



Amélioration des itinéraires techniques de production de la canne à sucre

Bilan 2003 et perspectives

Pôle canne à sucre Réunion

Projet 4 « agronomie et modélisation »

Denis Pouzet, Aurélien Velle, Hugues Lombard et Audrey Thong-Chane



Cliché D. Pouzet. Région de Sainte Marie

Collecte des résidus de récolte de la canne à sucre pour l'élevage. Balles haute densité de plus de 200 kg

Saint Denis de La Réunion, mars 2004

AVANT PROPOS

Ce rapport fait le point des actions de recherches conduites au cours de l'année 2003 dans le cadre de l'opération CAS 101 du pôle canne à sucre du Cirad Réunion. L'objectif est double : il s'agit d'une part de faire un bilan des résultats obtenus et d'autre part de poser les bases de la programmation à développer à court et à moyen terme. Les informations sont rapportées par action de recherche. Celles-ci, au nombre de six concernent :

1. la correction de l'acidité des sols ;
2. la nutrition azoté et le diagnostic agronomique ;
3. le conseil en fertilisation ;
4. les résidus de récolte ;
5. le diagnostic agronomique et la modélisation ; et
6. la canne des hauts.

Nous avons développé synthétiquement par action : la problématique, le programme en cours, les principaux résultats 2003, les perspectives et les documents produits dans le courant de l'année.

TABLE DES MATIERES

I. CORRECTION DE L'ACIDITE DES SOLS CANNIERS.....	4
I-1. PROBLEMATIQUE GENERALE	4
I-2. PROGRAMME	4
I-3. RESULTATS 2003	4
I-4. PERSPECTIVES	5
I-5. DOCUMENTS.....	5
II. NUTRITION AZOTEE ET DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE	5
II-1. PROBLEMATIQUE GENERALE	5
II-2. PROGRAMME	5
II-3. RESULTATS 2003	6
II-4. PERSPECTIVES	6
II-5. COLLABORATIONS	6
II-6. DOCUMENTS	7
III. LE CONSEIL EN FERTILISATION.....	7
III-1. PROBLEMATIQUE GENERALE.....	7
III-2. PROGRAMME	7
III-3. RESULTATS 2003	7
III-3-1 <i>Approvisionnement</i>	7
III-3-2 <i>Fertilité des unités de sol cultivées</i>	8
III-3-3 <i>Identification des unités de sol</i>	10
III-3-4 <i>Nomenclature</i>	11
III-3-5 <i>Fiches d'analyses</i>	11
III-4. PERSPECTIVES.....	12
III-5. DOCUMENTS	12
IV. LES RESIDUS DE RECOLTE	12
IV-1. PROBLEMATIQUE GENERALE	12
IV-2. PROGRAMME	13
IV-3. RESULTATS 2003	13
IV-3-1 <i>Bibliographie</i>	13
IV-3-2 <i>Principaux résultats</i>	14
IV-4. PERSPECTIVES	15
IV-5. DOCUMENTS.....	16
V. DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE ET MODELISATION	16
V-1. PROBLEMATIQUE GENERALE.....	16
V-2. PROGRAMME :	16
V-3. RESULTATS 2003	16
V-4. PERSPECTIVES.....	16
VI. CANNE DES HAUTS.....	17
VI-1. PROBLEMATIQUE GENERALE	17
VI-2. PROGRAMME	17
VI-3. RESULTATS 2003	17
VI-3-1 <i>Cycle inter-récolte</i>	17
VI-3-2 <i>Ecartement inter ligne</i>	18
VI-4. PERSPECTIVES	19

I. Correction de l'acidité des sols canniers

I-1. Problématique générale

Rappelons que l'acidité d'un sol, mesurée par le pH, n'affecte directement la croissance des plantes que pour des concentrations très élevées en ion H^+ , que l'on ne rencontre que très rarement. Elle est indirectement néfaste aux cultures lorsqu'elle conduit à la libération des métaux dont certains comme l'aluminium sont phytotoxiques sous forme ionique (Al^{3+}) et limitent le développement racinaire. Les conseils actuels sont destinés à mettre les sols « acides » à un niveau de fertilité en accord avec toute production, y compris basophiles. Il en résulte des doses d'apport calco-magnésien très élevées. Le conseil est ainsi souvent économiquement inapplicable et peut entraîner une forte perturbation du milieu. Il est dès lors nécessaire d'adapter ces doses aux systèmes canniers et aux sols acides.

I-2. Programme

L'action de recherche développée porte sur (1) la définition des seuils de toxicité aluminiques des principaux cultivars de canne à sucre et l'adaptation du conseil à la monoculture et (2) sur l'évaluation des teneurs théoriques en Al^{3+} des principaux sols acides réunionnais.

I-3. Résultats 2003

Une série d'essais a été conduite dans l'optique de cultiver de la canne à sucre sur solution nutritive. Il s'agit de la seule méthode simple envisageable pour étudier l'effet de l'aluminium libre sur le développement racinaire. Les principaux résultats sont (1) la mise au point de techniques de production de 'plantules' de canne à sucre disposant de très peu de réserves trophiques et d'un système racinaire peu développé, pouvant être transférées facilement sur solution nutritive et (2) l'élaboration de solution nutritive avec contrôle du niveau de l'activité de l'aluminium.

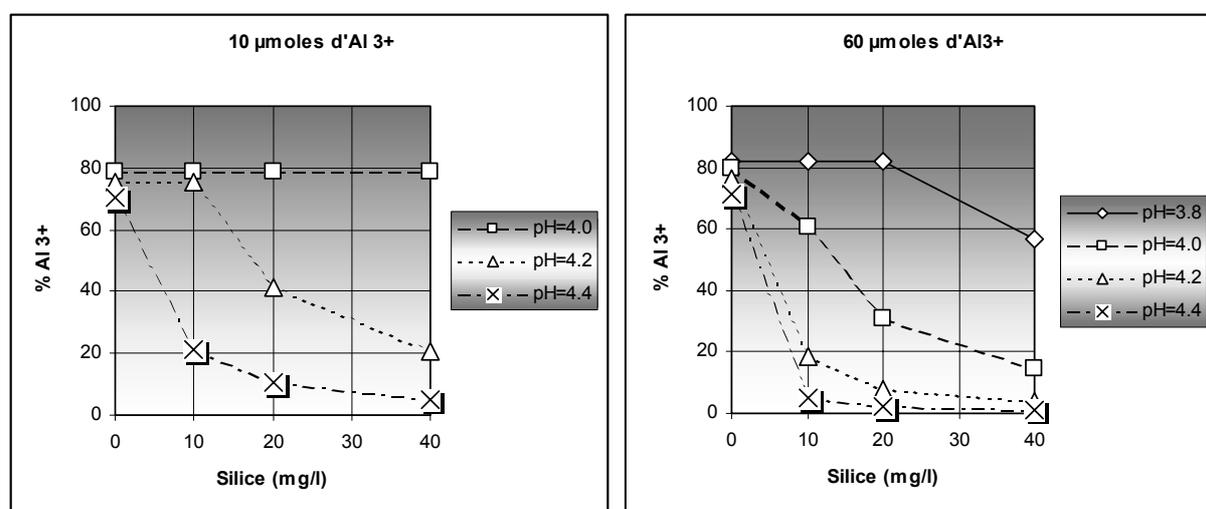


Figure 1 : Diminution de l'aluminium libre en présence de silice dissoute

Le contrôle de la qualité de l'eau destinée aux solutions nutritives nous a permis de constater que l'eau courante était à l'origine très chargée en silice dissoute, caractéristique qui semble lié au caractère andique des sols. Les simulations d'équilibres réalisées à l'aide du logiciel soilchem® à partir des caractéristiques minérales des solutions hydroponiques montrent que la silice contribue fortement à réduire la toxicité aluminique. Ainsi, pour 10 μmoles d'aluminium libre, l'apport de 10 mg/l de silice dissoute réduit la toxicité aluminique de 80% à pH 4.4 et commence à avoir une action positive dès pH 4.2 (figure 1).

