de sciences agronomiques et développement rural, à l'université Antilles-Guyane.

Girard J.-C. : cours sur les bactéries phytopathogènes, Dea de ressources phytogénétiques et interactions biologiques, à l'université de Montpellier II/Ensa de Montpellier.

Girard J.-C. : exposé sur les phytoplasmes dans le cadre des séminaires organisés par la Midec/Cirad, Montpellier.

Goebel R. : cours d'entomologie générale en maîtrise des sciences et techniques des végétaux, à l'université de la Réunion.

Martiné J.-F., Siegmund B., Chabalier P.-F. : module canne à sucre - formation à l'Enita de Clermont-Ferrand et au lycée agricole de Saint-Paul, Réunion.

Pouzet D. : formation sur la fertilisation de la canne à sucre pour les techniciens de la Safer, Réunion.

Pouzet D. : formation sur la fertilisation de la canne à sucre pour les techniciens de l'usine du Gol, Réunion.

Roques D. : formation sur les techniques et méthodes de vitroculture appliquée à l'amélioration des plantes et à l'horticulture, au rectorat de l'académie de la Guadeloupe.

Rott P. : cours sur l'échaudure des feuilles de la canne à sucre, étude de cas en pathologie tropical, Dea de ressources phytogénétiques et interactions biologiques, à l'université de Montpellier II/Ensa de Montpellier.

Equipe du programme canne à sucre (situation au 31/12/1999)

• *Chef de programme* : Hainzelin Etienne	Montpellier
Adjoint au chef de programme : Tran Minh Duc	Montpellier
Cammal Janine	Montpellier
Heraud Dominique	Montpellier
Rémondat Catherine	Montpellier

Equipe scientifique	Localisation	Equipe technique	Localisation

Projet « Connaissance du génome, amélioration variétale et protection de la canne à sucre »

• *Chef de projet* : Rott Philippe	Montpellier		
Asnaghi Carole (thèse)	Montpellier	Algou Gabriel	Guadeloupe
Bourreau Tristan (CSN)	Egypte	Begue Leon	La Réunion
Caussin Ludovic (VAT)	Guadeloupe	Boisne Noc Rosiane	Guadeloupe
Chatenet Michèle	Montpellier	Bousquet Jean-François	Montpellier
Daugrois Jean-Heinrich	Guadeloupe	Cadet Murette	Guadeloupe
Feldmann Philippe	Guadeloupe	Catan Eugène	Guadeloupe
Girard Jean-Claude	Montpellier	Cerveau Henri	La Réunion
Goebel Régis	La Réunion	Daanen Corine	Guadeloupe
Grivet Laurent	Montpellier	Fernandez Emmanuel	La Réunion
Hoarau Jean-Yves (thèse)	La Réunion	Gauvin Jean-Claude	La Réunion
Kaye Claudia	Montpellier	Gauvin Ginot	La Réunion
Notaise Julien (thèse)	La Réunion	Gauvin Marie-Charlyne	La Réunion
Offmann Bernard (thèse)	La Réunion	Gelabale Georges	Guadeloupe
Oriol Philippe	Guadeloupe	Guiougou Chantal	Guadeloupe
Raboin Louis-Marie	La Réunion	Joseph Steeve	Guadeloupe
Rassaby Laurence (thèse)	La Réunion	Lombard Hugues	La Réunion
Roques Danièle	Guadeloupe	Muller Marc	Montpellier
Rott Philippe	Montpellier	Paulet Florence	Montpellier
Vercambre Bernard	Montpellier	Ragouton Marc	Guadeloupe
		Ribotte Jean-Claude	La Réunion
		Telismart Hugues	La Réunion
		Tibere Richard	La Réunion
		Toubi Lyonel	Guadeloupe
		Sapotille Jocelyne	Guadeloupe

Projet « Amélioration de la productivité des bassins canniers de la Réunion »

