

# *Rapport annuel* **Cirad Réunion 2004**



Jun 2005



# LE CIRAD,

Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, est l'institut français de recherche agronomique au service du développement des pays du Sud et de l'outre-mer français. Il privilégie la recherche en partenariat.

Le Cirad a choisi le développement durable comme ligne de force de son action à travers le monde. Cette démarche prend en compte les conséquences écologiques, économiques et sociales, à long terme, des processus de transformation des sociétés et des territoires du Sud.

Le Cirad intervient par des recherches, des expérimentations, des actions de formation, d'information et d'innovation et des expertises. Il comprend sept départements de recherche : cultures annuelles (Cirad-ca) ; cultures pérennes (Cirad-cp) ; productions fruitières et horticoles (Cirad-flhor) ; élevage et médecine vétérinaire tropicale (Cirad-emvt) ; forêts (Cirad-forêts) ; territoires, environnement et acteurs (Cirad-tera) ; amélioration des méthodes pour l'innovation scientifique (Cirad-amis). Il emploie 1 850 personnes, dont 950 cadres. Son budget opérationnel s'éleve à 170 millions d'euros.

**Directeur de la publication :**  
Gabriel de Taffin

**Comité de lecture :**  
Philippe Cao-Van,  
Jean-Philippe Choisis,  
Frédéric Chiroleu,  
Antoine Collignan,  
Sophie Della Mussia,  
Jean-François Martiné,  
Nadège Nanguet,  
Marc Piraux,  
Hervé Saint-Macary,  
Bernard Reynaud



# Rapport annuel CIRAD Réunion 2004

- 5** **Avant-propos**
- 6** **Glossaire**
- 7** **Canne à sucre**
- 8** Amélioration de la productivité et de l'environnement de la sole cannière
- 13** Amélioration de l'organisation des structures de production et des prises de décisions
- 17** **Fruits, maraîchage et plantes aromatiques**
- 18** Fonctionnement de la plante
- 21** Évaluation et valorisation du matériel végétal
- 22** Systèmes de production intégrés
- 27** **Élevage**
- 28** Amélioration des systèmes d'élevage bovin
- 36** Diversification des filières
- 39** **Agriculture durable, environnement et forêt**
- 40** Gestion des ressources et des territoires (Gert)
- 47** Risque environnemental, gestion agricole, recyclage des déchets (Regard)
- 55** **Protection des plantes**
- 56** Épidémiologie des maladies bactériennes et virales
- 62** Dynamique des populations et comportement des ravageurs et de leurs auxiliaires
- 71** Génétique et caractérisation de la résistance aux bioagresseurs
- 76** Endémisme et invasions biologiques des écosystèmes terrestres en milieu insulaire
- 83** **Agro-alimentaire**
- 84** Transformation des produits carnés
- 88** Caractérisation et traitement post-récolte des productions végétales
- 91** **Une filière café gourmet à la Réunion : intérêt et viabilité**
- 99** **Annexes**



# Annual Report 2004

1	Introduction
2	Chairman's Report
3	Chief Executive's Report
4	Financial Review
5	Operational Review
6	Human Resources
7	Environmental and Social Performance
8	Shareholder Information
9	Appendix A: Financial Statements
10	Appendix B: Environmental and Social Performance
11	Appendix C: Shareholder Information
12	Appendix D: Glossary
13	Appendix E: Index



# Avant propos

Les activités de recherches du Cirad à la Réunion se sont poursuivies normalement en 2004 avec de bons résultats. Ces activités mobilisent les compétences de quelques 200 personnes dont 50 chercheurs et 120 techniciens supérieurs, techniciens et ouvriers auxquels les moyens n'ont pas fait défaut. En effet, la convention cadre pluriannuelle, relative à l'organisation du partenariat en matière de recherche et d'expérimentation agronomique<sup>1</sup>, a permis au Cirad d'être peu touché par les restrictions de crédits, qui ont affecté la recherche publique française en 2004.

Plutôt favorable, notamment pour la filière canne-sucre, l'année agricole 2004 est aussi une année charnière qui nous rapproche de la fin du Docup 2000-2006. Concernant le Cirad, les grandes orientations de sa programmation apparaissent comme de plus en plus pertinentes. La première priorité a été le soutien aux grandes productions agricoles de la Réunion, assuré par ses pôles de compétence filières : les pôles canne à sucre (CAS), fruits, maraîchage et plantes aromatiques (FMA) et élevage (ELE). Plus récemment, un projet café travaille avec des producteurs-expérimentateurs volontaires et l'association CAFE-Réunion à la mise en place d'une filière café haut de gamme « Bourbon pointu ». Les premiers résultats publiés dans ce rapport sont très encourageants.

La seconde priorité est le renforcement des trois pôles de recherches thématiques à approche transversale et intégrée : les pôles agriculture durable, environnement, forêt (PADEF), protection des plantes (3P) et agro-alimentaire (AA). Il ne s'agit pas seulement d'augmenter production, productivité et qualité des produits à la Réunion, mais aussi de préparer la parfaite intégration de l'agriculture dans le tissu économique et social réunionnais. Par de nombreuses années de travail en partenariat, le Cirad apporte sa contribution aux grandes réflexions du moment, vitales pour le futur :

- Quel rôle et quelle agriculture pour les années à venir ?

- Comment partager l'espace disponible et aménager le territoire pour concilier les besoins des agriculteurs et des éleveurs avec ceux de l'urbanisme et de la conservation notamment dans la perspective de la création du parc national des Hauts de la Réunion et du parc marin ?
- Comment préserver l'environnement, la biodiversité en se prémunissant contre pollutions et invasions biologiques ?
- Comment garantir qualité et traçabilité des produits ?

Le Cirad est ainsi associé à la préparation de la loi de modernisation agricole, mais aussi des Cahiers de l'agriculture organisée par le Conseil Général, aux rénovations du Projet d'aménagement des hauts (PAH) et du Schéma d'aménagement régional (SAR) ainsi qu'à l'élaboration des chartes de développement durable signées entre la Chambre d'Agriculture et certaines communes. Le Cirad est aussi aux côtés de tous les acteurs de la filière canne-sucre pour élaborer un argumentaire en faveur d'un traitement particulier de celle-ci dans le cadre de la réforme de la PAC et de la renégociation de l'accord OCM-sucre

Grâce au soutien financier de l'Europe et des collectivités locales, le Cirad à la Réunion est doté d'infrastructures et d'équipements de haut niveau. La qualité de ses recherches, de ses résultats et de ses publications en fait un partenaire recherché pour une coopération régionale et internationale utile à la promotion du savoir-faire et des compétences de l'île.

Par le progrès et l'innovation, la recherche scientifique prépare le futur et le garantit meilleur. Le Cirad est fier d'y contribuer dans son domaine de compétence pour une Réunion plus prospère, où chacun trouve sa place dans un espace préservé.

**Gabriel de Taffin**  
**Directeur Régional**

<sup>1</sup> signée en 2000 avec la Région et le Département pour une durée de 7 ans.



<b>Alea</b>	International Agency for Atomic Energy
<b>Afa</b>	Association foncière agricole
<b>Afnor</b>	Agence française de normalisation
<b>Afp</b>	Association foncière pastorale
<b>Afssa</b>	Agence française de sécurité sanitaire des aliments
<b>Apr</b>	Association pour la promotion rurale
<b>Armefflor</b>	Association réunionnaise pour la modernisation de l'économie fruitière, légumière et horticole
<b>Armes</b>	Association réunionnaise pour la modernisation de l'économie sucrière
<b>Brgm</b>	Bureau de recherches géologiques et minières
<b>Cac</b>	Conformité agricole communautaire
<b>Cad</b>	Contrat d'agriculture durable
<b>Cemagref</b>	Centre d'études du machinisme agricole, du génie rurale, des eaux et des forêts
<b>Cerege</b>	Centre européen de recherche et d'enseignement en géochimie de l'environnement
<b>Corf</b>	Centre d'essai, de recherche et de formation
<b>Cerfa</b>	Centre d'économie rurale pour la fiscalité agricole
<b>Cfppa</b>	Centre de formation professionnelle et de promotion agricole
<b>Cilam</b>	Coopérative laitière des Mascareignes
<b>Cnes</b>	Centre national d'études spatiales
<b>Cofrac</b>	Comité français d'accréditation
<b>Cpcr</b>	Coopérative des producteurs de caprins de la Réunion
<b>Critt</b>	Centre régional d'innovation et de transfert de technologie
<b>Cte</b>	Contrat territorial d'exploitation
<b>Ctics</b>	Centre technique de la canne et du sucre
<b>Drirt</b>	Délégation régionale de la recherche et de la technologie
<b>Ede</b>	Etablissement départemental de l'élevage
<b>Fao</b>	Food and Agriculture Organization
<b>Fdgdon</b>	Fédération départementale des groupements de défense contre les organismes nuisibles
<b>Frca</b>	Fédération réunionnaise des coopératives agricoles
<b>Gegi</b>	Groupement des éleveurs de Grand Ilet
<b>Grdsbr</b>	Groupement régional de défense sanitaire du bétail de la Réunion
<b>Ina-Pg</b>	Institut national agronomique Paris-Grignon
<b>Inra</b>	Institut national de la recherche agronomique
<b>Insee</b>	Institut national de la statistique et des études économiques
<b>Ird</b>	Institut de recherche pour le développement
<b>Iso</b>	International Standard Organisation
<b>Ista</b>	International Seed testing Association
<b>Lnpv</b>	Laboratoire national de protection des végétaux
<b>Lthe</b>	Laboratoire d'étude des transferts en hydrologie et environnement
<b>Maapar</b>	Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche et des affaires rurales
<b>Mvad</b>	Mission de valorisation agricole des déchets
<b>Odeadom</b>	Office de développement de l'économie agricole des départements d'outre mer
<b>Ogaf</b>	Opération groupée d'aménagement foncier
<b>Olat</b>	Opérations locales d'aménagement de terroir
<b>Piu</b>	Plan local d'urbanisme
<b>Poseldom</b>	Programme d'options spécifiques relatif à l'éloignement et à l'insularité des départements d'outre mer
<b>Prpv</b>	Programme régional de protection des végétaux dans l'océan Indien
<b>Safer</b>	Société d'aménagement foncier et d'établissement rural
<b>Saphir</b>	Société d'aménagement des périmètres hydro-agricoles de l'île de la Réunion
<b>Sar</b>	Schéma d'aménagement régional
<b>Scica</b>	Société coopérative d'intérêt commun agricole
<b>Scot</b>	Schéma de cohérence territoriale
<b>Semol</b>	Semences de l'océan Indien
<b>Sica Lait</b>	Société d'intérêt collectif agricole Réunion lait
<b>Sica Révia</b>	Société d'intérêt collectif agricole Réunion viande
<b>Sig</b>	Système d'information géographique
<b>Snes</b>	Station nationale d'essai des semences
<b>Soc</b>	Service officiel de contrôle
<b>Spv</b>	Service de la protection des végétaux
<b>Suad</b>	Service d'utilité agricole et de développement
<b>Suager</b>	Service d'utilité agricole, de gestion et d'économie rurale
<b>Uafp</b>	Union des associations foncières pastorales
<b>Upov</b>	Union internationale pour la protection des obtentions végétales



# Canne à sucre

**La campagne sucrière 2004, avec près de 1 970 000 tonnes de canne est la meilleure de ces dix dernières années, avec une augmentation de 2.8 % par rapport à 2003, et une production de sucre de plus de 220 000 tonnes.**

Si ce niveau de production a été obtenu grâce à des conditions climatiques plutôt favorables (des précipitations régulières aucun cyclone), il confirme surtout la volonté des professionnels d'atteindre à nouveau l'objectif des deux millions de tonnes de canne.

2004 aura été marquée par la communication du Commissaire Européen à l'agriculture, F. Fischler, le 14 juillet, faisant état de ses propositions pour la réforme de l'OCM Sucre. Ces propositions, si elles étaient appliquées, condamnent la filière canne dans les DOM et en particulier à la Réunion. Dès le lendemain, tous les acteurs de la filière, professionnels agricoles et industriels, collectivités locales et services de l'Etat se sont mobilisés pour établir un mémorandum qui a été présenté au Ministre de l'Agriculture lors de sa visite dans l'île en septembre. Dans ce document, la nécessité d'une compensation intégrale à la survie de la filière canne s'appuie sur les multiples fonctions qu'elle assure dans notre Département : production de sucre et de rhum, secteur économique de première importance avec près de 15 000 emplois directs et indirects, production de 22 % des besoins en électricité de la Réunion, qualités environnementales de la canne (lutte contre l'érosion, capacités à utiliser les effluents d'élevage,...), rôle dans l'aménagement du territoire, complémentarité avec les autres productions agricoles, contribution à la qualité des paysages.

C'est dans ce contexte, que le Cirad en collaboration avec le Cerf, a organisé en septembre un séminaire sur le thème « Quelles recherches prioritaires pour l'avenir de la filière canne-sucre à l'horizon 2007-2013 ? » Huit ateliers de travail ont réuni de nom-

breux participants sur des thèmes qui dépassent les seuls travaux du pôle Canne à sucre en intégrant les thématiques développées, au profit de la filière, au sein des pôles Protection des plantes et Agriculture durable et environnement. Les huit thèmes retenus étaient les suivants : (1) Gestion des ressources en eau et irrigation, (2) La canne à sucre dans les Hauts de la Réunion, (3) Défense des cultures, (4) Agronomie et itinéraires techniques (fertilisation, lutte contre les adventices, mécanisation), (5) Amélioration et valorisation de la richesse des cannes, (6) La multifonctionnalité de la canne, (7) Les outils d'aide à la décision et les technologies nouvelles et (8) Approche économique. Les discussions durant cette semaine nous ont permis de confirmer les demandes fortes de nos partenaires quant à l'appui qu'ils attendent de la recherche pour que la filière canne-sucre atteigne ses objectifs de production, mais aussi pour conforter l'argumentaire qu'il faudra développer pour obtenir des mesures compensatoires dans le cadre de la réforme de l'OCM Sucre. Dès 2005, des nouveaux travaux seront initiés pour répondre aux demandes urgentes exprimées pendant ce séminaire.

Parallèlement à ce travail au service de la filière réunionnaise, des relations s'établissent et se confortent avec d'autres pays sucriers sur la base des recherches menées localement : (1) Brésil, Maroc et réseau avec Maurice, l'Australie et l'Afrique du Sud sur la modélisation de la croissance, (2) Afrique du Sud sur la valorisation de la richesse, (3) Sénégal sur le suivi de la fertilisation et (5) la Guadeloupe (Cirad) sur l'agronomie et la mécanisation,...

Les collaborations scientifiques avec ces pays sucriers nous permettent d'échanger, de confronter nos idées et nos résultats et ainsi de s'assurer du maintien, à la Réunion, d'une recherche performante et de qualité, capable d'aider la filière à atteindre ses objectifs.

*B. Siegmund*



# A MÉLIORATION DE LA PRODUCTIVITÉ ET DE L'ENVIRONNEMENT DE LA SOLE CANNIÈRE

## ► Amélioration de la production cannière dans les Hauts

### Réduction de la distance entre les lignes de plantation de canne à sucre dans les Hauts de l'île

Les Hauts de l'île (18 % de la production de sucre pour 25 % de la surface cannière cultivée) constituent un enjeu majeur pour maintenir l'objectif des 2 millions de tonnes de canne produites annuellement. Afin d'améliorer la production sur cette zone aux contraintes naturelles importantes (climats, sols, reliefs), une étude sur la réduction des distances entre les lignes de plantation a été entreprise en 2000 en milieu paysan suite aux travaux réalisés

comme non significatifs.

Un effet bénéfique sur la gestion des mauvaises herbes a effectivement été constaté. Le développement moins rapide de celles-ci se traduit par une diminution du nombre de traitements (jusqu'à un seul traitement au lieu de trois) et par conséquent une économie de main d'œuvre et un impact positif sur l'environnement.

Certains agriculteurs ont d'ores et déjà adopté cette technique au vu des résultats positifs obtenus, avec parfois des adaptations pour la mécanisation. Les données acquises lors de prochaine cam-

Résultats de l'étude sur la réduction des distances entre les lignes de plantation

	Est	Ouest	Total
Différence de rendement (t/ha)	13.62	13.25	13.38
Intervalle de confiance à 95 % (t/ha)	± 17.2	± 8.35	± 6.2
Signification *	N.S.	H.S.	H.S.
Nombre de données	4	8	12
Rendement moyen à 1.2 m (t/ha)	84.93	78.99	80.97
Rendement moyen à 1.5 m (t/ha)	71.31	65.74	67.6

\* N.S. : non significatif H.S. : hautement significatif

en station dès 1996. Cette technique vise à optimiser l'efficacité du couvert végétal sur l'interception lumineuse et de limiter la concurrence des adventices.

Les résultats de quatre années d'expérimentation chez des agriculteurs sont présentés dans le tableau. Chaque parcelle (huit dans l'Ouest entre 600 et 900 m d'altitude et quatre dans l'est entre 350 et 450 m) est constituée de deux traitements : sillonnage à 1,5 mètres et à 1,2 mètres. La tendance globale à l'amélioration du rendement (+ 13.4 t/ha soit + 19.8 %) en resserrant l'interligne en altitude (- 0.34 m) se confirme, aussi bien dans l'Ouest que dans l'Est. A noter que le peu de données disponibles dans l'Est explique que les résultats obtenus pour cette zone soient considérés

comme non significatifs. Un effet bénéfique sur la gestion des mauvaises herbes a effectivement été constaté. Le développement moins rapide de celles-ci se traduit par une diminution du nombre de traitements (jusqu'à un seul traitement au lieu de trois) et par conséquent une économie de main d'œuvre et un impact positif sur l'environnement. Certains agriculteurs ont d'ores et déjà adopté cette technique au vu des résultats positifs obtenus, avec parfois des adaptations pour la mécanisation. Les données acquises lors de prochaine cam-

D. Pouzet, C. Poser, A. Velle



## ► Amélioration de l'efficacité de l'eau en culture de canne à sucre, appui et conseils en irrigation

Maintenir le niveau de production de la canne à la Réunion passe par l'accroissement des surfaces irriguées. Mais l'eau agricole, en concurrence avec l'eau domestique et industrielle, doit être gérée de façon économe et durable, en restant attentif aux effets éventuellement négatifs de l'irrigation sur l'environnement. Ainsi, une bonne adéquation entre les besoins en eau et les irrigations contribue à limiter les pertes par drainage, potentiellement polluantes. Optimiser la gestion de l'eau agricole est aujourd'hui nécessaire pour assurer la durabilité et la rentabilité des systèmes canniers.

En 2004, les expérimentations pluriannuelles relatives aux effets de rationnement en eau se sont poursuivies.

Les principaux résultats concernent :

- l'élaboration d'un outil simplifié de conseil en irrigation pour les agriculteurs,
- la mise au point d'un logiciel de simulation des consommations en eau d'irrigation,
- l'estimation de la réserve en eau utile du sol pour ajuster l'irrigation.

### Un nouvel outil de conseil en irrigation à la disposition de l'agriculteur : OSIRI-Run

En 2003, la Chambre d'Agriculture de la Réunion a demandé au Cirad d'élaborer un outil de conseil en irrigation plus simple que l'actuel, permettant un appui à un plus grand nombre d'agriculteurs. Ce travail a été entrepris en commun avec l'organisme demandeur qui a défini le cahier des charges. Il a été finalisé en avril 2004 (Fig. 1).

Son nom, OSIRI-Run (Outil Simplifié pour une Irrigation Raisonnée et Individualisée à la Réunion), est en rapport avec les objectifs fixés. Le terme « Simplifié » correspond à la demande de la Chambre d'Agriculture, « Raisonné » à une recherche d'économie d'eau sans baisse de rendement, « Individualisé » à la nécessité, à la Réunion, d'avoir un tel conseil individualisé. Il y a en effet une très grande variabilité dans le milieu physique. De plus, à un même moment, les stades de végétation des champs de canne à sucre peuvent être très différents.

Une notice d'utilisation détaillée accompagne l'outil et des sessions de formation des techniciens de la Chambre d'Agriculture ont été organisées pour la

prise en main de l'outil qui est disponible gratuitement au Cirad.

Depuis le début de la nouvelle campagne (août 2004), l'outil est progressivement proposé à environ cinquante agriculteurs. L'accueil a été favorable. Cette phase de test en 2004 a permis de faire remonter des demandes d'aménagement de l'outil, qui ont été prises en compte.

Parallèlement à ce suivi chez les agriculteurs, un dispositif instrumenté de test et de validation d'Osiri-Run a été mis en route.



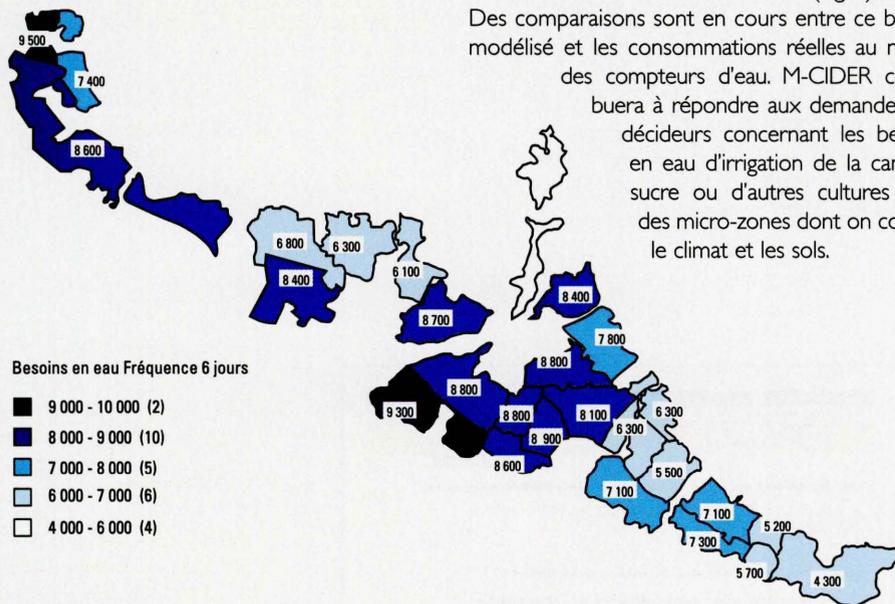
Figure 1.  
Page d'ouverture du logiciel OSIRI-Run avec les principales commandes.

### Simulation des consommations en eau d'irrigation dans les périmètres irrigués par le logiciel M-CIDER

Un outil (Simulirrig) permet déjà de déterminer les besoins en eau d'irrigation (volume, débit de pointe) à l'échelle d'un périmètre (Mézino et coll. 2002). Il donne des éléments d'aide à la décision pour dimensionner les réseaux d'irrigation. Un autre outil, complémentaire, a été finalisé en 2004. Il se nomme : M-CIDER (Modélisation des Consommations en eau d'Irrigation en fonction des Dispositifs, de l'Environnement et des Rationnements). Celui-ci estime les besoins théoriques en eau d'irrigation à l'échelle de parcelles et d'exploitations, en considérant, comme Simulirrig, différentes conditions et contraintes (climat, sol, tour d'eau, efficacité de l'irrigation). Pour mieux se rapprocher des pratiques des agriculteurs, M-CIDER tient compte de contraintes supplémentaires :



Figure 2.  
Exemple d'utilisation du logiciel M-CIDER :  
Besoins en eau d'irrigation moyens en m<sup>3</sup> par  
ha et par an (campagnes 98, 99, 2000) dans  
de micro zones des périmètres irrigués du sud  
de la Réunion.



Besoins en eau Fréquence 6 jours

- 9 000 - 10 000 (2)
- 8 000 - 9 000 (10)
- 7 000 - 8 000 (5)
- 6 000 - 7 000 (6)
- 4 000 - 6 000 (4)

- ◆ EP 3
- ◆ EP 1
- EP 6
- EP 2
- ▲ EP 4

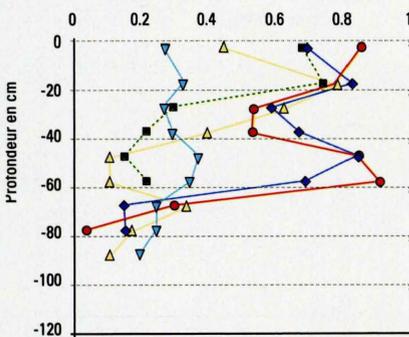


Figure 3.  
Profils racinaires de canne à sucre adulte  
(entre 150 et 250 jours après le début de  
repousse) dans 5 champs d'agriculteurs du  
périmètre irrigué du Bras de la Plaine.  
L'enracinement est exprimé en taux (entre 0  
et 1) de sol utile pour l'accès racinaire à  
l'eau. Ce taux est calculé à partir de la  
longueur des racines par volume de sol.

le débit maximum à la borne, les coupures, un débit réservé.

Cet outil a été utilisé dans le cadre d'une étude pluridisciplinaire menée en 2004 (Projet PCSI avec le pôle Agriculture durable). On a estimé les besoins théoriques en eau d'irrigation dans les périmètres irrigués du Bras de la Plaine pendant trois campagnes cannières. L'estimation a été faite par micro-zones homogènes du point de vue du climat et de la réserve en eau utile du sol (Fig. 2).

Des comparaisons sont en cours entre ce besoin modélisé et les consommations réelles au niveau des compteurs d'eau. M-CIDER contribuera à répondre aux demandes des décideurs concernant les besoins en eau d'irrigation de la canne à sucre ou d'autres cultures dans des micro-zones dont on connaît le climat et les sols.

### Estimation de la réserve en eau utile dans les sols caillouteux du périmètre irrigué du Bras de la Plaine

Pour mettre en oeuvre le conseil en irrigation (OSIRI-Run) et pour utiliser les outils de simulation des besoins en eau d'irrigation (M-CIDER), il faut disposer d'informations aussi fiables que possibles sur le réservoir en eau utile que constitue le sol. La réserve en eau utile du sol a été évaluée dans cinq exploitations d'un périmètre irrigué du sud (Bras de la Plaine). La méthode classique a été mise en oeuvre (mesures au laboratoire). On a aussi mesuré la teneur du sol en éléments grossiers et les profils racinaires (Fig. 3). Les sols étudiés peuvent contenir jusqu'à 75 % d'éléments grossiers avec une variabilité plus grande que celle des caractéristiques de rétention en eau de la terre fine.

Le développement racinaire a été étudié suivant la méthodologie des comptages d'impacts racinaires (Chopart, 2004). Les densités de longueurs racinaires et donc des taux racinaires d'accès à l'eau sont aussi très différents d'un site à l'autre (Fig. 3). Une méthodologie adaptée est proposée pour estimer la réserve maximale en eau utile du sol (RU). Elle prend en compte à la fois la charge en éléments grossiers et le taux d'accès racinaire à l'eau du sol, en plus des paramètres classiques (humidités du sol aux points de flétrissement, permanent et à la capacité au champ, densité apparente de la terre fine). La RU ainsi obtenue est plus faible que celle donnée par la méthode classique. Les résultats paraissent plus proches de la RU réelle.

J-L. Chopart, R. Pirot

## ► Modélisation de la croissance de la canne à sucre

Après une période de mise au point méthodologique et d'observations dans des conditions climatiques contrastées, un premier modèle Mosicas a été créé avec la variété R570 cultivée sur des repousses de cycles annuels. Son domaine de validation qui s'étend à des conditions contrastées de rayonnement, température et alimentation hydrique n'est valable que pour des conditions optimales d'alimentation minérale, d'enherbement et de maladies. Une plate-forme de simulation (SIMULEX) permettant de gérer les données d'entrée et de lancer des simulations a été construite. Des applications du modèle ont été réalisées : étude de la croissance et des potentialités, estimations de récoltes, intégration cartographique, appui à l'irrigation,...

### Modèle de croissance Mosicas et Plateforme de simulation Simulex

La mise à jour de la plateforme de simulation Simulex a été finalisée en 2004 (Fig. 4) ainsi que sa liaison avec le modèle Mosicas. Simulex ne devrait plus évoluer sauf en ce qui concerne la visualisation des résultats de simulation. Par contre, le modèle Mosicas subira des modifications en 2005.

- Prise en compte des cannes plantées et de variétés cultivées à la Réunion et en Guadeloupe.
- Intégration des cycles longs.
- Formalisation d'un lai détaillé permettant des mesures plus faciles pour intégrer les variétés.



- Simulation améliorée de la richesse et de la croissance (élongation).

Cet outil, surtout utilisé à la Réunion, aura un domaine de validité pédoclimatique étendu en Guadeloupe, au Brésil et au Maroc. Il devient un support de collaboration scientifique et un outil de diagnostic et d'aide à la décision.

### Evolution de la maturation

Afin d'améliorer la simulation de la croissance et de la richesse des cannes, des suivis de maturation (Brix %) ont été réalisés sur les essais en cours dans Hauts (800 m) et sur le littoral (50 m). La maturation est suivie sur 5 à 10 cannes par traitement en mesurant le brix (maturité) au réfractomètre digital en 5 points équidistants de la tige.

#### > Validité de la méthode d'étude de la maturation

Les laboratoires du Cerf et du CTICS étant indisponibles hors campagne sucrière et les suivis devant être réalisés sur l'ensemble de l'année, l'évolution de la maturité ne peut être appréhendée que par des mesures de brix au champ. Nous avons donc vérifié s'il existait une relation linéaire étroite entre Brix au champ (5 points) et richesse au laboratoire sur 35 échantillons pris en début, milieu et fin de campagne et pour des brix variant de 8 à 26 %. Les résultats (Fig. 5) montrent que le brix au champ en 5 points estime de façon très satisfaisante le brix ( $r^2=0.98$ ,  $rse=0.68$ ) et la richesse ( $r^2=0.98$ ,  $rse=0.53$ ) des échantillons broyés, pressés et analysés au laboratoire. Le suivi de brix au champ en 5 points, fortement corrélé aux analyses classiques au laboratoire, est donc un indicateur pertinent du degré de maturité.

#### > Maturation sur la variété R570

Les premiers résultats de suivi de brix montrent que la maturation (évolution du brix) en fonction de l'âge dépend très fortement du type de cycle (vierge, repousse), de l'altitude (Hauts, littoral) et de la date de coupe ou plantation précédente. Ainsi, de la figure 6 on peut tirer les faits suivants :

- Les évolutions de maturation sont fortement différentes et décalées dans le temps.
- La maturation, accumulation de sucre, commence très tôt : 80 à 100 jours pour une repousse coupée en fin de campagne précédente, ou très tard : 200-250 jours pour une plantation en mars d'altitude.
- Le plafonnement du Brix ou maturité est atteint à un niveau plus élevé (24 %) dans les Bas que dans les Hauts (21 %).

La maturité est atteinte en repousse à des âges inférieurs à un an dans les Bas, égaux ou supérieurs à un an dans les Hauts.

En vierge, il faut attendre 14 mois dans les Bas et plus dans les Hauts.

On observe une maturation plus précoce (début du brix) et plus intense (pente) dans les Bas que dans les Hauts, en repousse qu'en vierge et en canne de fin qu'en canne de début. Dans un objectif d'optimisation de la richesse, le calage des cycles est donc complexe et doit tenir compte d'un ensemble de facteurs tels que l'altitude ou climat, le type de cycle, l'âge, la date de coupe ou plantation précédente. L'utilisation d'un modèle de croissance devient nécessaire. Les études de corrélations sur repousses de R570 entre le Brix % jus et les différents indicateurs temporels ou climatiques (Température, rayonnement, taux de satisfaction hydrique) simulés par Mosaic montrent que les brix dépendent moins de l'âge ( $r^2=0.69$ ) que de l'époque de l'année ou du jour calendaire ( $r^2=0.88$ ). Les effets climatiques cités ci-dessus sont plus importants durant la phase de formation de tige usinable ( $r^2$  de 0.82 à 0.87) que depuis plantation ou coupe précédente ( $r^2$  de 0.2 à 0.85).

Un modèle statistique préliminaire relativement simple a pu être établi :  $Brix \% jus = -1.53 + jcal/10 - 1.71 * 10^{-4} * jcal^2 + 2 * 10^{-3} * sdj$  où  $r^2=0.954$  et l'erreur standard = 1.03 avec  $dl=53$  (jcal : jour calendaire de l'année et sdj : somme des degrés jours depuis coupe ou plantation).

Ces résultats doivent être confirmés en 2005 pour R570 et les autres variétés. Le modèle biophysique et fonctionnel de simulation actuel de la richesse sera aussi amélioré.

### Couplage modèle - données satellitaires (Télé-détection)

En 2004, sur plusieurs exploitations, le forçage du modèle par l'indice foliaire calculé à partir des courbes de ndvi issues du traitement des images satellitaires a permis d'améliorer significativement ( $r^2=0.66$ ,  $rmse=12.8$  t/ha) les estimations de rendements parcellaires simulées par le modèle seul ( $r^2=0.41$ ,  $rmse=19.3$  t/ha). (E. Bappel et al, 01/2005. ISSCT Congress).

### Prévisions de récoltes sur l'ensemble des bassins d'approvisionnement de l'île

Chaque année, l'organisation de la récolte (27 000 ha) à la Réunion – longueur de la période de récolte, quotas aux agriculteurs – nécessite, dès le 1er juin, une prévision fiable (marge d'erreur inférieure à 5 %) des productions de chaque bassin d'approvisionnement

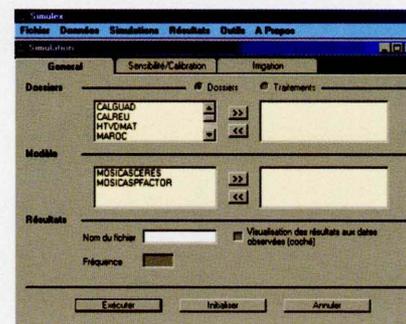


Figure 4. Exemple de menus et boîte de dialogue de la Plateforme de simulation Simulex.

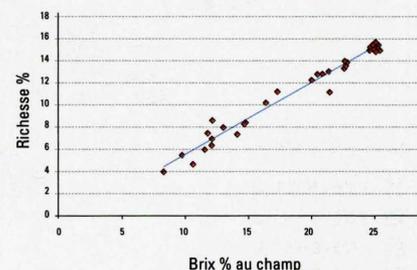


Figure 5. Relation entre brix au champ et richesse au laboratoire du Cerf :  $Y=0.65 * X - 1.04$ ,  $r^2 = 0.98$ .

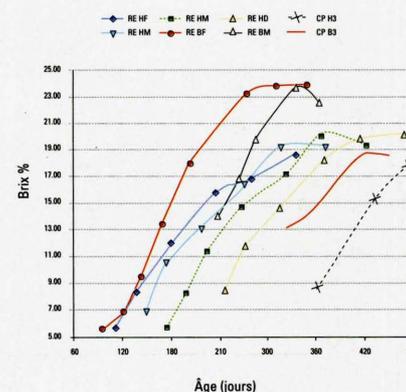


Figure 6. Evolution du brix au champ selon l'âge de la canne, le cycle (CP : canne plantée et RE : repousse), l'altitude (H : Hauts = 800 m et B : Bas = 50 m) et la plantation ou coupe précédente (D, M, F : coupes précédentes de début, milieu et fin respectivement).



et des usines. Longueurs des campagnes et quotas alloués sont définis à partir des prévisions fournies par les usines (déclarations des planteurs avant début juin), le CTICS (échantillonnages sur des parcelles représentatives) et le Cirad (utilisation d'un modèle de croissance et des historiques de productions et de climat).

Le principe des estimations du Cirad est le suivant : l'étude des corrélations entre les rendements observés sur une période donnée (1995-2000) et les indicateurs bioclimatiques simulés par un modèle biophysique (Moscas) sur cette même période permet de déterminer des modèles statistiques prédictifs de ces rendements. Ces modèles statistiques peuvent ensuite être utilisés les années suivantes (2001-2004) pour prédire les rendements. Les surfaces à récolter sont elles aussi estimées et peuvent donc constituer une source d'erreur importante.

En 2004, les résultats (erreurs des prévisions en % des réalisations) sont les suivants (Fig. 7) :

- Bassins de Beaufonds (-8.9 %) et Bois Rouge (+1.9 %). On note une très faible estimation de Beaufonds. Il se peut que des transferts d'un bassin à l'autre ou une diminution des surfaces sur Beaufonds aient contribué à cette forte sous estimation sur Beaufonds

- Bassin de Savanna (+12.1 %). Ce bassin n'est pas estimé à l'aide du modèle. Une surestimation des rendements escomptés (Antenne 4) est à l'origine de cette surestimation.
- Bassin du Gol (+3.6 %). La surestimation (à l'inverse de 2003) est probablement due à une sécheresse accentuée en milieu-fin de campagne et à la non prise en compte des irrigations de cette zone.
- Bassin de Grand-Bois (+0.9 %). Comme les années précédentes, ce bassin est correctement estimé.
- Usines. L'usine de Bois Rouge est sous estimée (-4.1 %) et l'usine du Gol (+5.6 %) est trop surestimée (> 5 %).

Sur l'ensemble de l'île, l'estimation est excellente (+0.6 %) et encore meilleure qu'en 2003 (+2 %). Le problème de la non disponibilité de surfaces fiables récoltées depuis 2001 reste entier et empêche une amélioration des estimations à l'aide du modèle.

J-F. Martiné

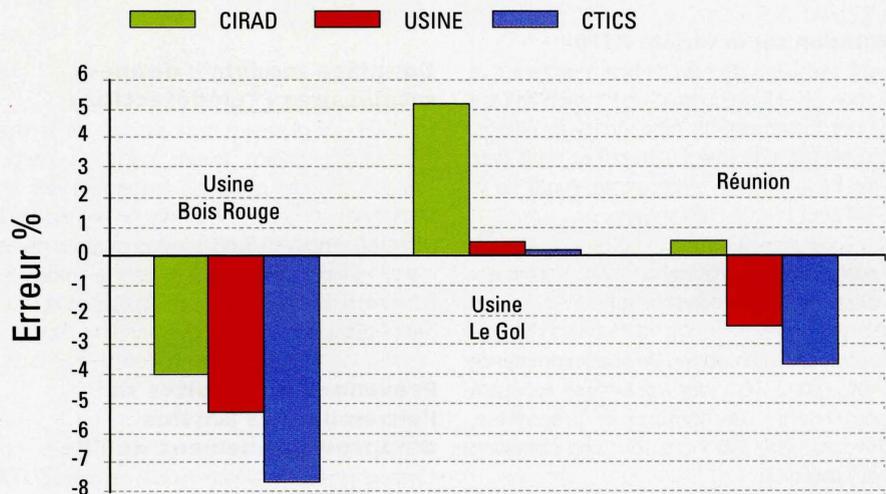


Figure 7. Erreurs de prévisions réalisées par le Cirad (modèle de croissance), les usines (Déclarations planteurs) et le CTICS (Prélèvements) en 2004. Erreur % = 100 x (Prod. Estimée - Prod. Réalisée) / (Prod. réalisée).