Pour des solutions plus toxiques (60 μmoles d' Al^{3+}) L'effet de la silice apparaît à de plus faibles concentrations (moins de 10 mg/l) et dès pH 4.0.

Ces résultats sont d'autant plus intéressants que l'eau courante a une teneur élevée et variable en silice (5 à plus de 20 mg/l). On est en droit de penser que cette teneur est en

relation avec celle des solutions de sol. Beaucoup de silice en solution implique peu de risque de toxicité aluminique en relation avec une forte acidité du sol.

I-4. Perspectives

Les prochaines étapes expérimentales auront pour but :

- ❑ de déterminer la composition minérale et organique (dont la silice et les acides organiques susceptibles de chélater l'aluminium) des solutions de sols des principaux sols cannières acides, pour simuler les teneurs en aluminium libre.
- ❑ De déterminer les seuils de tolérance à Al^{3+} des principaux cultivars réunionnais.

Les résultats attendus devraient permettre de reconsidérer les normes du conseil en chaulage sur des bases mieux adaptées aux sols et aux cultures. Nous envisageons également la possibilité de mettre au point des tests simples de tolérance variétale à l'aluminium libre qui pourraient servir d'outil à la sélection de cultivars adaptés aux sols acides.

Des collaborations ont été établies dans le cadre de cette étude avec l'IRD (R. Poss), l'INRA (B. Jaillard, YM Cabidoche) et le département Amis (H. Calba). Une thèse pourrait être envisagée dans le cadre de cette action de recherche qui présente un double intérêt scientifique et appliqué et déborde largement de la seule problématique cannière et réunionnaise.

I-5. Documents

- ❑ Pouzet, D. Thong-Chane, A. Lombard, H., 2003. *Mise au point de la culture hydroponique de la canne à sucre pour l'étude de la toxicité aluminique*, Saint Denis CIRAD-CA, 11 p.
- ❑ Pouzet, D., Légier, P., 2003, **cartographie de l'indice d'acidité des sols cultivés, indice prenant en compte le pH, le Ca, le Mg et le rapport Mg/Ca IN : Fertilité des sols réunionnais cultivés**, Saint Denis, CIRAD CA, pp 26-34.

II. Nutrition azotée et diagnostic agronomique

II-1. Problématique générale

La fertilisation azotée de la canne à sucre est pilotée sur les complexes agro-industriels et les grosses exploitations par le diagnostic foliaire (mesure de la teneur en azote des feuilles), souvent couplé au contrôle régulier du niveau de matière organique du sol. Le diagnostic foliaire nécessite un laboratoire d'analyse et un travail préalable minutieux d'ajustement des teneurs foliaires aux paramètres 'sensibles' de la culture et de son environnement (cultivar, age, alimentation hydrique...). Les limites de la méthode sont dues à une corrélation généralement faible entre l'azote des feuilles et le rendement. Des tests directs basés sur la mesure instantanée au champ de la teneur en chlorophylle des feuilles ont été développés sur de nombreuses cultures et sont opérationnels. Il s'agit de mesure de 'couleur' dont l'unité caractérise l'absorption par la chlorophylle d'un rayonnement infrarouge traversant le limbe. L'appareil utilisé est un SPAD 502 de Minolta™ adapté aux mesures au champ. La bibliographie nous enseigne que la couleur semble généralement mieux reliée au rendement que l'azote (consommation de luxe en azote ?). Les études conduites sur la canne à sucre dans ce domaine sont peu nombreuses, partielles et plutôt négatives.

II-2. Programme

L'approche expérimentale consiste à rechercher les liens entre la couleur et l'azote des feuilles en étudiant l'influence des paramètres susceptibles de modifier la relation (cultivar, age, caractéristiques des feuilles, nutrition hydrique et azotée...). L'échantillonnage est celui couramment employé pour le diagnostic foliaire (tiers médian avec la nervure, des 3 feuilles les plus jeunes dont la ligule est visible). La bibliographie montre que pour de nombreuses cultures (riz, maïs, blé) la précision de la relation couleur*azote est améliorée si on prend en compte l'épaisseur de la feuille ou sa surface massique.

II-3. Résultats 2003

Une première étude conduite sur 2 ans et impliquant 5 cultivars et trois doses d'azote, a été exploitée en 2003 (Figure 2).

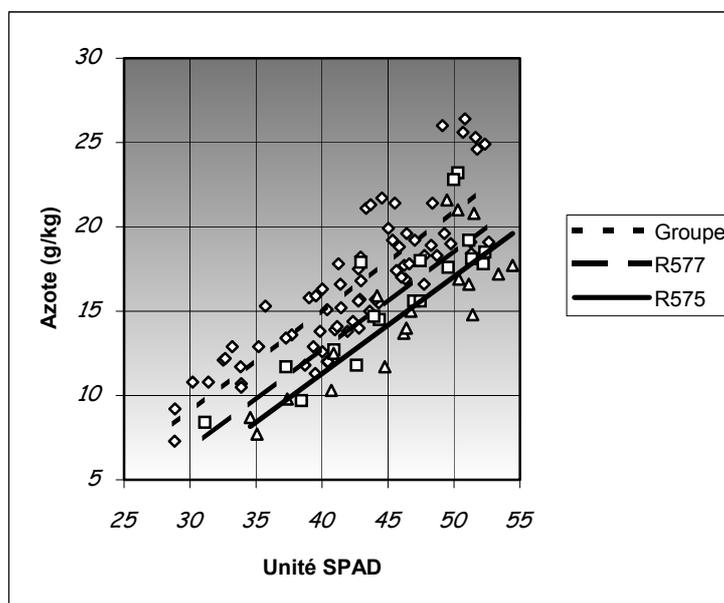


Figure 2 : Régression linéaire pour les trois groupes de cultivars

Les résultats montrent (1) une assez bonne relation linéaire entre couleur et azote (tableau 1), et (2) une classification des 6 cultivars testés en 3 groupes. Ce dernier point permet de penser que la couleur est susceptible d'apporter une aide à l'identification variétale par des mesures distantes (télédétection). Il permet en outre de développer une réflexion sur la variabilité du rendement photosynthétique des cultivars.

Tableau 1 : Paramètres statistiques des droites de régression après regroupement des cultivars

Groupe	Effectif	R ²	CV	Root MSE	Ord. origine	Pente
R570, R579, R572, R573	71	0,722931	13,52845	2,235434	-8,923654	+0,598133
R577	18	0,732794	13,55156	2,166744	-10,915934	+0,590426
R575	18	0,728457	15,10466	2,231294	-11,716429	+0,575317

II-4. Perspectives

Nous avons implantés en 2003 sur le site de La Mare un essai bloc à trois répétitions comparant pour trois cultivars de canne à sucre (R570, R575 et R579) avec 3 doses d'azote (0 ; 0,5 et 1) et deux types d'alimentation hydrique (pluvial et irrigué en goutte à goutte). Les mesures de couleur sont couplées avec des mesures d'épaisseur de feuille (micromètre numérique), tandis que l'analyse d'azote est rapportée à la biomasse sèche ainsi qu'à la surface foliaire (prélèvement de portion de limbe de surface connue).

Les retombées appliquées potentielles de la méthode concernent la télédétection (identification des cultivars ; évaluation du rendement). La mise en œuvre de mesures de couleur devrait être pertinente (1) pour piloter la nutrition azotée de la canne à sucre ; voir (2) pour estimer la richesse et (3) évaluer la production des parcelles. La mise au point d'outils de pilotage agronomique des parcelles cannières des complexes sucriers à partir de mesures de couleur est en cours de développement.