• *Chef de projet :* D. Pouzet	La Réunion
Alphonsine David (VAT)	La Réunion
Combres Jean-Claude	La Réunion
Dagallier Jean-Cyril	La Réunion
Lebret Pascal (VAT)	La Réunion
Lecanu Guillaume (VAT)	La Réunion
Martiné Jean-François	La Réunion
Méte Muriel (thèse)	La Réunion
Pouzet Denis	La Réunion
Siegmund Bernard	La Réunion
Todoroff Pierre (thèse)	La Réunion
Brossier Jean-Luc	La Réunion
D'export Jean-Paul	La Réunion
De Larichaudy Richard	La Réunion
Deurveilher Dany	La Réunion
Dijoux Marie-Vivienne	La Réunion
Hoarau Michel	La Réunion
Jeannette Michel	La Réunion
Le Mezo Lionel	La Réunion
Mouny Latchimy Bernard	La Réunion
Nativel Raymond	La Réunion
Philoté André	La Réunion
Promi Iréné	La Réunion

Projet « Stratégie des acteurs et compétitivité de la filière cannière en Guadeloupe »

• *Chef de projet :* Guillaume Patrice	Guadeloupe
Gay Jean-Pierre	Guadeloupe
Guyomard Gaëlle (VAT)	Guadeloupe
Marchat Michel (détaché)	Guadeloupe
Champ Sébastien (VAT)	Guadeloupe
Bonotto Sandrine (VAT)	Guadeloupe
Baron Hélène (thèse)	Martinique
Annette Annick	Guadeloupe
Calvados Omer	Guadeloupe
Carmel Sylvere	Guadeloupe
Coupan Jean-Marie	Guadeloupe
Efile Jean-Claude	Guadeloupe
Geoffroy Jocelyne	Guadeloupe
Kandassamy Alain	Guadeloupe
Laurent Maurena	Guadeloupe
Lubin Nadia	Guadeloupe
Perrot Sylvie	Guadeloupe
Poulet Jean-Luc	Guadeloupe

Projet « Accompagnement scientifique des productions sucrières »

• *Chef de projet :* Marion Daniel	Côte-d'Ivoire
Baran Richard	Montpellier
Brouwers Marinus	Montpellier
Langellier Bellevue Pierre	Côte-d'Ivoire
Poser Christophe	Montpellier
Volper Serge	Vietnam
Gaudin Rémi	Montpellier

Liste des sigles

Armes, Association réunionnaise pour la modernisation de l'économie sucrière, Réunion
Cerf, Centre d'essai, de recherche et de formation, Réunion
Cnra, Centre national de la recherche agronomique, Côte-d'Ivoire
Css, Compagnie sucrière sénégalaise, Sénégal
Ctcs, Centre technique de la canne à sucre, Martinique et Réunion
Ctics, Centre technique interprofessionnel de la canne et du sucre, Guadeloupe
Cuma, Coopérative d'utilisation de matériel agricole
Icsb, International Consortium for Sugarcane Biotechnologies
Ign, Institut géographique national, France
Inra, Institut national de la recherche agronomique, France
Ips, Industrial Promotion Services, Côte-d'Ivoire
Issct, International Society of Sugar Cane Technologists, Maurice
Msiri, Mauritius Sugar Industry Research Institute, Maurice
Odeadom, Office de développement de l'économie agricole des départements d'outre-mer, France
Qnsc, Quang Ngai Sugar Company, Vietnam
Saris, Société agricole et de raffinage industriel du sucre, Congo
Scri, Sugar Crop Research Institute, Egypte
Siri, Sugar Industry Research Institute, Jamaïque
Sica, Société d'intérêt collectif agricole
Sn-Sosuco, Société sucrière de la Comoé, Burkina Faso
Sogesca, Société de gestion des sucreries centrafricaines, République centrafricaine
Somdiaa, Société d'organisation de management et de développement des industries agricoles et alimentaires, France
Sosucam, Société sucrière du Cameroun, Cameroun
Sucaf-ci, Sucrerie africaine de Côte-d'Ivoire
Wicsbs, West Indies Sugar Cane Breeding Station, Barbade
Wisben, West Indies Sugarcane Breeding and Evaluation Network, Barbade

Le Cirad, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, est un organisme scientifique spécialisé en agriculture des régions tropicales et subtropicales. Sous la forme d'un établissement public, il est né en 1984 de la fusion d'instituts de recherche en sciences agronomiques, vétérinaires, forestières et agroalimentaires des régions chaudes.