# A MÉLIORATION DE L'ORGANISATION DES STRUCTURES DE PRODUCTION ET DES PRISES DE DÉCISIONS

## ► Organisation des approvisionnements et valorisation de la qualité des productions

Pour la plupart des pays sucriers, accroître la qualité des cannes livrées à l'usine au cours de la campagne constitue un gain de production à l'échelle de la filière tout en assurant une meilleure rémunération du planteur.

L'objectif du projet est de déterminer des voies d'amélioration et valorisation de la richesse des cannes produites. A l'échelle de l'exploitation, il s'agit d'identifier, de tester et de diffuser des pratiques culturelles améliorant la qualité des cannes produites au champ. A l'échelle d'un bassin d'approvisionnement, l'objectif est de déterminer des modes d'allocation des quotas de livraisons de cannes permettant de valoriser au mieux la richesse de chacune des parcelles.

### Logistique et organisations des approvisionnements

Les études conduites en 2002 et 2003 par le Cirad en collaboration avec la SASRI (South African Sugar Research Institute) et l'Inra, ont montré qu'une organisation des approvisionnements tenant mieux compte de la variabilité de la qualité des cannes sur un bassin cannier au cours de la campagne constituerait un gain d'efficacité important à l'échelle de la filière, tout en assurant une meilleure rémunération des planteurs. Ces études ont été réalisées en collaboration avec l'usine du Gol à la Réunion et avec l'usine de Sezela en Afrique du Sud. Elles ont permis de mettre au point un logiciel, d'aide à l'organisation des approvisionnements (MAGI) et de tester différents scénarios d'organisation valorisant la qualité des cannes. L'évaluation de ces scénarios a montré que des gains de production sont possibles et suffisamment importants pour poursuivre la démarche et tenter d'appliquer ces recommandations.

En 2004, que ce soit à la Réunion ou en Afrique du Sud, il a paru intéressant d'approfondir l'analyse des conséquences et impacts de tels changements organisationnels, non seulement sur la gestion des flux de canne mais également sur l'évolution du système de paiement.

### > Modèle de simulation des approvisionnements (MAGI)

Initialement conçu dans le contexte réunionnais, ce modèle permet d'évaluer l'impact de différents scénarios d'organisation des approvisionnements. Les scénarios qui peuvent être testés concernent à la fois la restructuration des bassins de collecte, les modes de planification et de pilotage de l'approvisionnement. Ils intègrent la variabilité qualitative et quantitative des apports, les contraintes liées au dimensionnement des équipements de transport et de réception ainsi que les risques liés aux aléas climatiques.

Un modèle générique, utilisable en Afrique du sud comme dans d'autres pays sucriers, a été développé sous Visual Basic en 2004.



Figure 8.  
Ecran d'accueil  
du logiciel MAGI.

### > Evaluation de différents systèmes de paiement dans le cadre d'une réorganisation des approvisionnements. Cas sud-africain.

Une étude a été réalisée afin de mettre en évidence l'impact du système de rémunération dans le cadre de modifications de l'organisation des apports favorisant la qualité.

Un outil a été conçu (et développé sous Excel) afin de calculer d'une part la valeur globale créée par un nouveau mode d'organisation, et d'autre part l'effet de différents systèmes de paiement sur la répartition de ces gains de production entre planteurs et usiniers puis entre planteurs.

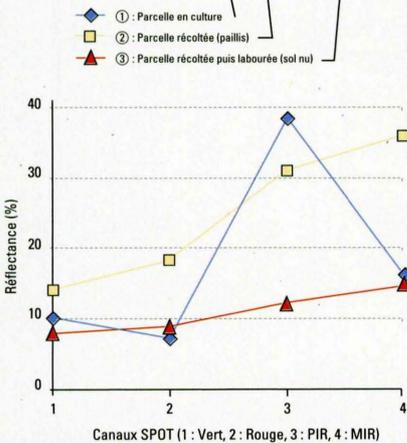
Les simulations ont pour le moment été effectuées





Photo 1.  
Champs de canne au KwaZulu Natal en Afrique du Sud (C. Lejars).

Figure 9.  
Image SPOT du 19/08/04 en Couleurs Naturelles et parcellaire cannier Daf/CTICS.



Réponse spectrale d'une surface de canne en culture, coupée, et labourée

sur le cas sud-africain. A ce stade, l'outil permet d'évaluer l'impact des réorganisations sur le revenu planteur en fonction de différentes formules de paiement. Trois formules ont été testées en Afrique du Sud parallèlement à trois modes d'organisation. L'outil a également permis d'évaluer la répartition entre planteurs de la valeur créée par la filière.

### Qualité des productions

#### > Modélisation des évolutions de richesse

Pour améliorer la richesse des cannes, il est essentiel d'identifier et de mieux comprendre les facteurs climatiques et les pratiques culturales qui expliquent les variations de richesse au cours de la campagne. Ce travail fait maintenant l'objet d'une thèse en bio-statistique qui a débuté en 2004 et dont l'objectif est de modéliser les évolutions de richesse à différentes échelles (bassin d'approvisionnement, zones de collecte, groupe d'exploitations...).

#### > Facteurs explicatifs de l'écart technique

Un étude statistique a été réalisée en collaboration avec l'usine du Gol afin de déterminer les facteurs climatiques et physiologiques explicatifs de l'écart technique I (ETI), annuel moyen et hebdomadaire.

Aucun des facteurs testés pris isolément n'est corrélé de manière prépondérante à l'ETI. Des analyses multi-facteurs ont donc été réalisées afin de dégager des modèles explicatifs. Au niveau annuel, la recherche d'un modèle prédictif de la valeur moyenne de l'ETI se heurte à l'obstacle du nombre d'observations réduit par rapport aux nombres de variables pouvant intervenir. En ce qui concerne l'ETI hebdomadaire, il est possible d'aboutir à une explication de l'ETI satisfaisante du point de vue statistique. Le modèle intègre des facteurs climatiques comme les pluies et les températures de la semaine précédente, les biais d'échantillonnage, le taux de fibre, les stocks plateforme. L'étude montre qu'il faut différencier l'analyse suivant les années, en incorporant un « effet année » climatique dans les modèles.

Les modèles seront validés l'an prochain, avec un jeu de données supplémentaire. Il devrait permettre de déterminer le poids relatif de chacun des facteurs explicatifs de l'ETI.

C. Lejars

## ► Télédétection et outils d'aide à la décision

La connaissance et le suivi de l'état des surfaces en canne constituent un atout pour une bonne gestion de la filière. Depuis quelques années, l'utilisation des données issues de l'imagerie satellitale offre de nouvelles pistes de recherche sur la sole cannière à travers l'étude de la réponse spectrale des surfaces en canne, le calcul d'indices de végétation ou la photo interprétation assistée par ordinateur.

A la Réunion, les travaux s'articulent autour du traitement des images satellites SPOT 4&5 (Satellite Pour l'Observation de la Terre) et de leur mise en corrélation avec les données existantes, ou relevées sur le terrain.

L'objectif est la mise au point d'outils d'interprétation automatique des images satellites et le développement de produits thématiques d'aide à la gestion de la sole cannière.

### Le suivi de récolte

Au cours de la campagne de récolte à la Réunion, les deux usines sucrières fonctionnent à leur maximum de capacité de broyage. De plus, en raison de la vitesse de dégradation du sucre dans la canne, les tiges doivent être usinées rapidement après la coupe. La gestion des approvisionnements nécessite des informations précises sur la quantité de canne

à traiter. Les principaux travaux de recherche ont donc porté sur le développement d'une méthodologie fiable de traitement d'image pour le suivi de l'avancement de la campagne de récolte de la canne à sucre (Fig. 9).

Les résultats se présentent sous forme de cartes de suivi des coupes auxquelles sont associées les statistiques d'avancement surfacique de la récolte, par balance et bassin cannier, grâce au croisement avec la base données parcellaires (Daf/CTICS) (Fig. 10).

Un redécoupage du parcellaire Daf/CTICS (initialement à l'échelle de l'ilot planteur) en parcelles agronomiques a été effectué sur une zone test. Les conclusions montrent que ce parcellaire numérisé à plus petite échelle nous permettrait d'affiner les résultats cartographiques et statistiques par une meilleure définition des parcelles et la possibilité de fixer des seuils de coupe (coupé ou en cours de coupe) (Fig. 11).

La principale limite de cette méthode reste les problèmes de nébulosité sur les images SPOT qui ne nous permettent que très rarement de traiter la sole cannière dans sa totalité en une seule acquisition.



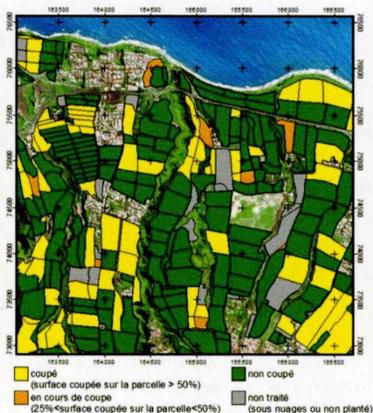
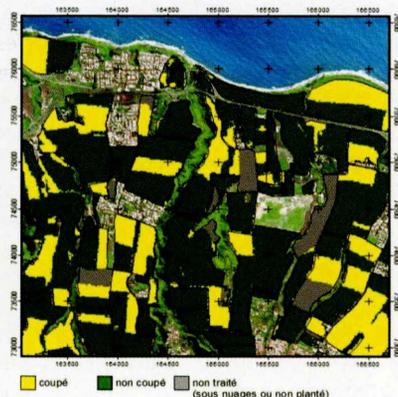


Figure 10. Résultat cartographique (raster) de suivi de récolte au 19/08/04 à partir du parcellaire cannier Daf/CTICS.

Figure 11. Exemple de résultat cartographique (vecteur) de suivi de récolte au 19/08/04 à partir d'un parcellaire de type agronomique (Cirad).

### Les autres produits

Nous poursuivons les recherches visant à développer de nouveaux produits issus du traitement des images satellites. Plusieurs thématiques ont été abordées. Une méthodologie de détection des surfaces en canne non répertoriées dans le parcellaire Daf/CTICS coupées au cours de la campagne de récolte a été mise au point et reste à valider. Les résultats, présentés sous forme cartographique ont pour objectif l'aide à la mise à jour du parcellaire cannier.

L'étude des indices de végétation issus de l'information spectrale et spatiale contenue dans une image satellite a permis le développement de produits de cartographie de la variabilité inter- et intra-parcellaire. L'objectif est de caractériser le couvert végétal à l'échelle de la parcelle agronomique par le calcul

d'indicateurs du développement végétatif et d'hétérogénéité de la culture avec comme finalité l'aide à la gestion technique des exploitations.

Parallèlement, les travaux visant à relier ces indices de végétation à des rendements potentiels pour la prévision de récolte se poursuivent. Sur cette thématique, des données d'estimation de l'indice foliaire par télédétection ont déjà été intégrées dans le modèle de croissance de la canne MOSICAS et les résultats se sont montrés convaincants.

Les prochains travaux porteront sur la détermination d'une relation entre l'évolution des indices de végétation issus des images satellites et l'évolution de la richesse en sucre de la canne.

V. Lebourgeois, A. Bégué,  
P. Degenne, E. Bappel, B. Siegmund

### Résultats statistiques d'avancement de la récolte au 19/08/04

Balance	Représentativité de l'échantillon	Taux d'avancement surfacique de la coupe, estimé par télédétection au 19/08
Beaufonds	95,9%	29,5%
Ravine Glissante	95,4%	23,1%
Pente Sassy	89,1%	28,2%
Bois Rouge	86,8%	26,8%
La Mare	62,6%	34,5%
Savannah	16,7%	non traité
Vue Belle	34,8%	non traité
Stella + Tamarins	18,2%	non traité
Le Gol	87,8%	22,9%
Pierrefonds	99,2%	27,3%
Casernes	98,7%	25,2%
Grand-Bois	97,2%	20,0%
Langevin + Baril	88,5%	15,5%
		<b>Moyenne = 25,5%</b>
		<b>Moyenne Bois-Rouge = 28,4%</b>
		<b>Moyenne Le Gol = 22,6%</b>



## ☞ Publications et communications en 2004 :

### Communications dans des congrès

**BAPPEL E., BEGUE A., MARTINE J.F., PELLEGRINO A., SIEGMUND B., 2005.** Assimilation of a biophysical parameter estimated by remote sensing using SPOT 4&5 data into a sugarcane yield forecasting model. ISSCT congress, Guatemala, Jan. 2005.

**CHOPART J.L., LE MEZO L., 2004.** Aide au diagnostic de l'irrigation en système goutte à goutte par cartographie *in situ* du profil racinaire. Exemple sur une culture de canne à sucre. ICID-CIID 20th European Regional Conference, Montpellier, France, sept. 03. In: "Improved irrigation technologies and method : research, development and testing". Article full text (7 p.) in conf. CD, poster abstract pp.106-107.

**LEJARS C., SIEGMUND B., 2004.** Overview of Reunion Sugar Industry, Proc S Afr Sug Technol Ass 78, p 29-37.

**LE GAL P.Y., LEJARS C., SOLER L.G., 2004.** Accompagner des processus d'innovation dans l'organisation des approvisionnements : application à la filière canne à sucre, Entretien du Pradel, sept. 04. Montpellier, Poster:

**LE MEZO L., CHOPART J.L., MEZINO M., 2004.** Irricane : un outil de conseil en irrigation pour la canne à sucre adaptée à un environnement (sol-plante-climat) hétérogène. ICID-CIID 20th European Regional Conference, Montpellier, France, sept.03. In: "Improved irrigation technologies and method: research, development and testing". Article full text (5 p.) in conf. CD, poster abstract, pp.102-103.

### Articles, dossiers et notes techniques

**Non signé, 2004.** L'irrigation. Première partie : comment déterminer les besoins en eau, les ressources en eau, la dose ? aides à l'irrigation, conditions d'accès aux aides. Dans : Caro Canne, le magazine des professionnels de la canne n°4, Saint-Denis, Réunion, mai 2004, 8 p.

**Non signé, 2004.** L'irrigation. Deuxième partie : l'aspersion et le goutte à goutte : avantages et inconvénients des deux systèmes, les automates, conditions d'installation. Dans : Caro Canne, le magazine des professionnels de la canne n°6, Saint-Denis, Réunion, novembre 2004, 8 p.

**CHOPART J.L., 2004.** Les systèmes racinaires des cultures tropicales : rôle, méthodes d'étude *in situ*, développement, fonctionnement. Document de synthèse, Cirad Réunion, avril 2004, 42 p.

**CHOPART J.L., 2004.** RACINE. Logiciel de traitement de données racinaires à partir de comptages sur profils de sol. Notice d'utilisation. Note Cirad Réunion, août 2004, 15 p.

**CHOPART J.L., LE MEZO L., MEZINO M., 2004.** OSIRI-Run : Outil Simplifié pour une Irrigation Raisonnée et Individualisée à la Réunion. Présentation de l'outil et notice d'utilisation. Note Cirad Réunion, mars 2004, 27 p.

**CHOPART J.L., LE MEZO L., MEZINO M., 2004.** OSIRI-R+ : Outil Simplifié pour une Irrigation Raisonnée et Individualisée avec Rationnement. Présentation de l'outil et notice d'utilisation. Note Cirad Réunion, juin 2004, 29 p.

**LE GAL P.Y., LEJARS C., LYNE P., MEYER E., 2004.** De la diversité spatiale aux performances des bassins d'approvisionnement : cas des sucreries de cannes. Cahiers d'études et de recherches francophones / Agriculures, vol. 13, N° 6, 554-62

### Rapports de stage

**BERG A., 2004.** Facteurs climatiques explicatifs de l'écart technique 1, stage de 2<sup>ème</sup> année de l'INAPG, 50 p + annexes.

**PAPAICONOMOU H., 2004.** Evaluation de différents systèmes de paiement dans le cadre d'une réorganisation des approvisionnements d'une sucrerie : application d'une démarche de simulation au bassin de Sezela, Afrique du Sud, DAA, 50 p + annexes.



# Fruits, Maraîchage et Plantes Aromatiques

**Les filières fruits et maraîchage sont des composantes fondamentales de la diversification de l'agriculture à la Réunion. Ces productions contribuent aujourd'hui de plus en plus fortement à l'approvisionnement des marchés locaux en substitution de produits d'importation et pour certaines d'entre-elles, à accentuer les exportations avec des produits phares comme l'ananas Victoria, le litchi Kwai Mi et la mangue.**

Les contraintes économiques de production à la Réunion sont fortes et les produits d'exportation, aux coûts de production élevés, doivent se démarquer des autres origines par une qualité irréprochable. Dans cet esprit, la qualité « fruits mûris à point et exportés par avion » ne suffit plus et les producteurs réunionnais se sont engagés dans une démarche de reconnaissance de qualité (Label Rouge) pour l'ananas Victoria et le litchi. Cette nouvelle avancée qualitative et commerciale renforcera les contraintes techniques de production. Le Cirad se doit donc d'apporter un soutien à ces productions pour faire face aux nouvelles contraintes et pour cela d'orienter de plus en plus ses travaux de recherche vers des systèmes de production intégrés, impliquant tant les aspects agronomiques, physiologiques, de protection des cultures que de post-récolte tout en préservant l'environnement.

Ce challenge est aujourd'hui engagé pour la culture du manguier. Les résultats obtenus pour mieux gérer l'orientation de la production peuvent être utilisés pour améliorer la protection des arbres et des fruits ou encore la qualité des fruits à la

récolte et en post-récolte. Pour l'ananas Victoria, une approche globale de la qualité est également préférée au seul aspect de l'étude des taches noires.

La diversification n'est pas négligée. Elle reste une source de nouveauté pour les marchés locaux (cas de la banane, de la pitaya), pour l'amélioration de la qualité d'un produit (litchi, ananas) ou tout simplement pour étendre la durée de présence d'un produit sur le marché (litchi, agrumes).

La nécessité d'assurer une meilleure régularité d'approvisionnement du marché en produits maraîchers a conduit les professionnels à faire évoluer leurs exploitations et à s'engager dans la voie de la culture sous-abris. Ces nouvelles conditions de culture ont apporté leur lot de nouvelles contraintes techniques et technico-économiques. Là encore, le Cirad, par ses travaux a réussi à réduire les contraintes et améliorer la productivité et la compétitivité d'exploitations locales.

Un long chemin reste sans doute à parcourir mais les résultats acquis au fil des ans contribuent à encourager les agriculteurs vers le développement des productions fruitières et maraîchères à la Réunion et les chercheurs du Cirad à poursuivre leurs efforts innovateurs.

*P. Cao-Van*



# FONCTIONNEMENT DE LA PLANTE



Photo 1.  
Floraison intense et synchrone sur un plant éclairci de Kensington Pride.  
(F. Normand).



Photo 2.  
Croissance végétative retardée sur un plant chargé, à gauche, de la variété Cogshall par rapport à un plant éclairci, à droite.  
(F. Normand).



Photo 3.  
Floraison plus précoce d'un mois sur un plant éclairci d'Irwin, à droite, par rapport à des plants non éclaircis à gauche.  
(F. Normand).

## ► Déterminisme de la floraison et conduite du verger chez le manguier

La floraison du manguier est une phase du développement de l'arbre mal connue et par conséquent mal maîtrisée, que ce soit à la Réunion ou dans les grandes zones mondiales de production. La compréhension des mécanismes de la mise à fleur est incontournable pour améliorer la production : limitation de l'alternance, prévision des dates et volumes de récolte, qualité des fruits. L'objectif finalisé est l'élaboration de techniques de culture innovantes favorisant une floraison régulière, importante et si possible précoce (photo 1). En effet, une demande forte des producteurs de mangues réunionnaises est la précocité des récoltes afin d'éviter un engorgement du marché en décembre, et les risques cycloniques sur les récoltes tardives.

Notre démarche prend en compte la globalité de l'arbre et de son cycle car on ne peut s'intéresser qu'à la floraison en elle-même. En effet, elle est une étape du cycle phénologique du manguier, qui est la succession au cours du temps de différentes étapes assurant croissance et production : croissance végétative, repos végétatif, floraison, croissance des fruits, récolte. Ces étapes sont étroitement dépendantes, et le déroulement de l'une a des conséquences sur le déroulement des suivantes. On doit donc prendre en compte l'ensemble du cycle phénologique afin de déterminer quelles étapes ont une influence sur la floraison. Ces étapes sont en effet autant de points d'action sur lesquels on pourrait appliquer des techniques culturales adaptées pour favoriser une floraison régulière et importante. D'autre part, les extrémités susceptibles de fleurir échangent en permanence des signaux et des nutriments avec le reste de la plante et ces échanges doivent être pris en compte.

### Effet de la charge en fruits sur la croissance végétative et la floraison au cycle suivant

L'objectif global de cette étude, qui est prévue sur deux cycles de production, 2004-2006, est de caractériser le développement naturel (croissance, ramification, floraison, fructification) de sept variétés de manguier, choisies a priori pour leurs différences de port, de rendement, d'alternance et de

précocité, afin d'identifier des facteurs de développement affectant la floraison et la fructification. Cet essai est conduit en collaboration avec Pierre-Eric Lauri (Inra-Ensa Montpellier).

Le travail mené cette année porte sur l'effet de la charge en fruits à différentes échelles (arbre, unité de croissance terminale) sur la croissance végétative et la floraison au cycle suivant. Cinq plants par variété sont suivis depuis 2003, et deux d'entre eux ont été entièrement éclaircis à la nouaison en novembre 2003. Les récoltes ont été suivies en janvier-février 2004. La croissance végétative, qui a eu lieu de septembre-octobre 2003 jusqu'au repos végétatif en mai 2004, a été notée et quantifiée de façon exhaustive sur tous les plants suivis. La nature des unités de croissance terminales au moment de la floraison 2003 (végétatives -n'ayant pas fleuri-, florifères -sans fructification-, ou fructifères) affecte leur croissance végétative. Plus l'unité de croissance a porté un puits important (végétatif > florifère > fructifère), moins les axes qu'elle a émis comportaient de nouvelles unités de croissance. Un effet négatif de la charge en fruits globale de l'arbre vient s'ajouter à cet effet « nature de l'unité de croissance terminale », avec des paramètres de croissance plus faibles sur les plants chargés que sur les plants non chargés.

La phénologie de la croissance est également modifiée par la présence des fruits, à l'échelle de l'unité de croissance terminale et à l'échelle de l'arbre (photo 2) : l'émission et la croissance des nouveaux axes sont précoces et synchrones sur les plants non chargés (de novembre à février), alors qu'elles sont tardives et asynchrones sur les plants chargés (de février, après la récolte, à avril). Sur les plants chargés, plus l'unité de croissance terminale a porté un puits important, plus la reprise de la végétation est tardive. La charge en fruits apparaît donc comme un facteur explicatif de l'asynchronisme de croissance végétative intra- et inter- arbres qui est couramment observé chez le manguier. Ces différences marquées sur le déroulement de la croissance peuvent avoir des conséquences sur l'intensité et la période de floraison. Cette dernière pourrait être modifiée par un contrôle de la fructification l'année précédente. Les relevés de floraison restent à être analysés en



détail, mais on remarque déjà que la floraison était intense et précoce chez les deux plants éclaircis par variété, avec en particulier 1 mois d'avance par rapport à la floraison des plants non éclaircis chez Irwin (photo 3).

Cette étude sera poursuivie sur les mêmes plants au cours de l'année 2005 afin de confirmer ces premiers résultats. Ces nouvelles données permettront également d'analyser les successions, c'est à dire l'occurrence du développement végétatif et de la reproduction sur un même axe au cours du temps. Les retombées pourraient en être des stratégies de taille sélective.

Enfin, le comportement des variétés étudiées est caractérisé à la Réunion afin de mettre en relation les données sur leur croissance et leur floraison avec leurs performances agronomiques (photo 4) : développement des plants, périodes de floraison et de récolte, productivité, alternance, qualité des fruits, problèmes phytosanitaires. Des références agronomiques sont ainsi établies pour ces nouvelles variétés qui pourraient venir diversifier la gamme variétale réunionnaise.

F. Normand

## ► Croissance et élaboration de la qualité du fruit chez le manguier

À la Réunion, la maîtrise de qualité de la mangue Lirfa (officiellement Cogshall) représente un enjeu important pour la poursuite du développement de la production de ce fruit. En effet, avec l'augmentation constante de la production réunionnaise de mangues, certains producteurs s'orientent aujourd'hui vers de nouvelles voies de commercialisation, comme l'utilisation du stockage temporaire pour réguler le marché local ou la filière exportation. Celles-ci exigent alors une meilleure maîtrise de l'approvisionnement, de la qualité et de la conservation des fruits.

Une représentation de l'élaboration de la qualité de la mangue à l'échelle du rameau fructifère a été élaborée dans le cadre de notre thèse. Ce modèle global a été testé avec des données de récolte de fruits dans des conditions naturelles de verger de manguiers, en faisant varier des paramètres clés du modèle d'élaboration de la qualité de la mangue, comme la masse initiale du fruit, les conditions de compétition locale en assimilats carbonés et l'environnement lumineux des rameaux portant les fruits. Le modèle est capable de rendre compte de la distribution des calibres de fruits récoltés sur différents arbres du verger (Fig. 1). La distribution des dates de récolte est quant à elle moins bien simulée.

Un des résultats obtenus à l'issue du travail de thèse montre que retarder la date de récolte et favoriser la disponibilité en assimilats carbonés améliorent la qualité de la mangue fraîche. Le calibre, un des critères retenus par les producteurs, et la teneur en matière sèche qui renseigne en particulier sur les sucres et les acides, sont des paramètres qui sont reliés dans la pratique à la qualité

du fruit chez de nombreuses espèces fruitières dont la mangue. Ces paramètres augmentent avec la date de récolte et le rapport feuilles/fruit. En parallèle, des analyses biochimiques indiquent un accroissement de la quantité de sucres et une diminution de celle des acides.

Ces résultats obtenus sur la maîtrise de la qualité et l'aptitude à la conservation des mangues ont mis en évidence l'importance d'une meilleure caractérisation des stades de récolte. Ces travaux ont ouvert la voie à la détermination de critères de récolte plus performants que celui utilisé actuellement (point jaune) et applicables par les producteurs selon le marché ciblé (mise en marché rapide après récolte ou après une période de conservation). À un niveau plus général, la recherche de critères de récolte non destructifs apparaît de plus en plus comme une nécessité en complément des pratiques agronomiques pour garantir l'homogénéité des lots récoltés. Cette année, la recherche de critères non destructifs a essentiellement porté sur les changements de forme et de couleur de la peau du fruit. Nous avons également mis en place une expérimentation qui nous a permis d'analyser les variations de la fluorescence de la chlorophylle de la peau dans la zone où apparaît le « point jaune » chez la mangue Lirfa. Les mesures du paramètre  $F_v/F_m$  sont réalisées à l'aide d'un appareil portable (photo 5), et le temps de mesure est très court.

La maturation a été analysée par des mesures couplées des concentrations internes en  $CO_2$  et éthylène sur l'arbre et un suivi de la crise respiratoire et de l'émission d'éthylène de fruits détachés. Des conditions contrastées d'environnement lumineux

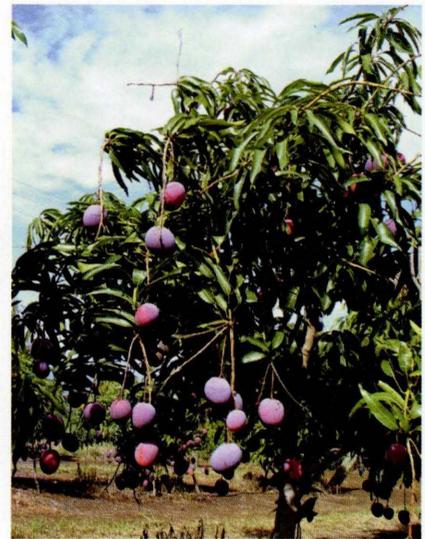


Photo 4.  
La variété Tommy Atkins en pleine production.  
(F. Normand).

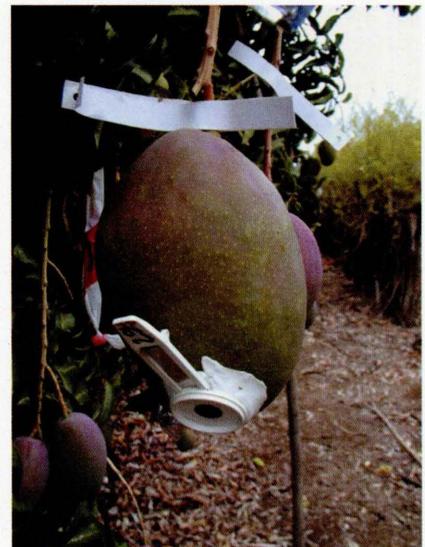


Photo 5.  
Dispositif de mesure de la fluorescence de la peau de mangue  
(M. Léchaudel).



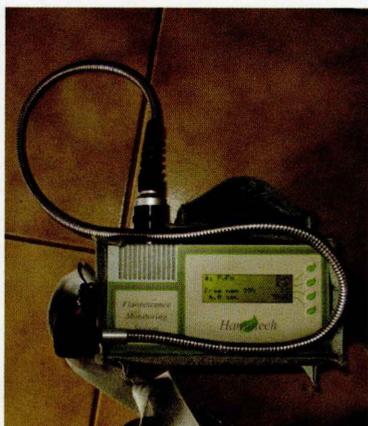


Photo 6.  
Dispositif de mesure de la fluorescence de la  
peau de mangue  
(M. Léchaudel).

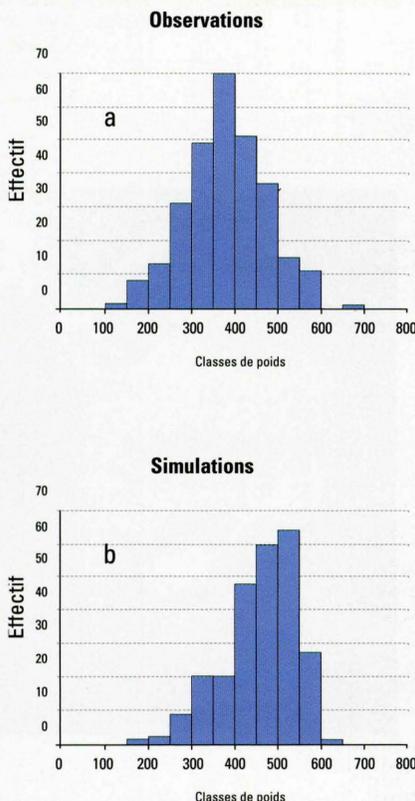


Figure 1.  
Distribution de la masse fraîche observée (a)  
et simulée (b) sur un arbre comportant 350 fruits.

du rameau et de la fourrure en carbone ont été appliquées pour rendre compte de la variabilité de ces facteurs observée en conditions réelles de verger. Le couplage des observations réalisées sur la plante au comportement en conservation des mangues récoltées à différents stades de maturité

doit être utilisé pour affiner la détermination de nouveaux critères de récolte.

M. Léchaudel

## ÉVALUATION ET VALORISATION DU MATÉRIEL VÉGÉTAL

### ► Valorisation d'espèces et variétés fruitières tropicales et subtropicales

#### Diversification de la production bananière

Pour répondre à une demande de la profession en matière de diversification de la production bananière, plusieurs cultivars de type « mignonne » et « plantain » avaient été introduits sous forme de vitro plants en 2001. La demande en rejets des variétés de plantain et de Figue Pomme en collection reste forte et la diffusion du matériel végétal a démarré, en fonction du développement des rejets. Nous attendons toujours la levée de la quarantaine sur trois variétés de Figue Pomme dont une variété à port nain présentant un grand intérêt pour la Réunion, dans les zones exposées aux vents.

Les possibilités de diffusion concernent les plantains (bananes à cuire) dont le marché se développe aujourd'hui à la Réunion et des bananes desserts :

- **Plantains** : Obino l'Ewäi, Messiatso, Red Yade, Boddy Tannap, Apantu, Kelong Mekintu, Popo'Ulu et Orishele.
- **Dessert** : Gros Michel, Pissang Berangan, Lady Finger (plusieurs cultivars), Pisang Awak, Figue rose.

#### Évaluation variétale du litchi

La variété Toupie, spécifique de la Réunion a fait l'objet de nouvelles observations. Les caractères morphologiques du fruit sont confirmés (calibre supérieur à la variété Kwai Mi, très forte proportion régulière de petits noyaux ou noyaux avortés,

précocité de récolte par rapport au Kwai Mi) mais l'apparition relativement rapide (dans les 48 heures) de taches brunâtres sur la coque des fruits pourrait devenir un handicap sérieux au développement et à la commercialisation des fruits.

Des essais de brumisation sur l'arbre (et ses fruits) pour maintenir une humidité constante n'ont pas donné de résultat intéressant.

Cette variété doit donc maintenant être évaluée dans des conditions de production « plus normales ». Des plants ont donc été fournis à quatre producteurs situés sur la côte Est et dans le Sud pour l'implantation de vergers de référence. Ce dispositif sera complété en 2005 par deux nouvelles implantations sur la côte Est.

Les variétés introduites des Canaries en 2003 ont été implantées dans la collection de la Station de Bassin Plat. Leur développement est satisfaisant, et toutes les variétés, neuf au total, ont pu être sauvées.

Les démarches pour la mise en place du site web « Litchi » sont toujours en cours.

#### Agrumes : évaluation variétale et conduite en Agriculture biologique

Les variétés présentes dans la collection située sur la station de Bassin Plat ont été évaluées par rapport à leur sensibilité vis-à-vis de certaines maladies et ravageurs en tenant compte d'une approche de type agriculture biologique. Dans cette approche, l'utilisation de produits phytosanitaires est possible sous réserve qu'ils soient homologués comme produits « AB ». Il s'agit en fait de produits ayant un principe actif d'origine naturelle.

Dans les résultats qui apparaissent ci-dessous, il faut tenir compte des conditions environnementales et notamment de l'altitude de la parcelle, notamment au regard des attaques de mouches des fruits. Dans des conditions d'altitude moins élevée, les attaques pourraient être plus importantes.

ments) permettent aujourd'hui d'avoir une bonne connaissance de ces nouvelles variétés et de sélectionner celles présentant les caractéristiques les plus intéressantes, tout en conservant la possibilité d'étaler les productions de fin février à fin juillet (5-6 mois) pour une altitude donnée.

Ces évaluations conduites en 2003 (précocité, pomologie, qualité interne) et 2004 (sensibilité aux maladies et ravageurs, calibre des fruits et rende-

*C. Lavigne, P. Cao-Van*

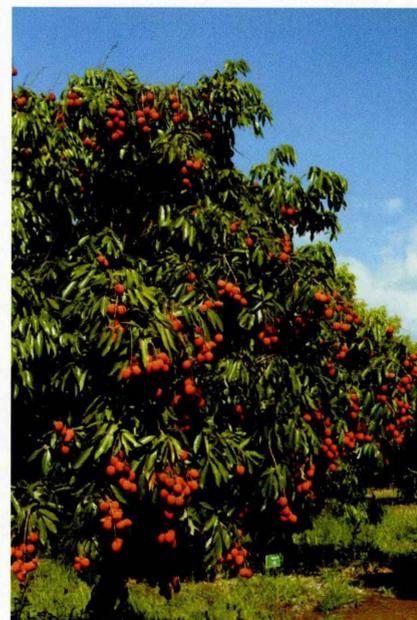


Photo 7.  
Production de litchi en collection  
(P. Cao-Van).

	Pic maturité (N° semaine)	Adhérence de la peau	Chancre citrique	Sensibilité phytophages et tarseptèmes	Sensibilité cochenilles	Sensibilité MDF	Poids moyen	Rendement
Clém. 532 GUILLERMINA	9	-	-	-/+	-	-	109	Moyen
Clém. 63 commune	9	-	-	-/-	-	+	180,2	Bon
M. LEE 49	12	+	-	-/-	-	+	198	Moyen
O. MORITA NAVEL 556	13	++	-	+/++	-	-	330,2	Moyen
O. NEWHALL NAVEL 343	13	++	-	++/+	-	+	327,1	Très bon
M. IMPERIAL 587	15	-	-	-/-	-	-	126,2	Moyen
M. LADU-SZIBAT 589	15	-	-	-/-	-	-	153,4	Moyen
M. NOVA 158	15	++	-	-/+	-	+	185,7	Moyen
M. PAGE 159	17	++	-	+/-	-	+	118,3	Très bon
O. RHODES SUMMER NAVEL 651	17	++	-	+/+	-	-	344,4	Moyen
O. TROVITA 252	17	++	-	+/+	-	+	184,6	Bon
O. YOSHIDA NAVEL 558	17	++	-	++/++	-	-	286,8	Bon
M. BERGAMOTA 164	19	++	-	-/+	-	+	212	Moyen
M. EMPEROR 415	19	+	-	-/-	-	+	165	Bon
M. ENCORE 190	19	+	-	+/++	-	+	152	Bon
M. FUZHU 599	19	-	-	-/+	-	++	140,7	Moyen
M. NATAL 481Tightskin	19	++	-	-/-	-	+	128	Moyen
M. TEMPLE 309	19	++	-	-/+	-	+	215	Bon
O. MARSS EARLY 509	19	++	-	+/+	-	-	303,3	Bon
M. FAIRCHILD 30	23	-	-	-/-	-	-/+	130,8	Très bon
M. LADU 595	23	-	-	-/-	-	-	164	Bon
M. TEMPLE 467 Sue Linda	23	++	-	-/+	-	+	182	Moyen
T. ORTANIQUE 110	25	+++	-	+/++	-	++	212	Très bon
M. FEDERICI 417	26	+++	-	-/+	-	+	133	Faible
Tangéolo MINNEOLA 156	26	++	-	-/-	-	++	221,7	Bon
M. SZIKOM 597	27	-	-	-/-	-	+	112,6	Bon
M. LADU-SZIKING 588	27	-	-	-/-	-	-	165,1	Moyen
M. EMPEROR LATE 423	28	+	-	-/-	-	+	211	Bon
O. DON JOAO 162	31	++	-	+/+	-	-	186,6	Moyen

Evaluation agrumes – Station de Bassin Martin (Altitude 350)



# SYSTÈMES DE PRODUCTION INTÉGRÉS

## ► Amélioration des techniques culturales de l'ananas

### Amélioration de la qualité interne du fruit

Les taches noires restent un des problèmes les plus importants pour la qualité de l'ananas Victoria à la Réunion. Les travaux conduits précédemment ont mis en évidence l'incidence des teneurs en azote et en potasse dans la plante sur l'expression des taches noires, et conduisent à conseiller une fertilisation avec un rapport K/N supérieur à 3 pour réduire ce risque. Des essais se poursuivent dans cette voie pour préciser les meilleurs compromis entre azote, potasse mais aussi calcium et faire des recommandations adaptées aux agriculteurs.