II-5. Collaborations

Des collaborations ont été établies dans le cadre de ce travail avec l'IRD (R. Poss) pour la valorisation scientifique et la CSS (D. Marion) pour la définition d'un référentiel technique et l'élaboration de diagnostics agronomiques sur un domaine sucrier du nord Sénégal.

II-6. Documents

- Pouzet, D., Velle, A., Thong-Chane, A., 2003. *Diagnostic de nutrition azotée au champs de la canne à sucre, par mesure photométrique Saint Denis, CIRAD-CA.* - 12 p.

III. Le conseil en fertilisation

III-1. Problématique générale

Le laboratoire d'analyse du Cirad, élabore des conseils en fertilisation qui servent de référence au déclenchement de subventions liées aux bonnes pratiques culturales. Il est nécessaire d'assurer le suivi et le contrôle de ces conseils mais aussi de les améliorer par des recherches spécifiques amont et des actions de formation et d'ajustement en aval. Ceci relève de la bonne gestion des sols cultivés dans le cadre de la durabilité des systèmes de production et plus spécifiquement d'une meilleure maîtrise des sources de pollution agricoles.

III-2. Programme

Le travail entrepris est ciblé sur les différents points permettant d'améliorer la qualité du conseil mais aussi de l'adapter aux nouvelles techniques de production (accroissement des rendements, gestion de la biomasse résiduelle, introduction des effluents...). Les actions conduites répondent soit à des demandes des clients (agriculteurs) soit à des résultats de recherches.

III-3. Résultats 2003

III-3-1 Approvisionnement

L'étude est basée sur le constat que les formulations d'engrais fabriquées en bulk blending à La Réunion ne correspondaient pratiquement plus, en 2002, aux engrais conseillés pour la canne à sucre.

La fertilisation d'entretien annuel de la canne à sucre est réalisée dans la quasi totalité des cas par un engrais ternaire dont l'équilibre est rarement celui du conseil. Or, nous avons démontré que l'emploi d'un équilibre adapté au sol, se traduisait par une augmentation significative du rendement (plus de 10% dès la troisième coupe). Si l'engrais ternaire conseillé n'est pas disponible, l'équilibre ne peut être atteint que par l'usage de plusieurs engrais. Ceci est anti-économique et difficile à vulgariser compte tenu des calculs de doses à prévoir. L'agriculteur se contente donc d'appliquer la dose conseillée de l'engrais disponible quelque soit sa formulation NPK.

Nous avons en conséquence étudié la fréquence des formulations conseillées à partir de la base de donnée du laboratoire d'analyse (tableau 2). Des rencontres avec les deux fabricants d'engrais réunionnais ont alors aboutit à la mise sur le marché de quatre engrais ternaires couvrant plus de 75 % de besoins des agriculteurs. La marge d'écart entre l'équilibre commercialisé et l'équilibre conseillé ne doit pas excéder 10%. La dénomination commerciale proposée, mais non agréée actuellement par les fabricants, a pour objectifs de simplifier l'approvisionnement, le choix des agriculteurs et les conseils des agents du développement.

Tableau 2 : Conseils dominants, tout sols confondus

Formulation			Effectif des conseils		Proposition de dénomination commerciale
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Nombre	%	
120	70	200	4676	42,3	Engrais canne à sucre standard
120	200	200	1639	14,8	Engrais canne à sucre renforcé en phosphore
160	70	200	1102	10,0	Engrais canne à sucre renforcé en azote
120	70	400	990	9,0	Engrais canne à sucre renforcé en potasse
23 autres cumulées			2644	23,9	
Total			11051	100,0	

III-3-2 Fertilité des unités de sol cultivées

Nous avons recherché à caractériser la fertilité des unités de sol cultivées et à analyser leur évolution à partir de 11 années de résultats analytiques géoréférencés de la base de données du laboratoire d'analyse du laboratoire.

L'analyse statistique montre que les principales unités de sol peuvent être statistiquement différenciées en fonction de leur niveau de fertilité évalué sous forme d'indices caractérisant les éléments majeurs (N, P et K) et l'acidité (pH, Ca et Mg) (tableau 3). Un exemple de cartographie de ces indices par unité de sol est donné page 9.

L'indice de fertilité azotée moyen, tous sols cultivés confondus, est proche de la normale. Les unités de sol à caractère andique sont les moins susceptibles de minéraliser l'azote pour les cultures et correspondent à des zones où les doses d'azote conseillées sont les plus élevées. On retrouve dans ce classement les liaisons chimiques fortes exercées par les allophanes sur les acides organiques ainsi soustraits à la minéralisation. Les sols ferrallitiques bien que généralement pauvres en matière organique ont un indice azoté proche de la normale. Les sols bruns et les sols vertiques, bien pourvus en matière organique, ne nécessitent que des apports d'azote limités pour l'entretien de la culture. On peut penser à une évolution dans le temps de l'indice de fertilité azotée, liée aux nouvelles pratiques en cours comme la récolte en vert, l'exportation de tout ou partie des résidus pour l'élevage et le recyclage des effluents d'élevage sur la sole agricole.

L'indice de fertilité phosphatée met aussi en évidence les sols andiques caractérisés par une forte fixation du phosphore. La fertilisation phosphatée de ces sols doit être renforcée pour que l'excédent non fixé dans les allophanes soit disponible pour la plante. Les sols vertiques, bruns et ferrallitiques sont relativement bien pourvus en phosphore assimilable.

Le potassium est un élément très mobile dans le sol. Très soluble, il peut être facilement entraîné hors de portée des racines. Il fait par ailleurs l'objet de surconsommation par la canne à sucre, qui peut facilement en absorber des quantités supérieures à ses besoins trophiques. Il s'agit donc d'un élément difficile à gérer. L'indice potassique est toujours inférieur à la moyenne hormis pour les unités brun andiques. Une des traductions que l'on peut faire de cette situation est que, en l'absence de symptômes avérés de carence potassique, les doses conseillées ne sont pas excessives mais bien suffisantes. Il apparaît donc à l'analyse que le conseil contribue à ce jour à une gestion satisfaisante de la fertilisation potassique. Les sols andiques perhydratés vertiques et andiques sont particulièrement pauvres en potassium et nécessitent le plus souvent des apports renforcés. Les sols ferrallitiques, bruns et brun andiques en sont légèrement déficients ou correctement pourvus.