Sa mission : contribuer au développement de ces régions par des recherches, des réalisations expérimentales, la formation, l'information scientifique et technique.

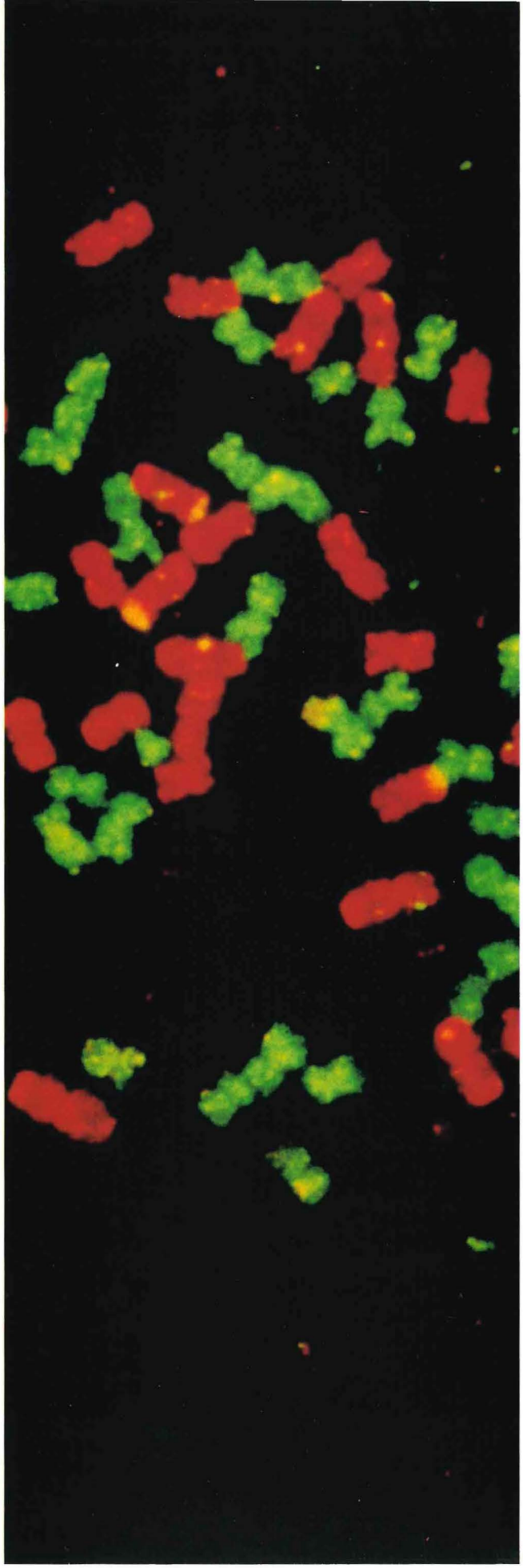
Il emploie 1 800 personnes, dont 900 cadres, qui interviennent dans une cinquantaine de pays. Son budget s'élève à 1 milliard de francs (152 millions d'euros), dont plus de la moitié provient de fonds publics.

Le Cirad comprend sept départements de recherche : cultures annuelles (Cirad-ca) ; cultures pérennes (Cirad-cp) ; productions fruitières et horticoles (Cirad-flhor) ; élevage et médecine vétérinaire (Cirad-emvt) ; forêts (Cirad-forêt) ; territoires, environnement et acteurs (Cirad-tera) ; amélioration des méthodes pour l'innovation scientifique (Cirad-amis). Ses activités sont organisées au sein de vingt-huit programmes. Le Cirad travaille dans ses propres centres de recherche, au sein de structures nationales de recherche agronomique des pays partenaires, ou en appui à des opérations de développement.

Centre
de coopération
internationale
en recherche
agronomique
pour le
développement

**Département
des cultures
annuelles
Cirad-ca**

**Programme
Canne à sucre**

TA 71/09
Avenue Agropolis
34398
Montpellier
Cedex 5
France
Téléphone :
33 (0)4 67 61 59 29
Télécopie :
33 (0)4 67 61 56 66
canne@cirad.fr

ISBN 2-87614-423-9