L'intensification de cette culture depuis quelques années, et toutes les interventions visant à accélérer la production, sont responsables à un degré plus ou moins fort de la baisse de qualité généralement constatée. L'utilisation excessive d'azote fragiliserait les cellules du fruit et favoriserait ainsi le développement des taches noires. L'utilisation de l'éthéphon, pour déverdir les fruits, pourrait, outre le fait de masquer la véritable maturité du fruit, accélérer le vieillissement des fruits après récolte. Toutes ces questions mettent clairement en évidence la nécessité de développer une approche plus globale sur l'amélioration de la qualité de l'ananas Victoria pour la Réunion. Cette approche, pour laquelle nous avons opté, doit combiner des disciplines complémentaires telles que l'agronomie, la physiologie, la « post-récolte », et aussi celles de défense des cultures pour aborder cette culture sous un véritable angle de production fruitière intégrée.

### Taches noires et conduite de la culture : enquêtes auprès des producteurs

Compte tenu de l'importance persistante du problème des taches noires, et des relations fortes mises en évidence entre leur expression dans les fruits et l'itinéraire technique pratiqué, il devenait important de pouvoir mieux apprécier les pratiques culturales appliquées par les producteurs d'ananas à la Réunion. Les itinéraires techniques recommandés pour la culture de l'ananas Victoria à

la Réunion sont résumés dans le dossier technico-économique Ananas publié par le SUAD – Chambre d'Agriculture de 1998 et établis en collaboration avec le Cirad et sur la base des connaissances acquises à cette époque.

Une enquête a été entreprise auprès d'exploitations produisant de l'ananas Victoria à la Réunion. Elle s'est déroulée en deux temps de façon à pouvoir prélever et analyser des fruits récoltés en période chaude traditionnellement moins affectée par les taches noires (décembre 2003 à février 2004) et en période fraîche traditionnellement plus sensible à ce problème (août-septembre 2004). Pour chaque période, une trentaine d'exploitations ont été visitées, réparties sur l'ensemble des zones de production de l'île. Sur chaque exploitation, des échantillons ont été prélevés : de fruits pour quantifier les taches et de feuilles pour analyser les teneurs en minéraux.

Une première analyse fait apparaître l'importance des taches noires (comptabilisation des fruits présentant au moins une tache en production d'été) sur les différentes exploitations enquêtées. Moins de 20 % des exploitations enquêtées ont des fruits affectés dans une proportion inférieure à 10 %. L'analyse des teneurs minérales des feuilles est révélatrice d'une très forte hétérogénéité des situations et globalement d'une dérive des pratiques culturales à la Réunion par rapport aux recommandations techniques publiées par la Chambre d'Agriculture en 1998 :

- des teneurs en azote largement supérieures aux besoins qui sont le résultat d'une fertilisation azotée excessive. L'azote intervient dans la croissance de la plante et du fruit et contribue à favoriser un facteur quantitatif. Cet excès d'azote favorise également la rapidité de croissance qui entraîne une fragilisation des cellules végétales constitutives du fruit. L'excès d'azote pourrait, à ce titre, favoriser l'expression des taches noires à la maturité du fruit.
- des teneurs en potasse inférieures aux besoins qui sont le résultat d'une fertilisation potassique déficitaire.



Photo 8.  
Ananas Victoria de la Réunion (P. Cao-Van).

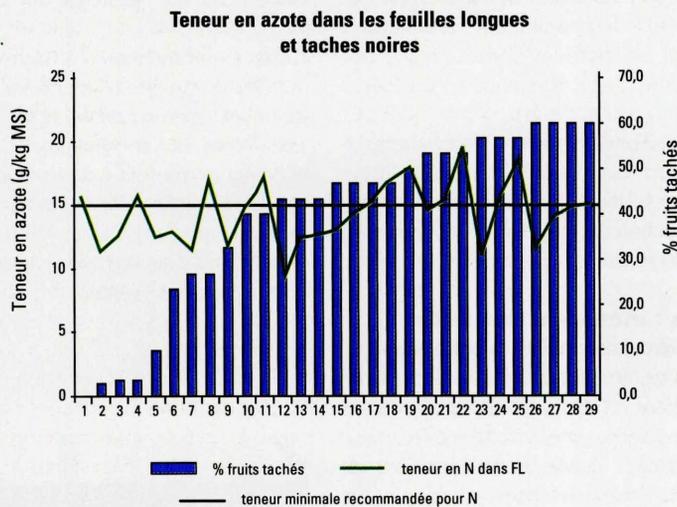
La potasse contribue normalement à favoriser un facteur qualitatif de la production.

Ces données chiffrées confirment l'évolution des pratiques culturales évoquées par les producteurs lors de discussions sur le terrain. La potasse, sans effet visible sur le rendement et d'un coût largement supérieur à celui de l'azote, est aujourd'hui appliquée dans la plupart des cas à des doses inférieures à celles préconisées. Inversement, l'azote, facteur de croissance et de rendement et d'un coût moindre, est surdosé. Les rendements des parcelles sont bons, et la longueur des cycles peut-être légèrement réduite pour l'obtention de calibres « exportables », ce qui favorise d'autant plus l'importance et le retour financier de la culture. Dans les circuits commerciaux actuels, l'aspect visuel (coloration, calibre) du fruit prime pour sa commercialisation alors que sa qualité interne

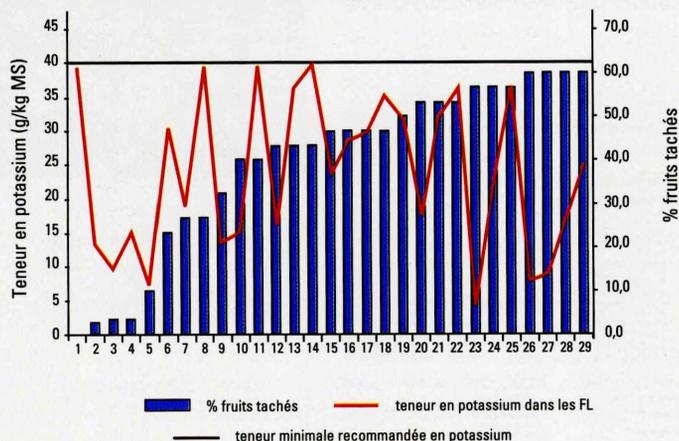
(fermeté, sucre, acidité, taches noires) est laissée à la découverte du client au moment de la consommation du produit. L'approche de la qualité reprend heureusement son importance dans une mouvance récente. Les producteurs réunionnais sont conduits à s'intéresser à une démarche de reconnaissance de qualité (projet de Label Rouge), et donc à revoir rapidement les itinéraires techniques au profit de celle-ci. Dans cet esprit, notre approche globale de l'amélioration de la qualité de l'ananas Victoria prend toute son importance. Dans ce cadre, nous avons poursuivi les travaux d'étude sur la fertilisation et son incidence sur les taches noires dans une approche combinée agromonie-qualité.

C. Lavigne, P. Cao-Van

Figure 2.



**Influence de la teneur en potassium dans les feuilles longues au moment de la récolte des fruits sur l'expression des taches noires**



## ► Amélioration des systèmes de culture de tomates hors-sol

Rendement cumulé en saison chaude chez Jimmy NICOLE (en kg/m<sup>2</sup>)

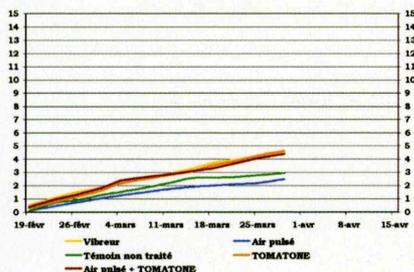


Figure 3. Comparaison de méthodes de pollinisation.

Observations rendement au RSMA Évolution du rendement commercialisable cumulé

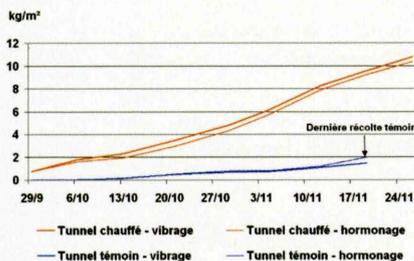


Figure 4. Pollinisation et chauffage.

### Pollinisation de la tomate sous abri

Cette problématique entamée depuis 2002 s'est poursuivie par des expérimentations chez des producteurs dans les conditions climatiques extrêmes : en basse altitude durant la saison chaude chez J. Nicole et en zone d'altitude durant l'hiver austral au sein du RSMA de Bourg-Murat.

Dans ces deux situations (Fig. 3 et 4), l'usage du vibreur mécanique procure des résultats de nouaison similaires à ceux obtenus avec l'emploi d'une hormone artificielle commercialisée sous le nom commercial TOMATONE.

Sur le site du RSMA, la comparaison entre un tunnel chauffé et un tunnel froid démontre que la mauvaise nouaison observée en hiver n'est pas directement liée à la pollinisation mais plutôt à l'environnement qui place les plantes en situation de stress perturbant leur développement général.

Ces expérimentations confirment donc la possibilité de substituer l'hormone actuelle par le vibreur mécanique mais il convient de s'interroger sur l'intérêt du maintien de la culture de la tomate durant les périodes climatiques difficiles.

### Le greffage : méthode de lutte contre le flétrissement bactérien

L'objectif de cette étude est de tester en culture différentes variétés de porte-greffes ayant montré une tolérance au flétrissement bactérien (*Ralstonia solanacearum*, race I biovar 3) en conditions de laboratoire. Huit variétés sont ici employées comme porte-greffe. Les greffons sont issus d'une variété sensible (FONTO).

Un témoin sensible est représenté par la variété FONTO greffée sur elle-même tandis que la réfé-

rence est le greffage sur bringellier marron (*Solanum Torvum*).

L'expérimentation est conduite dans le vallon de la station Cirad de Ligne-Paradis qui est fortement infestée par *Ralstonia solanacearum* (race I biovar 3 dite « Race des Bas » à la Réunion).

L'essai conduit, sans tuteurage comme la majorité des cultures de plein champ à la Réunion, a subi plusieurs coups de vent au cours de la culture ; en conséquence, de nombreuses ruptures ont été observées au niveau du point de greffe, notamment avec le bringellier, indiquant la fragilité de cette greffe d'un matériel vert sur du ligneux.

Hormis la variété GA 219, les variétés testées ont confirmées leur résistance au flétrissement bactérien (Fig. 5).

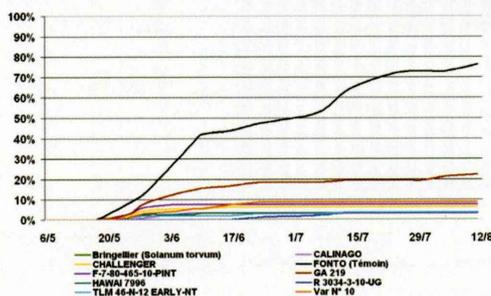
Cette expérimentation a permis d'identifier des variétés de tomate résistantes à la race I biovar 3 de *Ralstonia solanacearum* et de sélectionner, parmi elles, celles qui se révèlent les plus vigoureuses. Il demeure toutefois deux limites à l'emploi de ces porte-greffes : la maîtrise des conditions de reprise des plants après greffage qui nécessite encore quelques recherches pratiques et la multiplication de ces variétés.

S. Simon



Photo 9. Vibrage mécanique d'un bouquet

Figure 5. Comparaison variétale vis à vis du flétrissement bactérien



## ☞ Publications et communications en 2004 :

### Publications et thèses

**BOURGLAN Y., NOURRY G., SIMON S., 2003.** Dossier Pollinisation. In Rapport Annuel CTEA, Cultures légumières sous-abris. Armefflor, juin 2003.

**LE BELLEC F., 2004.** Pollinisation et fécondation d'*Hylocereus undatus* et d'*H. costaricensis* à l'île de La Réunion. Fruits, vol. 59, n°6, 411-422.

**LECHAUDEL M., 2004.** Croissance et qualité organoleptique de la mangue (*Mangifera Indica*) : analyse expérimentale et modélisation de l'effet de la disponibilité hydrique et carbonée. Thèse, Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris, France. 146 p.

**LECHAUDEL M., JOAS J., CARO Y., GÉNARD M., JANNOYER M., 2005.** Leaf: fruit ratio and irrigation supply affect seasonal changes in minerals, organic acids and sugars of mango fruit. Journal of the Science of Food and Agriculture, 85, 251-260.

**LÉCHAUDEL M., GÉNARD M., LESCOURRET F., URBAN L., JANNOYER M., 2005.** Modeling effects of weather and source-sink relationships on mango fruit growth. Tree Physiology 25, 583-597.

**LU P., URBAN L., ZHAO P., 2004.** Granier's thermal dissipation probe (TDP) method for measuring sap flow in trees: theory and practice. Acta Botanica Sinica, 46, 631-646.

**NORMAND F., 2004.** *Psidium cattleianum*. In: Crop Protection Compendium, CAB International, Wallingford, UK.

**URBAN L., MONTPIED P., NORMAND F., 2004.** Seasonal effects on leaf nitrogen partitioning and photosynthetic water use efficiency in mango. Journal of Plant Physiology. (Accepté)

**URBAN L., LU P., THIBAUD R., 2004.** Inhibitory effect of flowering on leaf photosynthesis in mango. Tree Physiology, 24, 387-399.

**URBAN L., LECHAUDEL M., LU P., 2004.** Effect of fruit load and girdling on leaf net photosynthesis in mango. Journal of Experimental Botany, 405, 2075-2085.

**URBAN L., LECHAUDEL M., LU P., 2004.** Interpreting the effect of fruit load on leaf photosynthesis in girdled branches of mango. Journal of Experimental Botany, 55, 2075-2085.

**URBAN L., LECHAUDEL M., 2005.** Effect of leaf-to-fruit ratio on leaf nitrogen content and net photosynthesis in girdled branches of mango. Trees (sous presse)

### Communications dans des congrès

**Réunion annuelle du Cirad-Flhor, AGROPOLIS. Montpellier, 5-9 juillet 2004 :**

**JAFFUEL S., JANNOYER M., NORMAND F., 2004.** Croissance et structure des jeunes manguiers. Réunion annuelle du Cirad-Flhor. Présentation orale.

**LAVIGNE C., 2004.** Litchi : évaluation des variétés en collection à l'île de La Réunion. Réunion annuelle du Cirad-Flhor. Présentation orale.

**LAVIGNE C., 2004.** Culture biologique des agrumes en région sub-tropicale insulaire. Réunion annuelle du Cirad-Flhor. AGROPOLIS. Présentation orale.

**NORMAND F., DAMOUR G., CABEU P., DECHAZAT M., JOURDAN C., JANNOYER M., 2004.** Teneurs en matière sèche et répartition de la biomasse chez le manguiers. Réunion annuelle du Cirad-Flhor. Présentation orale.

**NORMAND F., JOURDAN C., 2004.** Le système racinaire du manguiers à la Réunion : biomasse et dynamique racinaire. Réunion annuelle du Cirad-Flhor. Présentation orale.

**URBAN L., 2004.** Le programme écophysologie du manguiers à la Réunion. Réunion annuelle du Cirad-Flhor. Présentation orale.

**URBAN L., 2004.** Effet de la floraison et de la fructification sur la photosynthèse du manguiers. Réunion annuelle du Cirad-Flhor. Présentation orale.

**URBAN L., LEVAVASSEUR E., 2004.** Modélisation de la photosynthèse du litchi. Poster.

### *International mango symposium :*

**LECHAUDEL M., JANNOYER M., GÉNARD M., 2004.** Effect of the leaf: fruit ratio on growth and partitioning of water and dry matter in mango fruit. International mango symposium. Acta Horticulturae. 645, 429-433

**LECHAUDEL M., JOAS J., JANNOYER M., 2004.** Effects of the leaf: fruit ratio on some quality components of 'Lirfa' mango. International mango symposium. Acta Horticulturae. 645, 435-439

**3<sup>e</sup> symposium sur les fruits tropicaux et subtropicaux, 12-17 septembre 2004, Recife, Brésil :**

**MICHELS T., NORMAND F., 2004.** Effect of fruit thinning on strawberry guava (*Psidium cattleianum*) fruit quality and alternate bearing. Communication présentée 3<sup>rd</sup> Symposium on Tropical and Subtropical Fruits, 12-17/09/2004, Recife, Brazil. A paraître dans Acta Horticulturae.

**NORMAND F., MICHELS T., 2004.** Nitrogen triggers floriferous flush in strawberry guava (*Psidium cattleianum*). Poster présenté au 3<sup>rd</sup> Symposium on Tropical and Subtropical Fruits, 12-17/09/2004, Recife, Brazil.

**7<sup>e</sup> symposium international sur la mangue, 22-27 septembre 2002, Recife, Brésil :**

**URBAN L., LE ROUX X., SINOQUET H., JAFFUEL S., JANNOYER M., 2004.** A model of leaf photosynthesis for mango cv. Lirfa. Poster. Proceedings of the 7th International Symposium on Mango. Recife, Brésil, 22-27 septembre 2002. A.C.Q. Pinto et al. (eds.). Acta Horticulturae, 645, 411-416.

**URBAN L., JANNOYER M., 2004.** Functioning and role of stomata in mango leaves. Présentation orale. Proceedings of the 7th International Symposium on Mango. Recife, Brésil, 22-27 septembre 2002. A.C.Q. Pinto et al. (eds.). Acta Horticulturae, 645, 441-446.

**NORMAND F., LECHAUDEL M., 2004.** Toward a better interpretation and use of thermal time models. Communication présentée au 7<sup>th</sup> Symposium on Modelling in Fruit Research and Orchard Management, 20-24/06/2004, (ISHS) Copenhagen, Denmark. A paraître dans Acta Horticulturae.

#### **Rapports et documents de vulgarisation**

**ALPHONSOUT L., 2004.** Etude de l'effet du girdling et d'une privation d'eau sur l'accumulation de sucres et la capacité photosynthétique chez le manguier. DESS Elaboration et amélioration de la production végétale de l'Université Blaise Pascal.

**GALLIENNE J., 2004.** Etude de l'effet de la charge en fruits et de l'irrigation sur la photosynthèse du litchi. ENSAIA de Nancy.

**MAGNE C., 2004.** Effet de la charge en fruits sur la croissance végétative de plusieurs variétés de manguier à l'île de la Réunion. ENITA Clermont-Ferrand, 41 p.

#### **Missions**

**CAO-VAN P.,** Mission d'appui au programme agrumicole du Vietnam dans le cadre du Projet de Coopération décentralisée Corse-Vietnam. 13 au 23 novembre 2004.

**LAVIGNE C.,** Mission d'appui à la filière de production d'ananas Queen Tahiti en Polynésie Française. 10 au 21 mai 2004.



# Élevage

**Dans un contexte d'évolution des soutiens de la PAC et de mondialisation des échanges, l'enjeu majeur pour l'agriculture et l'élevage à la Réunion sera de s'adapter pour continuer de répondre à des demandes de plus en plus pressantes au plan économique, social et environnemental.**

En intégrant des compétences disciplinaires diverses - agronomie, zootechnie, écologie, santé animale, modélisation, socio économie - le pôle élevage s'attache à l'étude des fonctions, du fonctionnement et des fonctionnalités particulières de la ressource et de l'animal ainsi qu'à l'intégration synergique de ces deux éléments dans la conception, à l'échelle de l'exploitation et de son territoire, d'éco-agrosystèmes d'élevage de qualité.

Les questions qui animent l'équipe ont trait à la production et à la mise en oeuvre de références et d'outils innovants pour améliorer la conduite des systèmes d'élevage. Ils sont innovants dans les objectifs, parce qu'ils doivent répondre à la gestion de fonctions multiples qui ne se cantonnent plus à la seule production. Innovants dans la démarche également : les actions impliquent étroitement les acteurs éleveurs, services d'appui, filières, et chercheurs dans le transfert effectif de connaissances construites en commun. Les opérations s'articulent ainsi résolument autour de conventions établies avec les organismes partenaires.

Le projet « Amélioration des systèmes d'élevage bovin » est structuré autour de cinq opérations de recherche dont les expérimentations sont toutes menées en exploitations. L'ensemble des informations recueillies sur le terrain est organisé en bases de don-

nées multidisciplinaires qui permettent d'établir des diagnostics fins des contraintes à la production (alimentation, zootechnie, gestion des pâturages, santé animale, qualité des produits). Ces diagnostics sont un préalable indispensable à la mise en place de programmes d'amélioration adaptés. Les références produites sont ensuite utilisées à des fins de modélisation. Le projet « Diversification des filières » vise à constituer des référentiels technico-économiques en exploitations caprines et à améliorer la productivité en levant les contraintes d'ordre nutritionnel ou sanitaire.

Les opérations conduites dans les deux projets vont progresser en actualisant la prise en compte de l'évolution du contexte de l'élevage réunionnais. La viabilité technique et économique des exploitations et la qualité des productions animales, la mise en évidence des externalités environnementales positives ou négatives selon les pratiques de conduite, la capacité à s'adapter sont autant de préoccupations majeures pour les professionnels. Elles constituent des thèmes prioritaires de la programmation des actions du pôle Elevage, et fédèrent l'ensemble des aspects traités par chacun des membres de l'équipe.

**P. Lecomte**



# A MÉLIORATION DES SYSTÈMES D'ÉLEVAGE BOVIN

## ► Gestion des ressources fourragères

L'émergence de préoccupations quant à la durabilité des systèmes, leur aptitude à recycler les effluents et la nécessité de mettre en place des normes et des pratiques de fertilisation adaptées dans les zones occupées par les activités d'élevage appelle à la construction de références particulières, adaptées au contexte local.

Ces référentiels seront utiles pour l'élaboration des modèles prévisionnels sur :

- L'impact des variations climatiques sur l'élaboration de biomasses herbacées
- Le devenir de l'azote dans les différents écosystèmes prairiaux soumis à différentes pratiques et niveaux de fertilisation organo minérale
- L'évolution de la biodiversité des couverts sous différents niveaux de conduite technique
- La potentialité des écosystèmes prairiaux en matière de séquestration de carbone.

### Référentiels pour la modélisation de la croissance de la ressource

Dans l'objectif de mieux représenter la variabilité spatio-temporelle de la disponibilité en ressource fourragère et de pouvoir modéliser celle-ci, un premier travail de collecte a été entamé en vue de constituer une base regroupant un maximum de données de croissance et de composition de l'herbe. Celles-ci seront ensuite utilisées pour tester différents types de modèles (empiriques, mécanistes,...) dont le paramétrage tirera utilement parti des bases de données agroclimatiques mises en place par le pôle Canne à sucre et le réseau Gesmet.

Les données qui ont déjà pu être récupérées sont principalement issues des essais précédemment réalisés par l'IRAT entre 1971 et 1987. A cette première source particulièrement intéressante s'ajouteront les nombreuses données collectées depuis la constitution du pôle Elevage jusqu'en 2003 dans le cadre des essais de suivi de comportement d'espèces, suivis prairiaux et essais de réponse à la fertilisation minérale NPK.

Une collaboration se met en place également avec le CRA de Gembloux en vue de tester l'adaptation du Modèle de Croissance des Prairies (MCP) qui a été développé pour les zones tempérées de l'hémisphère Nord (Leteinturier et al. 2004)

La construction du modèle repose sur l'hypothèse

que la croissance d'une culture prairiale est proportionnelle à la radiation solaire réellement utilisable par celle-ci. L'efficacité avec laquelle cette énergie est convertie en matière sèche dépend de toute une série de facteurs tels la quantité de rayonnement photosynthétiquement actif, le bilan radiatif de la culture, la température, la surface foliaire, la phase de croissance de l'herbe, la nature et la composition floristique du fourrage, l'alimentation en eau et la fertilisation azotée.

La mise en phase des données collectées au cours du temps à la Réunion avec les paramètres de ce modèle et l'adaptation du paramétrage au contexte local s'étalera sur les trois années à venir. Elle devrait aboutir à un outil permettant de simuler la disponibilité en ressources selon diverses modalités techniques (espèces considérées, rythme de fauche, fertilisation minérale et organique).

Une simulation empirique de la croissance quotidienne d'herbe en différentes zones de l'île a déjà donné des premiers résultats (Fig.1) qui montrent la diversité des situations et l'alternance tout aussi différenciée des excédents et déficits de fourrages que l'on peut rencontrer.

### Réponse à la fertilisation organique

L'utilisation raisonnée de fertilisants organiques issus du recyclage des effluents peut être une voie intéressante d'amélioration de la durabilité (économique, sociale et environnementale) des exploitations d'élevage. Les prairies de fauche sont capables de valoriser une quantité importante d'effluents azotés. Si les réponses de l'herbe aux

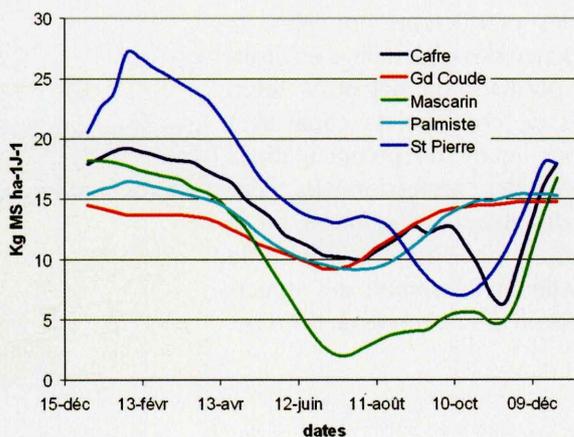


Figure 1. Représentation empirique de la croissance saisonnière de l'herbe calculée selon les niveaux d'ETR (année moyenne).



apports minéraux sont relativement bien connues, l'effet des pratiques d'épandage de matières organiques en prairies mérite à être documenté. En particulier dans le contexte tropical de la Réunion. Par ailleurs, au terme de la directive nitrates applicable au territoire européen, des normes limitant les quantités totales d'azote épandables se mettent en place. En 2004, un dispositif d'essais a été initié dans l'objectif de produire à moyen terme un

forme de composts. Au-delà de la mesure instantanée des réponses à différents niveaux d'apports, l'hypothèse générale sera de vérifier comment un passage de 200 unités azote (N) à 350 N organique arrive à couvrir les besoins en azote tout en tenant compte du fait que (1) dans le cas du lisier, 50 % en moyenne de l'azote est utile dans le temps sans grands arrière-effets autre qu'une modification progressive du pH du sol, que (2) dans le cas du



Photo 1.  
Essai de fertilisation en prairies  
Plaine des Cafres  
(P. Lecomte).

#### Modalités expérimentales de 1<sup>re</sup> année

Traitt.	Apports
1	Fumure nulle
2	Fumure minérale (350 u N /ha)
3	Lisier norme Norg. (200 u N /ha*)
4	Lisier (200 u N /ha) + min (150 u N /ha)
5	Lisier à la norme totale (350 u N /ha)
6	Compost à la norme Norg. (200 u N /ha)
7	Compost à la norme Norg + 150 u N /ha min. + ajustement**
8	Compost à la norme Ntotale (350 u N /ha)
9	Compost à la norme Ntotale + ajustement
10	Fumure N min 600 u N /ha

\* apport N calculé sur base de la teneur en N amoniacal du lisier (mesure Agrolisier).

\*\* ajustement calculé sur base d'une efficacité de 20% de l'N total du compost .

ensemble de références utiles à la modélisation de la réponse des prairies de fauche à la fertilisation organique et minérale.

La question est centrée sur l'adaptation des plans de fumure aux normes (350 unités azote par hectare avec un niveau d'azote organique fixé à 200 unités, le solde étant l'apport en azote minéral) établies pour les contextes prairiaux des zones tempérées de l'hémisphère Nord produisant un maximum de 12 tonnes de matière sèche (MS) par hectare par an. Il est intéressant de les confronter aux différentes situations que l'on rencontre sur l'île où les rendements peuvent aller jusqu'à plus de 20 tonnes par hectare en 5 à 8 coupes annuelles.

L'ébauche du questionnement et des modalités à pourvoir dans un protocole de long terme a été raisonnée en étroite collaboration avec les techniciens de l'UAFFP et de la Sicalait, les réflexions ont conduit à la mise en place d'un premier protocole de suivi. Les références devant être produites sous un angle de dynamique temporelle et spatiale, deux essais ont été mis en place en 2004, l'un à la Plaine des Cafres (Ferme de la Sicalait : photo 1), le second à St Joseph (Lycée agricole).

En terme de réponse à l'azote organique, les apports s'opèrent actuellement essentiellement sous forme de lisiers et potentiellement sous

compost, 20 % en moyenne est utile en année 1, ce pourcentage allant ensuite croissant avec l'arrière effet dû à l'amélioration du potentiel organique du sol sous la prairie.

Les essais sont mis en place pour une durée de 5 à 7 ans, ils comportent chacun 20 parcelles, soit 10 traitements, en trois blocs répétés.

Sur chaque essai les biomasses produites sont mesurées au long des 5 à 8 coupes réalisées selon les situations. A chaque récolte est associée une appréciation de la hauteur d'herbe et de la composition floristique. L'analyse de la composition du fourrage sera réalisée à chaque coupe (N, digestibilité, indices de nutrition NPK). Le sol de chacune des parcelles sera échantillonné et analysé chaque année.

#### Conduite de la ressource

La synthèse des principales connaissances acquises a abouti à l'édition de 2000 exemplaires du « Guide technique pour la création la gestion et la valorisation des prairies à la Réunion » par l'UAFFP et le pôle élevage (photo 2).

Édité avec le soutien du conseil régional, le guide a été largement distribué en milieu d'année.

Ce guide en français et en anglais est structuré en quatre parties qui abordent successivement :

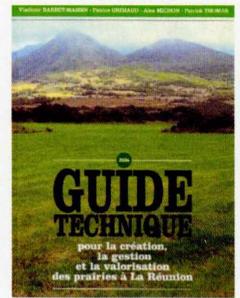


Photo 2.  
Guide technique pour la création  
la gestion et la valorisation des  
prairies à la Réunion.



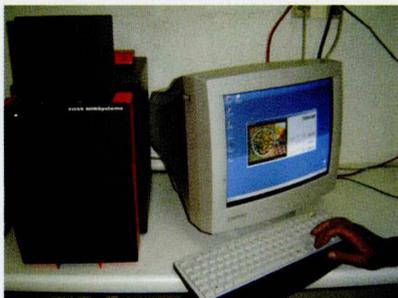


Photo 3.  
Spectromètre NIRsystem 5000  
en cours de préparation  
pour une analyse de fourrage.

- L'aménagement pastoral (création de prairies, renouvellement de prairies anciennes, choix des espèces).
- La gestion des prairies sous les aspects de choix de modes d'exploitation, de fertilisation, de report des stocks d'herbe, de techniques d'ensilage et enfin d'entretien des prairies.
- La valorisation des fourrages décrivant les principales valeurs alimentaires, les facteurs qui conditionnent la variabilité des ces valeurs et un ensemble de tables indicatrices.
- L'économie des herbages, coûts de création, de production et systèmes d'aides pour la mise en valeur des Hauts.

### Qualification rapide des ressources utilisables à la Réunion

Suite à un financement conjoint Région Réunion et Cirad, le pôle Elevage a pu finaliser l'acquisition en fin 2004 d'un spectromètre NIRsystem 5000 (photo 3) équipé d'un module transport pour la lecture d'échantillon frais ou broyé sec et d'un module pour la lecture rapide de produits liquides.

La spectrométrie dans le proche infra-rouge (SPIR) permet des dosages rapides, non destructifs et à moindre coût des constituants organiques de

la plupart des produits agricoles. Son utilisation fait l'objet d'une dynamique importante dans de nombreuses institutions de recherche internationales et en particulier au Cirad.

Le principe repose sur la mesure de l'absorbance de l'échantillon aux différentes longueurs d'onde du proche infrarouge, le traitement de données numérisées, permettant ensuite de prédire différents paramètres de qualité. L'acquisition de références spectrales et analytiques ainsi que l'élaboration de modèles de prédiction spécifiques aux ressources - et produits utilisés à la Réunion démontrent largement les potentialités de la technique. L'établissement de ces bases conduit implicitement à la conception de réseaux régionaux d'appareillages qui bien que complètement délocalisés peuvent être standardisés, échanger des spectres et permettront d'effectuer des prédictions en ligne sur des échantillons saisis localement.

La Réunion offre à ce point de vue un terrain d'expérimentation et de développement d'applications intéressant en particulier en matière de mise au point de systèmes de restitution rapide auprès des éleveurs d'informations sur la qualité des fourrages ou les besoins en fertilisants des prairies.

P. Lecomte

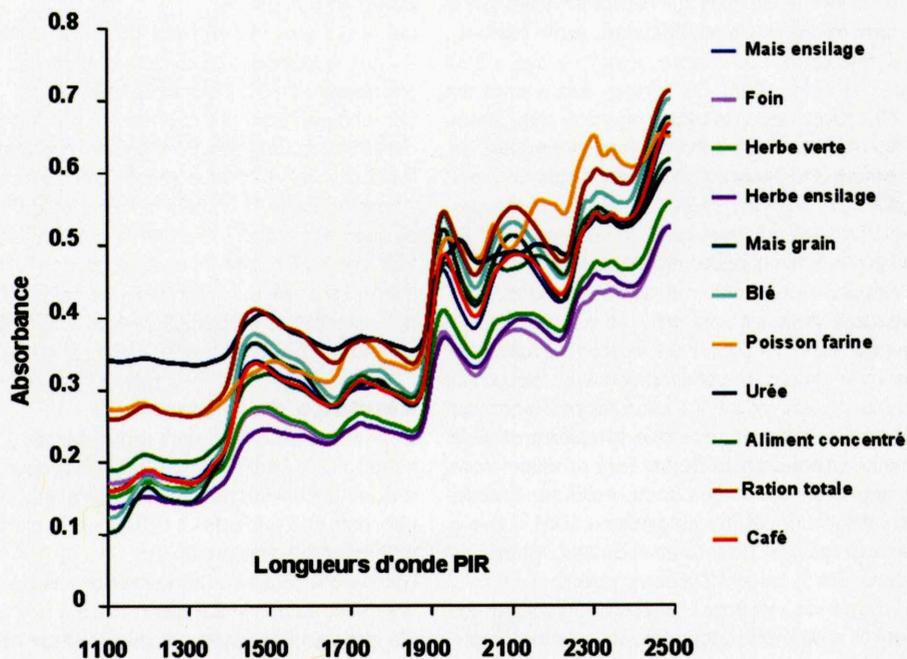


Figure 2.  
Exemples de spectres infrarouge  
proches de produits alimentaires.



## ► Valorisation des acquis de l'étude des causes de l'infertilité en élevages laitiers

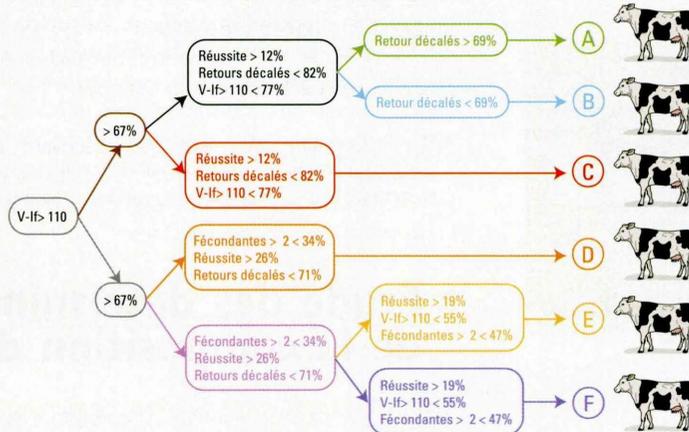
A la Réunion, la baisse régulière des performances de reproduction est aujourd'hui un facteur limitant très important de la productivité et de la rentabilité des exploitations. Les troubles de la reproduction sont parmi les plus difficiles à cerner et à gérer; de par leur origine multifactorielle et le délai souvent important entre les causes et leurs effets. Ils peuvent être liés à des facteurs intrinsèques ou extrinsèques aux animaux, tels que l'âge, la génétique, la taille du troupeau, la production laitière, mais aussi les pathologies, l'environnement, la zone d'élevage, la conduite et les pratiques d'élevage ou l'alimentation.

Le déficit énergétique postpartum mal maîtrisé concerne près d'un tiers des lactations et constitue une des causes majeures d'infécondité à la Réunion. L'année 2004 a été l'occasion de valoriser les résultats acquis par l'élaboration d'un guide pratique d'évaluation des performances de reproduction des troupeaux laitiers.

Ce guide a pour but de permettre à l'éleveur :

- de trouver et organiser facilement les informations nécessaires pour réaliser l'auto évaluation des performances de reproduction de son troupeau,
- d'identifier avec l'aide de ses partenaires techniques les facteurs potentiellement responsables de sa situation,
- de renforcer ses connaissances générales dans le domaine de la fécondité pour qu'il puisse valoriser au mieux les autres sources d'informations dont il dispose.

Ce guide est conçu pour être utilisé de deux manières: en lecture sélective (type fiche technique, document de travail) et en lecture linéaire (type ouvrage technique). Il est composé de quatre parties. La première rappelle les définitions des paramètres de reproduction, les principaux facteurs associés à l'infertilité en zone tempérée et à la Réunion et son coût. La partie 2 décrit la démarche qui permet à l'éleveur de calculer ses paramètres de reproduction en utilisant des informations qui sont pour la plupart déjà à sa disposition (bulletins d'insémination, fiche de contrôle laitier). Elle lui permet *in fine* d'identifier son groupe d'infertilité, et par conséquent d'établir une liste des facteurs de risque potentiels correspondant à sa situation (Fig. 3). La



partie 3 propose un ensemble complet de fiches techniques détaillées sur les causes de l'infertilité des troupeaux (une pour chaque facteur de risque) et les conduites à tenir pour prévenir leurs effets néfastes. La partie 4 fournit un panel assez large d'outils complémentaires nécessaires à la mise en œuvre de la démarche (évaluation de l'état corporel des animaux, collecte et utilisation des informations sur les pathologies, analyse des taux protéiques individuels, valorisation des données préalablement informatisées, disque de calcul des intervalles entre trois dates,...).

Des visites d'exploitations organisées en concertation avec les techniciens de la filière ont permis de mieux cerner – pour mieux les prendre en compte – les besoins et les attentes des éleveurs en ce qui concerne la gestion de l'infertilité (importance économique de la démarche, approche « troupeau », formulation de solutions simples et concrètes à un problème d'origine complexe, besoin de formation et d'appuis extérieurs). L'année 2005 sera l'occasion de finaliser ce guide, en particulier de tester sur le terrain la faisabilité de la démarche, d'élaborer et publier une maquette définitive du guide et enfin d'organiser un programme de formation pour les éleveurs et les techniciens d'élevage.