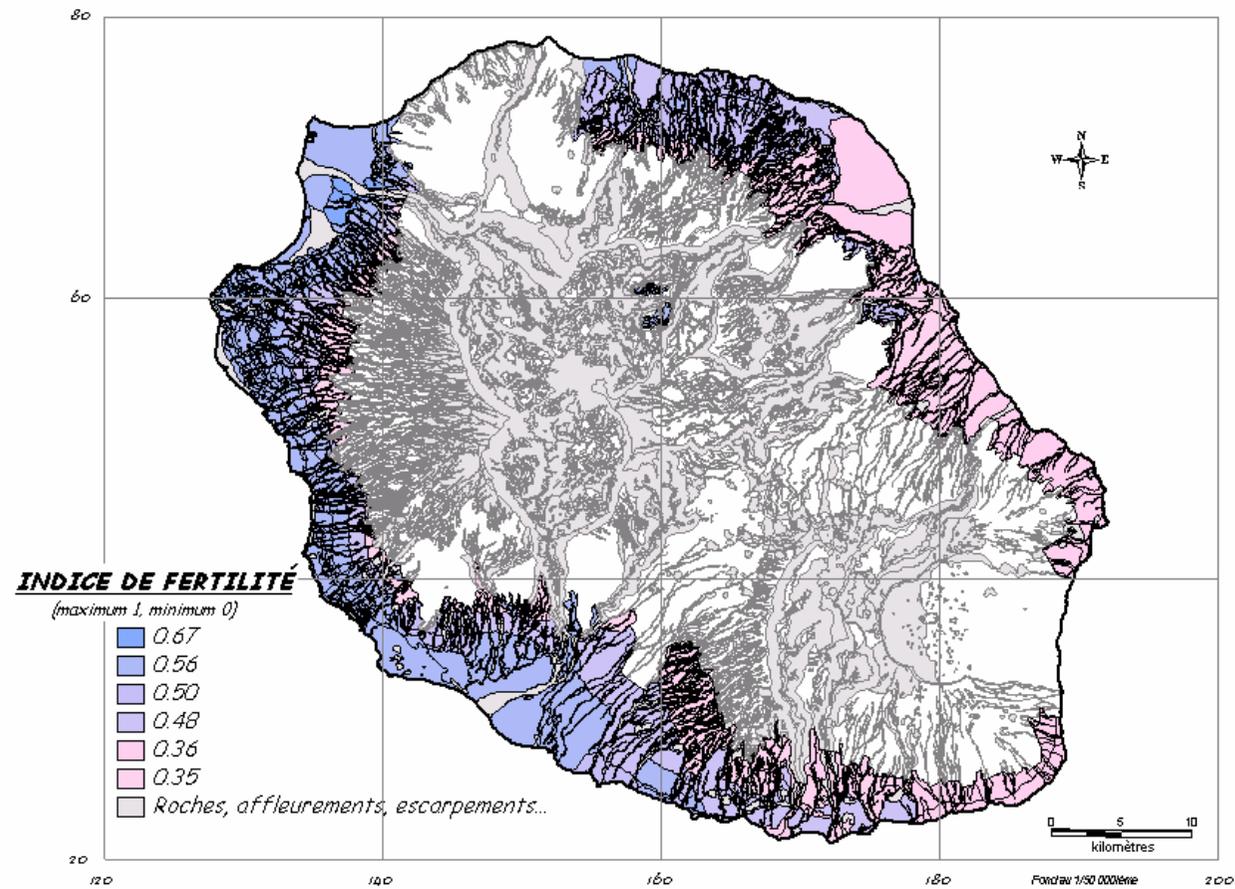
L'indice d'acidité 'normal' correspondant à une valeur légèrement supérieure à 0,80, seuls les sols bruns et vertiques ont une acidité que l'on pourrait qualifier de moyenne. Toutes les autres unités peuvent être qualifiées d'acides. Cette constatation est en accord avec la logique d'acidification des sols sous culture intensive avec apports de fertilisant sous formes d'engrais minéraux plus ou moins acidifiants. Le classement prend aussi en compte le caractère naturellement acide de certaines laves dont les sols notamment ferrallitiques sont originaires.

Les différents classements mettent en évidence la bonne fertilité chimique des sols bruns, ferrallitiques et vertiques et le caractère particulier des sols bruns andiques qui présentent notamment les indices de fertilité phosphatée les plus bas et potassique les plus élevés (tableau 3).

Tableau 3 : Résumé des classements des sols pour la fertilité chimique

Indice de fertilité	Faible -----> Classes de fertilité -----> Forte				
	Azotée	Andique, Andique perhydraté		Brun andique, Ferrallitique	
Phosphatée	Brun andique	Andique perhydraté, Andique	Vertique	Brun, Ferrallitique	
Potassique	Andique perhy.	Vertique	Andique	Ferrallitique, Brun	Brun andique
Acidité (Ca, Mg, pH)	Andique	Ferrallitique	Andique perhy.	Brun andique	Brun, Vertique

Fertilité azotée de la sole cannière



Rappelons que si ces indices permettent de différencier statistiquement les unités de sols ou des groupes d'unités, ils ne peuvent servir de base à l'élaboration du conseil en fertilisation. Nous avons en effet démontré que la variabilité de la fertilité à l'échelle de la petite région ou de la parcelle était telle que le conseil ne pouvait être régionalisé par extrapolation d'une parcelle à ses voisines.

L'analyse de l'évolution temporelle des indices de fertilité montre qu'il existe une structure statistique complexe entre les indices et l'année. Les informations dont nous disposons ne permettent pas d'expliquer les variations annuelles des indices qui peuvent fluctuer de manière importante d'une année sur l'autre. La période de 11 ans couverte par la base de données apparaît de fait insuffisante pour mieux analyser le phénomène et faire ressortir d'éventuelles tendances. Seul le potassium est indépendant de l'année. L'indice azoté tend à évoluer positivement avec le temps. Ce phénomène est conforme aux résultats des recherches sur l'évolution à long terme de la matière organique sous monoculture de canne à sucre sans brûlis des résidus de récolte.

Ces résultats, qui ne mettent pas en évidence d'enrichissement ou d'épuisement minéraux avérés, tendent à valider la politique de fertilisation de la canne à sucre développée par le Cirad.

III-3-3 Identification des unités de sol

De nombreuses erreurs dans l'élaboration du conseil proviennent aujourd'hui d'une identification erronée du type de sol (mauvaise lecture GPS, erreur de localisation cartographique, sol provenant d'un endroit différent de la déclaration...). Le conseil n'est de fait valide que si il a été élaboré à partir des grilles d'interprétation du sol échantillonné ; chacune des six unités de sol réunionnaises disposant de grilles spécifiques, très différentes les unes de autres.

Une étude des liens statistiques portant sur les paramètres analytiques de quelques 30000 données de la base du laboratoire montre que le découpage en unités de sol que nous avons adopté est plus rigoureux que les autres découpages existants.

La comparaison des unités de sol avec des unités obtenues par regroupement statistiques des données (application de la méthode des nuées dynamiques aux facteurs définis par l'analyse factorielle des correspondances multiples) ou par classification (analyse discriminante linéaire et analyse non linéaire) montre que les relations existent mais sont trop faibles pour être exploitées. En effet, ces méthodes statistiques descriptives ne parviennent à classer que 60 à 65% des analyses dans les bonnes unités.

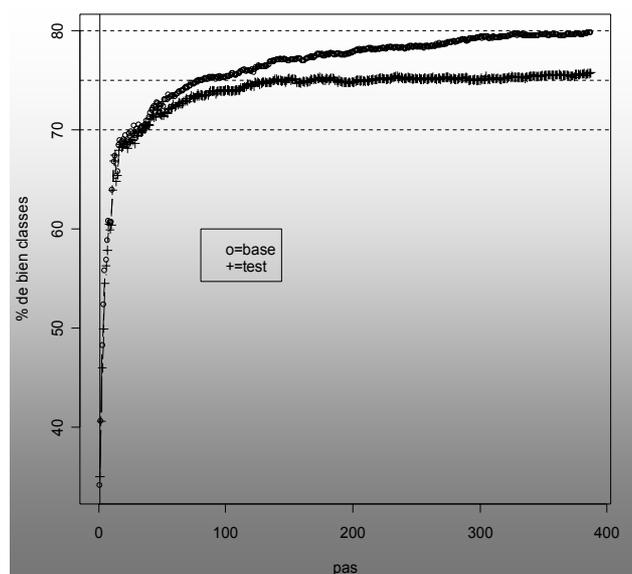


Figure 3 : Pourcentage d'analyses bien classées dans leur unité de sol pour l'ensemble de l'île

Par contre, l'utilisation du « boosting » donne des résultats exploitables. Le boosting est une procédure d'apprentissage fonctionnant sous Unix, qui permet d'obtenir des règles de prédictions très précises par des combinaisons linéaires de règles de décisions simples et imprécises. La base de données a été partagée en deux, la première partie servant à construire les règles de décision (classification) et la seconde à les tester. Les résultats obtenus avec l'ensemble de la base montrent que 80% des échantillons sont bien classés au delà de 350 réitérations (Figure 3).

La prédiction est encore améliorée si on limite la base à une zone géographique définie comme la zone climatique ou l'altitude. Le pourcentage d'échantillons bien classés est alors de l'ordre de 90%. Ainsi, en prenant la zone climatique 3 (une des 23 zones climatiques de l'île), 80% des échantillons sont bien classés après une quarantaine de réitérations. Le chiffre atteint 90% au delà de 250 réitérations (figure 4).

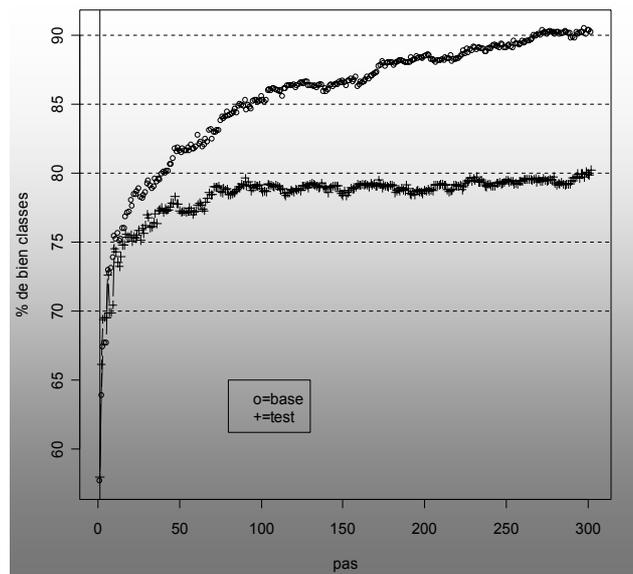


Figure 4 : Pourcentage d'analyses bien classées dans leur unité de sol pour une zone climatique

Ce résultat est logique, puisque le nombre d'unité de sol dans une zone géographique restreinte est inférieur à celui de la totalité de l'île.

Le boosting peut donc apporter une aide considérable à l'identification des unités de sol à partir des valeurs analytiques, soit en confirmant un choix, soit en l'invalidant ou en indiquant la présence d'une pollution au niveau de l'échantillon.

III-3-4 Nomenclature

La nomenclature actuelle des sols réunionnais n'est plus adaptée à ses fonctions. Elle date d'une époque où les andosols étaient très mal connus. Elle est en outre basée sur les caractéristiques morphopédologiques alors que les nomenclatures internationales en usage dépendent des teneurs chimiques du sol. Les conséquences sont une absence ou une grande difficulté à trouver un équivalent dans une classification internationale. Ceci rend d'une part nos résultats incompréhensibles aux chercheurs extérieurs et d'autre part une difficulté pour La Réunion d'appliquer des résultats obtenus dans d'autres pays. Une réflexion débouchant sur un projet de requalification des sols réunionnais dans une nomenclature internationale a été élaboré en 2003.

III-3-5 Fiches d'analyses

Les futures fiches de demande d'analyse données aux agriculteurs devront comporter des informations sur le rendement prévisionnel, les modalités de récolte (estimation des résidus) et l'utilisation qualitative (nature) et quantitative d'effluents sur la parcelle. En outre, une copie du SIG parcellaire cannier correspondant à la parcelle à analyser doit être envisagée pour 'sécuriser' le repérage.

III-4. Perspectives

Les actions programmées à court terme concernent :

- ❑ La réécriture du système expert dans le cadre de la mise en route d'un nouveau programme de gestion du laboratoire.
- ❑ La mise en œuvre du projet précédemment évoqué de requalification des sols.
- ❑ L'amélioration du processus d'identification de l'unité de sol à laquelle se rattache la parcelle analysée par le couplage d'un module SIG et du boosting. Le SIG a pour rôle d'identifier le type de sol à partir des coordonnées de la parcelle où de qualifier le niveau d'hétérogénéité à l'échelle du repérage. Le boosting sera incorporé au système expert pour indiquer après analyse de l'échantillon (1) l'unité de sol la plus probable et (2) la précision de l'identification. Ces données pourront faciliter le choix dans le cas où le SIG indique une hétérogénéité.
- ❑ L'amélioration du repérage géographique des parcelles en récupérant auprès de la DAF les fiches parcellaires associées aux replantations.
- ❑ La correction du conseil en fonction de la production espérée. Il s'agit de remplacer le mode proportionnel actuel par un mode moins que proportionnelle, basé sur les courbes de dilution minérales des deux principaux cultivars.
- ❑ La prise en compte des modalités de gestion des résidus de récolte dans l'évaluation quantitative des apports minéraux conseillés .
- ❑ L'introduction d'une base de données effluent dans le système expert, afin, de comptabiliser les apports minéraux correspondant dans le bilan minéral de la parcelle.
- ❑ La mise au point de nouvelles fiches de demande d'analyse adaptées aux nouvelles évolutions du système expert, avec mentions du rendement prévisionnel (ajustement du conseil), des modalités de récolte (estimation des résidus) ainsi que la nature et la quantité des effluents que l'agriculteur prévoit d'utiliser.

III-5. Documents

- ❑ *Gomes C., 2003. Mise au point d'un outil d'aide à la décision. Caractérisation et identification des unités de sol à partir des analyses chimiques de la base géoréférencée du Cirad Réunion. Stage de Maîtrise MAAS, Cirad Montpellier, 53 p.*
- ❑ *Pouzet, D., Legier, P., 2003. Distribution statistique des conseils en fertilisation d'entretien de la canne à sucre à la Réunion. Saint Denis, CIRAD , 18 p.*
- ❑ *Pouzet, D., Légier, P., 2003. Fertilité des sols réunionnais cultivés, Saint Denis, CIRAD CA, 34 p.*

IV. Les résidus de récolte

IV-1. Problématique générale

La biomasse résiduelle de la culture de canne à sucre est considérable. Avec une moyenne de 11 à 12 t/ha de matière sèche, elle est plus importante que la production de matière sèche utile de n'importe quelle culture tempérée. Ses applications sont multiples (litière/alimentation pour l'élevage, mulch...) et sa gestion contraignante (problèmes d'application des engrais et des herbicides, levée de la canne à sucre, labour de replantation, volatilisation de l'urée, accumulation une année sur l'autre en zone sèche...). Or, ces résidus de récolte constituent un élément nouveau dans la mesure où ils étaient systématiquement brûlés avant récolte à La Réunion et le sont encore dans de nombreux pays. La récolte en vert ne s'est développée que ces dernières décennies pour des raisons surtout environnementales et du fait de l'avènement de récolteuses mécaniques suffisamment puissantes. Peu de pays ont l'expérience réunionnaise de la gestion de ces résidus qui correspondent à une ressource en carbone importante qui mérite d'être valorisée.

IV-2. Programme

Des prélèvements sont effectués lors de chaque campagne sur des parcelles cultivées dont on connaît la localisation, le rendement déclaré par l'agriculteur, la date de récolte précédente, le cultivar et les modalités de récolte (mécanique, manuelle, canne propre...). Ils sont sous échantillonnés en canne et non canne, pesés et analysés (N, P, K, Ca, Mg).

IV-3. Résultats 2003

La campagne 2003 a été l'occasion d'une première synthèse bibliographique des connaissances acquises sur les résidus de récolte et d'une synthèse des résultats obtenus depuis 3 ans à La Réunion.

IV-3-1 Bibliographie

La biomasse laissée au sol après récolte en vert varie de 7 à 12 t de MS/ha en Australie à 13 à 20 t au Brésil. Il existe une relation linéaire entre le rendement en canne et la biomasse résiduelle. Elle dépend des conditions locales de culture et doit donc faire l'objet d'évaluation locale.

La conservation des résidus améliore la statut organique des sols. Les chiffres cités sont un accroissement du carbone organique de 0.2% dans les 10 cm superficiels en 5 ans. Le gain atteint 5 à 5,8% sur une longue durée (58 ans). Cependant, la gestion des résidus ne semble pas affecter le potentiel de minéralisation du sol. La conservation des résidus de récolte permet également un meilleur stockage et une meilleure libération des éléments minéraux. Cependant, la cinétique de décomposition est spécifique à chaque milieu.