### Suivi de l'alimentation en exploitations laitières

Les données collectées dans les exploitations laitières ont été saisies, validées et organisées dans une base de données relationnelle. Une synthèse des mesures de valeur alimentaire obtenues au pôle Elevage depuis une dizaine d'années (méthode d'analyse classique et spectrométrie proche

Figure 3. Schéma hiérarchique d'identification du groupe de performances de reproduction auquel l'élevage appartient. L'éleveur progresse de la gauche vers la droite et choisit les embranchements en fonction de ses propres résultats.



Photo 4. Vaches laitières de J.-P. Deurveilher à la Plaine des Cafres (J. Voyssières).

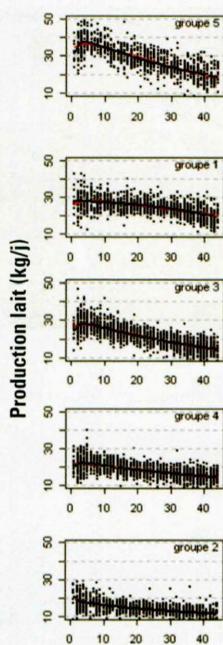


Figure 4. Typologie des courbes de lactation dans les élevages laitiers à la Réunion. Les productions par lactation de 305 jours varient de 4300 à 8450 kg et les productions au pic de moins de 20 à 37 kg, pour les groupes 2 et 5 respectivement.

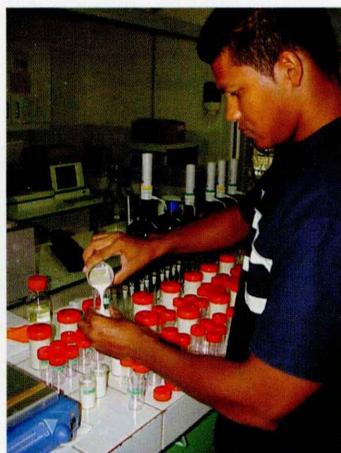


Photo 5. Analyse de lait au laboratoire du pôle Elevage (J. Bony).

infrarouge) pour les fourrages et les concentrés utilisés à la Réunion a été établie à cette occasion. On observe une grande variabilité dans les déséquilibres énergétiques individuels. Tous stades de lactation confondus, 29 % des animaux se trouvent en situation de déficit énergétique. En comparant ces déséquilibres par niveau de production laitière, on remarque que les déficits sont plus fréquents avec un niveau de production élevée et les excès avec un niveau de production faible.

Ce constat est lié à la distribution uniforme du concentré. Pour des raisons d'organisation, certains

éleveurs distribuent les mêmes quantités de concentrés à l'ensemble du troupeau et beaucoup n'ajustent leurs apports que pour deux lots, en début et en fin de lactation. On se retrouve alors fréquemment dans la situation où des animaux aux besoins de production très différents (y compris en début de lactation) (Fig. 4) arrivent dans un même lot et reçoivent les mêmes quantités de concentré.

E. Tillard

## ► Etude des déterminants de la qualité et de la composition du lait en élevages bovins

À la Réunion, la production de lait connaît un essor important depuis quelques années (pas de quotas individuels, forte demande) et la filière laitière a souhaité connaître quels étaient les principaux facteurs qui étaient à l'origine des modifications des caractéristiques du lait en cours d'année. En effet, les éleveurs doivent produire un lait de qualité conforme à la réglementation européenne en ce qui concerne les numérations cellulaires et la teneur en germes totaux, et qui réponde à la demande des transformateurs en ce qui concerne la composition chimique.

En 2004, la production de lait a été de 24 millions de litres, soit une augmentation de 8 % par rapport à 2003, mais elle reste bien inférieure à l'objectif permis par le quota global de l'île qui est de 40 millions de litres.

### Caractéristiques des laits

En moyenne, les laits analysés chez les 29 éleveurs du suivi contiennent 38.7g/l de matières grasses, 31.5g/l de protéines, 324 000 cellules/ml et 25 300 germes totaux/ml. Ces valeurs correspondent tout à fait à la moyenne des résultats de l'ensemble des élevages de l'île pour lesquels nous disposons des résultats à partir des analyses réalisées trois fois par mois par l'organisme de collecte (photo 5).

### Composition du lait et pratiques d'élevage

Une classification des laits a été réalisée : cinq classes de lait dont les caractéristiques sont proches ont été définies. En moyenne, les teneurs en matières grasses, protéines et lactose sont légèrement inférieures à celles observées en métropole alors que les teneurs en cellules et spores butyriques sont supérieures. L'affouragement en vert (photo 6) qui est déjà pratiqué par certains éle-

veurs pourrait être une solution pour réduire la contamination en spores butyriques liée aux ensilages d'herbe mal conservés. Les autres constituants analysés (lactose, minéraux, IgG, BSA, lipolyse, flore totale) présentent des valeurs voisines à celles habituellement observées.

Les principaux facteurs qui déterminent les différences entre les cinq classes de lait sont liés à la saison et aux régimes alimentaires, ces derniers étant conditionnés par la zone géographique.

Les élevages où les taux protéiques sont les plus élevés sont ceux où les apports énergétiques sont les plus importants et ce sont aussi ceux qui ont les meilleures productions laitières. Ces laits sont produits essentiellement à partir de fourrages tempérés associés à des quantités importantes de concentrés et les élevages se situent dans les Hauts de l'île (photo 7).

À l'inverse, les élevages où les laits ont des teneurs plus faibles en protéines sont ceux qui distribuent des rations moins énergétiques composées surtout de fourrages tropicaux associés à des quantités plus faibles d'aliments concentrés et ces élevages se situent dans les zones basses de l'île.

Au-delà de cette analyse spécifique de chaque constituant du lait, l'examen de l'ensemble des caractéristiques du lait montre qu'il n'existe pas actuellement dans la population enquêtée de classe idéale, qui cumulerait à la fois des teneurs élevées en matières utiles, une bonne valeur sanitaire et une production laitière importante. De même, l'examen des groupes d'élevages, constitués sur la base des pratiques d'alimentation et de conduite des troupeaux, montre clairement qu'actuellement aucun élevage ne présente tout au long de l'année des laits riches en matières utiles et pauvres en cellules et en spores butyriques. Par contre, il révèle que des exploitations sont capables d'avoir,

tout au long de l'année, des taux protéiques ou butyreux élevés, des numérations cellulaires faibles ou des contaminations butyriques faibles. Il existe donc des voies d'amélioration possibles via des modifications des pratiques de récolte et de conservation des fourrages (en particulier des ensilages), de rationnement des animaux, et d'hygiène du troupeau et de la traite. Ces pratiques, largement référencées en métropole, nécessitent d'être adaptées aux conditions spécifiques de l'île, et en particulier à la saison. Ce facteur ne doit cependant pas être considéré comme une fatalité

dans la mesure où seule une classe de lait apparaît fortement liée à la saison. Il existe donc une marge de manœuvre au sein de chaque élevage, même si les pratiques à mettre en œuvre sont différentes et /ou plus ou moins difficiles selon la saison. Des travaux sont actuellement en cours pour valider la faisabilité de certaines de ces pratiques.

J. Bony (Inra)



Photo 6. Affouragement en vert à l'auge (J. Bony).

## ► Modélisation du fonctionnement technique et économique des exploitations bovines laitières (EBL) à la Réunion

Le contexte d'évolution rapide de l'élevage à la Réunion exige une forte capacité à évaluer la viabilité des exploitations bovines laitières et leurs perspectives d'évolution. Le recours à la modélisation a permis depuis juin 2000 d'établir une réflexion prospective répondant non seulement à des questions de recherche – évolution des systèmes d'élevage en fonction de politiques de soutien, prise en compte des enjeux environnementaux, compréhension des processus de décision – mais aussi d'apporter des éléments d'aide à la décision aux acteurs de la filière. Cette volonté de concilier une recherche exigeante au fait des thématiques actuelles et un partenariat étroit avec les acteurs du développement est reflétée par les principales actions menées cette année :

- Évolution d'un modèle de recherche vers un outil d'aide à la décision
- Prise en compte des objectifs multiples de l'éleveur dans un modèle de programmation mathématique
- Modélisation des processus de décision régissant les flux d'azote au sein des EBL à la Réunion

### D'un modèle de recherche à un outil d'aide à la décision

Depuis sa formation en 1987, le pôle Elevage cultive une spécificité peu courante dans les dispositifs de recherche : tous ses travaux se font en partenariat étroit avec les acteurs de la filière. Le pôle ne possède en effet aucune station d'expérimentation et les données recueillies se font par suivi ou enquête directement au sein des exploitations. Cette proxi-

mité entre recherche et développement permet à notre équipe de rester en contact avec les préoccupations de la filière, et de les transformer en nouveaux objectifs de recherche. Réciproquement, elle exige que nos résultats de recherche puissent être transférés dans les meilleurs délais aux relais de développement, et ce, sous une forme correspondant à leurs attentes.

Pour concevoir, réaliser et surtout valider un modèle, il faut prendre en compte une grande quantité d'informations qui ne sont pas toutes d'intérêt égal aux yeux des techniciens de la filière. Au cours de cette procédure de validation, le chercheur fait varier un nombre important de paramètres afin de tester la sensibilité du modèle et de l'ajuster au mieux à la réalité du terrain.

Pour obtenir un outil d'aide à la décision, il s'agit donc de définir avec les partenaires, en premier lieu la coopérative laitière, quelles sont les variables d'entrée sur lesquelles on doit pouvoir agir et les variables de sortie qu'on désire mettre en avant. A partir de ces demandes, une interface graphique a été développée. Elle permet, d'une part de modifier les paramètres d'entrée de façon intuitive, d'autre part de consulter les sorties de façon visuelle et rapide. Les partenaires ont ainsi le loisir de simuler divers scénarios, en modifiant les paramètres d'entrée, et de comparer les résultats avec des simulations de référence (Fig. 5).

### Formalisation de la prise en compte de la multiplicité des objectifs des éleveurs

Le modèle présenté ci-dessus (nommé Amsteel) réalise ses simulations en optimisant sous contrainte le revenu de l'éleveur sur un horizon de 5 ans.



Photo 7. Récolte des fourrages en vert dans les Hauts (J. Bony).

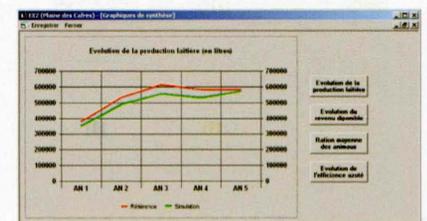


Figure 5. Observation de la déviation par rapport à la situation de référence (voie graphique).



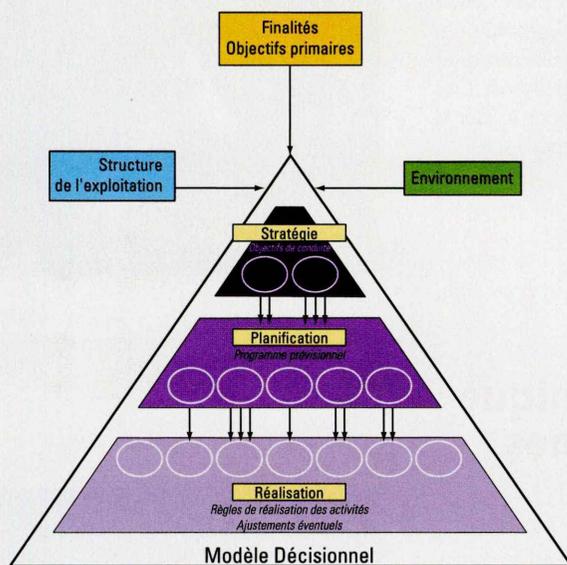


Figure 6.  
Représentation graphique  
d'un modèle d'action.

Cette formalisation est sans doute suffisante pour représenter les comportements moyens au sein d'un type d'élevage. Cependant, l'intégration des critères environnementaux aux sorties du modèle et la mise en évidence d'une grande diversité des pratiques décisionnelles nous ont poussé à affiner la formalisation du processus de décision des éleveurs.

Nous sommes ainsi passés de la maximisation du revenu à la maximisation d'une fonction d'utilité prenant en compte le revenu ainsi que les critères environnementaux (bilan azoté). Les différentes approches utilisées (Multiple Objective Programming, Goal Programming simple et modifié par notre équipe) mettent en évidence la possibilité d'un compromis acceptable entre le revenu et le bilan azoté, ainsi que l'importance d'un lien entre les normes définies et le niveau technologique permettant de respecter ces

normes. Enfin, les différents modélisations du processus de décision en fonction d'objectifs multiples confirment l'importance de transformer les objectifs réglementaires en objectifs propres des producteurs.

### Modélisation des processus de décision régissant les flux d'azote au sein des EBL à la Réunion

Notre vocation est de produire des connaissances sur la durabilité des exploitations bovines réunion-

naises. La composante environnementale a donc pris une part croissante au sein de nos travaux de modélisation, comme en témoignent l'intégration du bilan et de l'efficacité azotés au sein du modèle Amsteel. Cependant ces critères globaux considèrent les entrées et sorties d'azote, et non le cycle de l'azote à l'intérieur de l'exploitation. Un travail sur les flux d'azote au sein de l'exploitation est donc nécessaire. Or, les différents flux d'azote au sein de l'exploitation ne sont pas seulement régis par des phénomènes biophysiques, mais sont aussi fortement dépendants des décisions prises par les éleveurs, en matière de gestion des aliments, du troupeau, des prairies et des effluents d'élevage. Nous avons donc cherché à appréhender les processus de décision des éleveurs susceptibles d'influencer les flux d'azote au sein de l'exploitation laitière, en encadrant sur ce sujet le stage de DEA de Jonathan Vayssières. Son travail, reposant sur des enquêtes-immersion innovantes, a permis d'élaborer d'un modèle d'action, structure hiérarchisée des objectifs primaires de l'éleveur jusqu'à ses règles d'ajustement quotidiennes, en passant par ses objectifs de conduite et son programme prévisionnel. Il met en évidence les leviers utilisés par les éleveurs dans la gestion du cycle de l'azote au sein de leurs différents ateliers (Fig. 6).

La pérennité de ce travail est assurée par l'accueil en thèse de Jonathan Vayssières dans le but de finaliser un modèle de flux d'azote dans l'exploitation bovine laitière prenant en compte les processus décisionnels des éleveurs.

M. Gousseff

## ► Pratiques gestionnaires et modèles de décision en élevage bovin allaitant

Un des objectifs de l'opération est d'identifier des indicateurs de gestion pertinents pour les éleveurs et leurs organisations afin de leur proposer, *in fine*, des outils d'aide à la décision. Pour cela, il est nécessaire, au préalable, de bien appréhender les stratégies des producteurs, de repérer les déterminants de l'affectation des ressources au sein de l'exploitation et d'analyser leurs pratiques « gestionnaires ».

Les travaux de recherche menés en 2004 sont destinés à appréhender le comportement des éleveurs et initier un travail de modélisation des exploitations d'élevage. Conjointement, la construction d'un référentiel technico-économique s'est poursuivie.

### Premières restitutions du référentiel technico-économique

La constitution de ce référentiel a été engagée en 2003, en collaboration avec la SicaRevia qui souhaite disposer d'un outil pérenne d'observation de l'évolution des coûts de production et de la rentabilité de l'activité bovine. Il s'adosse sur 18 exploitations représentatives des types d'élevage présents à la Réunion. Il est alimenté par des visites régulières en exploitation et le recueil de données disponibles auprès de différents organismes partenaires (Cerfa, Chambre d'Agriculture, EDE, SicaRevia, Daf,...). Ces informations sont enregistrées dans une base de données Access, en cours d'implémentation, aujourd'hui alimentée par trois exercices successifs

(2001 à 2003).

Sur la base de ces données, nous avons défini, avec la SicaRevia, les modalités de calcul d'une première série d'indicateurs aboutissant à la Marge Brute. Dans un premier temps, les requêtes et calculs ont été effectués sur les types « engraisseur » et « génisse en pension ». Une fiche synthétique présentant les éléments de calcul de la Marge Brute (par atelier et par tête) a été élaborée pour servir de support à la restitution individuelle auprès des éleveurs partie prenante du référentiel. Cette fiche présente les résultats de chaque exploitation en les situant par rapport à la moyenne des autres exploitations.

### Performances des systèmes de production « canne - élevage » dans la zone des Bas

Un travail de modélisation des exploitations a été mené avec le Cirad-Padef dans le cadre d'une réflexion transversale sur la problématique de la diversification d'exploitations cannières. Le modèle de monoculture de canne à sucre (5-7 ha pour un actif), promu pour les Bas au cours des deux dernières décennies, est aujourd'hui en crise. La diversification apparaît comme une voie alternative à l'agrandissement des exploitations.

L'engraissement des bovins a été utilisé comme modèle d'étude dans la mesure où il constitue une expérience réussie de diversification.

Les questions posées sont celles de l'insertion des ateliers d'élevage dans les exploitations cannières et de leur dimensionnement. En terme de revenus espérés, de risques encourus, mais également de concurrence ou complémentarité avec la canne à sucre par le biais de la sole fourragère.

Sur le plan méthodologique, il s'est agi d'analyser les performances d'exploitations-types représentatives des exploitations cannières et des ateliers d'engraissement existants dans les Bas et de simuler des variantes de ces modèles d'exploitation. Pour cela, nous avons mobilisé les données des enquêtes réalisées par les pôles Elevage et Agriculture durable, environnement et forêt (Padef) ainsi que les données du référentiel élevage présenté ci-dessus et du référentiel canne à sucre mis à jour par la Chambre d'Agriculture.

L'étude s'est attachée à décomposer les coûts de production et calculer les marges sur charges directes par spéculation ainsi que le revenu dégagé par type d'exploitation. Les simulations ont porté, d'une part sur la sensibilité des résultats des exploitations à des variations économiques (prix des intrants et des produits, montants des aides) et, d'autre part sur les impacts d'un changement d'assolement (répartition de la SAU entre canne à sucre et fourrage) en relation avec le mode d'ali-

mentation et la taille du cheptel de l'exploitation. Nous avons comparé les effets de l'insertion d'un atelier d'engraissement dans différents systèmes de production en fonction de leur dimension et des itinéraires techniques mis en œuvre.

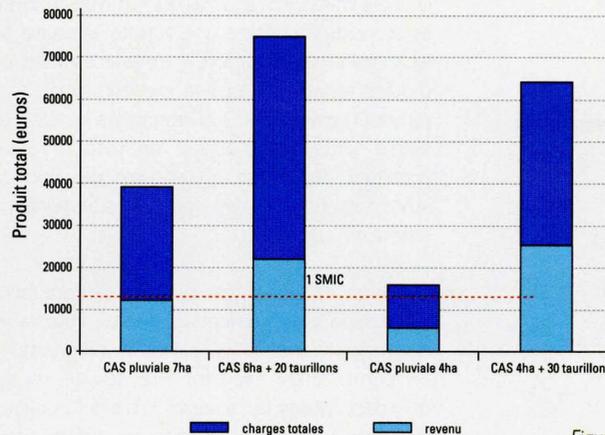


Figure 7.  
Revenus comparés de systèmes de production de canne à sucre avec et sans atelier d'engraissement.

Nous observons qu'une exploitation moyenne de 7 ha de canne à sucre pluviale, dégageant un revenu équivalent à un SMIC, peut dépasser l'objectif de 1,5 SMIC avec un atelier complémentaire de 20 taurillons (Fig. 7). Pour une exploitation cannière de 4 ha, le même objectif de revenu nécessite un atelier de 30 têtes.

La mise en place de cette activité accroît considérablement les charges et le temps de travail. Elle n'est donc pertinente que pour des exploitants à temps complet n'ayant pas d'autre activité en dehors de la canne à sucre.

### Capacité d'adaptation des élevages allaitants

Cette action de recherche vise à étudier les comportements et les capacités d'adaptation des agriculteurs face à d'éventuelles réformes des politiques agricoles ou de toutes modifications techniques entraînant des conséquences importantes sur les systèmes de production des éleveurs allaitants. Elle est conduite par Dominique Niobé, doctorant de l'Université de la Réunion (Ceresur). Sur le plan opérationnel, l'objectif est d'aboutir à la construction de modèles de gestion de l'exploitation. Pour procéder au choix de l'échantillon d'éleveurs qui fera l'objet d'un suivi, une typologie « à dire d'expert » a été élaborée. Cette typologie permet de comprendre la manière dont les praticiens (techniciens, conseillers de gestion, vétérinaires,...) perçoivent le comportement des éleveurs et se représentent la gestion de leur exploitation.



Trois grands types d'élevages, que nous présentons dans les grandes lignes, ont résulté des enquêtes auprès des praticiens :

- Des exploitations qui commercialisent leur production sur le marché informel. Les pratiques mises en œuvre sont « traditionnelles » et les charges financières sont faibles. Ce type d'élevage est considéré comme une activité aléatoire par les organismes de crédit. Il n'existe en effet pas d'outils servant à l'analyse de leur capacité de remboursement. Peu subventionnés, les éleveurs ne se sentent pas obligés de recourir à des pratiques de gestion susceptibles de répondre aux normes (fiscales, sanitaires, environnementales,...).
- Des exploitants en position de répondre aux recommandations préconisées par la législation. Il s'agit généralement d'éleveurs disposant d'un capital financier assez important et qui investissent dans d'autres activités agricoles ou non-agricoles. Ils disposent d'un réseau de vendeurs et d'acheteurs avec lesquels ils traitent (coopératives, indépendants,...). Exerçant des activités dans le milieu professionnel, ils ont totalement accès aux réseaux d'informations capables de les aiguiller dans leur choix et sur l'état de leur environnement de production. Leurs ressources financières leur garantissent une capacité de réactivité pour poursuivre leurs activités en maintenant globalement les objectifs de revenu escomptés.

Figure 9.  
Ecran de calcul des indicateurs techniques intégrés à Laser.

## DIVERSIFICATION DES FILIÈRES

### ► Contrôle des performances techniques et économiques des élevages de caprins

Cette opération a été engagée à la demande de la Région et de partenaires professionnels dans une perspective d'appui au développement de la filière caprine. Elle contribue à la conception et à la mise en œuvre d'outils et de méthodes de suivi zootéchnique des exploitations. Depuis 2003, un suivi technico-économique a été initié auprès d'une douzaine d'exploitations adhérentes de la Coopérative des Producteurs de Caprins de la Réunion (CPCR).

#### Méthodologie de suivi des exploitations

En 2004, un investissement important a été réalisé sur les méthodologies de suivi afin d'améliorer la qualité du recueil et du traitement des données. En premier lieu, un carnet de suivi de l'atelier caprin viande a été élaboré avec la collaboration de la CPCR (Fig. 8). Ce carnet, qui sera distribué chaque année aux éleveurs, comporte l'ensemble des rubriques nécessaires au suivi du troupeau (repro-

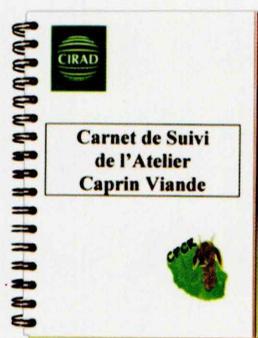


Figure 8.  
Page de garde du carnet de suivi.

J.P. Choisis (Inra)

duction, santé, données économiques...). Nous avons, en second lieu, défini, avec la CPRC, les indicateurs de performances utiles aux éleveurs (sur la reproduction, les performances pondérales, les résultats économiques) ainsi que les modalités d'enregistrement et de restitution des données. Concernant l'enregistrement des données, nous avons fait le choix de nous appuyer sur le logiciel de suivi de troupeau élaboré par le département EMVT (Laser) qui a fait l'objet d'adaptations permettant le calcul des indicateurs retenus (Fig. 9).

**Performances techniques et économiques des élevages**

A l'issue de cette première année de suivi, quelques indicateurs techniques et économiques ont été calculés afin d'apprécier les performances des exploitations. Au niveau économique, nous avons, en première approche, comparé les exploitations sur la base de la marge brute. Au niveau technique, nous avons évalué les performances de reproduction et de croissance.

Le suivi de croissance des boucs effectué par la CPRC permet de constater, qu'au sein d'un élevage donné, les croissances des animaux sont très variables (Fig. 10). Ainsi, dans un même élevage, le poids des boucs peut varier de 20 à 40 kg à l'âge de 250 jours. Ce constat met en exergue la marge de progrès technique à accomplir afin d'homogénéiser les résultats, d'abord au niveau individuel puis au niveau collectif.

La comparaison des évènements de reproduction enregistrés par la CPRC et l'EDE indique une saisonnalité marquée de la reproduction (Fig. 11). Les pics de mises bas correspondent à des saillies

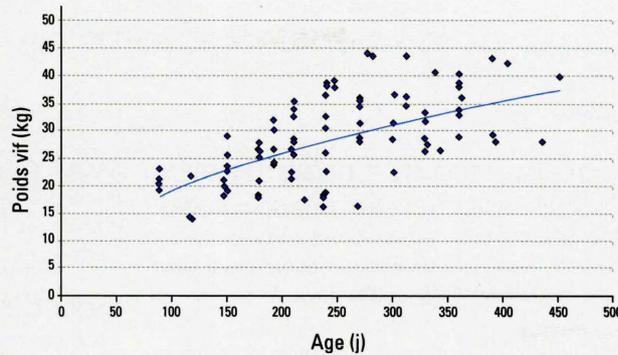


Figure 10. Exemple de relation âge - poids sur un élevage.

fécondantes intervenant en saison des pluies, ce qui suggère un effet prépondérant de l'alimentation.

**Perspectives**

En 2005, nous procéderons au test et à la validation des outils de suivi et d'analyse mis au point en 2004. Nous chercherons à élargir leur usage, à travers de nouvelles collaborations, en particulier avec l'EDE.

Des échanges ont, par ailleurs, eu lieu avec l'Inra des Antilles afin de partager des connaissances sur la production caprine. Nous souhaitons poursuivre cette collaboration pour qu'elle se traduise par l'organisation de séminaires à destination des éleveurs, de débats sur les orientations techniques et les expérimentations à mettre en œuvre.

O. Fontaine, J.P. Choisis (Inra)

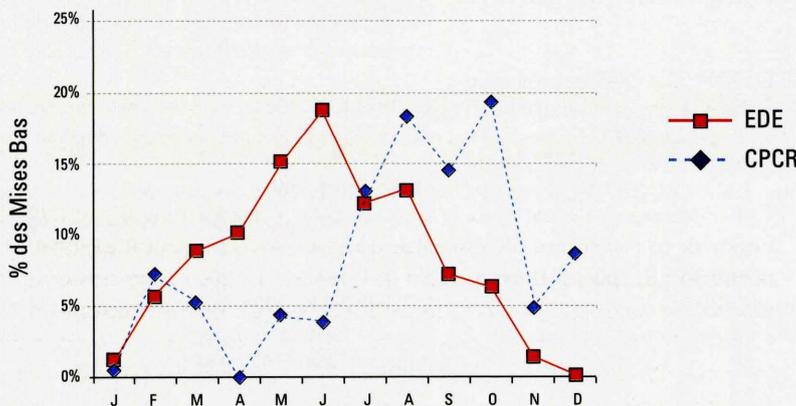


Figure 11. Répartition des mises-bas sur les élevages suivis par la CPRC et l'EDE.

## Publications et communications en 2004 :

### Publications, thèse

**BOVAL M., COATES D.B., LECOMTE P., DECRUYENAERE V., ARCHIMÈDE H., 2004.** Faecal near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to assess chemical composition, in vivo digestibility and intake of tropical fresh grass by Creole cattle. *Animal Feed Science and Technology*, Vol 4/1-4 pp 19-29

**CLERO M., 2004.** Les stomoxes (*Stomoxys calcitrans* et *Stomoxys niger*) dans les élevages bovins laitiers du sud de l'île de la Réunion. Thèse de doctorat vétérinaire, ENV Nantes, 133 p.

**DUGUÉ P., VALL E., LECOMTE P., KLEIN H.D., ROLLIN D., 2004.** Evolution des relations entre l'agriculture et l'élevage dans les savanes d'Afrique de l'Ouest et du Centre. Un nouveau cadre d'analyse pour améliorer les modes d'intervention pour favoriser les processus d'innovation, OCL, juil-oct 2004, vol 11 no. 4-5, p.268-276

**LECOMTE P., BOVAL M., GUERIN H., ICKOWICZ A., HUGUENIN J., LIMBOURG P., ROMNEY D., 2004.** Carbon and ruminant husbandry: fluxes and nitrogen interactions integrated at the scale of the system. *Agronomie, Agriculture and environment*, Selected paper, Coll. Int. Ird-Cirad, Influences de la gestion de la biomasse sur l'érosion et la séquestration du carbone, Montpellier, 23-28 septembre 2002, 16 p. à paraître

**LOUHICHI K., ALARY V., GRIMAUD P., 2004.** A dynamic model to analyse the bio-technical and socio-economic interactions in dairy farming systems at Reunion Island. *Animal Research*, 53: 1-19.

### Communications dans des congrès

**BONY J., CONTAMIN V., METAIS J., TILLARD E., JUANES X., COULON J.B., 2004.** Principaux facteurs qui influencent la qualité sanitaire du lait à la Réunion. 11èmes Rencontres Recherche Ruminants, 11-116. Poster.

**CHOISIS J.P., CHIA E., NIOBE D., 2004.** Des pratiques d'élevage et de trésorerie à la notion de flexibilité : le cas de l'élevage bovin allaitant à l'île de la Réunion. In: E. Chia, B. Dedieu, C.H. Moulin, M. Tichit, (eds), Transformation des pratiques techniques et flexibilité des systèmes d'élevage. Séminaire INRA-SAD TRAPEUR, Agro M. Montpellier, 15-16 mars 2004, 6 p.

**FONTAINE O., SPALETTA V., CHOISIS J.P., 2004.** Supporting Goats livestock production in La Reunion Island: Which product for which market? 8th international conference on goats, Pretoria, 4-9 juil. 2004. Poster.

**NIOBE D., CHOISIS J.P., CHIA E., 2004.** Les réponses des agriculteurs aux injonctions environnementales de l'Europe : L'élevage bovin allaitant dans une région ultrapériphérique, l'île de la Réunion. In: Les systèmes de production agricole : performances, évolutions,

perspectives. Colloque de la SFER, ISA de Lille, 18-19 nov. 2004, 8 p.

**SAQUE C., CHEYLAN J.P., CHOISIS J.P., 2004.** La prairie de la Plaine des Cafres : Inerties et synergies autour d'une ressource territoriale. In: La notion de ressources territoriales, Colloque du Cermosem, 14-15 oct. 2004.

**SAQUE C., FUSILLIER J.L., CHOISIS J.P., 2004.** Perspectives d'évolution des exploitations agricoles du bassin cannier irrigué du Sud. Agrandissement, diversification, pluriactivité : quel avenir pour les petites et moyennes exploitations familiales ? Actes du colloque Perspectives de développement de la canne à sucre en milieu insulaire : approches technico-économiques, sociales et culturelles. Musée Stella Matutina, 2-5 oct. 2002, 12 p.

### Rapports

**BONY J., BARBET-MASSIN V., ANDRIEU J.P., LEPETIT J., 2004.** Essai d'un conservateur d'ensilage d'herbe sur balles rondes enrubbannées à la Réunion. Rapport n° 2004-002.

**BONY J., CONTAMIN V., METAIS J., TILLARD E., GOUSSEFF M., JUANES X., DECRUYENAERE V., COULON J.B., 2004.** Etude des déterminants de la composition et de la qualité du lait en élevages bovins à la Réunion. Rapport n° 2004-003.

**BONY J., POMIES D., FERTIL G., 2004.** Influence de la nature de deux aliments concentrés sur les performances des vaches laitières à la Réunion. Rapport n° 2004-001.

**CHATAIGNER B., 2004.** Mise en place d'un protocole de recherche des pathogènes du lait de bovins à la Réunion. DESS Productions Animales Régions Chaudes, Montpellier.

**COURTOIS V., 2004.** Elaboration d'un guide des facteurs de risque de l'infertilité destiné aux éleveurs de bovins laitiers. DESS Productions Animales Régions Chaudes, 85 p.

**GERBAUD S., 2004.** Etude de la mise en place et de l'appropriation des outils de gestion de prairies à la Réunion. INAPG, Paris, 76 p.

**LEMOINE F., 2004.** Perspectives de diversification des exploitations cannières de l'île de la Réunion. Exemple du modèle canne-engraissement dans la zone des Bas. ESITPA, 44 p.

**LOUHICHI K., 2004.** Application d'un modèle économique dynamique à l'analyse prospective des systèmes d'élevage laitiers à la Réunion. Cirad-EMVT, 111 p.

**VAYSSIERES J., 2004.** L'appréhension des pratiques décisionnelles d'éleveurs par enquête-immersion : cas des activités à l'origine de flux d'azote en exploitations bovines laitières à la Réunion. DEA Environnement, Milieux, Techniques et Sociétés, INAPG, Paris, 45 p.



# Agriculture durable, environnement et forêt

Au cours de l'année 2004, les recherches se sont poursuivies au sein des deux projets GERT et REGARD : « Gestion des Ressources et des Territoires » et « Risque Environnemental, Gestion Agricole et Recyclage des Déchets ».

Le projet GERT aborde les questions liées à la gestion des ressources et des territoires par l'analyse de leurs dynamiques et leur accompagnement au moyen de systèmes d'information, de modèles de représentation et de simulations des processus. Ses composantes qui ont vu le jour en 2003, Mediac (médiation foncière), Pastofor (gestion de la biodiversité), CTEile (multifonctionnalité de l'agriculture), Pejibaye, Périmètres irrigués, ont fortement structuré ses activités en 2004, en insérant les recherches dans les réseaux scientifiques d'excellence et en consolidant les partenariats.

A côté de cela, deux nouvelles opérations, dont le but est d'analyser les conséquences tant écologique que socio-économique des choix stratégiques faits à la Réunion sur l'usage des terres, mais aussi de fournir outils et méthodes susceptibles d'aider les acteurs dans ce domaine, ont été lancées. Celles-ci ont permis d'accompagner le projet AGIL (Aide à la gestion intégrée, du littoral) qui consiste à mettre en valeur l'apport des images satellitaires à la gestion intégrée des zones côtières.

En matière de coopération régionale, des actions ont été menées principalement sur Madagascar, grâce au programme Interreg III financé par l'Union Européenne et la Région et piloté par la DRRT. Les thèmes de collaboration, identifiés lors de missions exploratoires, ont donné lieu à l'élaboration concertée de projets,

comme par exemple un projet de deux ans sur la sécurisation foncière. Porté par le Cirad et comprenant 17 partenaires malgaches et réunionnais, il valorise le savoir-faire de la Réunion en matière de gestion du foncier et d'aménagement du territoire à Madagascar où s'engage actuellement une importante réforme foncière.

En 2004, l'ensemble des opérations de recherche consacrées aux effluents d'élevage et aux déchets organiques, dans le domaine des sciences de gestion et des sciences biophysiques ont été regroupées au sein du projet REGARD. Cela, à la suite de la création d'une unité propre de recherche (UPR) sur le risque environnemental lié au recyclage des déchets. Cette UPR se compose de 17 chercheurs répartis entre la Réunion, Montpellier et Rennes. Son responsable est à la Réunion.

Plusieurs projets nouveaux, s'inscrivant dans les opérations en cours, ont multiplié les travaux et diversifié les partenariats. Suite au succès des réponses aux appels à propositions de recherche Gessol et Ecco et grâce à des collaborations avec le CEREGE et le LTHE, les travaux sur les éléments traces métalliques et la matière organique se sont développés. Une compétence en modélisation multi-agents a pu être intégrée au projet dans le cadre de l'appel d'offre Porcherie Verte et grâce à un appui complémentaire de la DRRT. Enfin, un nouveau partenariat a été conclu, avec le BRGM, en vue d'étudier le comportement de la nappe d'eau souterraine sur le site de la Mare.

M. Piraux



# GESTION DES RESSOURCES ET DES TERRITOIRES (GERT)

## ► Diversification fruitière dans les Hauts humides

Dans la zone des Hauts humides de la Réunion, les conditions pédoclimatiques difficiles rendent l'activité agricole parfois précaire. Plus qu'ailleurs, la diversification des systèmes de production semble être une des conditions préalables au développement d'une agriculture familiale durable. Dans ce contexte, l'opération a pour objectif d'identifier et de tester en milieu réel des cultures fruitières de diversification adaptées aux conditions environnementales et présentant un potentiel économique. La démarche adoptée en partenariat avec l'Armeffhor passe par l'acquisition de références techniques et économiques afin de proposer des systèmes de cultures intégrant les différents types de contraintes rencontrés. De même, l'opération apporte un appui à la mise en place des nouvelles filières.

### Le palmiste des Mascareignes et le goyavier-fraise

Ces cultures emblématiques de la Réunion font partie des premières cultures étudiées dans le cadre de cette opération. Depuis, un itinéraire technique a été formalisé et des fiches techniques sont aujourd'hui distribuées aux agriculteurs intéressés. Les recherches visent maintenant, entre autres, à améliorer la qualité et la régularité de la production du goyavier et à optimiser le cycle cultural du palmiste en réduisant sa durée et en garantissant une régularité des revenus de la parcelle dans le temps.

### Le pejibaye

Le cœur du palmiste pejibaye affiche une capacité de conservation qui permet d'envisager le développement d'un segment de la filière palmiste : la transformation (salade de 4<sup>ème</sup> gamme et plats préparés). Introduit dans ce but, ce palmiste se caractérise par une vitesse de croissance élevée et une capacité à émettre des rejets. En 2004, grâce à l'arrivée à maturité de la première grande parcelle d'essai, la commercialisation de barquettes de salade prêtes à l'emploi en grande et moyenne surface (photo 1) a été testée en partenariat avec une entreprise. Les résultats s'avèrent très prometteurs confirmant l'intérêt de cette culture pour le développement économique de la zone. En parallèle, les actions en cours cherchent à résoudre le problème de production de matériel végétal rencontré sur cette espèce. Dix mille plants ont été élevés cette année, grâce à une importation massive de graines de Guyane, sur financement du Département (photo 2). Les premières distributions seront menées en 2005.

L'objectif est de garantir rapidement l'approvisionnement régulier d'une activité de transformation. Parallèlement, un axe de recherche vise la mise au point d'une technique de culture in vitro qui permettrait une amélioration variétale et rendrait la Réunion autonome en terme de production de matériel végétal.

### La coronille

Les recherches sur cette espèce visent l'établissement d'un itinéraire technique adapté à la zone. L'opération, en partenariat avec des artisans transformateurs, mène des actions de promotion du fruit auprès du grand public et des professionnels. Ainsi, durant l'année 2004, l'opération a organisé une réunion d'information impliquant producteurs et transformateurs, suscité la réalisation d'un reportage télévisé sur la transformation du fruit (photo 3) et présenté à la foire de Bras-Panon, avec des artisans, des produits à base de coronille (sorbet, jus de fruit, ...).

### De nouveaux fruits...

Les contacts entretenus avec la profession, permettent d'identifier des besoins concernant certains fruits ne faisant pas encore l'objet d'une production de masse à la Réunion. C'est le cas du corossol, espèce adaptée au climat de la zone et très demandé, notamment par les glaciers. L'installation de parcelles de comportement a débuté fin 2004 sur les Hauts de l'Est et devrait se poursuivre en 2005.



Photo 1.  
Les premières barquettes de salade de choux-palmistes de pejibaye (T. Michels).



Photo 2.  
Élevage des plants issus des importations de graines en 2004 (T. Michels).



Photo 3.  
Tournage d'un reportage sur la transformation de la coronille pour Télé Réunion (Magie des Glaces) (T. Michels).



## ► Multifonctionnalité et approche territoriale

### Le ZADA de la Réunion

Le zonage à dire d'acteurs (ZADA) est une démarche née du besoin ressenti par des chercheurs d'élaborer des instruments de dialogue entre les acteurs du développement. A partir d'une analyse des dynamiques territoriales et d'une représentation construite en mobilisant les savoirs d'acteurs locaux, elle vise à organiser les connaissances dans une perspective de planification du développement rural. Le support cartographique est à la fois base de dialogue et de représentation des connaissances. Dans la perspective de la révision en 2005 du Plan d'Aménagement des Hauts, le Commissariat à l'Aménagement des Hauts (CAH) et l'Association pour la Promotion en milieu Rural (APR) misent aujourd'hui sur les résultats des ZADA locaux menés par les animateurs pour instaurer un débat politique. Un zonage a été entrepris en 2004 à la demande du CAH à l'échelle de l'île par une équipe de l'APR et du Cirad. Cela, afin de rendre compte des nouvelles réalités dans les Hauts : resituer les Hauts dans l'île, valoriser les travaux déjà réalisés au niveau local et poser les bases d'un exercice de prospective. Une première représentation a été produite (186 unités, organisées selon une typologie d'espaces et regroupées en trois ensembles - l'urbain, le « rêve » et le « reste ») une première carte digitalisée et réalisée sur la base d'une comparaison des dire d'acteurs et d'une confrontation aux images SPOT ; des informations concernant les flux et dynamiques ; les bases d'un observatoire identifiées grâce aux indicateurs de transformation des unités spatiales ; des modèles spatiaux (Fig. 1) . Les premiers résultats confirment la difficulté d'isoler et même de définir les Hauts et leur problématique dans un ensemble régional caractérisé aujourd'hui par une grande porosité (une définition altitudinale ? liée au besoin de rattrapage économique et social ? à une identité sociale et culturelle ?). Ils invitent à repenser à la fois la nature des entités spatiales en jeu dans l'exercice de planification et les modèles de développement à promouvoir. Ils montrent aussi que les Hauts, définis auparavant « par défaut », comme une zone en retard ou en rattrapage, possèdent aujourd'hui des atouts indéniables pour son propre développement.

### La MFA, les contrats territoriaux d'exploitation (CTE) et les modèles de développement

Le projet intitulé « Modèles de développement et identités des territoires dans les DOM insulaires (Guadeloupe, Réunion) », mené dans le cadre du dispositif Inra-Cirad-Cemagref relatif à l'étude de la

multifonctionnalité de l'agriculture et des espaces ruraux, a été finalisé. Il a montré que les modèles de développement sont encore très fortement axés dans les deux îles sur une agriculture tournée vers l'exportation (canne et banane), caractérisée par les mêmes stratégies d'intensification (pour satisfaire des quotas) et par un objectif d'autosuffisance plus ou moins revendiqué. Dans ces deux départements, la connaissance et la prise en compte des multiples aspects de l'activité agricole devaient enrichir le questionnement sur le mode d'intégration des pratiques locales aux modèles de développement et sur la contribution de l'agriculture au développement territorial. Or, ce débat a largement manqué. La multifonctionnalité de la culture de canne à sucre est alors devenue un modèle de justification à une politique de soutien classique à la filière. Dans les deux DOM, l'application de la LOA et en particulier la mise en place des CTE n'ont en effet pas modifié les représentations des acteurs locaux du modèle de développement agricole. La comparaison avec la Guadeloupe a été riche d'enseignement. En effet, les contextes d'action différents se sont traduits par des pratiques d'appropriation et d'utilisation des CTE distinctes ainsi que par des modes de conception des innovations spécifiques ; ce qui milite pour la construction de stratégies différenciées de développement pour les deux îles. A la Réunion, malgré une appropriation rapide des CTE, les pratiques d'utilisation des porteurs de projet ont, à quelques exceptions près, reflété parfaitement les stratégies institutionnelles et sectorielles en place. Les intérêts des filières ont donc été consolidés, avec pour objectif la recherche de la productivité maximale. Alors que la loi d'orientation agricole (LOA) promeut une manière différente de produire et des pratiques de développement renouvelées, les CTE, bien qu'ils aient favorisé nettement les innovations techniques, ont eu un impact limité sur les pratiques collectives et les démarches territoriales. Ils ont toutefois favorisé l'émergence de nouvelles dynamiques au niveau des organisations professionnelles et une meilleure coordination entre les services de l'Etat et la profession. L'approche environnementale a aussi été renforcée. Ceci augure des évolutions intéressantes dont la profession devrait profiter. Cette étude a fourni aux acteurs du développement un argumentaire pour la mise en place des Contrats d'Agriculture Durable. Elle alimentera aussi les démarches de prospective envisagées dans les deux îles.

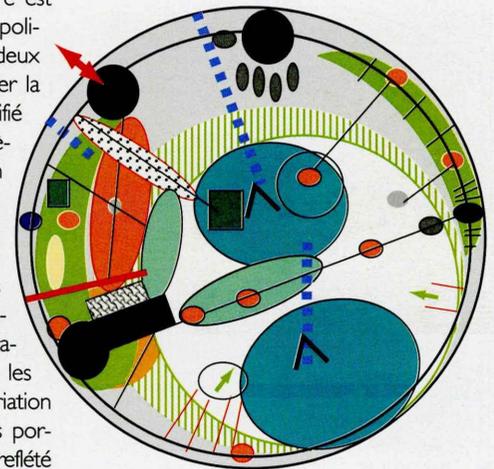


Figure 1.  
Exemple de modélisation cartographique  
issue du zonage à dire d'acteurs de l'île.  
(Cirad/APR).



Photo 4.  
Périmètre irrigué de l'Antenne 4  
(J.-L. Fusillier).

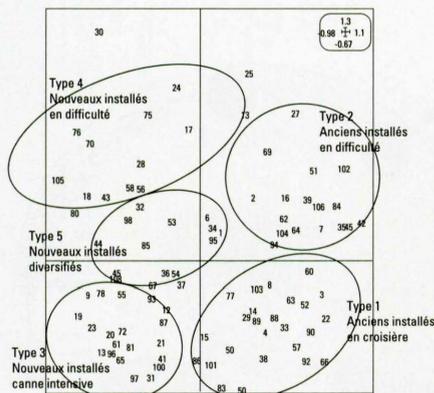
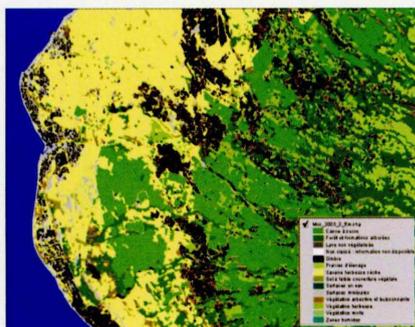


Figure 2.  
Projections des 106 exploitations  
sur le plan factoriel 1 x 2 de l'ACM  
et classement en 5 types.



Carte 1.  
Occupation des sols au 25 000<sup>ème</sup>,  
région Ouest.

## ► Approche économique de l'agriculture irriguée et de la gestion de l'eau

Cette opération répond à des préoccupations des pouvoirs publics et de la profession agricole sur la dynamique des systèmes de production irrigués dans une perspective de changements dans la répartition ou dans les instruments de gestion de la ressource en eau. Trois thèmes ont été abordés en 2004.

### Analyse typologique des exploitations agricoles du périmètre irrigué de l'Antenne 4

Alors que la mise en valeur des nouveaux périmètres irrigués de l'ouest est un sujet de préoccupation compte tenu de premiers résultats en dessous des prévisions, une étude de la diversité des structures et des performances des exploitations a été réalisée en collaboration avec la Chambre d'Agriculture. S'appuyant sur des méthodes statistiques multivariées, cette analyse met en évidence les variables structurantes de la diversité et aboutit à une typologie en cinq groupes d'exploitations. Le premier axe factoriel qui différencie le plus les exploitations est constitué par des variables de structure d'exploitation et d'historique : année d'installation, localisation, niveau de capitalisation et d'équipement. Ce qui paraît logique puisqu'on sait que le mode d'accès aux facteurs de production (foncier, capital) diffère selon la période d'installation. Ainsi se distinguent deux grands groupes (Fig. 2) : les exploitations installées dans les années 1980-1995 sur la tranche haute du périmètre et les exploitations installées lors de la mise en eau en 1999-2000 sur les tranches basses. Ce premier résultat vient confirmer une réalité bien connue et l'enseignement livré par le second axe factoriel, auquel participent des variables indépendantes du premier axe, présente plus d'intérêt. Ces variables portent sur des aspects de performance de l'exploitation et de situation financière : rendement et produit brut cannier, taux d'équipement de la sole en matériel d'irrigation, endettement et ratio annuité / produit brut. Ainsi, la performance de l'exploitation n'apparaît pas liée à la structure ou à la localisation de l'exploitation. Par contre, on note une relation entre le poids de l'endettement et la fragilité ou défaillance financière de l'exploitation. L'hypothèse d'un excès d'endettement de certaines exploitations peut être avancée.

### Modélisation économique des exploitations irriguées du Sud - analyse des pratiques d'irrigation

Dans le sud, se pose la problématique de modération de l'usage agricole de l'eau compte-tenu d'une ressource limitée et d'une concurrence croissante

des usages urbains. Afin de mieux comprendre les facteurs de la variabilité de la demande en eau entre exploitations, mise en évidence précédemment avec le SIG, une enquête sur les pratiques d'irrigation a été réalisée en collaboration avec le pôle Canne à sucre. Cette enquête permet de formaliser les règles de décision des exploitants pour le pilotage de leur irrigation et d'identifier diverses stratégies. Cette information est utile pour simuler des hydrogrammes dans diverses situations climatiques ou de restrictions à l'irrigation et servira comme donnée d'entrée dans les modèles économiques. Une approche agrégée de la demande en eau et de l'offre agricole à l'échelle du périmètre irrigué a été ébauchée pour le Bras de la Plaine où se pose avec plus d'acuité le problème de conflit d'usage sur l'eau.

### Approche institutionnelle de la gestion de l'eau. Processus d'élaboration et conséquences du SAGE Sud

L'évolution des politiques environnementales, notamment dans le secteur de l'eau, est marquée par une attention accrue à la dimension locale des problèmes et aux approches participatives considérant le point de vue des différents acteurs concernés par les ressources naturelles. La loi française sur l'eau de 1992 a mis en place de nouveaux outils allant dans ce sens, pour améliorer la gestion de l'eau à l'échelle locale de petits bassins hydrographiques. Une analyse a été réalisée en collaboration avec la Diren, sur la mise en œuvre du premier « Schéma d'aménagement et de gestion de l'eau » appliqué à la Réunion sur le bassin du sud. Cet exemple de procédure négociée a été confronté à de nombreux obstacles : une opposition forte d'intérêts entre usages agricoles et urbains avec des enjeux économiques et sanitaires, un manque de données fondamentales sur la ressource, notamment souterraine et sur les impacts environnementaux. L'accord finalement trouvé sur les principes de gestion (priorité à l'usage domestique, rationnement possible de l'usage agricole, séparation des réseaux d'eau superficielle et souterraine) entérine la primauté des intérêts urbains, confortés par la rapide urbanisation de la zone. Mais au-delà du résultat, un intérêt de la démarche SAGE est certainement le processus d'apprentissage collectif de l'ensemble des acteurs.



## ► Occupation des sols et stratégies foncières

L'activité de l'année 2004 a été répartie sur trois axes. Le premier axe a été consacré à la finalisation du projet TEMOS, le second à l'initiation d'une expérience de modélisation des dynamiques urbaines et le troisième à la construction d'un projet de coopération régionale sur le thème « Sécurisation foncière et Aménagement du Territoire ».

### TEMOS : construction d'une information géographique relative à l'occupation des sols de la Réunion et à leur évolution spatio-temporelle

Le projet TEMOS est basé sur l'hypothèse que les données de télédétection peuvent permettre d'élaborer des informations géographiques permettant de visualiser les changements d'occupation du sol intervenus sur le territoire régional, utilisables par les acteurs de la recherche et de l'aménagement. Il s'est agi par conséquent d'étudier comment passer de la donnée numérique de TD satellitaire à une information géographique utilisable par les acteurs, habitués à travailler à partir de données issues de la photo-interprétation. Les informations géographiques décrites ci-après ont été produites : (1) à partir d'images SPOT 1 à SPOT 4 (pixel=20m) : une cartographie des modes d'occupation du sol de la Réunion en 1989 et en 2002, une cartographie des changements d'occupation du sol intervenus entre 1989 et 2002, avec une échelle de validité fixée au 1/100 000ème pour l'ensemble de ces trois produits ; (2) à partir d'images SPOT 5 (pixel=2,50m) : une cartographie des modes d'occupation du sol de la Réunion en 2003 avec une échelle de validité fixée au 25 000ème (carte 1). Le projet a fait l'objet en fin d'année, d'une restitution officielle à la Réunion en présence de l'ensemble des partenaires et du Cnes.

### MUTE : modèle d'urbanisation du territoire. Tentative de modélisation des dynamiques urbaines et périurbaines sur l'île de la Réunion

L'expérience MUTE est basée sur l'hypothèse que la croissance des espaces urbains est soumise et contrainte par l'influence combinée d'un certain nombre de champs géographiques, naturels ou sociaux qu'il est possible de tester par modélisation. La question était alors de savoir comment modéliser spatialement l'influence combinée de champs géo-

graphiques sur la dynamique des espaces urbains à la Réunion. Le modèle permet d'expliquer le passage de la « tache urbaine » de 1989 à celle de 2002. Nous avons identifié un certain nombre de champs géographiques qui permettent d'estimer une « probabilité d'urbanisation » (les courbes d'influence du champ géographique sur l'urbanisation) (carte 2). Le modèle sera contraint par la quantité d'urbain apparue entre les deux dates. Il devra également être calibré par une pondération propre à chaque champ. Les facteurs géographiques considérés sont : la distance au littoral, le zonage pluviométrique, la distance aux routes structurantes, l'altitude, les pentes, la structure foncière, l'usage du sol en 1967 (à l'échelle générale de l'île) ; la distance aux centres urbains structurants, le domaine ONF (au niveau de sous-espaces) ; des situations physiques particulières (lits de rivière, pentes...) et des situations réglementaires particulières (znieff, servitudes, ...) à un niveau plus local.

C. Martignac

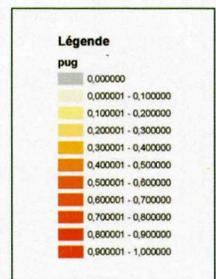
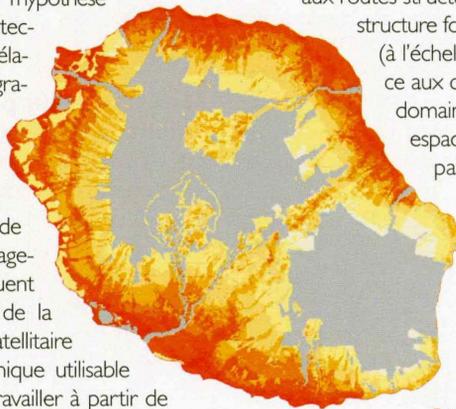
### Constitution d'un pôle de compétences réunionnais sur le thème : « Sécurisation foncière et aménagement du territoire »

L'objectif du projet Interreg III « Sécurisation foncière et aménagement du territoire », accepté en novembre 2004, est de structurer à la Réunion une offre de compétences au travers de l'appui des opérateurs locaux du Programme National Foncier à Madagascar (photos 5 et 6). Ceci afin d'initier un réseau de compétences susceptible d'investir les problématiques de sécurisation foncière et d'aménagement. Associant recherche et développement, ce projet entend constituer à la Réunion un pôle de compétences visant à la structuration d'une offre d'expertise et la formation des opérateurs locaux afin de se poser à terme, comme un observatoire des politiques foncières et d'aménagement du territoire menées dans l'océan Indien. La constitution du pôle est impulsée sur la base d'un processus de co-développement dans lequel la Réunion, en fédérant ses compétences et ses moyens, développe avec Madagascar un réseau d'échanges et de formations appliqués aux situations concrètes identifiées par des projets pilotes locaux.

S. Aubert, C. Delcourt, C. Martignac



Photo 5.  
Service des Domaines de Manjakandriana  
(Plan National Foncier de Madagascar).



Carte 2.  
Carte provisoire des probabilités  
d'urbanisation du territoire  
réunionnais.

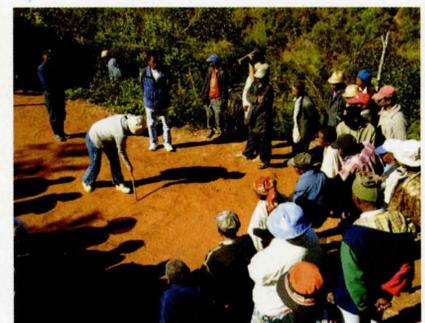


Photo 6.  
Exposé du Programme  
National Foncier à Mianandriana  
(Plan National Foncier de Madagascar).



## ► Modélisation des interactions entre société et environnement

### Appui à la gestion intégrée du littoral (AGIL)

La prise de conscience générale de la dégradation du milieu corallien réunionnais a abouti en 2005 à la création d'une réserve naturelle sur l'ensemble de la zone récifale. Ce dispositif cherche à assurer la viabilité du récif corallien grâce à une gestion intégrée de la zone côtière (GIZC) entre les divers acteurs du littoral.

Cependant, les activités des bassins versants attenants à la réserve ont un impact sur le fonctionnement du récif. Il est donc nécessaire de considérer les acteurs des milieux en amont. Dès 1995, dans le cadre du Programme Régional Environnement de la Commission de l'océan Indien (PRE/COI), le Cirad a été associé aux réflexions concernant la mise en pratique d'une GIZC à la Réunion intégrant bassins versants et littoral.

C'est dans ce contexte que l'île de la Réunion a été choisie comme chantier d'application du projet d'Aide à la Gestion Intégrée du Littoral (AGIL). Ce projet de recherche répond à l'appel d'offre du Réseau Terre-Espace lancé par le Ministère de la Recherche et de la Technologie pour accroître les applications du spatial et mieux faire correspondre l'offre à la demande des utilisateurs. Un consortium d'instituts publics et d'entreprises privées regroupant l'IRD, BRL Ingénierie, le Cnes, le Cirad, l'Ifremer, le BRGM et SCOT s'est constitué pour mettre en œuvre ce projet et développer une offre de services aux échelles nationale et internationale sur la gestion intégrée des littoraux.

Commencé en avril 2003, le projet AGIL est d'une durée de deux ans. La première année a été consacrée à un état de l'art portant sur la GIZC, les capteurs spatiaux et l'utilisation de la télédétection pour la GIZC. La deuxième année a permis la mise en application des enseignements tirés de cette première phase sur deux chantiers « pilotes », l'un situé en zone tempérée, dans le Languedoc-Roussillon, l'autre en zone tropicale, sur la côte ouest de la Réunion (bassins versants associés à la bande littorale du Parc Marin).

Dans un premier temps, les problématiques relevant des liens entre bassin versant et littoral et les acteurs concernés ont été identifiés (via une étude bibliographique, des entretiens et la participation à des ateliers préexistants). Les processus biophysiques liés ont été déterminés. En parallèle, des produits cartographiques utilisant des informations satellitaires, ainsi qu'un prototype de plateforme Internet permettant l'échange de données ont été développés. Dans un

second temps, des entretiens ont été réalisés auprès des acteurs pour évaluer les apports et les limites de ces produits au regard de leurs besoins.

A la Réunion, le Cirad a participé à plusieurs travaux : le suivi de l'évolution des modes d'occupation des sols (quatre études dont trois en collaboration avec le projet TEMOS), l'évaluation et suivi de l'érosion (deux études) et le ruissellement (une étude en cours). Les entretiens avec les acteurs sont en cours d'analyse et leur synthèse sera incluse dans le rapport final du projet (prévu pour mi-avril 2005) et présentée lors d'un atelier de restitution courant juin 2005.

### Modélisation pour l'accompagnement des décisions d'aménagement du territoire intégrant différents niveaux d'organisation (Domino)

Depuis plusieurs décennies, la décentralisation initiée en France vise à mieux associer les administrés aux prises de décisions les concernant. Cependant, cette transition politique n'est pas encore achevée notamment faute d'outils permettant aux collectivités locales de penser la gestion durable de leurs ressources naturelles. Ainsi, la multiplicité des pouvoirs, activités et échelles à prendre en compte rend la prise de décision extrêmement complexe. La diversité des intérêts en jeu provoque des incohérences entre décisions et pratiques engendrant des tensions sur les ressources. Les débats et documents réglementaires relatifs à l'aménagement du territoire (SAR 1995, Projet d'agglomération du TCO, Agenda 21) font ressortir des enjeux divergents liés à la gestion du foncier.

C'est sur cette seule ressource et les processus de son affectation que le projet Domino se focalise. Le but du projet est d'appuyer la coordination entre les centres décisionnels en explicitant les intérêts et enjeux de multiples acteurs concernés. Il s'appuie sur une démarche de modélisation impliquant les décideurs. La modélisation permet d'appréhender des systèmes complexes caractérisés par la multiplicité des interactions, des échelles et des temporalités qui doivent être considérés pour représenter leurs structure et dynamique. La construction d'une représentation partagée des processus et des acteurs impliqués permettrait, d'une part, d'illustrer les impacts mutuels des décisions prises aux différents niveaux d'organisation, d'autre part, de faciliter la coordination entre décideurs et gestionnaires nationaux, régionaux et locaux. Le projet suivra quatre phases prévues sur trois ans :

#### Pourquoi une approche intégrant bassin versant et littoral ?

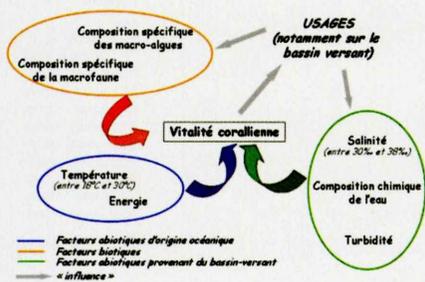


Figure 3.  
Approche intégrée bassin versant et littoral.



- La phase 1 consistera en une synthèse des critères de décision (écologiques, sociaux, etc.) relatives à l'affectation des terres et de leurs dynamiques.
- La phase 2 vise à construire un modèle conceptuel générique illustrant les interactions entre ces critères aux différents niveaux de décision.
- La phase 3 propose d'implémenter le modèle conceptuel avec la participation des acteurs de

terrain. L'objectif est d'illustrer les impacts réciproques des décisions prises par chaque niveau d'organisation.

- La phase 4 correspondra à une évaluation par les scientifiques et les partenaires de développement de l'ensemble de la démarche.

*A. Botta, W. Daré*

## ► Dynamiques du droit et gestion des écosystèmes

### La médiation foncière citoyenne à Îlet à Cordes - Cilaos (Projet pilote MEDIAC)

Le projet s'inscrit au sein de la cellule recherche développement Cirad/APR (Association pour la Promotion en milieu Rural). Les problèmes fonciers étant souvent source de blocage dans les opérations de développement engagées par l'association, il s'agit de circonscrire et d'étudier la pertinence de la médiation foncière citoyenne comme mode d'intervention local pour la mise en sécurité des acteurs par rapport au droit foncier. Manuela Lesage, médiateur foncier, intervient sur Îlet à Cordes. Un investissement majeur a consisté en 2004, d'une part, à introduire la médiation foncière citoyenne auprès des acteurs concernés, et d'autre part, à réaliser un audit patrimonial sur le système de gestion du foncier. Ainsi, si la contrainte foncière apparaît comme la contrainte majeure au maintien voire au développement de l'agriculture à Cilaos (Diagnostic de territoire, CTE Cilaos, 2002), sur Îlet à Cordes, selon les dires des acteurs, elle se traduit par l'expression d'une situation duale, opposant les uns aux autres les membres d'une communauté en mutation (photo 7). Ainsi, pour les habitants d'Îlet à Cordes, le manque de terres disponibles, de formation et de capitaux sont étroitement associés à la diminution de la solidarité. Tous s'accordent dans l'objectif de conservation du patrimoine naturel et culturel de l'îlet, et chacun reconnaît qu'une meilleure gestion du foncier doit viser un accès facilité aux terrains agricoles, mais aussi aux terrains constructibles. Cependant, les stratégies sur lesquelles repose cette demande de « facilitation de l'accès au foncier » sont loin d'être homogènes. Dans ce contexte, la convergence des intérêts particuliers et la mobilisation autour de projets communs passe, pour les habitants d'Îlet à Cordes, par une plus grande reconnaissance du travail des uns et des autres au-delà des différences de statuts. Elle passe également par une meilleure coordination et un meilleur suivi des interventions

de « l'administration », notamment en matière d'aménagement du territoire et d'appui aux agriculteurs. La médiation citoyenne ne se pose alors plus uniquement comme un mode alternatif de règlement des conflits, mais comme une démarche visant la création ou le renouvellement des liens entre les habitants et les administrations. Le projet s'inscrit dans un partenariat institutionnel impliquant, outre l'APR, l'ensemble des acteurs de la gestion du foncier à la Réunion (Daf, Safer, CNASEA...). Le second comité de pilotage s'est tenu le 15 juillet 2004 à Îlet à Cordes.

*M. Lesage, S. Aubert*



Photo 7.  
Habitat et agrotourisme à Îlet à Cordes (M. Lesage).

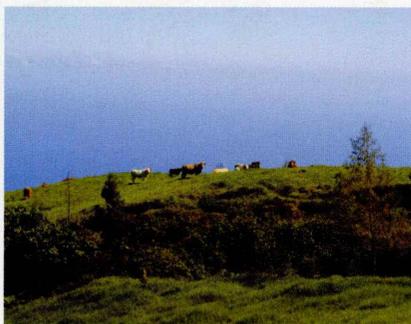
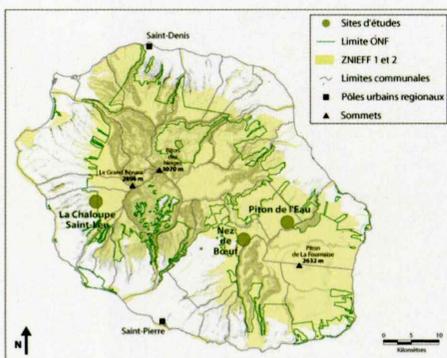


Photo 8.  
Pâturages des Hauts de la  
Chaloupe Saint-Leu  
(L. Jamowsky).



Photo 9.  
Bœuf divagant  
dans les Hauts de l'ouest  
(S. Aubert).



Carte 3.  
Zones d'étude du projet Pastofor  
(S. Aubert).

### La gestion du pastoralisme en milieu naturel à protection forte (projet PASTOFOR)

Ce projet, recevant un appui financier de l'Institut Français de la Biodiversité (IFB) et du Ministère de l'Agriculture, s'inscrit dans un partenariat étroit avec le pôle Élevage, le pôle Protection des plantes, l'ONF et l'UAFF. L'objectif général du projet est dans un premier temps (2004) d'analyser comment la mise en place de normes (techniques, économiques, et juridiques) interagit avec les usages locaux, et quels sont les impacts de ces interactions sur la préservation de la diversité biologique et de la diversité culturelle. Dans un second temps (2005-2006), les mesures visant une amélioration de la gestion de la biodiversité, notamment celles reposant sur une cohérence accrue entre les différentes actions des acteurs concernés, seront précisées et argumentées. Afin d'appréhender les relations entre les usages locaux et les normes dans nos zones d'étude (Piton de l'eau, Nez de bœuf, Hauts de la Chaloupe Saint Leu (carte 3), il fallait recenser les différents points de vue permettant, « à dire d'acteurs » de circonscrire les systèmes de gestion de la biodiversité et leur évolution possible. En effet, les connaissances sur la biodiversité, essentiellement la diversité des milieux (naturels/cultivés) et la diversité des espèces (animales, végétales – forestières et prairiales) sont importantes (photo 8). Elles se répartissent différemment entre les acteurs (forestiers, éleveurs, administrations, coopératives, associations, élus, scientifiques,...). Les « savoirs locaux » sont donc composés d'une agrégation variable de « savoirs scientifiques », de « savoirs techniques » et de « savoirs traditionnels ». Ainsi, si le caractère indigène/exotique relève de la botanique, celui de conservatoire versus envahissant est essentiellement déterminé par les usages auxquels on réserve l'espace. La classification des espèces selon ce dernier caractère et l'étude des déterminants des flux d'espèces envahissantes entre milieux (seules les 10 espèces envahissantes les plus abondantes sont alors considérées) permet ainsi d'apprécier les complémentarités envisageables entre gestionnaires de milieux limitrophes. Notons que ces flux sont de natures très différentes d'une zone d'étude à l'autre et que ceux qui vont de la forêt vers les prairies sont tout aussi importants que ceux qui vont des prairies vers les forêts. Il apparaît donc important de « socialiser » ces différents points de vue relatifs au système de gestion de la biodiversité et à son évolution possible afin d'initier un dialogue plus fourni entre les différents acteurs de la gestion de la biodiversité. Par ailleurs, dans un objectif de régulation des comportements influents dans le système de gestion de la biodiversité, il s'est avéré nécessaire de resituer les stratégies des

acteurs dans une perspective historique. En effet, dans les années 80-90, les modalités d'insertion de nouveaux éleveurs dans la filière « élevage allaitant » et l'établissement de la vocation respective des espaces forestiers (forêt de production pour les Hauts de l'ouest et accueil du tourisme sur le volcan) ont eu un impact déterminant sur le système de gestion de la biodiversité (coopération entre éleveurs et forestiers sur le volcan, maintien du *Sophora denudata* sur les prairies du volcan, conflits opposant dans les Hauts de l'ouest les éleveurs divagants et l'ONF, savoirs locaux et maîtrise des plantes envahissantes très fragmentés et peu homogènes). Alors que la gestion contractuelle de la biodiversité a eu des effets importants sur la régulation des comportements des acteurs, la force coercitive du droit a un impact indirect. En matière de protection des espaces et des espèces, la répression des infractions apparaît peu importante, tant en quantité qu'en qualité (peu de condamnations et faible recouvrement des amendes) (photo 9).

Il apparaît cependant que la force coercitive du droit en matière de protection des espaces et des espèces doit être interprétée au regard des difficultés liées à l'application du droit de l'environnement, notamment dans un DOM (diversité importante, complexité et application inadéquate en milieu tropical des dispositions légales ; difficile appropriation du droit forestier et du droit de l'environnement par les citoyens ; manque de communication entre les pouvoirs de police et l'administration judiciaire). Ceci nous amène à jouer sur trois tableaux interdépendants en vue d'améliorer les systèmes de gestion de la biodiversité étudiés :

- une considération accrue des usages du milieu pour l'établissement des normes ;
- la recherche d'une complémentarité plus grande entre les pratiques de l'ensemble des sujets de droit impliqués dans la gestion de la biodiversité, et corrélativement la prise en compte d'un panel plus important d'objets de droit ;
- un nécessaire renforcement de l'effectivité des normes.

Les actions programmées en 2005 devraient apporter des éléments concrets pour la réalisation de cet objectif dans les Hauts de la Réunion.

S. Aubert, J.P. Choisis, T. Le Bourgeois, L. Jauze

# RISQUE ENVIRONNEMENTAL, GESTION AGRICOLE, RECYCLAGE DES DÉCHETS (REGARD)

Le projet REGARD contribue à préciser les conditions de dissipation, d'évolution et de transferts de différentes catégories de polluants potentiels. Ceci doit être réalisé à différentes échelles pour apporter des réponses cohérentes et pertinentes. Les données acquises à ces différentes échelles sont intégrées dans des modèles de fonctionnement des exploitations et des écosystèmes cultivés, qui sont utilisés pour la simulation de situations et de scénarios permettant une évaluation des risques liés à des événements climatiques ou à des pratiques agricoles.

En complément des actions détaillées ci-dessous, les activités de l'équipe du projet se sont poursuivies dans plusieurs domaines : (1) la modélisation conceptuelle des flux d'azote dans les exploitations d'élevage bovin laitier réunionnaises, par le biais d'une thèse co-encadrée avec le pôle élevage et en partenariat avec la Sica-lait, (2) la contribution à la réalisation en partenariat avec la Daf et la MVAD d'un système d'information sur les matières organiques de la Réunion et (3) la soutenance d'une thèse sur les risques de lixiviation des herbicides dans les sols mis en irrigation sous canne à sucre de l'ouest de l'île.

## ► Risque de lessivage des nitrates

L'apparition de nitrates dans de nombreux forages de la Réunion et leur augmentation régulière observée dans les eaux prélevées provoquent des inquiétudes chez les consommateurs comme les pouvoirs publics. Dans certaines situations extrêmes, des forages ont été déclarés impropres à la consommation.

Les pratiques agricoles sont souvent considérées comme potentiellement polluantes, par l'apport d'engrais mal adaptés aux besoins des plantes, et par les épandages de produits organiques issus des élevages. Parmi ceux-ci les lisiers de porc, régulièrement épandus à la Réunion, et qui se trouvent en grande quantité dans l'île, peuvent représenter une source de pollution potentielle.

Dans une étude réalisée en milieu expérimental à la station des Colimaçons, un épandage de lisier de porc apportant l'équivalent de 260 unités d'azote sur des cultures de diversification a été effectué et comparé aux mêmes cultures n'ayant pas reçu de lisier. Un suivi des évolutions du taux de nitrates dans le sol et dans l'eau qui y percole a été réalisé. Le dispositif mis en place permet d'établir un bilan de l'eau grâce à la mesure du ruissellement (photo 10), de l'évapotranspiration de la culture (photo 11) et de la pluviométrie.

Les résultats montrent que, dans les conditions de l'année 2003, le drainage représente la moitié de la pluviométrie reçue et que le ruissellement a été

nul. Le lessivage des nitrates a été extrêmement réduit, même dans la parcelle ayant reçu du lisier puisqu'il a représenté moins de 6 kg d'azote par hectare (Fig. 4). Le suivi des taux de nitrates dans les sols montre que le contenu en nitrates est bien supérieur dans la parcelle ayant reçu du lisier et il est possible d'observer les mouvements des nitrates qui se déplacent en profondeur en suivant le drainage de l'eau. Les faibles niveaux de nitrates observés au-delà de 150 cm permettent toutefois de conclure que dans les conditions climatiques de

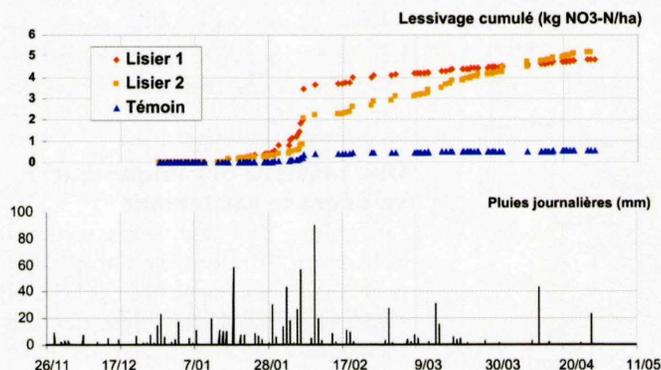


Figure 4.  
Drainage des nitrates sous culture de maïs en 2004.

l'année, les racines du maïs poussant sur la parcelle ont sans doute absorbé la grande majorité des nitrates. La plante a donc bien joué son rôle de capteur de nitrates et de réducteur de pollutions. Ces résultats, obtenus au cours d'une saison



Photo 10.  
Dispositif de mesure du ruissellement sous culture (H. Saint Macary).



Photo 11.  
Mesure des longueurs de racines sur le maïs (H. Saint Macary).



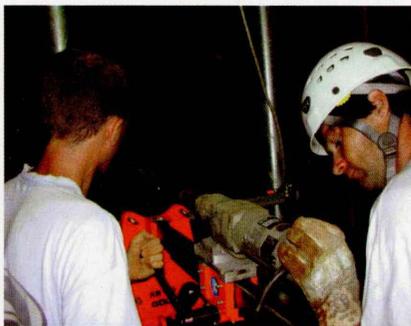


Photo 12. Réalisation des forages pour la pose de drains dans les fosses géologiques (H. Saint Macary).



Photo 13. Épandage de vinasses de distillerie sur un mulch de canne à sucre (F. Feder).

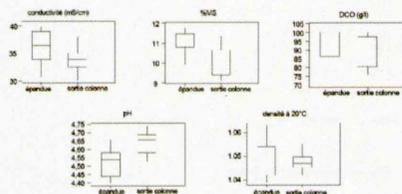


Figure 5. Variabilité des propriétés physico-chimiques des vinasses de distillerie au cours de la campagne de 2001.

pluvieuse, sont toutefois insuffisants pour disposer d'une capacité de prévision du comportement des nitrates dans d'autres situations. L'essai se poursuit donc en 2004 et 2005, pour disposer de jeux de données permettant de modéliser ce comportement.

Ces résultats concernent les mouvements des nitrates dans le sol. En vue de prévoir leur comportement dans le sous sol de la Réunion, les fosses géologiques creusées en 2003 ont été équipées de

drains permettant de recueillir les eaux à 10 m de profondeur, sous chacune des parcelles (photo 12). Les premières eaux de percolation ont été recueillies en février 2005 et les résultats, en cours d'analyse, permettront d'émettre les premières hypothèses sur le fonctionnement hydrogéologique des eaux souterraines et des nitrates qu'elles sont susceptibles de contenir.