Les auteurs estiment que 40% des résidus sont décomposés en 3 mois et 80 à 98% en un an. Entre 2 à 18% de la biomasse est encore présente l'année suivante (12% en moyenne en Australie). Il en résulte des phénomènes possibles d'accumulation dont le terme est la replantation. La vitesse de décomposition dépend de nombreux facteurs abiotiques dont la température, l'eau, l'oxygène, la surface de contact entre le sol et les résidus, le rapport C/N, les teneurs en lignine, en hémicellulose, en phénol... et de facteurs biotiques parmi lesquels la faune du sol. Les hydrates de carbone solubles des résidus, libérés plus vite que ceux qui constituent la structure de la plante, fournissent l'énergie à la microflore qui immobilise l'azote minéral. Les minéraux présents sous forme ionique ou facilement solubles (K, Mg) sont les premiers libérés et souvent perdus. On estime ainsi que 80% du potassium est lixivié au cours des 3 premiers mois. L'azote est libérée lentement.

La vitesse de décomposition peut être accélérée, en dehors des apports d'azote, par des apports de mélasse et des techniques de mulchage. La mélasse accroît l'activité microbienne par l'enrichissement en carbone, protéines et vitamines divers qu'elle procure. Les techniques de mulchage, qui consistent à mélanger en surface les pailles et la terre par une intervention mécanique agit en augmentant les surfaces d'échange paille/sol et l'humidité.

La levée post récolte est généralement meilleure en présence de résidus qui diminuent significativement le nombre de manquant tout en contribuant à un meilleur contrôle de l'enherbement. Un cas d'effet allélopathique limitant le bourgeonnement de la canne est cependant signalé. Il semble lié au cultivar et à un excès d'eau. Les résidus contribuent à réduire la température du sol de 2 à 4°C, augmentant la durée entre la récolte et le début du bourgeonnement. Pour ce dernier point, nous pensons au contraire que la température du sol devrait être améliorée par la couverture de résidus dans les hauts ou les températures moyennes sont faibles. La technique pourrait alors contribuer à accélérer le bourgeonnement.

De nombreuses études font état de l'amélioration de la structure des sols du fait de la présence de résidus en place. Les agrégats ont une structure améliorée sur le long terme (effet sur le carbone organique et sur les propriétés biologiques). La surface est protégée de l'agression des pluies (diminution des phénomènes de croûte et de battance) et l'érosion comme le ruissellement sont mieux contenus.

La conservation des résidus de récolte a un effet positif sur la gestion de l'eau que la ressource soit trop abondante ou insuffisante. Elle contribue à augmenter la conductivité hydrique (effet sur les agrégats et maintien des biopores) et le drainage profond et limite le ruissellement. Ceci peut notamment conduire à diminuer les besoins en irrigation. De meilleurs rendements sont observés avec conservation des résidus dans les zones où alternent des périodes de sécheresse et d'excès d'eau.

Si il n'est pas envisageable que l'azote des résidus bénéficie en totalité à la culture, on estime que 85% de celui qui aurait été perdu par brûlis est stocké sous forme de matière organique dans le sol. La quantité d'azote restituée à la culture varie de 40 à 100 kg/ha/an. Compte tenu des phénomènes de dénitrification et de lessivage, l'économie maximale possible d'engrais azoté plafonnerait autour de 25% des apports conseillés. Rappelons que la plupart de l'azote disponible est dans un premier temps immobilisée pour la décomposition des résidus.

Peu de résultats sont disponibles en matière d'impact des résidus sur le rendement. Certains résultats font état d'absence d'impact. D'autres situent les premiers bénéfices significatifs à partir de la seconde ou troisième coupe. Un auteur signale un effet négatif sur la richesse par le biais d'un maintien de l'humidité du sol et donc de la phase de croissance de la culture (sevrage retardé).

Cette synthèse montre l'importance d'une bonne gestion de la biomasse résiduelle dans le cadre d'une production durable. Un effort de recherche doit être développé pour adapter ces données au contexte réunionnais et quantifier cette biomasse dans les conditions locales d'itinéraires techniques par des modèles appropriés.

IV-3-2 Principaux résultats

Un questionnaire proposé aux agriculteurs échantillonnés montre que la biomasse résiduelle est plutôt perçue pour ses avantages :

- Un frein efficace au développement des mauvaises herbes.
- Une amélioration organique du sol et d'un complément de nutrition minérale.
- La conservation de l'humidité du sol et meilleure alimentation hydrique
- La protection du sol contre l'érosion due aux fortes pentes ou à la pluie
- La protection des souches dans les Hauts de l'Ouest (ensoleillement)

Parmi les inconvénients cités, nous trouvons :

- Un obstacle aux opérations de travail du sol au moment de la replantation
- Une niche aux ennemis de la culture comme les larves de noctuelles ou les rats.
- Une augmentation de main d'œuvre pour la gestion optimale en coupe manuelle.
- Un vecteur d'incendies criminels.
- Un masque aux fuites en irrigation.

Les mesures effectuées en 2003 complètent celles des années précédentes. Les tableaux de contingence sont cependant encore trop déséquilibrés pour quantifier les effets séparés des modalités de récolte et des cultivars (tableau 4).

Tableau 4 : Echantillonnage total actualisé (2000 à 2003)

Cultivars	Type Récolte						Total
	Manuelle			Mécanique			
	Dépaillée	Brûlée	Non dépaillée	Entières	Tronçonnées	Tronçonnées brûlées	
R570	18		2	4	5		29
R573			1				1
R575		1					1
R577	1		1				2
R579	6			9	17	2	33
Total	25	1	4	13	22	2	67

Sur un effectif total de 67 prélèvements, 54 correspondant à deux cultivars et trois modalités de récolte (manuelle dépaillée, et mécanique canne entière ou tronçonnées) sont suffisamment bien représentés pour quantifier des valeurs approchées de biomasse résiduelle.

La modalité coupe manuelle canne non dépaillée est peu représentée alors qu'elle est courante. La qualification de la propreté des livraisons est subjective puisque déclarative et les transporteurs ont du mal à laisser les résidus (feuilles vertes et sèches) au sol lors du chargement. La biomasse résiduelle sèche est résumée tableau 5 :

Tableau 5 : Biomasse résiduelle et rendement

Echantillonnage	Rendement en t/ha de cannes livrées*		Biomasse résiduelle sèche (t/ha)**	
	Moyenne	Ecart (±)	Moyenne	Ecart (±)
Tous (67)	105.45	8.22	11.68	2.93
Bien représenté (54)	109.67	8.31	11.75	1.78

* rendement déclaratif de l'agriculteur ** mesurée par pesées

La relation linéaire entre la biomasse résiduelle sèche BR (t/ha) et le rendement en canne Rdt (t/ha) est significative ($BR = 0,162 \cdot Rdt$) mais le coefficient de corrélation est faible (forte dispersion des points).

Le cultivar R579 produit statistiquement plus de biomasse résiduelle que le R570 (tableau 6), toutes modalités de récolte confondues. Il n'y a pas de différence statistique entre les biomasses résiduelles obtenues, tous cultivars confondus entre coupe manuelle dépaillée et coupe mécanique canne entière. Par contre, la coupe mécanique cannes tronçonnées produit plus de biomasse résiduelle que les deux autres modalités.