H. Saint Macary, N. Payet

## ► Recyclage des vinasses de distillerie

Depuis 2001, dans le cadre d'une convention avec la distillerie Isautier de Saint-Pierre, le Cirad réalise des expérimentations au champ et au laboratoire dont le but est d'optimiser le recyclage en agriculture des vinasses de distillerie, sans pré-traitement, tout en minimisant les risques pour l'environnement (photo 13). La vinasse est un résidu final des distilleries de rhum. C'est un déchet organique facilement valorisable en agriculture mais l'épandage répété et systématique peut poser des problèmes environnementaux. Des éléments de réponse à ces questions sont aujourd'hui disponibles.

### Les vinasses, un déchet constant dans le temps

En premier lieu, l'homogénéité des vinasses dans le temps a été vérifiée. Pour cela un suivi hebdomadaire au cours de deux campagnes de distillation (en 2001 et 2002) de l'évolution des propriétés physico-chimiques des vinasses produites (Fig. 5) a été réalisé. Ce déchet présente peu de variabilité. Une simple analyse standard des vinasses, annuellement, permet de déterminer les doses réellement apportées au cours des épandages.

### Une matière organique qui se dégrade facilement

Les vinasses sont des déchets organiques qui, globalement, se minéralisent vite mais incomplètement. En quinze jours, 45 % du carbone organique s'est minéralisé. D'autres formes carbonées ne se transforment pas aussi rapidement. Les composés azotés présentent un comportement plus complexe puisque l'on observe toujours une première phase d'immobilisation de l'azote nitrique (NO<sub>3</sub>) dans le sol pendant les trente jours suivant un mélange des vinasses dans le sol, suivis d'une production nette positive après soixante jours.

### Un fertilisant déséquilibré chimiquement

Du fait de leur composition chimique déséquilibrée, les vinasses ne peuvent être utilisées directement en remplacement des engrais habituels. Le principal problème concerne les fortes teneurs en potassium des vinasses (140 g par kg de matière sèche). Des essais au champ, sur une culture de canne à sucre ont été menés pendant trois années (2001 à 2004). Le dispositif mis en place a permis de comparer un traitement témoin classique (appelé T1) avec engrais minéral (15.12.24) et deux traitements différents avec apports de vinasses (nommés T2 et T3). Le traitement T2 correspond à des apports de 48 m<sup>3</sup>/ha de vinasses pendant deux années consécutives (2001 et 2002).

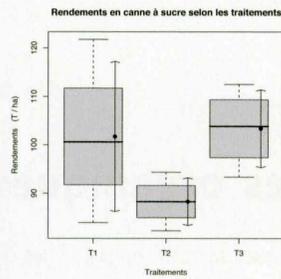
Le traitement T3 correspond à un seul apport (en 2001) de 61 m<sup>3</sup>/ha sur les trois années. Dans ces deux traitements, un engrais minéral sans potassium (38.12.0) a été ajouté pour compléter la fertilisation et apporté pendant les trois années.

Les résultats obtenus montrent clairement que seul le traitement T2 présente un impact négatif :

- à court terme sur les rendements en canne à sucre (baisse de 15 %) et sur la teneur en potassium dans les jus (Fig. 6) ;
- à moyen terme sur les propriétés des sols avec un risque d'acidification et de déstabilisation par le potassium du complexe d'échange (Fig. 7).

Cependant, il reste possible d'adopter sans risques majeurs un itinéraire technique proche du traitement T3. Cela consiste en un apport de vinasses d'environ 60 m<sup>3</sup>/ha une seule fois tous les trois ans. Cette pratique permet d'optimiser la quantité de vinasses à épandre et de minimiser les risques à

long terme pour l'environnement. Ces résultats répondent à la question posée, mais ils restent limités à ce type de déchets et surtout aux conditions pédo-climatiques de la zone de Saint-Pierre. Il est par ailleurs conseillé, même dans ces conditions de suivre régulièrement l'évolution de certains paramètres jugés sensibles.



F. Feder

Figure 6. Représentation statistique des mesures de rendements pour les trois traitements. La boîte à moustache montre les valeurs extrêmes, le premier et le troisième quartile ainsi que la médiane. Le point représente la moyenne et les flèches associées, l'erreur standard.

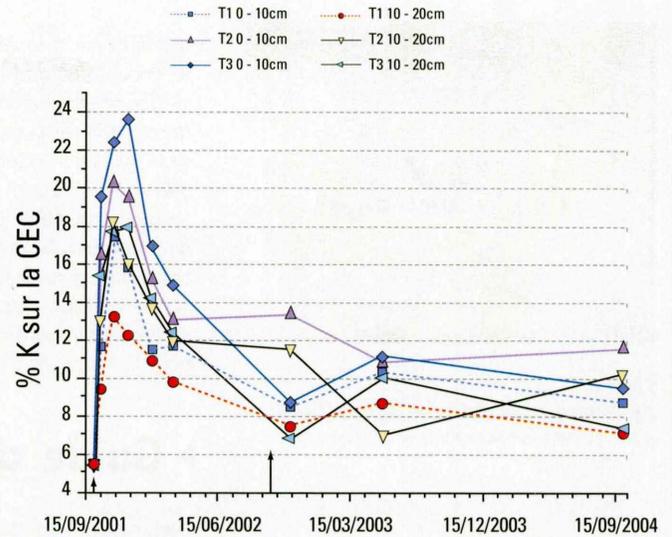


Figure 7. Evolution du pourcentage de potassium de la capacité d'échange cationique depuis la mise en place de l'essai. (F. Feder).

## ► Eléments traces métalliques

L'inventaire des teneurs en éléments traces métalliques (ETM) des végétaux, sols et déchets réunionnais réalisé en 2003 a montré que pour ces deux derniers réservoirs les concentrations en ETM étaient particulièrement élevées. Ainsi, 85 % des sols étudiés présentent des concentrations en Ni supérieures à la valeur limite autorisée pour les sols destinés à l'épandage des boues de station d'épuration. Il a été démontré que pour les éléments Cr, Cu, Ni et Zn les concentrations élevées mesurées dans les sols étaient naturelles et liées à l'origine volcanique de l'île. Les travaux conduits en 2004 ont donc naturellement été orientés sur trois propriétés fondamentales de ces éléments : leur spéciation, leur mobilité et leur biodisponibilité.

### Impact de l'épandage des déchets organiques sur la spéciation et la mobilité des ETM

Un dispositif original de colonnes de sol a été reconstitué en laboratoire (photo 14) afin d'étudier la mobilité des ETM d'un andosol suite à l'épandage d'une boue de station d'épuration. Il a été montré, à l'aide de ce dispositif expérimental, que les ETM qui passent en solution après apport ou non de boue sont soit indétectables analytiquement (Cr et Cu) soit présents en quantités très faibles (Ni et Zn). Il faut souligner que les concentrations mesurées sont très nettement inférieures aux valeurs seuils préconisées par l'OMS pour l'eau de consommation. Cette étude est la première qui aborde la spéciation des ETM d'un sol de type andique. Les résultats obtenus permettent de

montrer que malgré les concentrations élevées en ETM de l'andosol, une proportion importante de ces éléments est peu mobile et/ou biodisponible car les ETM sont engagés par des liaisons fortes avec les oxydes de fer et les minéraux silicatés du sol.

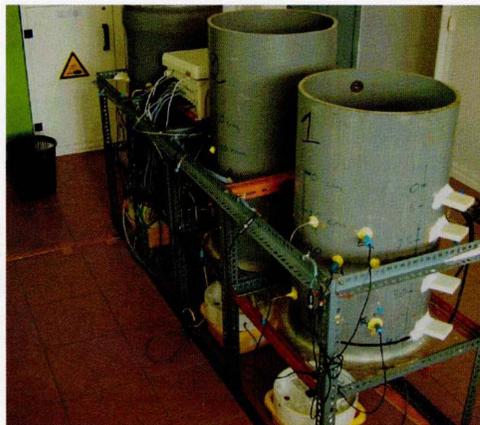


Photo 14. Dispositif de colonnes de sol (E. Doelsch).

### Evaluation de la biodisponibilité des ETM

Etant données les concentrations élevées en ETM des sols réunionnais, il est fondamental de déterminer la biodisponibilité de ces éléments pour des cultures sensibles telles que les cultures maraîchères. En effet, la plupart des ETM sont des éléments potentiellement toxiques pouvant affecter aussi bien le règne végétal qu'animal. L'absorption



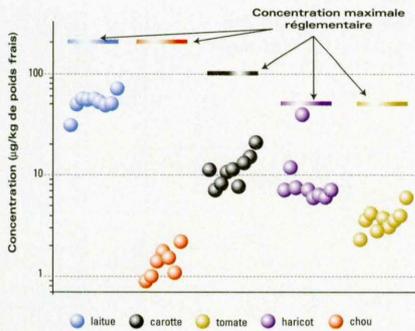


Figure 8. Concentrations en Cd dans les végétaux cultivés sur la parcelle expérimentale des Colimaçons.

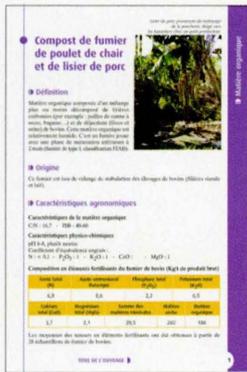


Figure 9. Maquette d'une fiche de présentation d'un produit organique.

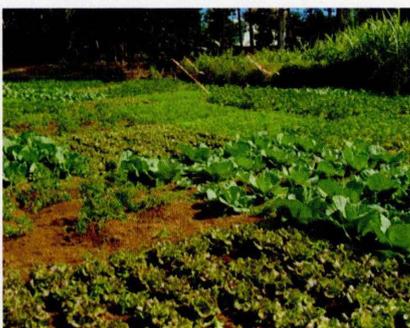


Photo 15. Essai maraîchage conduit à la station des Colimaçons (E. Doelsch).

des ETM par cinq végétaux différents (laitue, carotte, chou, tomate et haricot) a été caractérisée par la mise en place d'un essai de cultures maraîchères (photo 15) sur la parcelle expérimentale du Cirad des Colimaçons. Cet essai va également permettre d'évaluer l'influence de deux déchets organiques (compost de fiente de volaille et compost de lisier de porc) sur l'absorption des ETM par ces végétaux. Les premiers résultats indiquent que les concentrations mesurées dans les végétaux sont inférieures aux concentrations réglementaires maximales. Ainsi pour le cadmium (Fig. 8), les concentrations mesu-

rées sont toutes très nettement inférieures aux valeurs réglementaires. Au terme du premier cycle cultural, nous n'avons pas détecté d'influence du mode de fertilisation (compost de fiente de volaille ou compost de lisier de porc ou engrais) sur l'absorption des ETM par les végétaux. C'est pourquoi, nous allons réitérer cet essai au cours des prochaines années afin d'étudier l'influence à long terme du mode de fertilisation.

E. Doelsch

## ► Guide d'utilisation des matières organiques

Les pratiques de recyclage de matières organiques brutes ou transformées (mélanges, composts) se généralisent sur l'île de la Réunion. Depuis plusieurs années le Cirad, en partenariat étroit avec la Mission de Valorisation Agricole des Déchets (MVAD), a réalisé des travaux sur les transformations des matières organiques dans les sols, leur valeur agronomique, leurs caractéristiques analytiques et leur emploi en agriculture. Afin de mettre à la disposition de l'ensemble des acteurs de l'agriculture de l'île les connaissances acquises, la rédaction d'un guide pratique sur l'utilisation des matières organiques a débuté en 2004. Ce travail s'appuie sur les nombreuses données, recueillies par les deux partenaires principaux, qui sont capitalisées dans des bases de données et des modèles de fonctionnement et d'évolution des matières organiques.

Le plan retenu comporte une partie générale sur

les matières organiques, les sols, les plantes et des informations générales sur les aspects réglementaires liés à l'utilisation des matières organiques, selon leur origine et leur composition. Une deuxième partie comprendra des fiches techniques qui se présenteront par produit organique (environ 25 fiches) ou par culture (environ 5 fiches). Des fiches de calcul permettront de raisonner les apports réalisés et d'évaluer les substitutions d'engrais envisageables après des apports organiques. Les limitations et précautions à prendre seront également mentionnées.

Le guide prendra la forme d'un classeur dans lequel figureront des informations aussi pratiques et appliquées que possible. Ce guide, abondamment illustré (Fig. 9), sera imprimé en grand nombre. Sa sortie est prévue en fin d'année 2005.

P. Chabalière, H. Saint Macary

## ► Utilisation de modèles de simulation pour l'aide à la gestion collective des effluents d'élevage

L'année 2004 a été marquée par des résultats significatifs des travaux sur l'aide à la gestion des effluents d'élevage appliquée au cas de la localité de Grand-Ilet (cirque de Salazie).

L'utilisation du modèle Macsizut a permis aux éleveurs de porcs de Grand-Ilet de choisir un procédé de traitement des 20 000 m<sup>3</sup> de lisier qu'ils produisent par an. Le procédé retenu est un traitement biologique couplant centrifugation du lisier et nitrification-dénitrification permettant d'éliminer l'azote sous forme gazeuse, donc non polluante (Photo 16). Ce traitement présente le meilleur

rapport coût-efficacité et a été accepté par l'ensemble des éleveurs. Ce choix sera porté par les structures d'investissement et de gestion qui ont été identifiées et qui, en lien avec les industriels commercialisant le procédé, approfondiront la question de l'investissement nécessaire à cette installation.

A Grand-Ilet, les élevages sont répartis dans un environnement difficile pour l'installation d'une unité de traitement de lisier de taille industrielle. De nombreux paramètres sont à prendre en compte pour élaborer des stratégies viables de

gestion de cette unité. En tout premier lieu, l'organisation des transferts de lisier des élevages vers l'unité de traitement nécessite de répondre à plusieurs questions : Où prélève-t-on ? (cartographie du site) ; Quand prélève-t-on ? (calendrier des livraisons) ; Combien prélève-t-on ? (règles de détermination des quantités à livrer) ; Comment transporte-t-on ? (type et nombre des moyens de transport). L'objectif de la politique d'approvisionnement recherchée est de mettre en rapport l'offre de lisier produit par les 51 élevages de porcs et la demande de l'unité de traitement de sorte à satisfaire trois contraintes techniques : (1) les fosses à lisier des éleveurs ne doivent pas déborder ; (2) la fosse de réception de l'unité de traitement ne doit pas déborder ; (3) la fosse de réception de l'unité de traitement ne doit pas manquer de lisier à traiter. L'organisation choisie doit, de plus, présenter un coût et des conditions de fonctionnement acceptables par les acteurs.

Pour évaluer les paramètres logistiques d'une telle organisation la cartographie du site a été réalisée sur un système d'information géographique (Fig. 10). Elle permet, non seulement, de localiser les élevages et l'emplacement choisi pour la future unité de traitement, mais également, d'estimer les distances et les temps de transport en fonction du moyen de transport utilisé (tracteur ou camion) et de la qualité de la voirie.

Sur cette base, trois grands types de stratégies d'approvisionnement ont été définis (Fig. 11) : (1) livraisons planifiées (dates et quantités fixées a priori) (2) livraisons réactives à la demande des éleveurs (dates et quantités variables en fonction des stocks des élevages) (3) livraisons réactives à la

demande de l'unité de traitement (dates et quantités variables en fonction du stock de l'unité de traitement). Le modèle Approzut développé en 2001 a été adapté à cet enjeu opérationnel. Il permet ainsi de simuler différents scénarios paramétrés au contexte de Grand-Ilet pour répondre aux questions posées ci-dessus.

Le système multi-agents Biomass, développé en partenariat avec l'Iremia (Université de la Réunion), va permettre d'aborder la gestion des effluents d'élevage de Grand-Ilet plus globalement au niveau territorial. L'ensemble des flux sera pris en compte, notamment ceux résultant de l'écoulement des coproduits issus du traitement. La version de Biomass disponible en 2003 nécessitait encore un effort de développement afin de fournir des résultats de simulation réalistes pour l'aide à la décision en situation opérationnelle. A ce jour, cette évolution a été réalisée, rendant possible la simulation de situations réelles, faisant intervenir plusieurs centaines d'agents, telles que celle de Grand-Ilet. Parallèlement à l'adaptation du modèle, de nombreux outils de visualisation et d'analyse des résultats de simulation ont été développés afin de fournir un support pertinent et complet aux utilisateurs du modèle. L'interface offre trois panneaux de visualisation, un traceur de messages permettant d'analyser en détail les processus de négociation entre agents réalisés au cours d'une simulation, et de composer des graphiques superposant plusieurs courbes d'évolution des variables caractérisant les agents.

J-M. Médoc, F. Guerrin



Photo 16. Bassin de nitrification/dénitrification d'une unité de traitement biologique de lisier (J-M. Médoc).

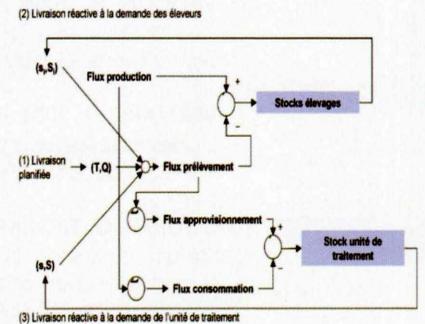
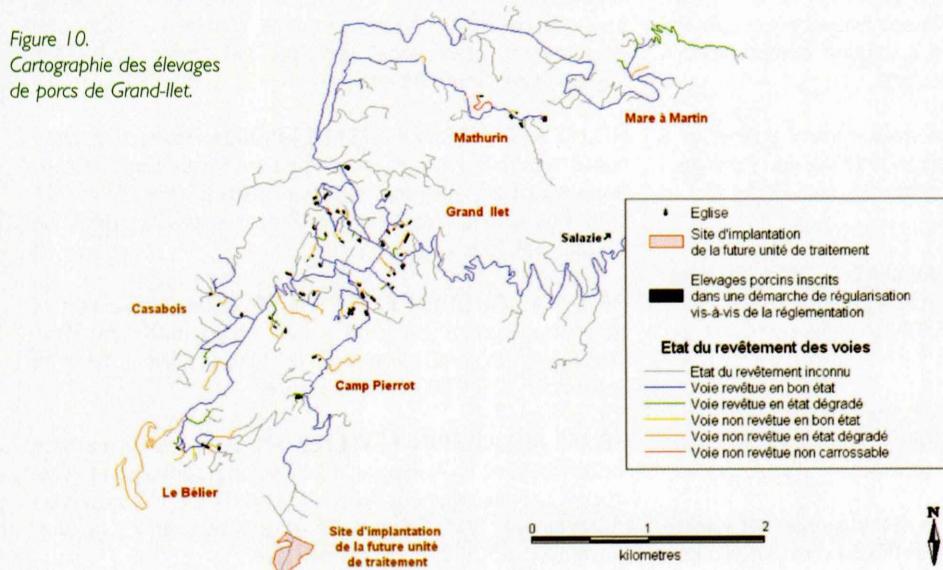


Figure 11.

Diagramme illustrant trois types de stratégie de gestion des approvisionnements d'une unité de traitement simulables avec la nouvelle version du modèle Approzut.



## ☞ Publications et communications en 2004 :

### Publications

**ANTONA M., MOTTE E., SALLES J.-M., PECHARD G., AUBERT S., RATSIMBARISON R., 2004.** Rights transfers in Madagascan biodiversity policies : achievements and significance, *Environment and Development Economics* 9, Cambridge University Press, pp. 825-847,

**AUBERT S., 2004.** « L'anthropologie du droit pour l'élaboration de systèmes de gestion viables de la biodiversité », *Anthropologie et Droit, Intersections et confrontation, Cahiers de l'Anthropologie du droit*, avril 2004. Droit et Cultures, Karthala, Paris, pp. 33-38.

**BERNARD H., CHABALIER P., CHOPART J.L., LEGUBE B., VAUCLIN M., 2005.** Assessment of herbicide leaching risk in two tropical soils of Reunion island (France). *Journal of Environmental Quality*, 34: 534-543.

**BERNARD H., 2004.** Evaluation des risques de transfert d'herbicides dans les sols tropicaux de l'ouest de l'île de la Réunion. Thèse de doctorat. Université de Poitiers. 199 p.

**BOURRIÉ G., TROLARD F., REFAIT P., FEDER F., 2004.** A solid-solution model for Fe(II)-Fe(III)-Mg(II) green rusts and fougérite and estimation of their gibbs free energies of formation. *Clays and Clay minerals*, 52(3): 383-395.

**DOELSCH E., SAINT MACARY H., VAN DE KERCHOVE V., 2005.** Sources of very high heavy metal content in soils of volcanic island (La Réunion). *Journal of Geochemical Exploration*. In press.

**FEDER F., TROLARD F., KLINGELHOEFER G. and BOURRIÉ G., 2004.** Variations with time and depth of the  $Fe^{3+} / Fe_{tot}$  molar ratio in fougérite in a Gleysol. Evidence from in situ Mössbauer spectroscopy and soil solution composition. In press: *Geochimica et cosmochimica acta*.

**GUERRIN F., 2004.** Simulation of stock control policies in a two-stage production system. Application to pig slurry management involving multiple farms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 45: 27-50.

**MARIE-VIVIEN D., MORIN J.F., AUBERT S., 2004.** Fable du Code de la biodiversité : la juriste et le potager de Grand-Mère, *Le Courrier de l'environnement de l'INRA* n°52, sept 2004, pp. 69-73

**MICHEL T. NORMAND F.,** Fruit Thinning Improves Fruit Quality and Lessen Alternate Bearing in Strawberry Guava (*Psidium cattleianum*) - à paraître dans *Acta Horticulturae*.

**PIRAUX M. et al., 2004.** Modèle de développement et identité des territoires dans les DOM insulaires (Réunion et Guadeloupe).

Les cahiers de ma multifonctionnalité n°6, dispositif de recherche INRA/Cemagref/Cirad ; Recherches et expertises sur la multifonctionnalité de l'agriculture et des espaces ruraux : compte-rendu des travaux, Véron F. (Ed. Sc.), p. 77-84.

**PIRAUX M., GUILLUY D., 2004.** Définition et mise en œuvre des Contrats Territoriaux d'Exploitation à la Réunion. La multifonctionnalité de l'agriculture et la mise en place des contrats territoriaux d'exploitation (CTE) dans les DOM. Actes du séminaire, Bouillante, Guadeloupe, 21-24 nov. 2000, M. Dulcire (éd.).

### Communications dans des congrès

**DOELSCH E., VAN de KERCHOVE V., SAINT MACARY H., 2004.** In: International Symposium Environmental Geochemistry In Tropical Countries, 4, 2004, Buzios - RJ. Book of Abstracts. Edited by Ricardo Erthal Santelli, Jorge Joao Abrao, Wilson Thadeu Valle Machado. Niteroi: UFF/ Programa de Geoquímica, 796 p.

**FEDER F., FINDELING A., 2004.** Physical and chemical transformations and solutes transfer in andisol under pig manure spreading [Abstract]. Eurosoil 2004, September 4-12, Freiburg im Breisgau, Germany.

**FEDER F., FINDELING A., 2004.** Solute and water fluxes in andisol fertilized with pig manure: soil columns experimentation. In: Oskarsson H., (ed.), Arnalds O., (ed.). Volcanic soil resources in Europe. Abstracts. Reykjavik, Iceland: RALA, COST, 119-120. (Rala Report, n. 214). COST Action 622 Final Meeting, June 4-8, Akureyri-Egilsstadir, Iceland.

**FUSILLIER J.-L., LAFOND J.-M., 2004.** Institutional change in water management in Reunion island. The implementation of a negotiation procedure - the SAGE tool - to design a local water policy at basin level. Water resource management for local development, International workshop, November 8-11, 2004, Loskop Dam, South Africa.

**HÉLIAS A., GUERRIN F., STEYER J.-P., 2004.** Abstracting continuous system behaviours into timed automata: application to diagnosis of an anaerobic digestion process. Proc. DX-2004, 15th International Workshop on Principles of Diagnosis, June 23-25, 2004, Carcassonne, France.

**HÉLIAS A., GUERRIN F., STEYER J.-P., 2004.** Abstraction of continuous system trajectories into timed automata. Proc. Wodes'04, 7th IFAC Workshop on Discrete Event Systems, September 22-24, 2004, Reims, France.

**HÉLIAS A., GUERRIN F., STEYER J.-P., 2004.** Using real-time model-checking tools in agricultural planning: application to livestock waste management. Proc. MCPL 2004, 3rd IFAC Conf. on Management and Control of Production and Logistics, November 3-5, 2004, Santiago de Chile.



**MÉDOC J-M., GUERRIN F., COURDIER R., PAILLAT J-M., 2004.** A multi-modelling approach to help agricultural stakeholders design animal wastes management strategies in the Réunion island. Actes iEMSs 2004, International Environmental Modelling and Software Society Conference on Complexity and Integrated Resources Management, June 14-17, 2004, Osnabrück, Germany.

**MICHEL T., NORMAND F., 2004.** Fruit Thinning Improves Fruit Quality and Lessen Alternate Bearing in Strawberry Guava (*Psidium cattleianum*) - Communication au congrès ISHS 2004 sur les Fruitières Tropicales, sept. 2004 Fortaleza, Brésil.

**NORMAND F., MICHEL T., 2004.** Nitrogen Triggers Floriferous Flush in Strawberry Guava (*Psidium cattleianum*) - Poster au congrès ISHS sur les Fruitières Tropicales, sept. 2004, Fortaleza, Brésil.

**PAYET N., SAINT MACARY H., FEDER F., FINDELING A., NICOLINI E., VAUCLIN M., 2004.** Assessment of nitrate leaching following pig manure application at the surface of an andisol in the Reunion island. Poster présenté au Joint Earth Sciences Meeting, September 20-25, 2004, Société Géologique de France, Strasbourg, France.

**PIRAUX M., SAQUE C., 2004.** Innovations et impasses dans la construction d'un projet de territoire à partir d'interactions entre action publique et action collective. Le cas de Cilaos à la Réunion. Atelier Interactions entre action collective et action publique, E. Sabourin, M. Antona, (éd. scientifiques). Séminaire Action Collective. Cirad, colloque, mai 2004, Montpellier.

### Rapports et notes techniques

**AUBERT S., BERNARD G., GERUS (de) P., MARTIGNAC C., 2004.** INTERREG III, Axe « Sécurisation Foncière et aménagement du territoire » : Rapport de mission du 11 au 20 juin 2004 à Madagascar, Région Réunion, Union Européenne.

**BOUQUET S., 2004.** Eléments pour l'élaboration de stratégies d'approvisionnement d'une unité collective de traitement du lisier: Le cas de Grand-Ilet, Cirque de Salazie, Ile de la Réunion. DAA-Master Sciences et Génie de l'environnement Ensaia-Inpl-Cirad, 30 p.

**FEDER F., SAINT MACARY H., 2005.** Etude expérimentale de l'épandage des vinasses de distillerie sur la canne à sucre. Rapport final de la convention Cirad-distillerie Isautier.

**FUSILLIER J-L., HOAREAU M., 2004.** Analyse de la diversité des exploitations agricoles du périmètre irrigué de l'Antenne 4. Structures, choix productifs et performances au terme de quatre années d'irrigation, Cirad, Chambre d'Agriculture, décembre 2004.

**FUSILLIER J-L., 2004.** Perspectives de recherche en évaluation économique du secteur agricole à la Réunion à partir de la Matrice de comptabilité sociale. Cirad-TERA, mars 2004, 15 p.

**GUERRIN F., MARTIN-CLOUAIRE R., RELIER J-P., 2004.** Etude de la gestion individuelle des effluents d'élevage à partir d'un cadre général de modélisation et de simulation de systèmes de production agricoles. Fonds commun de rapprochement Inra/Cirad 2001, rapport final du projet n°3, 2004, 16 p.

**JANOWSKY L., 2004.** La gestion de la biodiversité dans les Hauts de la Réunion, entre protection de l'environnement et valorisation des cultures locales : une ambition de développement durable ? Maîtrise de Sciences Politiques, Université de Paris X – Nanterre, UFR Sciences Juridiques, Cirad, 78 p.

**LEVREL G., 2004.** Dynamique et spéciation des éléments traces métalliques (ETM) dans un sol volcanique tropical après épandage de boue de STEP. DEA national de science du sol. Université H. Poincaré, Nancy.

**MARIE-VIVIEN D., ROUX-CUVELIER M., AUBERT S., 2004.** Atelier « Débat sur l'accès aux ressources génétiques et le partage juste et équitable des avantages de leur utilisation », 28 juin-2 juillet 2004, Mahé, Seychelles et restitutions à la Réunion.

**MEDOC J-M., GUERRIN F., 2004.** Utilisation de modèles de simulation pour la gestion individuelle et collective des effluents d'élevage porcin. Application au cas de Grand-Ilet (Ile de la Réunion). Rapport d'étape de l'action AC54d du programme Porcherie verte. 15 p.

**PANGOLIN A., 2004.** Impacts des CTE sur les pratiques techniques, économiques et organisationnelles des exploitations à la Réunion. Master of sciences « Développement agricole tropical » CNEARC, ESAT, février 2004, 100 p + annexe.

**PARROT L., FUSILLIER J-L., BASQUIN H., 2004.** Impact économique des filières de production animales à la Réunion - Effets d'entraînement de la filière volaille. Cirad-TERA. 21 p + annexes, octobre 2004.

**PAYET J-M., 2004.** Développement d'une base de données : ODIFONT : Outil de diagnostic Foncier d'un Terroir, Note de synthèse, 25 p.

**PIRAUX M., PANGOLIN A., 2004.** Synthèse des principaux impacts des CTE sur les pratiques des exploitants canniers. Cirad Réunion, 5 p.

**VAYSSIERES J., GUERRIN F., PAILLAT J-M., MARTIN-CLOUAIRE R., RELIER J-P., LECOMTE P., 2004.** Modélisation conceptuelle des flux d'azote en exploitation d'élevage bovin laitier à la Réunion. Rapport Cirad-TERA/Rev n°15/04, La Réunion, 33 p.





# Protection des plantes

**Le pôle de Protection des plantes (3P) poursuit sa structuration interne tout en développant ses partenariats.**

L'UMR PVBMT, qui regroupe les effectifs 3P du Cirad et de l'Université, a été reconnu en décembre 2004 par le ministère délégué à la recherche. Les capacités d'encadrement doctoral sont accrues avec désormais huit chercheurs habilités à diriger des thèses. Deux thèses ont été soutenues (A. Carmeille sur la résistance à la race 3 du flétrissement bactérien chez la tomate et I. Litrico sur l'impact de la fragmentation sur la structuration génétique d'*Antirhea borbonica*, espèce forestière endémique) et cinq nouvelles thèses ont débuté au sein de l'UMR. Le bactériologiste C. Verniere, affecté depuis août, va avec la doctorante vietnamienne L. Bui Thi Ngoc et le doctorant brésilien J. Belasque, former une équipe internationale sur le chancre citrique, maladie de quarantaine majeure pour tous les pays producteurs d'agrumes du sud comme de l'Europe. Cette équipe vient renforcer nos activités d'épidémiologie, point fort de notre collaboration avec le SPV, et la FDGDON au sein du 3P.

Les transferts de technologies en diagnostic moléculaire s'intensifient : mise en routine d'un test moléculaire pour le flétrissement bactérien, suffisamment sensible pour détecter la bactérie dans les eaux d'irrigation ; application par le SPV du test de détection de la bactériose de l'anthurium pour réduire la durée de quarantaine de vitroplants de 24 à 6 mois. Cet appui en terme de diagnostic permet également la mise en évidence à la Réunion, soit de nouveaux microorganismes tel l'IYSV un Tospovirus présent sur oignons mais jusqu'à l'heure confondu avec une maladie fongique, soit de nouvelles souches plus virulentes comme pour le TYLCV sur tomate. Ces capacités d'expertises sont valorisées dans le cadre du Programme Régional de Protection des Végétaux (PRPV) où le 3P réalise l'inventaire des ennemis des cultures, celui des Seychelles et des Comores étant bien avancé.

Les collaborations entre pathologistes et généticiens au 3P donnent les premiers résultats probants en terme de valorisation du matériel végétal. L'évaluation de la résistance à la maladie des taches noires du manguier a montré que les niveaux de populations bactériennes dans la variété sud-africaine Heidi étaient limités. La variété Heidi a donc un potentiel intéressant pour les arboriculteurs réunionnais qui ont déjà fait une demande d'exploitation commerciale auprès de l'organisme obtenteur en Afrique du Sud. Pour ce qui est des variétés traditionnelles, les variétés de haricot Marla et Kerveguen ont été inscrites au catalogue officiel et la variété d'ail assainie « Ti Rouge » ainsi que trois variétés de piment et deux variétés d'aubergines sont en pré-inscription. La production de semences de base a démarré et pourra fournir la filière locale de plants maraîchers certifiés, via la SEMOI, société semencière réunionnaise.

Outre les résultats majeurs obtenus sur les mécanismes de compétition interspécifique chez les mouches des fruits, les travaux sur *Fopius arisanus*, parasitoïde ovopupal, montre qu'il a un taux de survie élevé sur *B. zonata* et pourrait donc avoir un effet significatif de réduction des populations de cette espèce aujourd'hui dominante en basse altitude. Les efforts d'acclimatation sont donc poursuivis.

Enfin, les équipes du 3P ont participé à un séminaire sur la canne à sucre qui a été l'occasion de proposer un projet sur l'étude du déséquilibre de liaison, qui pourrait accélérer les gains en sélection chez cette espèce. Elles ont également accueilli le comité de pilotage du PRPV et un atelier franco-sud-africain sur la biodiversité. Cet atelier a réuni chercheurs et gestionnaires impliqués dans la conservation de la biodiversité à la Réunion et neuf de leurs homologues sud-africains, il a servi à nouer des collaborations pour développer une stratégie globale de gestion des écosystèmes naturels réunionnais.

**B. Reynaud**

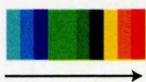


# ÉPIDÉMIOLOGIE DES MALADIES BACTÉRIENNES ET VIRALES

## ► Maladie des taches noires du manguiier



Photo 1. Dépérissement bactérien de l'oignon (lésion sur feuilles et hampe florale) (L. Humeau).



Temps de maladie des plants (de 0 à 120 jours)

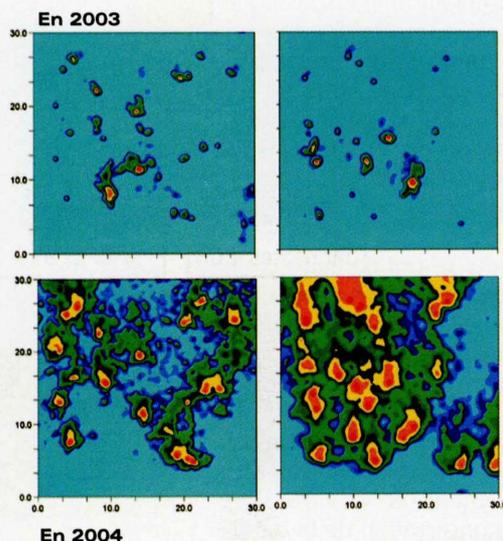


Figure 1. Représentation des parcelles expérimentales d'oignons de second cycle contaminés par *Xanthomonas axonopodis* pv. *allii* en 2003 et 2004.

La maladie des taches noires est l'une des menaces majeures du manguiier dans la zone océan Indien. Ce constat repose largement sur le fait que (1) la lutte chimique est peu efficace contre la bactérie responsable *Xanthomonas* sp. pv. *mangiferaeindicae* (et contre les bactéries phytopathogènes de façon générale) et (2) que la résistance variétale est peu exploitée dans les schémas de lutte intégrée mis en place dans les pays touchés. L'objectif de notre travail est donc d'évaluer l'intérêt d'une nouvelle source de résistance partielle présente dans le cultivar sud-africain Heidi sélectionné au début des années 1990. Nous avons effectué en 2004 les dernières notations de maladie sur feuilles visant à mesurer l'efficacité de la résistance partielle de ce cultivar à la maladie des taches noires du manguiier.

Les résultats de l'analyse statistique complète des données acquises depuis 1999 confirment les tendances précédemment décrites :

- Le pourcentage d'arbres malades (incidence) n'est pas un bon descripteur pour identifier des variétés de manguiier partiellement résistantes. La sévérité de la maladie est beaucoup plus appropriée ; elle a permis de différencier statistiquement le cultivar partiellement résistant (Heidi) du cultivar sensible témoin (Haden).
- La répartition spatiale de la maladie en vergers évolue différemment sur des cultivars sensibles et partiellement résistants. Dans un verger sensible, la maladie progresse efficacement à partir des foyers primaires, ce qui se traduit par une agrégation précoce de la maladie, et une taille des agrégats qui tend à augmenter au cours du temps. Sur le cultivar partiellement résistant, aucune agrégation durable au cours du temps n'est détectée. Ceci s'explique probablement par la mise en place chez le cultivar résistant de mécanismes de défense qui se traduisent une dizaine de jours après l'infection par une mortalité de 90 à 99 % des cellules bactériennes présentes au niveau des symptômes foliaires. Sur un cultivar sensible, une telle mortalité n'est pas constatée.

- Cette limitation des niveaux de populations bactériennes dans la variété résistante a un impact net sur les pertes en fruits dues à la maladie. Selon les années et parcelles, les pertes sur le cultivar sensible de référence ont varié de 32 à 84 % ; elles ont été de 0,5 à 4 % sur la variété Heidi.

Les analyses génétiques des populations bactériennes présentes sur cultivars sensibles et partiellement confirmeront la durabilité de la résistance. La variété Heidi a donc un potentiel intéressant à la Réunion pour compléter l'offre variétale sur le marché local. Des contacts pris avec les opérateurs de Rungis indiquent qu'elle a également un potentiel pour la relance de l'exportation. Sur la base de nos résultats expérimentaux, une présentation de cette nouvelle variété avait été faite il y a deux ans aux techniciens de la Chambre d'Agriculture et aux arboriculteurs intéressés. Cette initiative s'est récemment concrétisée par une demande auprès de l'organisme obtenteur en Afrique du Sud d'exploitation commerciale de cette nouvelle variété à la Réunion.

Les travaux de recherche menés en 2005 et 2006 viseront à finaliser les travaux prévus dans le cadre de la convention pluriannuelle 2000-2006, à savoir principalement (1) la compréhension de la nature de populations asymptomatiques et de l'importance biologique d'un état non cultivable de la bactérie responsable de la maladie des taches noires du manguiier, (2) la validation de la méthode IS-LM-PCR en tant qu'outil de typage épidémiologique.

O. Pruvost, L. Gagnevin

## ► Dépérissement bactérien de l'oignon

Les travaux de recherche visant à comprendre le développement des épidémies de dépérissement bactérien de l'oignon provoqué par *Xanthomonas axonopodis* pv. *allii* (Xaa) se sont poursuivis en 2004. Cette maladie émergente au niveau mondial se manifeste par des lésions sur les parties aériennes de l'oignon (feuilles et hampes florales) (photo 1) et provoque une réduction de la taille des bulbes d'oignon conduisant à des pertes de rendement pouvant atteindre 50 %. En 2004, les conditions climatiques locales ont largement favorisé le développement d'épidémies chez les producteurs d'alliacées du sud de l'île de la Réunion.

Dans la continuité du programme, deux points principaux sont abordés en 2004 : (1) Analyse des épidémies de dépérissement bactérien dans des parcelles expérimentales d'oignon de second cycle, et (2) Analyse bactériologique des graines produites dans ces parcelles expérimentales.

Deux parcelles identiques à celles de 2003 ont été plantées avec des bulbes d'oignon. L'incidence de la maladie (pourcentage de plants malades) a été évaluée, après inoculation de quelques plants avec une souche connue et identifiable de *Xanthomonas* toutes les deux semaines par cartographie de tous les plants malades. Les expérimentations ont débuté à la fin de la saison chaude et les épidémies se sont largement développées jusqu'à atteindre des incidences de 44 et 61 % (contre 5 % en 2003). En comparant les conditions climatiques des deux années on explique les fortes incidences de maladie observées en 2004. En effet, contrairement à l'année précédente, les températures supérieures à 20°C et des pluies survenues en début d'expérimentation ont favorisé le développement de la maladie. Une modélisation de la progression temporelle de l'incidence de la maladie a été effectuée par régression non linéaire.

Le modèle « probit » est le plus adapté aux données de 2003 alors que le modèle Gompertz est le plus pertinent pour les données de 2004. L'analyse spatiale des épidémies grâce à la loi de Taylor et le calcul des paramètres betabinomiaux montre que tous les foyers de maladie sont de type agrégé, autour des plants inoculés, dans toutes les parcelles (Fig. 1). Les analyses géostatistiques basées sur l'étude des semivariances révèlent que la dépendance spatiale des plants malades est particulièrement forte en 2004.

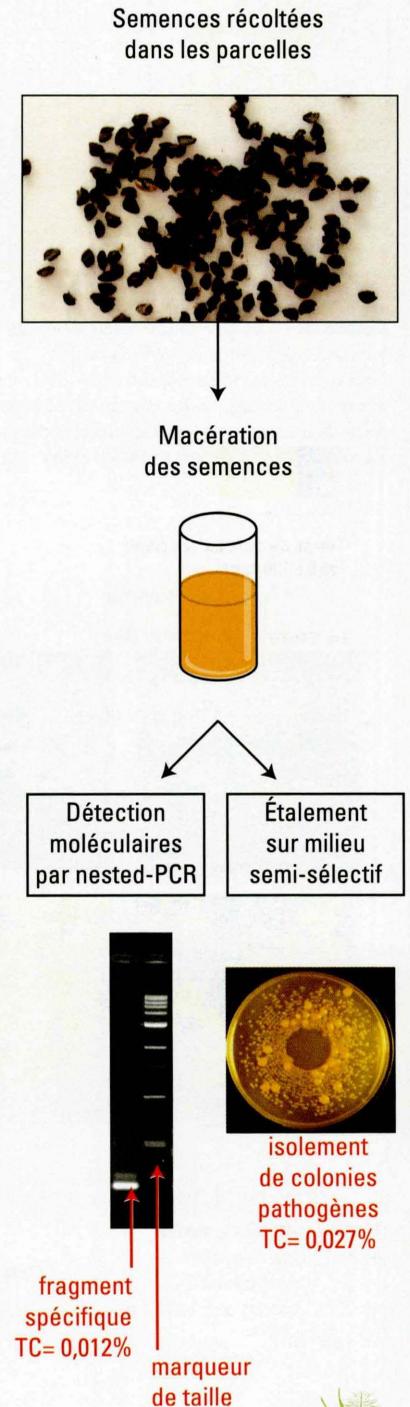
Des prélèvements bactériens sur les symptômes des plants d'oignon ont permis de vérifier l'identi-

té des souches responsables des épidémies dans les parcelles expérimentales par une analyse FAFLP (fluorescent amplified fragment length polymorphism). Cette technique moléculaire permet de distinguer les groupes génétiques du pathogène. Deux groupes principaux sont présents à la Réunion ainsi qu'une souche rare facilement identifiable, que nous avons utilisée pour les inoculations. Les résultats indiquent que les foyers autour des plants inoculés sont contaminés par la souche d'origine et que certains foyers, disposés en bordure de parcelles ou dans des zones éloignées des plants inoculés, sont contaminés par un inoculum exogène, appartenant au groupe génétique commun à la Réunion. Cette analyse qualitative des épidémies montre ainsi un flux de génotype dans les parcelles expérimentales, probablement provoqués par des événements de dissémination sur la période étudiée. Des événements climatiques mineurs (association de pluie et vent) sont effectivement apparus un mois avant l'apparition des premières souches exogènes.

Toutes les semences produites dans les parcelles expérimentales les deux années d'étude sont récoltées et analysées afin de détecter la bactérie pathogène (Fig. 2). Les graines issues des parcelles de 2003 ne semblent pas contaminées contrairement aux semences produites en 2004. Les taux de contamination obtenus pour ces lots de semences sont faibles mais en accord avec la littérature. Il semble donc exister une relation entre l'incidence de la maladie sur les plants d'oignon et le taux de contamination des semences produites. Par ailleurs, la détection par technique moléculaire est plus sensible que sur milieu sélectif, même si elle ne garantit pas la viabilité des bactéries, puisque le test PCR gigogne détecte aussi bien les pathogènes vivants que morts. Enfin, il est à noter que les graines contaminées sont produites aussi bien par des plants d'oignon malades que par des plants d'oignon ne présentant pas de symptômes. Ce qui souligne que la contamination des graines d'oignon par *Xanthomonas axonopodis* pv. *allii* se fait principalement par voie aérienne, la dissémination étant favorisée par l'arrosage par aspersion et par la pluie.

La mise au point d'un outil de détection de la bactérie dans les semences a été poursuivie. Un premier SCAR avait déjà été identifié et avait servi de matrice pour développer une Nested-PCR (N-PCR) spécifique de Xaa. Une autre séquence spécifique de Xaa a été mise en évidence par

Figure 2.  
Méthode d'analyse bactériologique des semences d'oignon produites dans les parcelles expérimentales. Taux de contamination (TC) par *Xanthomonas axonopodis* pv. *allii* obtenus pour 2004.

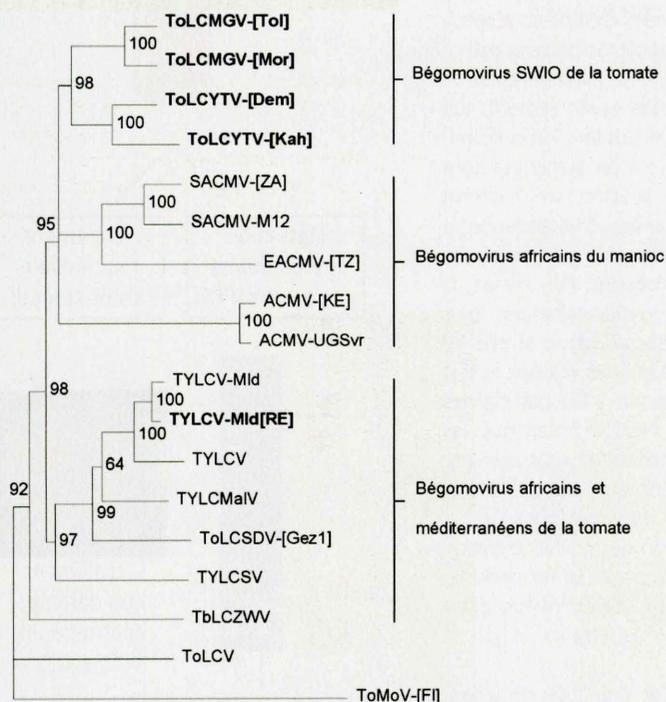


RAPD-PCR, puis clonée et séquençée. Une N-PCR Multiplex a été mise au point, qui fonctionne avec des paires d'amorces nucléotidiques sélectionnées sur les deux SCARs. Cet outil amplifie selon les souches un ou deux fragments d'ADN cible de *Xaa* et détecte de 95 % des souches de la collection mondiale de *Xaa* disponible au laboratoire. Seules quatre souches (trois en provenance d'Afrique du Sud, une en provenance des États Unis) ne sont pas reconnues par cette PCR multiplex. La spécificité de cet outil a été évaluée sur une collection de bactéries différentes du *Xanthomonas a. pv. alli*. L'outil montre une bonne spécificité puisque seules quelques souches différentes de *Xaa*, appartenant pour la plupart à *Xanthomonas axonopodis pv. vesicatoria* (pathogène de la tomate) sont reconnues par le test. Il existe cependant une « signature » *vesicatoria* qui rend

possible la distinction des deux types de souches par PCR-RFLP. Une extraction alcaline réalisée sur macérât de semences avant PCR permet de concentrer l'ADN cible et de l'isoler des substances inhibitrices de la PCR présentes dans ces macérâts. La N-PCR Multiplex détecte jusqu'à  $3 \cdot 10^3$  bactéries/g de semence, ce qui correspond à des concentrations bactériennes peu élevées, capables néanmoins de déclencher des épidémies au champ. L'outil PCR déjà applicable localement pour de la certification de semences reste à parfaire, afin de pouvoir détecter les quelques souches atypiques de *Xaa*. La recherche de marqueur(s) spécifiques(s) pour ces souches est en cours.

L. Humeau, P. Roumagnac,  
I. Robène-Soustrade, O. Pruvost

Figure 3.  
Arbre phylogénétique indiquant les liens de parenté entre les séquences des génomes complets d'ADN des isolats du Tomato leaf curl Mayotte virus – [Kahani] et [Dembeni], du Tomato leaf curl Madagascar virus – [Morondava] et [Toliary], du Tomato yellow leaf curl virus – Mild [Réunion] et des bégomovirus africains et méditerranéens de la tomate et du manioc les plus apparentés. SWIO : îles du sud-ouest de l'océan Indien.



## ► Caractérisation moléculaire de deux nouvelles espèces de bégomovirus sur tomate

Suite à la première épidémie de *Tomato yellow leaf curl virus* (*Begomovirus*, *Geminiviridae*) à la Réunion en 1997, une enquête a été menée sur les cultures maraîchères des îles du sud-ouest de l'océan Indien, afin d'évaluer les risques sanitaires liés aux bégomovirus. Ce projet se déroule en partenariat avec les services officiels de la protection des végétaux et dans le cadre du PRPV (Programme Régional de Protection des Végétaux).

Des campagnes de prélèvement de feuilles de tomate présentant des symptômes de feuille en cuillère, de jaunissement et de nanisme, ont été effectuées à Madagascar en 2001, aux Comores (Mayotte, Anjouan et Grande Comore) en 2003-04 et aux Seychelles (Mahé) en 2004. L'utilisation d'un couple d'amorces dégénérées spécifiques des bégomovirus qui amplifient la partie centrale du gène de la protéine de capsid (CP) a permis de détecter par PCR la présence de bégomovirus dans de nombreux échantillons foliaires. Sur la base de la séquence de la CP, certains isolats pouvaient être provisoirement classés dans deux nouvelles espèces au sein du genre *Begomovirus* : (1) le *Tomato leaf curl Madagascar virus* (ToLCMGV) détecté à Madagascar dans trois régions de la côte ouest, Miandrivazo, Morondava et Toliary et (2) le *Tomato leaf curl Mayotte virus* (ToLCMYV) détecté à Mayotte, sur la côte est à Dembeni et sur la côte ouest à Combani et Kahani. Ce dernier a également été détecté aux Seychelles à Mahé et dans le nord de Madagascar à Namakely et à Antsalaka. La distinction de deux nouvelles espèces a été confirmée par la séquence complète de l'ADN-A de deux isolats du ToLCMGV-[Morondava] et -[Toliary] de Madagascar, de deux isolats du ToLCMYV-[Dembeni] et -[Kahani] de Mayotte et d'un isolat réunionnais du TYLCV-Mld[RE]. A l'exception de l'isolat Toliary, le pouvoir infectieux des clones viraux a été vérifié par agroinfection de jeunes plants de tomate (Fig. 3). Ces clones agroinfectés provoquent des symptômes typiques de nanisme et de feuilles en cuillère comparables à ceux observés au champ, et sont transmissibles par l'aleurode *B. tabaci*. Ceci suggère que l'ADN-A représente l'intégralité du génome de ces virus. Des recherches de composants B et beta à l'aide d'amorce PCR à spectre large ont été infructueuses.

L'étude des relations phylogénétiques montre que le ToLCMGV et le ToLCMYV



appartiennent au groupe africain des bégomovirus monopartite et qu'ils sont génétiquement proches des bégomovirus africains du manioc (bipartites) et méditerranéens de la tomate (monopartite) (Fig. 4). Contrairement au TYLCV qui a été introduit à la Réunion, ces deux nouvelles espèces virales semblent endémiques de la région : la plupart des îles du sud-ouest de l'océan Indien hébergent au moins une

des deux espèces, la diversité intra espèces est relativement importante et les deux espèces sont plus proches l'une de l'autre que des autres bégomovirus.

H. Delatte, B. Reynaud,  
J.-M. Lett

## ► Etude de la variabilité du pouvoir pathogène du SCYLV

Le SCYLV (*Sugarcane yellow leaf virus*), agent causal de la maladie de la feuille jaune (photo 2), est présent dans la majorité des aires de culture de la canne à sucre. Des pertes notables de rendement ont été attribuées à ce virus dans plusieurs pays. A la Réunion, on le trouve, avec des taux d'infection variables, sur toute la sole cannière et pour toutes les variétés cultivées.

Le SCYLV est principalement disséminé par la plantation de boutures infectées, mais également par l'intermédiaire d'insectes vecteurs, notamment par le puceron *Melanaphis sacchari*. L'étude de la variabilité du pouvoir pathogène du SCYLV fait suite aux travaux de thèse de L. Rassaby qui avait caractérisé la variabilité génétique du virus. Ces travaux sont réalisés en collaboration avec le Cirad Montpellier dans le cadre de la thèse de Y. Abu Ahmad.

En 2002 et 2003, des collectes de *Melanaphis sacchari*, puceron vecteur du SCYLV, ont été effectuées dans le but de mettre en place des élevages de cet insecte. Toutes les tentatives d'élevage sur différentes plantes hôtes se sont soldées par un échec pour des raisons diverses. Des solutions de remplacement ont donc dû être envisagées. Dont une nouvelle méthode d'élevage de *M. sacchari*. Elle consiste à multiplier les pucerons sur fragment de feuille de canne à sucre détachée maintenue en survie dans un tube en verre (photo 3). Cette méthode d'élevage de *M. sacchari* pourra être utilisée en 2005 pour le transfert de différentes souches de SCYLV de plantes malades (en serre) à plantes saines (vitroplants).

Par ailleurs, la technique d'inoculation de vitroplants de canne à sucre avec le SCYLV par l'intermédiaire de *M. sacchari* a été mise au point. Les premiers essais ont été réalisés avec un isolat semi-purifié originaire du Pérou. Le SCYLV a été détecté dans 5 plantes sevrées sur 84 après 3 mois de croissance en chambre de confinement. Cependant, le virus transmis par les pucerons ne correspondait pas à la souche virale péruvienne

mais à la souche présente naturellement à la Réunion. On peut conclure que la transmission du virus semi-purifié a été infructueuse et que le virus transmis était présent dans les pucerons prélevés au champ. Néanmoins, cette expérience a permis de montrer que la transmission du SCYLV à des vitroplants de canne à sucre via *Melanaphis sacchari* était possible.

En se basant sur ces résultats, on peut donc envisager d'étudier la variabilité du pouvoir pathogène du SCYLV présent à la Réunion par transmission de différents isolats du SCYLV (à partir d'un élevage de pucerons sur feuille détachée) à différentes variétés de canne à sucre cultivées *in vitro*.



Figure 4. Comparaison des symptômes de maladie observés sur des plants de tomate de la variété sensible Farmer, 20 jours après agroinoculation avec différents isolats de bégomovirus caractérisés dans cette étude : (1) Témoin plante saine, (2) Tomato leaf curl Mayotte virus – [Kahani], (3) Tomato leaf curl Madagascar virus – [Morondava], et (4) Tomato yellow leaf curl virus – Mild [Réunion].

L. Costet



Photo 2. Symptômes de la maladie de la feuille jaune causée par le SCYLV (L. Costet).



Photo 3. Elevage de *Melanaphis sacchari* sur feuille de canne à sucre détachée (L. Costet).



Photo 4.  
Symptômes d'échaudure  
des feuilles de la canne à sucre,  
maladie causée par *Xanthomonas*  
*albilineans* (L. Costet).

## ► Transfert de connaissance vers les professionnels du secteur agricole

### Appuis en phytopathologie à la profession cannière

Cette activité se décline en deux actions : (1) une aide à l'amélioration variétale qui est continue et permet de s'assurer, par des expérimentations réalisées en conditions d'inoculation artificielle, que les variétés obtenues par les sélectionneurs canne à sucre du Cerf (Centre d'Etude, de Recherche et de Formation) présentent un niveau suffisant de résistance aux principales maladies présentes à la Réunion (2) une surveillance générale des maladies sur l'île.

Concernant l'action de criblage variétale pour la résistance aux maladies deux nouveaux essais ont été mis en place sur la station de la Mare en juillet 2004. Le premier permettra l'évaluation de 29 clones du Cerf et 5 variétés du MSIRI (Mauritius Sugar Industry Research Institute) à l'égard de l'échaudure des feuilles (photo 4) et de la gommose. Alors que le second est une répétition de l'essai criblage à l'égard de l'échaudure des feuilles suivi en 2002-2003 à Saint-Benoît et qui comportait une trentaine de clones. L'objectif de cette étude est de valider la méthode d'estimation de la résistance à l'échaudure des feuilles basée sur la colonisation de la tige. L'année 2004 est également marquée par la libération par le Cerf d'une nouvelle variété aux qualités agronomiques exceptionnelles : R580. Cette nouvelle variété que nous avons évaluée à plusieurs reprises au cours des années précédentes pour sa résistance aux maladies, présente néanmoins une certaine sensibilité en condition d'inoculation artificielle à l'échaudure et à la gommose. Une vigilance particulière devra être observée au fur et à mesure de la diffusion de cette variété.

Dans le cadre de la surveillance générale des maladies, aucun phénomène pathologique nouveau n'a été signalé cette année à la Réunion. On signalera cependant qu'une nouvelle épidémie de taches jaunes (ou yellow spot) a eu lieu en avril-mai 2004 sur toutes les variétés cultivées, notamment R570 et R579, et surtout dans les hauts de l'est (Grand Etang, Salazie,...). Il s'agit du même type d'épidémie qui s'est déjà produite en 2003 à la même période, mais lors de pluies plus importantes. Au cas où cette maladie s'installe de manière durable et récurrente à la Réunion, il faudrait envisager un criblage pour la résistance des nouveaux clones produits par le Cerf.

Par ailleurs, deux visites de la quarantaine canne à sucre du Cerf ont été réalisées en juin et novembre 2004. Aucune anomalie d'ordre phytopathologique n'a été observée sur les 24 variétés internationales importées à partir de la quarantaine du Cirad à Montpellier, et toutes ces variétés ont été libérées. En revanche, en novembre 2003, le *Sugarcane yellow leaf virus* ou SCYLV a été détecté dans la quarantaine canne à sucre du Cerf dans quatre variétés originaires du MSIRI à Maurice. En 2004, la culture de méristème pour assainir ces variétés ayant échoué, ces variétés ont été détruites.

L. Costet

### Identification et détection de *Xanthomonas fragariae*, agent de la maladie des taches angulaires du fraisier.

Ce sujet a été mené en collaboration avec le Service de Protection des Végétaux (SPV). *Xanthomonas fragariae* (Xf), bactérie inscrite sur la liste européenne des organismes de quarantaine a été mise en évidence à plusieurs reprises sur des plants de fraisier importés de métropole. En 2001 une nouvelle maladie du fraisier est apparue en Europe. Peu de données sont disponibles sur la bactérie responsable, dénommée *Xanthomonas arboricola* pv. *fragariae* (Xaf), qui fut confondue au début avec Xf. Dans le but de contrôler les plants de fraisier à l'importation vis-à-vis de la présence de Xf et Xaf, il est nécessaire de posséder des outils de détection performants de ces bactéries. Dans la littérature sont déjà décrits différents outils de diagnostic de Xf (tests ELISA et PCR). La réalisation de tests biochimiques et de tests de pouvoir pathogène est également conseillée pour différencier les deux types de bactéries. Nous avons comparé ces différentes méthodes de caractérisation et de détection sur une collection de bactéries appartenant aux deux espèces. Pour *Xanthomonas fragariae*, un test DAS-ELISA ainsi qu'une multiplex PCR donnent de bons résultats en terme de spécificité et sensibilité. Toutes les souches de Xf montrent une réponse positive à ces deux tests. Ces deux outils permettent de confirmer la présence de Xf dans des plants exprimant des symptômes.

Les souches de Xaf ne répondent à aucun test sérologique ou moléculaire effectué. Leur profil biochimique étudié est différent de celui de Xf

mais ne permet pas de typer formellement du *Xaf*. Seuls les symptômes obtenus sur fraisier après inoculation de la bactérie permettent de confirmer l'identité de cette bactérie.

### Validation d'outils de diagnostic moléculaire de *Ralstonia solanacearum*. Détection de la bactérie *in planta* et dans l'eau

Cette étude est conduite en collaboration avec le SPV. A la Réunion, *Ralstonia solanacearum* est présente sur les cultures de basse altitude, tomate et aubergine et dans les Hauts de l'île, essentiellement sur pomme de terre et Géranium rosat. L'eau constitue un mode de transmission de la maladie. En effet, la bactérie peut être véhiculée par les pluies, l'eau de ruissellement, l'eau d'irrigation, les réseaux hydrographiques. On peut également la retrouver dans les réservoirs et retenues collinaires utilisés par les agriculteurs en secours suite à des problèmes d'alimentation d'eau.

La mise au point d'une méthode de détection de la bactérie dans les eaux, rapide et fiable, est un préalable à la mise en oeuvre d'un réseau d'alerte et de prévention des contaminations.

D'autre part, l'utilisation d'un matériel sain avant plantation est une règle indispensable pour lutter contre l'introduction de la maladie dans une exploitation. Pour cela, il est nécessaire de posséder un test suffisamment sensible pour certifier des plants de pépinière indemnes de *Ralstonia solanacearum*.

Le but de ces travaux est de mettre au point et de valider un outil PCR pour détecter la bactérie dans l'eau et également *in planta*.

Nous avons dans un premier temps comparé deux protocoles PCR d'identification et/ou de détection de la bactérie existants : une PCR Multiplex (Fegan/Prior) et une Nested-PCR (Poussier) sur un panel de souches représentatif de la diversité de *Ralstonia solanacearum* à la Réunion. Les essais réalisés avec la Nested-PCR montrent des résultats peu répétitifs, avec des problèmes récurrents d'absence d'amplification, alors que la Multiplex PCR permet d'identifier et de typer les différents phylotypes réunionnais. Par contre, ce n'est pas un outil suffisamment sensible pour être utilisé tel quel pour détecter la bactérie dans les eaux et garantir l'absence du pathogène dans des plants. En effet, cette PCR simple rend possible la détection de concentrations bactériennes supérieures à 107 bactéries par ml (suspensions bactériennes). Nous avons fait évoluer cet outil en Nested-PCR en désignant des amorces plus internes dans la séquence d'intérêt. Deux amplifications successives abaissent le seuil de détection à 102 bactéries par ml. Afin de minimiser les problèmes de contamination

entraînant des faux positifs, assez fréquents en N-PCR, nous avons mis au point une "One-tube Nested-PCR" : les deux étapes successives de la Nested-PCR sont réalisées dans un seul tube, sans ouverture du tube entre les deux amplifications.

La sensibilité de l'outil dans l'eau d'irrigation artificiellement contaminée par *Ralstonia solanacearum*, a été évaluée à 103 bactéries par ml, après concentration et nettoyage de l'ADN cible par filtration et centrifugation.

L'évaluation de la spécificité est en cours sur une gamme de bactéries différentes de *Ralstonia solanacearum*.

J. Pompon, I. Robène-Soustrade

### Utilisation du test de détection par bio-PCR pour valider la sortie de quarantaine d'anthuriums importés

Cinq mille vitroplants d'anthurium de 16 variétés différentes ont été importés des Pays-Bas (société Anthura) en décembre 2003 et placés en quarantaine chez un pépiniériste particulier. La sortie de quarantaine de ces plants a été validée par un travail de diagnostic effectué de façon coordonnée entre le Service de Protection des Végétaux et le Laboratoire de Pathologie et Génétique Moléculaire du Cirad. En mars et avril 2004, trois cent feuilles ont été prélevées parmi toutes les variétés et ont subi le test de détection. Les tests ont consisté en une première étape d'enrichissement bactérien dans un milieu semi-sélectif contenant quatre antibiotiques, suivie d'une seconde étape de recherche par amplification enzymatique (PCR) de la présence d'un gène spécifique révélant la présence de la bactérie. Théoriquement, une seule bactérie est détectée par échantillon. Comme tous les tests se sont avérés négatifs, ces plantes ont été autorisées à sortir de quarantaine en juin 2004. Cette approche a permis de faire passer la durée de quarantaine pour les vitroplants d'anthurium de 24 mois (temps approximatif pour l'apparition de la première fleur et date à laquelle un plant n'ayant pas exprimé de symptômes est considéré comme sain) à 6 mois environ.

L. Gagnevin

### Caractérisation moléculaire d'un Tospovirus sur culture d'oignon

Cette étude a été menée avec le SPV et la FDG-DON. Une maladie virale a été mise en évidence fin 2003 sur culture d'oignon à la Réunion. Les symptômes observés s'apparentent à ceux provoqués par un Tospovirus, l'IYSV déjà décrit dans plusieurs pays sur alliacées. L'identité du virus a été confirmée par des tests sérologiques (ELISA, immunoempreinte) et moléculaires (RT-PCR). Une



Photo 5. Symptômes d'IYSV sur feuilles et tiges d'oignon.



Photos 6.  
Symptômes de la maladie du tomato yellow leaf curl ou des feuilles jaunes en cuillère sur tomate en plein champ identifiés à Saint-Gilles les Hauts en avril 2004.  
La caractérisation moléculaire de l'agent pathogène, par PCR et par séquençage, a permis d'identifier la souche Israël dite recombinante du TYLCV.

prospection a été menée d'octobre à décembre 2004 dans 10 parcelles de production de bulbes d'oignon localisées dans les principales aires de culture de l'île. Le virus a été mis en évidence par ELISA dans 75 % des feuilles symptomatiques récoltées (n=221). Le virus a également été détecté par ELISA dans 27 % de bulbes testés (n=64), 15 % de semis d'oignon âgés de 45 jours (n=119). Par contre, les tests ELISA réalisés sur lots de semences (n=59) se sont montrés négatifs. L'YSV a également été mis en évidence sur d'autres espèces du genre *allium* : poireau, ail et échalotte.

I. Robène-Soustrade, M. Roux-Cuvelier

### Présence des souches recombinantes et non recombinantes du Tomato yellow leaf curl (TYLCV), virus sur tomate à la Réunion

Depuis la première épidémie de TYLCV à la Réunion en 1997, une campagne de prélèvement d'échantillons foliaires présentant les symptômes typiques de nanisme, de jaunisme et d'enroulement foliaires, a été mise en place. L'objectif était d'étudier (1) la répartition géographique du virus sur l'île et (2) l'évolution moléculaire du virus depuis son introduction. Les échantillons prélevés de 1997 à 2003 ont permis d'identifier la présence

unique de la souche Mild dite non recombinante du TYLCV. En avril 2004, la présence de symptômes très sévères, plus sévères que ceux observés habituellement, de la maladie du TYLC dans une parcelle de tomate en plein champ à Saint-Gilles les Hauts suggérait l'apparition d'un variant plus sévère de la souche Mild du TYLCV ou l'introduction d'une nouvelle souche du TYLCV ou encore celle d'un nouveau bégomovirus (photos 6). La présence et l'identité du virus ont été étudiées par PCR avec deux couples d'amorces l'un amplifiant les deux-tiers du gène de la protéine de capsid (région CP) et l'autre la moitié du gène de la protéine de réplication (région Rep). La dernière région du génome du TYLCV a été utilisée pour distinguer la souche Israël dite recombinante (TYLCV-IL), de la souche mild dite non recombinante (TYLCV-Mld). L'analyse des séquences nucléotidiques virales de la région Rep, correspondant aux échantillons prélevés à Saint-Gilles-les Hauts, a permis d'identifier pour la première fois à la Réunion la présence de la souche Israël dite recombinante du TYLCV.

H. Delatte, B. Reynaud,  
J.-M. Lett

## DYNAMIQUE DES POPULATIONS ET COMPORTEMENT DES RAVAGEURS ET DE LEURS AUXILIAIRES

### ► L'aleurode *Bemisia tabaci*, vecteur de bégomovirus

#### Variabilité moléculaire du vecteur

L'aleurode *B. tabaci* est l'un des ravageurs des cultures les plus préoccupants, principalement par ses capacités à transmettre plus de cent espèces de bégomovirus dont le TYLCV à la Réunion. Suite à la pullulation de *B. tabaci* à la Réunion à partir de 1997, nous avons confirmé en 2000 l'introduction accidentelle du biotype B et son installation. Deux biotypes de *B. tabaci* sont maintenant présents à la Réunion : le biotype MS indigène des îles du sud de l'océan Indien et le biotype B cosmopolite et généralement invasif. La cartographie

de répartition du biotype B invasif et du biotype MS indigène à la Réunion a été établie en 2003. Le biotype B invasif est prédominant sur les espèces maraîchères et le biotype MS indigène présent plutôt sur certaines adventices (en particulier *Euphorbia heterophylla*) est prédominant uniquement dans la région Est.

Cette récente introduction du biotype B à la Réunion permet d'analyser son processus de colonisation. Les biotypes de *B. tabaci* étant indistincts morphologiquement, un jeu de huit marqueurs

microsatellites a été produit et utilisé pour mesurer la variabilité génétique des deux biotypes. L'utilisation de marqueurs combinés à une analyse de statistiques bayésiennes, a permis de différencier aisément les deux biotypes. La diversité génétique des deux biotypes est comparable, et suggère que l'introduction du biotype B n'a pas été associée à un fort goulot d'étranglement. Ainsi, plus d'une introduction du biotype B pourrait être responsable de l'invasion, qui pourrait remonter à plusieurs années. En l'espace de quelques années, le biotype introduit a atteint le même niveau de structuration géographique sur l'île que le biotype indigène. Il a colonisé toutes les régions favorables de l'île, bien qu'il n'ait totalement remplacé le biotype indigène dans aucun secteur.

Certaines populations de biotype B tendraient à être génétiquement plus proches des populations de MS, que d'autres populations de B plus isolées, ce qui suggère fortement un phénomène d'introgression. Ainsi, dans la population de biotype B de la Réunion, le sous-groupe B'' est plus proche du groupe MS que le groupe B' (Fig. 5). L'hypothèse d'un phénomène d'introgression est supportée par (1) la présence d'allèles typiques de MS retrouvés parfois à fréquence élevée dans la population B'' (2) l'existence d'une proportion plus élevée d'individus syntopiques (se retrouvant sur le même lieu que des individus MS) chez B'' comparé à B'. Néanmoins, plus de données seraient nécessaires (et peut-être plus de temps d'évolution) pour prouver la présence ou l'absence d'hybrides, et ainsi la possibilité d'intercroisement en conditions naturelles des deux biotypes. Les premiers essais de croisements en cages au laboratoire ont montré que seul le croisement dans le sens femelle B x mâle MS était fécond mais restait très rare.

Une étude dans les îles du sud-ouest de l'océan Indien est également lancée en parallèle pour connaître la diversité génétique du biotype MS tout en confirmant ou non la présence du Biotype B. Cette étude est réalisée dans le cadre du PRPV (Programme Régional de Protection des Végétaux) de la Commission de l'océan Indien (COI) ; elle est essentielle en terme d'épidémiologie d'autant que différents bégomovirus peuvent être présents dans les îles. Nous disposons maintenant d'une amorce microsatellite (MS145A/B) qui discrimine les biotypes B et MS et qui nous a donc permis une première détermination des biotypes des individus collectés. Le biotype MS est bien présent sur l'ensemble des îles échantillonnées : à Madagascar (408/408), aux Comores (46/46), et aux Seychelles (52/52) il a été le seul biotype identifié. A Mayotte, du biotype B avait été identi-

fié en 2000 mais les derniers échantillons collectés en 2004 appartiennent tous au biotype M (49/49). C'est le contraire à Maurice, où le biotype B n'avait pas été confirmé lors des premières analyses moléculaires, et où il est aujourd'hui dominant (48/53). En 2005, une étude de génétique sera menée sur ces échantillons pour mieux déterminer l'origine et la diversité du biotype MS dans les îles du sud-ouest de l'océan Indien.

H. Delatte, B. Reynaud

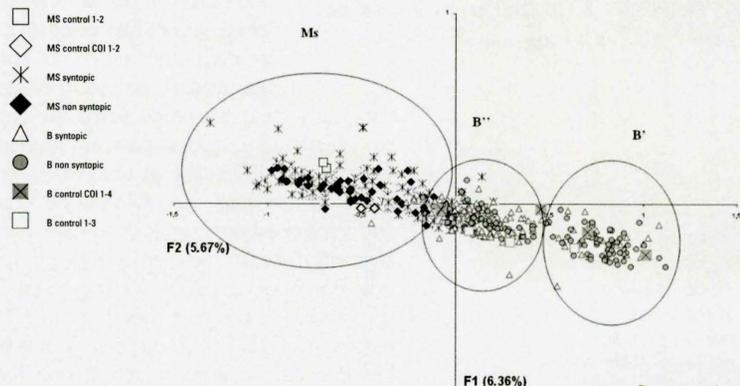


Figure 5. Répartition des génotypes de Bemisia tabaci échantillonnés à la Réunion et proportion d'allèles du biotype MS par groupe de génotype.

### Modélisation de la dynamique des populations d'aleurodes

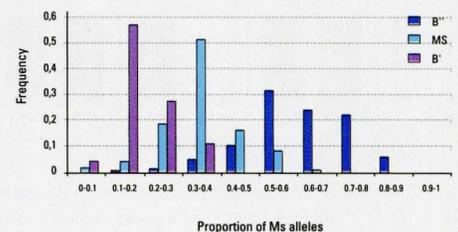
L'année 2004 correspond à la fin des essais terrain et à un approfondissement des analyses des données issues du protocole de piégeage pour étudier la relation entre la dynamique du vecteur et l'épidémiologie du virus associé (2001-2004), et du protocole d'essai sur parcelles de giraumon (2000-2001).

L'analyse des données issues des comptages sur les pièges entre 2002 et 2003 sur le site de Bassin-Martin a démarré. Le choix du modèle s'est porté sur un modèle prédictif de type modèle sur séries chronologiques. Les résultats de 2003 semblaient bons mais l'interprétation biologique difficile de certains paramètres nous a obligés à nous pencher sur de nouvelles variables fabriquées à partir des données climatiques issues de GESMET ; nous avons ainsi trouvé une forte relation entre le nombre de jours où la température moyenne est supérieure au quantile 90 % de la température moyenne sur la période étudiée et le nombre d'aleurodes capturés. Mais d'autres approches plus pertinentes sont toujours envisagées en vue d'une application en tant qu'outil d'aide à la décision.

F. Chiroleu

Figure 5A. Premier plan factoriel de l'AFC génétique. Les individus de biotypes B et MS identifiés par le logiciel Structure sont représentés avec différents symboles ; deux sous-groupes sont distingués au sein du biotype B : B' et B''.

Figure 5B. Distribution de la proportion d'allèles de type MS au sein des individus de chacun des trois groupes MS, B' et B''.



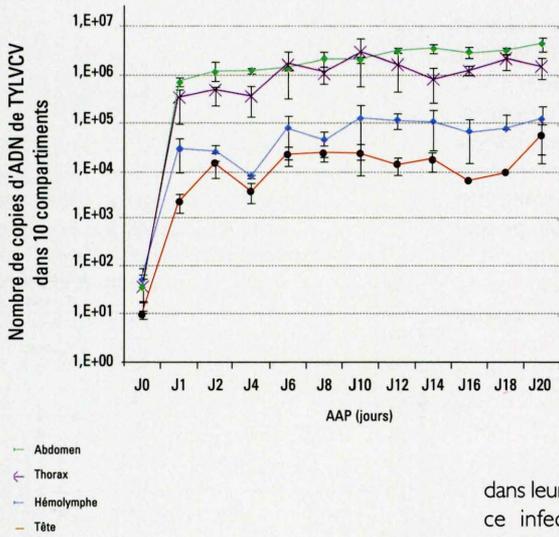


Figure 6. Cinétique d'accumulation du TYLCV-Mld[RE] dans les différents compartiments de *Bemisia tabaci* impliqués dans la transmission circulante, pendant une période d'alimentation infectieuse (AAP) de 20 jours sur tomates virosées.

### Mode de transmission du TYLCV-Mld[RE] par le biotype B de *Bemisia tabaci*

La maladie des feuilles jaunes en cuillère représente la plus importante contrainte virale de la tomate à l'île de la Réunion et dans de très nombreuses régions du monde. Cette maladie peut être causée par plusieurs espèces virales (*Begomovirus*, *Geminiviridae*) dont le *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV). Les bégomovirus sont transmis selon le mode circulant par leur insecte vecteur *Bemisia tabaci*. Des résultats contrastés ont été publiés en ce qui concerne la multiplication des souches de TYLCV

dans leur vecteur et la production d'une descendance infectieuse par des parents virulifères. Ainsi, Ghanim et al. (1998, *Virology*, 240, 295-303) montrent que la souche Israël recombinante du TYLCV peut être transmise à des plantes de tomates par des descendants d'une femelle infectieuse du biotype B alors que Bosco et al. (2004, *Virology*, 323, 276-283) démontrent le contraire avec la souche Mild non-recombinante du TYLCV du Portugal et le biotype B. Les données actuelles suggèrent que l'interaction virus-vecteur pourrait dépendre de l'espèce et/ou de la souche de virus et du biotype de *B. tabaci*. Nos travaux ont porté sur l'étude de l'interaction entre l'isolat réunionnais du TYLCV-Mild (TYLCV-

Mld[RE]) et le biotype B de *B. tabaci*, à l'aide de la PCR conventionnelle et de la PCR quantitative avec une sonde Taqman-MGB. Au cours d'une alimentation continue sur une plante infectée par le TYLCV-Mld[RE], la charge virale dans les insectes entiers et dans des compartiments de l'aleurode testés séparément (intestin, glandes salivaires et hémolymphe), atteint très rapidement un pallier, qui varie peu pendant tout le reste de l'expérimentation (Fig. 6). Une persistance importante de la charge virale est détectée dans les aleurodes entiers transférés sur une plante non hôte du TYLCV après une alimentation infectieuse de 3 jours. Le tractus intestinal constitue le lieu de stockage principal du virus. Les glandes salivaires représentent un lieu de stockage secondaire alors que la tête, les stylets et l'hémolymphe ne seraient qu'un lieu de transit du virus dans l'insecte vecteur. Ces observations indiquent que le TYLCV-Mld[RE] est transmis selon le mode circulant non multipliant par le biotype B de *B. tabaci*. L'absence de transmission transovarienne de l'isolat réunionnais du TYLCV-Mild par la population réunionnais du biotype B de *B. tabaci* corrobore cette hypothèse et confirme pour un deuxième isolat de TYLCV-Mild les travaux de Bosco et al. (2004).