Tableau 6 : Biomasse résiduelle moyenne des échantillons suffisamment représentés

Modalités	Cultivars	Statistiques (t/ha de MS)	Récolte			Total
			Manuelle dépaillée	Mécanique cannes entières	Mécanique cannes tronçonnées	
R570		Effectif	17	3	4	24
		Moyenne	9,87	13,37	9,33	10,22
		Ecart (±)	2,22	6,93	1,53	4,61
R579		Effectif	5	9	16	30
		Moyenne	11,50	9,56	15,35	12,97
		Ecart (±)	3,64	3,55	4,25	2,75
Total		Effectif	22	12	20	54
		Moyenne	10,24	10,51	14,15	11,75
		Ecart (±)	1,93	3,32	3,58	1,78

L'analyse minérale des différentes composantes des résidus collectés est en cours. Seuls 38 des 67 échantillons sont actuellement analysés. Les résultats ne font donc pas l'objet d'une analyse approfondie mais seulement d'un calcul de moyenne (tableau 7).

Tableau 7 : Mobilisations minérale moyenne de la biomasse résiduelle pour 100 t de canne à sucre

Statistiques	N	P	K	Ca	Mg
Moyenne (Kg)	72,37	7,6	141,19	31,9	15,8
Ecart(±) en Kg	2,50	2,5	65,6	9,1	5,2

IV-4. Perspectives

Cette étude nécessite un échantillonnage plus complet afin d'isoler les effets des cultivars et des modalités de récolte, étape indispensable à la modélisation. Les actions à développer en priorité à court terme sont :

- ❑ Multiplier les mesures au cours des campagnes de récolte suivantes en privilégiant les modalités les moins bien renseignées.
- ❑ Quantifier la biomasse résiduelle d'une récolte à l'autre pour la modéliser en fonction du climat et des modalités d'irrigation (goutte à goutte ou aspersion).

- ❑ Adapter les itinéraires techniques aux résidus, avec pour cibles essentielles la gestion de l'enherbement et celle de la fertilisation.

IV-5. Documents

- ❑ *Jaglale, V., 2003. Estimation des résidus de récolte de la canne à sucre. Stage de première année ISA, Saint Denis, CIRAD CA, 33 p.*

V. Diagnostic agronomique et modélisation

V-1. Problématique générale

Le modèle de croissance MOSICAS, validé aujourd'hui sur le cultivar R570, calcul des rendements simulés en conditions pluviales ou irrigués. Des enquêtes sont conduites pour quantifier les effets des itinéraires techniques (cultivar, numéro de repousse, alimentation hydrique...) sur les écarts entre les rendements réels et les rendements simulés. Cette étude concerne aussi dans le cadre de l'action précédente la simulation de la biomasse résiduelle. Les objectifs principaux sont :

- ❑ Voir dans quelle mesure le rendement simulé en biomasse utile ou résiduelle est un paramètre fiable de diagnostic de production de la parcelle cultivée afin de mettre au point des outils de simulation destinés au développement et à la production.
- ❑ Faire évoluer le modèle en prenant en compte les modalités techniques non simulées qui ont un effet important sur l'écart. La base de données constituée par les rendements réels permet de tester à la demande les nouvelles fonctionnalités ajoutées au modèle.

V-2. Programme :

Des enquêtes sont réalisées chez des exploitants disposant de bases de données parcellaires. Les relevés annuels (calendrier de culture, cultivar, numéro de repousse, surface, modalités hydriques...) sont contrôlés. Le parcellaire est relevé à l'aide de GPS pour préciser les surfaces et localiser les parcelles par rapport aux stations météorologiques dont les relevés climatiques seront utilisés pour les simulations. L'écart entre les rendements simulés et réels est analysé en recherchant l'effet des covariables (cultivar, repousse...). Un complément d'enquête est ensuite entrepris auprès des agriculteurs pour analyser les anomalies. Un travail similaire est réalisé auprès des exploitants intervenant dans l'estimation des résidus de récolte.

V-3. Résultats 2003

Une base de plus de 400 couples rendement simulé / rendement réel a été élaborée en 2002. Elle est en cours d'actualisation pour les rendements de 2003. Elle est complétée par une trentaine de couples résidus théoriques / résidus réels.

Les études statistiques sont en cours. Les premiers résultats montrent que l'écart entre le rendement simulé et le rendement réel est toujours positif. Il est en moyenne de 37 t de canne en condition pluvial et de 57 t de canne sous irrigation pour le cultivar R570. Les chiffres pour le cultivar R579 sont respectivement de 24 et de 36 t. La variabilité des écarts est plus élevée pour le cultivar R579 que pour le R570. Les premières analyses mettent en évidence les effets de l'irrigation, de l'âge à la récolte et du nombre de repousse sur l'écart pour les deux cultivars. Un premier compte rendu d'étude est programmé pour le début de l'année 2004.

V-4. Perspectives

La principale perspective est la mise au point d'outils de diagnostic agronomique pour la canne à sucre. Elle est d'autant plus importante qu'elle intéresse directement la recherche agronomique fortement contrainte dans ses capacités à évaluer le rendement de la culture (pénurie en budget et main d'œuvre agricole). Une méthodologie expérimentale basée sur la prise en compte de traitements simulés dans un contexte climatique donné avec une

vérification à posteriori des conclusions (mesures limitées et ciblées sur le terrain) constitue de fait un élément favorable au maintien d'une recherche agronomique cannière.

VI. Canne des hauts

VI-1. Problématique générale

Ce programme est lié à une volonté de revaloriser la production cannière d'altitude à La Réunion. La culture constitue en altitude le pivot économique de nombreuses exploitations agricoles. Elle y représente en outre environ 25% des surfaces cannières de l'île et 20% de la production.

La production cannière d'altitude provient pour l'essentiel de petites exploitations diversifiées et peu mécanisées. La pratique de cultures sarclées intercalaires aux cannes y est fréquente. Les rendements sont faibles du fait de l'absence actuelle de cultivars résistant au froid (sélection en cours). L'enherbement constitue une contrainte majeure liée à la faible vitesse de fermeture du couvert après la coupe ou la replantation. On relève fréquemment des délais de 7 mois en altitude entre la coupe et la fermeture du couvert, ce qui correspond à plusieurs cycles de fructification d'adventices adaptées aux basses températures. Ce délai de fermeture est ramené à 3 mois en basse altitude. Notons enfin que le parcellaire 'montagneux' et l'isolement routier sont autant de frein à une mécanisation rendue nécessaire par l'évolution sociale et la rareté de la main d'œuvre agricole.

VI-2. Programme

Les recherches développées portent sur une amélioration de l'itinéraire technique pour compenser l'inadaptation des cultivars actuels aux basses températures. Notre objectif essentiel a été de réduire la période critique post-plantation ou coupe, pendant laquelle le couvert n'est pas fermé, en jouant sur l'écartement entre lignes de plantation ou le cycle des récoltes. Les principales conséquences attendues sont une meilleure maîtrise de l'enherbement, une production plus élevée (accroissement de la période couvert fermé du cycle de production) et moins de risques d'érosion. La conception d'une mécanisation individuelle ou collective adaptée aux conditions d'altitude et aux itinéraires techniques spécifiques que nous élaborons constitue un facteur important de l'action.

Une campagne expérimentale conduite sur des parcelles de production a été initiée en 2001 dans le but de tester nos propositions techniques théoriques chez des agriculteurs. Il s'agit de tests de resserrement et de cycle de récolte. L'exploitation statistique des résultats ne pourra pas intervenir avant 2006, lorsque nous disposerons de suffisamment de répétitions spatiales et temporelles.

VI-3. Résultats 2003

VI-3-1 Cycle inter-récolte

Un dispositif expérimental multilocal est en place pour étudier les effets d'une modification du cycle inter récolte. Il s'agit de proposer aux agriculteurs des calendriers de récolte alternant une récolte après deux saisons des pluies suivi d'une récolte après une saison des pluies. Nous prévoyons dans les conditions thermiques les plus drastiques de proposer des cycles continus de deux saisons des pluies. Ces différents choix sont notés 12, 18 et 24 mois, durée approximative entre deux récoltes.

Les suivis réalisés en 2003 portaient sur 12 tests dont 10 de 2 parcelles et 2 de 3 parcelles. Par ailleurs, l'essai cycle à 6 répétitions de la côte Est a pu être maintenu contrairement à celui de la côte ouest (tableau 8).

L'avis des agriculteurs enquêté montre bien l'intérêt et les limites de l'allongement du cycle inter récolte avec l'altitude.

Les agriculteurs qui pratiquent déjà les cycles longs le font sur leurs parcelles les plus hautes, lorsque le rendement à 12 mois est insuffisant pour justifier une récolte. Lorsque la production est estimée suffisante pour ne pas prendre le risque d'une seconde saison des pluies, la récolte des parcelles les plus hautes, peut être retardée si l'agriculteur n'a pas les moyens de récolter toute sa sole. Globalement, les agriculteurs intéressés par les cycles

longs leurs attribuent un effet bénéfique principale sur l'enherbement tout en estimant que le gain de production est acceptable.

Tableau 8 : Bilan des actions cycle en 2003

Bilan 2003	Tests						Essai 12-18-24 (6 répétitions)			
	12-18		18-24		12-18-24					
Total suivi	9		1		2		1			
Abandon	4		1		0		0			
Traitements	12	18	18	24	12	18	24	12	18	24
Récolté	2	3	0	1	2	1	1	0	6	6
Non mesuré	1	1								
Non Récolte	1	1	1	0				6		

La principale contrainte invoquée au rallongement du cycle de récolte est la verse qui constitue d'ailleurs l'argument essentiel du refus de la technique. Les conséquences négatives de la verse évoquées par les agriculteurs sont nombreuses. Elle accroît le temps de coupe et la pénibilité du travail. Un agriculteur estime qu'il lui faut une fois et demi plus de temps pour récolter une parcelle lorsqu'elle est versée. Elle augmente également les coûts de transport, du fait d'une réduction de la densité du chargement découlant de la présence de tiges recourbées et très longues. Les parcelles versées sont envahies par les rats qui occasionnent des pertes non négligeables. Un agriculteur envisage de dépailler ses cannes en cours de culture pour limiter leur présence. La verse se traduit aussi, lorsque la récolte est différée, par un enracinement des tiges couchées, des pourritures et des pertes en sucre. Ce problème de verse est bien sur lié au rendement, mais certains agriculteurs pensent à une composante variétale (sensibilité de la R579). Enfin, le risque cyclonique est souvent évoqué pour justifier une récolte annuelle, malgré de faibles rendements et des charges importantes en désherbage.

Parmi les cas particuliers justifiant un maintien des cycles annuels, citons la réduction de la surface utile à consacrer au maraîchage intercalaire. Nous avons aussi identifié un cas où la gestion de la sole cannière sur une base annuelle, pour optimiser la richesse ne s'accommode pas de cycles de 18 mois. Enfin, un des agriculteurs invoque un problème de trésorerie.

La technique semble donc surtout adaptée, pour les cultivars actuels, aux zones les plus hautes où les rendements annuels sont très faibles et les risques de verse sont encore limités après deux saisons des pluies. Une bonne gestion de la sole d'altitude doit en principe permettre de résoudre les problèmes de trésorerie. Rappelons cependant que la sélection doit à terme produire des cultivars adaptés aux basses températures comme il en existe dans d'autres pays.

VI-3-2 Ecartement inter ligne

Huit tests comparant deux parcelles dont l'une est conduite avec un interligne serré et l'autre avec l'interligne habituel de l'agriculteur ont été suivis cette année (tableau 9). Trois d'entre eux n'ont pas pu être évalués en temps utile, du fait de récoltes non programmées. Ces tests ne sont plus désormais évalués globalement, le rendement parcellaire obtenu par l'agriculteur étant incertain et entraînant de nombreux abandons de parcelles. Les rendements sont estimés par des mesures biométriques avec 5 à 8 répétitions par parcelle. Les récoltes sont évaluées en général par la pesée de 10 lignes de 3 m tirées au hasard dans chaque parcelle. L'interligne moyen des zones échantillonnées est mesuré avec précision pour définir la surface de chacune des 10 répétitions. En cas de verse importante, la difficulté d'extraire les tiges d'une ligne, compte tenu du mélange avec les tiges des lignes voisines nous conduit à limiter le nombre de répétitions à 3 par parcelle, mais les longueurs sont alors portées à 5 m.

Les agriculteurs du réseau sont beaucoup plus enthousiastes pour les techniques de resserrement des lignes que pour l'allongement du cycle de récolte. De l'avis de tous, le resserrement a un effet très positif sur le contrôle de l'enherbement. Ainsi, l'une de nos parcelles témoins a dû être désherbée 3 fois alors qu'un seul désherbage à suffit sur la parcelle resserrée. Trois agriculteurs de notre échantillon ont adopté définitivement les plantations resserrées et l'appliquent désormais sur l'ensemble de leurs soles. Un

aménagement est en cours à l'initiative d'un producteur pour planter des menées de 5 lignes à 1,10 m séparées par des passages à 1,50 m, afin de mécaniser le désherbage sans écraser les souches. Un agriculteur estime que l'écartement de 1.20 est insuffisant pour réaliser un désherbage manuel aisé. Il préconise de planter à 1.30 m. Aucun commentaire n'a été fait lors de cette étude sur les cultures intercalaires. Citons pour mémoire un agriculteur qui pense que les parcelles resserrées ont une meilleure richesse sans qu'il nous soit possible de trouver une logique à cette assertion.

Tableau 9 : Bilan 2003 de l'action resserrement

Tests suivis		Altitude	Répétitions (récolte)		Observation
Resserré e	Ecartée		Nombre	Longueur (m)	
1.10	1.58	390	10	3	Mesuré
1.10	1.50	400			Pas de mesure
1.22	1.59	700	3	5	Mesuré
1.25	1.46	650	3	5	Mesuré
1.00	1.17	600			Pas de mesure
1.20	1.50	530			Nouvel essai (récolte 2004)
1.31	1.60	450	10	3	Mesuré
1.15	1.46	770	10	3	Mesuré
1.20	1.45	300			Pas de mesure
1.21	1.58	850	10	3	Mesuré
1.10	1.50	430			Pas de mesure

D'une manière générale, la technique conduit à une économie de main d'œuvre et une réduction des quantités d'herbicides utilisés.

VI-4. Perspectives

Les orientations nouvelles à prévoir sont très nombreuses. Elles portent notamment (non exhaustif) sur les points suivants :

- ❑ préciser par enquête les conditions dans lesquelles les cycles longs et les resserrements sont utilisées ou adoptés (conditions climatiques, type d'exploitation...) pour mieux cerner leurs domaines de recommandation et mieux évaluer les risques rattachés aux cycles longs ;
- ❑ utiliser le modèle de croissance pour évaluer les vitesses de fermeture des couverts en fonction de l'altitude (validation de terrain par mesure de l'énergie interceptée) et en déduire les espacements interlignes théorique à préconiser ;
- ❑ utiliser le modèle de croissance pour simuler la production des cycles longs ;
- ❑ mettre au point les modalités de fertilisation azotée des cycles longs en contrôlant si un apport en début de cycle suffit à un cycle de 18 ou 24 mois en recherchant des alternatives de type engrais organiques voir apport manuel en début de seconde saison des pluies ;
- ❑ estimer à partir du modèle et des observations de terrain les relations entre l'enherbement et la vitesse de fermeture du couvert ;
- ❑ penser et tester des dispositions géométriques adaptées aux types d'exploitations (intercalaire, mécanisation, parcellaire...).

Il est nécessaire en outre de développer un modèle économique pour les techniques proposées (rendement, temps de sarclage, quantité d'herbicide et d'eau de dilution pour le resserrement ; économies liées à la diminution du nombre de désherbage et de récolte par cycle de culture pour les cycles longs, de sarclage pour le resserrement...) et d'évaluer les risques associés à nos propositions.