J-M. Lett

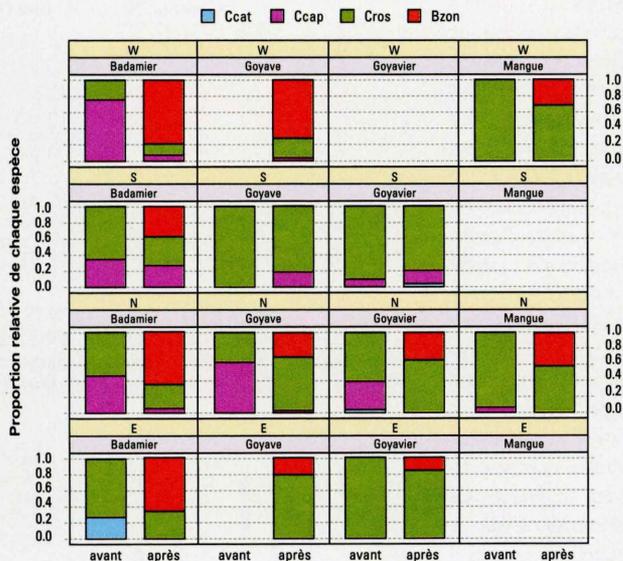


Figure 7. Proportion relative des 4 espèces de Tephritidae sur 4 plantes hôtes dans 4 zones de l'île (Altitude : 0 à 100 m ; avant = 1991 à 1999 [relevés avant l'extension de *B. zonata*] ; après = 2000 à 2005 ; Ccat = *Ceratitis catoirii* ; Ccap = *C. capitata* ; Cros = *C. rosa* ; Bzon = *Bactrocera zonata*).

## ► Les mouches des fruits et des légumes-fruits

### Comportement des mouches des fruits et méthodes de lutte

L'étude de l'évolution des populations de mouches a été poursuivie dans un réseau de piégeage basé sur deux transects situés dans le sud et l'ouest de l'île. *Bactrocera zonata* a tendance à dominer les autres espèces à basse altitude (Fig. 7). Elle se cantonne pour l'instant à cette zone de l'île et devient rare au-delà de 600m d'altitude. Dans les zones où elle est présente, l'espèce peut montrer des pics de populations à différentes périodes de l'année, en fonction de la fructification de ses plantes-hôtes.

L'étude visant à déterminer l'influence de la consommation de para-phéromones sur le succès reproducteur des mâles de *B. zonata* (programme coordonné de la FAO- AIEA) a été poursuivie en 2004, avec la méthodologie mise au point l'an passé (photos 7 et 8). Les premiers essais réalisés en cage au laboratoire ont montré un effet positif du traitement sur la compétitivité sexuelle des mâles après exposition à des doses de 5 ou 10 µl. Une tendance à un effet positif est également détectée pour toutes les autres doses testées, mais de nouvelles répétitions seront nécessaires en 2005 afin de confirmer ces résultats. On note au contraire un effet négatif sur la compétitivité dans le cas de 4 traitements successifs des mâles (à un jour d'intervalle).

L'étude des relations entre invasions biologiques et compétition inter-spécifique chez les Tephritidae a été poursuivie (thèse P-F. Duyck). Elle porte sur le complexe d'espèces nuisibles aux cultures fruitières à la Réunion (*Ceratitis capitata*, *C. rosa*, *C. catoirii* et

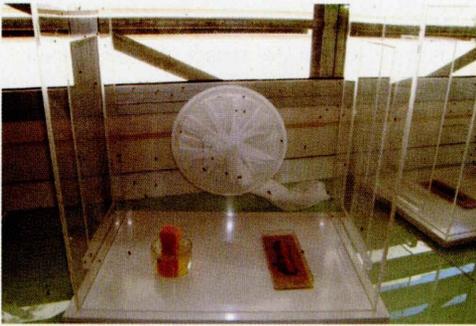


Photo 7.  
Cage de laboratoire pour l'étude de l'influence des para-phéromones sur le comportement sexuel des mâles de *Bactrocera zonata* (photo A. Franck)



Photo 8.  
Mâles de *Bactrocera zonata* s'alimentant sur un tampon de méthyl-eugénol (photo A. Franck)

*Bactrocera zonata*). Des expériences de co-infestation de deux ou plusieurs espèces au sein d'un même fruit ont montré que la survie larvaire et le poids des pupes sont affectés par la compétition interspécifique. La décroissance de ces paramètres est plus ou moins importante selon les espèces et les co-infestations considérées. Les larves de *C. capitata* et *C. catoirii* présentent une résistance à la compétition plus faible que celles de *C. rosa* et *B. zonata*, bien que les larves de *C. catoirii* nuisent au développement des trois autres espèces. *Bactrocera zonata* présente en outre un développement larvaire très rapide qui lui confère un avantage sur les autres espèces lors de son développement dans le fruit. La nature du fruit-hôte larvaire a des répercussions sur les paramètres de développement et sur la fécondité des adultes (Fig. 8). En particulier, le poids pupal peut constituer un bon indicateur de la fécondité.

Pour le stade adulte, on s'est intéressé à différents mécanismes d'interférence entre femelles : phé-

romones de marquage de l'hôte (HMP), vitesse de localisation du fruit-hôte et défense de celui-ci. En situation de choix du site de ponte, la réduction des risques de compétition intra- ou inter-spécifique s'effectue de deux façons : soit par le marquage phéromonal des fruits-hôtes par les femelles de *C. capitata* et *C. rosa*, soit par la reconnaissance des fruits marqués pour *B. zonata* qui semble pouvoir faire la distinction entre des blessures indemnes et des trous contenant des œufs d'autres espèces. *Ceratitis catoirii* ne semble pas pouvoir distinguer des fruits infestés de fruits indemnes. Le niveau de performance des stratégies de compétition de chacune des espèces est en accord avec leur fréquence et leur distribution sur l'île. Ces mécanismes jouent probablement un rôle important dans la compétition intra-et inter-spécifique.

La réponse des femelles matures des différentes espèces à des composés volatiles émis par différents fruits-hôtes sauvages et cultivés a été étudiée en cages extérieures. L'odeur de fruit-hôte constitue pour toutes les espèces un stimulus important dans la localisation de l'hôte. Les réponses diffèrent cependant entre les dix espèces végétales testées et selon les espèces de mouches. Les résultats ont été confrontés aux caractéristiques des niches écologiques des mouches, déterminées lors de l'étude des plantes-hôtes. L'étude fournit également des éléments en vue de l'identification de substances volatiles susceptibles d'être utilisées dans le futur pour la mise en place d'outils de surveillance ou de lutte biotechnique contre les *Tephritidae*. Par ailleurs, la vitesse de réponse à un stimulus olfactif a été étudiée en grandes cages chez les quatre espèces de mouches. On note une activité plus importante de *B. zonata* et *C. capitata* dans la localisation de la ressource. Pourtant, *C. rosa* et *B. zonata* se montrent les plus efficaces dans l'appropriation du fruit-hôte par leur fécondité et leur agressivité.

D'une façon générale, les résultats sur la démographie comparée des quatre espèces suggèrent un trade-off interspécifique entre les traits K et r. L'asymétrie de la compétition larvaire et des interactions directes entre femelles semble corrélée au rang d'établissement sur l'île, l'espèce arrivée la plus récemment ayant de bonnes performances dans la compétition larvaire comme dans l'aptitude à déplacer d'autres femelles d'un fruit. En conditions optimales, le gradient r-K pourrait être utilisé comme prédicteur d'espèces potentiellement invasives, les traits K pouvant favoriser à la fois l'aptitude à la compétition par exploitation et par interférence. La coexistence entre espèces est cependant permise par la variabilité de la tolérance aux

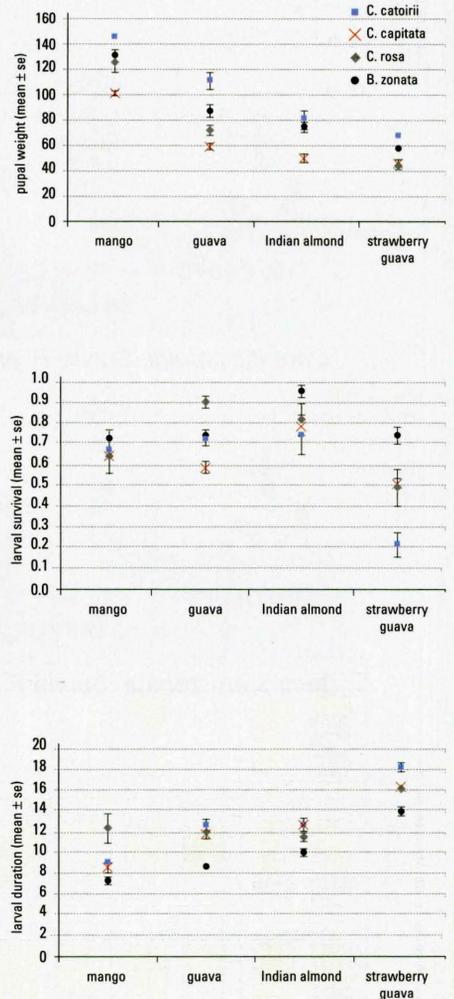


Figure 8.  
Poids pupal, survie et durée de développement larvaire des quatre espèces de *Tephritidae* élevées sur quatre fruits-hôtes différents.



conditions climatiques (température et humidité) et par celle de la gamme d'hôtes. L'espèce endémique a non seulement de plus faibles paramètres de survie et de fécondité que les autres espèces mais voit également les axes climatiques et de ressource de sa niche inclus dans celle de ses compétiteurs. Une coexistence stable devrait s'installer entre les trois espèces invasives alors que l'extinction de l'espèce endémique est considérée comme possible.

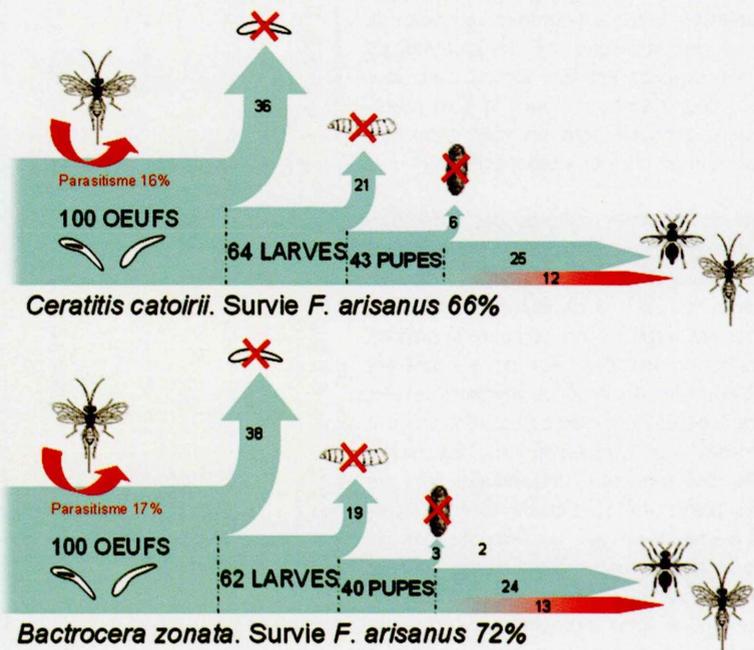


Figure 9. Survie de cohortes de 100 œufs de *Bactrocera zonata* et *Ceratitis catovirii* parasitées par *Fopius arisanus* (P. Rousse).

Après l'importation fin 2003 du parasitoïde ovo-pupal *Fopius arisanus* à partir d'Hawaï, un élevage régulier de l'espèce a été mis en place. Les premiers travaux, dans le cadre de la thèse de P. Rousse, ont porté sur la spécificité de cet auxiliaire vis-à-vis des espèces de Tephritidae locales. En situation de non-choix, sur les huit espèces de Tephritidae testées (*C. capitata*, *C. rosa*, *C. catovirii*, *B. zonata*, *B. cucurbitae*, *D. demmerezi*, *D. ciliatus* et *N. cyanescens*), on note généralement un taux de parasitisme des œufs de l'hôte de l'ordre de 10 à 30 %. Toutefois, la survie du parasitoïde est très variable selon la nature de l'hôte : nulle sur *B. cucurbitae* (le parasitoïde est apparemment éliminé par une réponse immunitaire), elle est mauvaise sur *D. ciliatus* (12 %), *D. demmerezi* (21 %), *C. capitata* (10 %), *C. rosa* (22 %), *N. cyanescens* (22 %), et bonne sur *B. zonata* (72 %) et *C. catovirii* (66 %) (Fig. 9). En situation de choix entre des œufs de *B. zonata* et de *C. capitata*, les femelles sont capables de discrimination entre deux espèces-

hôtes et montrent une nette préférence pour les œufs de la première espèce. Cette préférence se manifeste que les femelles se soient préalablement développées sur l'une ou l'autre des deux espèces de mouches, ce qui indique que l'apprentissage pré-émergence n'a qu'une faible influence sur le choix de l'imago. Du point de vue pratique de son impact potentiel en lutte biologique, *F. arisanus* présente donc avant tout un intérêt en vue de la réduction des populations naturelles de *B. zonata*, ce qui s'avère particulièrement intéressant puisque cette mouche représente maintenant le ravageur dominant dans les zones de basse altitude. Les premières expérimentations réalisées en grandes cages sur la sélection de l'hôte et de son habitat ont montré que les femelles sont plus attirées par l'odeur de fruits d'agrumes infestés par des œufs de Tephritidae que par celle des fruits sains. Nous avons en outre poursuivi le programme d'acclimatation de l'espèce à la Réunion, en partenariat avec l'USDA Hawaii (mission du Dr E. Harris et de T. Mangine en août 2004). Une nouvelle souche issue d'un élevage sur *C. capitata* a été importée, ce qui a permis une comparaison avec la souche issue de *B. dorsalis*. Des lâchers ont été réalisés sur quatre sites non traités (Rivière St-Denis, St-Pierre, St-Benoît, L'Hermitage) de janvier à mai, portant au total sur 42800 individus. Des collectes de fruits piqués sur les sites de lâchers ont permis de vérifier la présence du parasitoïde sur les trois derniers sites plusieurs semaines après les derniers lâchers effectués. Toutefois, *F. arisanus* n'ayant pas été retrouvé depuis le mois de juillet, une nouvelle campagne de lâchers sera réalisée en 2005. Les travaux sur l'optimisation des systèmes de piégeage pour les femelles de Tephritidae se sont poursuivis en 2004 (programme coordonné de la FAO-AIEA). Un essai mené à Bassin Plat a permis de comparer l'attractivité de différents traitements : Nulure (9 %) + borax (3 %), 1/2 diffuseur d'Ammonium Acetate (AA), 2 diffuseurs d'AA, Di-Ammonium Phosphate (AP), Ammonium Sulphate (AS), « 3 lures » et Torula Yeast, vis-à-vis de *B. cucurbitae*. Parmi les différentes combinaisons testées, le Nulure, le Torula Yeast, le « 3 lures » et la faible dose d'AA se montrent les plus efficaces. Tout récemment, une « bait station » mise au point par l'USDA a été testée vis-à-vis des espèces s'attaquant aux cultures fruitières (photo 9).

Dans le cadre du PRPV, le Laboratoire d'Ecologie Terrestre et de Lutte Intégrée s'est par ailleurs vu confier la coordination des compléments d'inventaires des ravageurs et auxiliaires, qui sont apparus nécessaires pour les Comores et les Seychelles. L'ensemble des échantillons d'insectes et acariens collectés lors des missions d'A. Barbet (Seychelles en décembre 2003 et Comores en mars 2004) et

d'A. Barbet et M. Attié (Seychelles et Comores en septembre 2004) ont été adressés au laboratoire puis triés et reconditionnés en vue d'envois ciblés à un réseau de spécialistes de taxonomie. Les résultats viendront alimenter une base de données régionale mise en place dans le cadre du PRPV.

*S. Quilici, P-F. Duyck et P. Rousse*

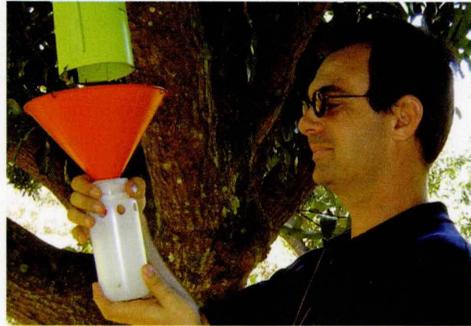


Photo 9.  
Modèle de « bait-station » de l'USDA, testé pour son attractivité vis-à-vis des femelles de Tephritidae (A. Franck).

### Modélisation de la dynamique des populations des mouches des fruits

L'objectif de cette opération est de mieux connaître la dynamique de population d'insectes ravageurs ou vecteurs de maladies. Le but est de modéliser l'évolution des populations d'insectes en fonction de facteurs biotiques et abiotiques afin de pouvoir à terme développer des outils d'aide à la décision comme des cartes de risque sanitaire.

La collaboration avec J. Chadoeuf (INRA Avignon) se poursuit avec la validation, à partir de plusieurs sites, d'un modèle spatio-temporel permettant d'estimer le nombre de mouches mâles et femelles de *Ceratitis rosa* capturées chaque semaine dans chaque piège en fonction de l'attractivité potentielle des arbres sur le site étudié indépendamment des autres espèces de mouches. Le modèle a aussi été amélioré suite à des

discussions avec les entomologistes pour fournir une meilleure prédiction en relation avec les estimations de ressources biotiques.

En parallèle, une collaboration avec l'Université de Montpellier I, R. Sabatier et M. Vivien, a permis d'étudier les relations entre piégeages de mouches des fruits (voire des légumes), floristique et météorologie en utilisant de nouvelles méthodes d'analyse multivariée (STATIS, ACIMOG, DO-ACT) sur les trois cubes de données créés avec deux dimensions communes : espace (15 sites sélectionnés sur 58) et temps (données hebdomadaires du 09/09/94 au 31/03/98). Les premiers résultats sont encourageants mais limités par de nombreuses données manquantes qu'il va falloir mieux gérer.

*F. Chiroleu*

## ► Durabilité de la lutte contre le ver blanc à la Réunion

### Mise au point d'une méthode d'évaluation du pouvoir pathogène du Betel® (tests sur larves et adultes)

A partir des méthodes existantes, nous avons choisi une technique de référence, susceptible d'être appliquée à toute souche purifiée ou produit de traitement renfermant des spores du champignon. Celle-ci a été appliquée à deux lots de granulés (références P0403 et P0404) issus de sacs de Betel® choisis au hasard dans la chambre des deux principaux distributeurs de l'île (80 % des ventes de ce produit commercial servant au traitement au champ). Quatre tests ont été menés avec la collaboration du SPV les 15/07, 5/08, 22/09 et 15/12, à une dose supposée de  $10^5$  -  $10^6$  spores/ml de suspension (spécifications indiquées sur l'étiquette du produit). Les larves L3 utilisées avaient subi une quarantaine d'au moins 15 jours. Les adultes étaient issus des larves non mycosées des tests

précédents, dont on a vérifié l'état sanitaire à l'aide des témoins. Dans les tests 1 et 2, malgré une perturbation liée à la transformation rapide des larves en nymphes (2 mois avant l'apparition de celles-ci en conditions naturelles) rendant les conclusions partielles, on peut estimer que le taux de larves mycosées un mois après inoculation atteignait 77 (test 1) et 100 % (test 2). En conclusion, on peut estimer que le lot P0403 est tout juste passable, alors que le lot P0404 est excellent compte tenu du fait que ces produits ont quitté l'usine il y a 4 à 5 mois. Les résultats des tests 3 et 4 sur les adultes (photo 10) confirment ces conclusions, le lot P0403 décrochant néanmoins après 8-9 mois de conservation en chambre froide.



Photo 10.  
Adulte d'*Hoplochelus marginalis* mycosé à l'issue du test 3 sur le pouvoir pathogène du Betel® (D. Pastou).



Photo 11.  
Mycélium de *Beauveria* (B. Vercambre).



### Evolution des populations du ver blanc et du champignon

Depuis 4 ans (2001-2004), les prospections larvaires menées par la FDGDON montrent une stabilité étonnante (en 2004, la densité moyenne dans l'île est de 0,3 ver blanc/souche de canne à sucre alors que le seuil économique pour la zone sèche est de quatre vers blancs /souche), une certaine pression se manifestant encore dans le sud (St-Louis, St-Pierre). Le taux moyen de larves mycosées au champ en fin de cycle larvaire, complété par celui des quarantaines de laboratoire menées par l'Université de la Réunion, est d'environ 40 % pour l'ensemble de l'île. Les projections théoriques, basées sur les paramètres biologiques du ver blanc (nombre d'œufs par femelle, sex-ratio, ...) indiquent que 70 à 90 % des individus devraient disparaître ou ne pas naître, en plus du pourcentage de L3 mycosées en fin de cycle, pour expliquer cette stabilité. En effet, les autres stades biologiques de l'insecte peuvent également être infectés par la mycose. Par ailleurs, de nombreuses observations de terrain montrent la présence du *Beauveria brongniartii* dans le sol, croissant sur de la matière organique en l'absence de vers blancs (environ 1,1 % des 1 224 souches observées en juin 2004).

Sur une parcelle (SL02) suivie à St-Louis (380 m d'altitude) et n'ayant jamais reçu de traitement biologique, nous avons noté 18,2 % de nymphes mycosées à la fin novembre et 16,7 % d'adultes mycosés dans la première décade de décembre, après que 22,8 % des larves L3 aient été infectées par le champignon à la mi-juin sur le terrain, 20 % supplémentaires ayant été constatées en quarantaine de laboratoire dans les 15 jours suivant le prélèvement. La densité de vers blancs a ainsi chuté de 60 % entre juin et décembre (2,3 à 0,9 ver blanc vivant/souche).

### Perte de vitalité d'*Hoplochelus marginalis*

Les dissections de femelles pratiquées durant la période favorable à la mesure du potentiel de fertilité, sur des couples prélevés à St-Pierre ou à St-Leu (N1 = 61), ou à la lumière à l'Entre-Deux (N2 = 81) révèlent une fertilité potentielle moyenne de 43 œufs/femelle pour les deux sites, ce qui représente une réduction d'environ 20 % sur le potentiel évalué au début de l'invasion du ver blanc. Dans la parcelle de St-Louis évoquée plus haut, le nombre moyen

d'œufs/femelle (N3 = 14) est de 30 à 34 au début décembre (réduction d'environ 30 %). Ces observations, très parcellaires, devront être développées pour confirmer ce phénomène de perte de vitalité.

B. Vercambre

### Modélisation de la dynamique des populations de vers blancs

Deux collaborations se sont développées autour de la connaissance de la dynamique des populations de vers blancs : l'une avec la FDGDON à la Réunion, l'autre avec l'URP SCRID à Madagascar.

La première se fonde sur les prospections réalisées depuis 1996 par la FDGDON sur une partie (1996-2001) ou l'ensemble de la Réunion (2001-2004). Notre collaboration avec A. Rolet consiste en la réalisation de cartes permettant de mieux comprendre

l'évolution spatio-temporelle des populations d'*Hoplochelus marginalis* à la

Réunion et de l'agent de lutte biologique associé, *Beauveria brongniartii* en complément d'une possible modélisation des phénomènes sous-jacents. Les résultats

montrent des effectifs d'*H. marginalis* qui sont partout très faibles (Fig. 10). Il conviendra toutefois de continuer à observer dans le futur la zone ouest-sud-ouest.

La seconde a été lancée grâce au Conseil Régional de la Réunion. La coopération

avec Madagascar a permis d'appuyer

un entomologiste malgache du Fofifa dans l'analyse de ses données spatio-temporelles pour la rédaction d'une thèse (Etude de la bio-écologie et de la dynamique des populations d'*Heteronychus spp.* et *Heteroconus spp.* et de leurs organismes associés sur riz pluvial dans le Vakinankaratra et le Moyen-Ouest). Nous avons aussi apporté notre savoir-faire dans le cadre du comité d'encadrement de la thèse et par des missions dans la mise au point des protocoles d'échantillonnage destructif sur les deux sites étudiés. L'analyse a été effectuée avec le logiciel R et les premières explorations et analyses spatio-temporelles (Fig. 11) montrent une répartition aléatoire du complexe d'espèces de vers blancs (plus de quinze espèces répertoriées sur un site).

F. Chiroleu

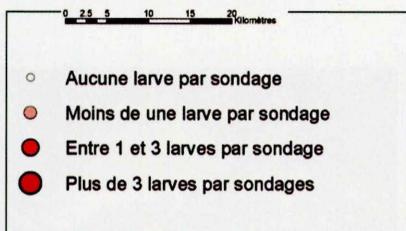


Figure 10. Nombre moyen de larves d'*Hoplochelus marginalis* par sondage sur les parcelles échantillonnées en 2004 sur la zone cannière de l'île (carte réalisée par A. Rolet, FDGDON et F.Chiroleu, CIRAD ; données FDGDON et IGN@BD Topo, 1997).

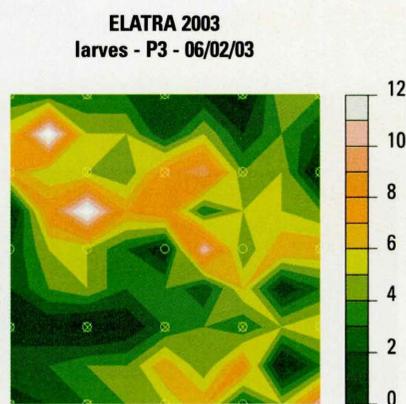


Figure 11. Variabilité spatiale de la densité de larves de vers blancs (toutes espèces confondues) sur une microparcelle de riz pluvial de 90 \* 90 \* 20 cm sur le site d'Andranomanelatra - les symboles désignent les plants morts (cercles barrés) et vivants (simples cercles).

## ► La cochenille du vanillier

*Conchaspis angraeci* a été recensée pour la première fois sur l'île en 1997 par Provanille. Depuis, elle n'a cessé de se répandre sur l'île, bien que les zones de production de la vanille ne soient pas toutes touchées. Ainsi, la région de St-Philippe est pour le moment relativement épargnée (quelques pieds recensés). Par contre, de Ste-Suzanne à Ste-Rose, les niveaux d'infestation sont beaucoup plus importants. Les suivis effectués par Provanille auprès de ses adhérents indiquent que ce ravageur est en progression. Un des moyens d'éviter l'émergence de nouveaux foyers est de veiller à la mise en place de lianes « saines » sur les nouvelles parcelles ou en cas de remplacement de lianes mortes. En effet, le principal facteur de dissémination de la cochenille semble être l'introduction de lianes infestées, même à des niveaux faibles, au sein d'une parcelle saine.

Les niveaux d'infestation et la sévérité des symptômes diffèrent selon le type cultural, l'ancienneté de l'infestation et la localisation géographique. Les parcelles cultivées en sous-bois présentent des populations moins abondantes que celles cultivées en plein champ et en intercalaire canne à sucre. La répartition hétérogène et la densité des lianes en sous-bois semblent constituer un frein à la dispersion par rapport à l'alignement régulier et à la proximité des pieds des cultures en plein champ. Notre étude a montré que les stades larvaires mobiles, plus sensibles aux traitements insecticides, sont plus nombreux pendant la saison chaude, ce qui devra être pris en compte dans les éventuelles préconisations de lutte chimique. On manque encore de données pour évaluer précisément les pertes de rendement dues à ce ravageur. Les conséquences d'une infestation ne se manifestent pas par une mort de la liane en première, voire en deuxième année. Le processus d'installation est lent et l'affaiblissement de la liane progressif. L'itinéraire technique est important puisque, sur des parcelles très bien entretenues, des lianes avec de forts effectifs de cochenille peuvent parfois produire des gousses de bon calibre avec un rendement peu affecté.

Les enquêtes de terrain ont confirmé que les auxiliaires naturels indigènes, prédateurs ou parasitoïdes, sont peu nombreux et incapables de contrôler par eux-mêmes les populations de la cochenille. Les parasitoïdes recensés ne semblent pas inféodés aux populations de *C. angraeci*. Un test de laboratoire de prédation par la coccinelle *Chilocorus nigritus*, prédatrice efficace de diverses diaspinés en vergers d'agrumes et sur cocotier, a été mis en place à partir

de novembre. Les premiers résultats n'ont pas été positifs, les adultes de coccinelles ne survivant pas plus de 5 jours en l'absence de nourriture alternative et ne présentant pas d'activité prédatrice notable. Les tentatives d'élevage sur citrouille à partir d'une contamination par des L1 montrent un taux amélioré de fixation et de passage au stade L2. Cependant, peu d'adultes sont obtenus, et l'on ne dispose pas encore d'une méthode d'élevage sur hôte de substitution. La production sur lianes de vanille en serre s'avère relativement lente.

A l'heure actuelle, le contrôle des infestations repose avant tout sur des mesures prophylactiques telles que l'arrachage des lianes fortement contaminées et leur remplacement par des boutures certifiées indemnes de cochenilles (et de virus) issues de la pépinière de Provanille.

K. Le Roux



Photo 12.  
*Hoya bella* (Asclepiadaceae) plante-hôte alternative de la cochenille de la vanille (A. Richard).



Photo 13.  
Dégâts de la cochenille du vanillier (A. Franck).



## ► Dynamique des populations de stomoxes dans les élevages laitiers

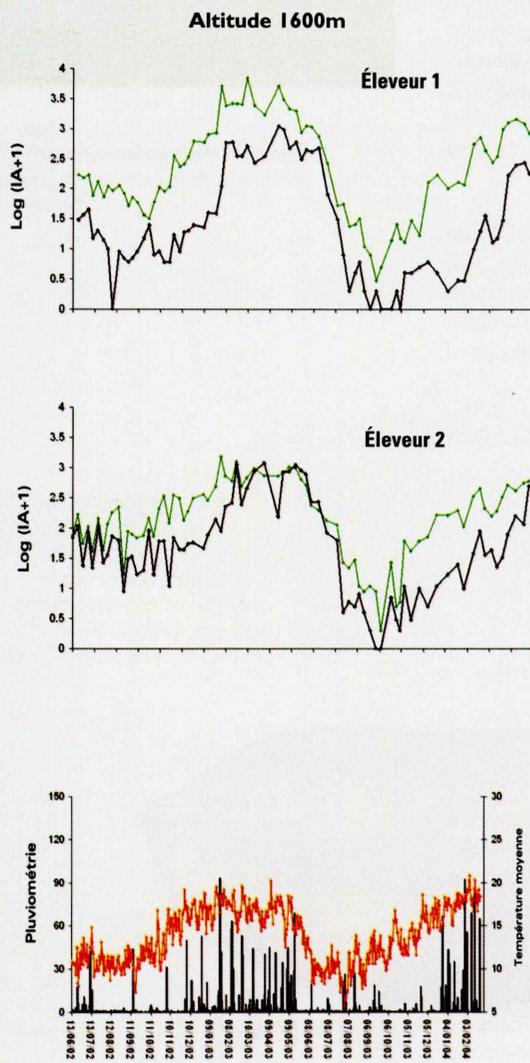


Figure 12. Abondances relatives [ $\log I O (IA+1)$ ] de *S. calcitrans* (vert) et *S. niger* (noir), température moyenne ( $^{\circ}\text{C}$ ) et pluviosité (mm) en fonction du temps chez deux éleveurs laitiers situés à 1600 m d'altitude.

Trois acteurs interviennent : le parasite responsable de la maladie, le vecteur transporteur de ce parasite et l'hôte qui sera infecté. La compréhension du fonctionnement d'un tel système est souvent très complexe puisqu'elle fait intervenir de nombreuses composantes et que son efficacité est très fortement dépendante des conditions environnementales. En effet, les facteurs biotiques et abiotiques sont déterminants dans la biologie et la dynamique des populations des différents acteurs du système. Ainsi, les modifications climatiques engendrées par exemple par le réchauffement global se traduisent par des modifications des facteurs biotiques et abiotiques qui agissent sur la biologie des espèces et influencent la démographie des populations au cours du temps. De plus, ces variations spatio-temporelles de densité influencent directement la structuration génétique des populations. Il semble alors intéressant de définir l'impact des facteurs abiotiques tels que les paramètres météorologiques sur la biologie et la dynamique des populations ainsi que les conséquences génétiques de ces variations. A la Réunion, les stomoxes *Stomoxys calcitrans* et *S. niger*, diptères hématophages, sont vecteurs de maladies par transmission mécanique. Ils transmettent l'anaplasmose (dont l'agent causal est *Anaplasma marginale*) maladie représentant la première cause de mortalité chez les bovins laitiers. De plus, par leurs piqûres douloureuses et la spoliation sanguine, les stomoxes représentent une nuisance considérable pour l'élevage bovin et pour la production de lait et constituent donc un modèle de choix.

### Dynamique des populations de stomoxes

A la Réunion, les deux espèces de stomoxes présentent des variations de densité au cours du temps (Fig. 12). Le cycle saisonnier des deux espèces est bien marqué avec une forte densité de stomoxes en période estivale et une nette réduction de la taille de la population en hiver. L'étude des patterns d'abondance (cycles saisonniers) le long d'un gradient altitudinal, a permis de mettre en évidence un synchronisme spatial des différentes populations, de *S. calcitrans*

d'une part et de *S. niger* d'autre part. Ce synchronisme spatial intraspécifique observé dans la dynamique des populations diminue quand la distance entre les populations augmente. Le synchronisme spatial entre populations peut résulter de trois principaux mécanismes : (1) la dispersion entre les populations (2) l'effet de facteurs abiotiques (température, pluviométrie,...) agissant de manière conforme sur la dynamique des différentes populations (Moran effect) (3) les interactions trophiques avec les populations des autres espèces de la communauté. Par l'analyse de séries chronologiques, nous avons montré que la température explique à elle seule entre 60 et 85 % des fluctuations de densité observée sur les différents sites d'étude et pourrait donc être le facteur clef responsable du synchronisme spatial et de la variation de densité des populations.

### Effet de la température sur le cycle biologique des stomoxes

Ces variations spatio-temporelles de densité résultent de l'influence de la température sur le cycle biologique des deux espèces de stomoxes. Une première étude sur *S. calcitrans* et *S. niger* a montré que la survie des immatures des deux espèces était maximale entre 20 et 25 $^{\circ}\text{C}$  et qu'elle diminuait de part et d'autre de cet intervalle. La durée de développement est également un trait lié à la température puisqu'elle passe d'environ 70 jours à 15 $^{\circ}\text{C}$  à 14 jours à 30 $^{\circ}\text{C}$  chez les deux espèces. Dans une seconde étude, nous avons montré que la température avait également un effet considérable sur la longévité des adultes et la fécondité des femelles et influençait de manière importante les différents paramètres démographiques des deux espèces de stomoxes.

Ainsi la température est le facteur explicatif majeur des variations spatio-temporelles de densités des deux espèces de stomoxes. Nous étudions actuellement les conséquences de ces variations de densité sur la structuration génétique des populations. Plus précisément, nous nous posons les questions suivantes : les goulots d'étranglements suivis d'événements de fondation répétés entraînent-ils une perte de diversité génétique et une différenciation notable des populations de stomoxes ? Les effets de fondation sont ils plus importants pour les populations de *S. niger* que celles de *S. calcitrans* ? Enfin, l'expansion d'une population se fait-elle à partir des populations plus proches ? Afin de répondre à ces interrogations, des marqueurs microsatellites ont été mis au point pour chacune des deux espèces (Gilles et al. 2004) et

les premiers résultats montrent qu'il existe une grande homogénéité à l'échelle de l'île. Celle-ci pourrait résulter de la grande mobilité des stomoxes (capables de parcourir d'importantes distances) mais

aussi des pratiques agricoles (mouvement important de paille de canne à sucre ou de fumier; substrats de développement des stomoxes).

J. Gilles



Photo 14.  
Femelle de *Stomoxys calcitrans*  
(J. Gilles).

## GÉNÉTIQUE ET CARACTÉRISATION DE LA RÉSISTANCE AUX BIOAGRESSEURS

### ► Résistance de la canne à sucre au foreur ponctué

À la Réunion, la résistance de la canne à sucre au foreur ponctué *Chilo sacchariphagus* Bojer (Lepidoptera, Crambidae) est bien connue au travers de la sensibilité contrastée des variétés R570 et R579 à ce ravageur. L'objectif des recherches menées est de promouvoir la résistance génétique de la canne au foreur ponctué en étudiant la diversité et l'hérédité des résistances ainsi que les mécanismes mis en jeu, en vue de fournir des sources de résistance et des méthodes pour la création de variétés résistantes.

En 2004, les performances de plusieurs critères de mesure de la résistance ont été évaluées au travers d'une étude préliminaire menée sur un essai variétal du Cerf à Ste Marie. Il apparaît que les observations précoces (avril) permettent de classer les variétés aussi bien que des observations avant récolte, plus lourdes. Le critère simple du « taux de tiges attaquées » montre des performances équivalentes à celles de critères plus lourds basés sur le comptage des entre-nœuds attaqués. D'autre part, la collection de 456 clones internationaux du Cerf a été criblée en vue d'identifier des clones résistants ou sensibles. Treize clones potentiellement résistants et dix-neuf potentiellement sensibles ont été identifiés. Le niveau de sensibilité de ces clones doit être confirmé en 2005 et 2006.

La connaissance de la localisation tissulaire de la résistance est déterminante pour l'identification des mécanismes mis en cause. Les sites d'alimentation des jeunes chenilles de *Chilo sacchariphagus* ont ainsi été analysés lors de sondages réalisés dans quinze parcelles de planteurs, huit plantées avec la variété R579 (sensible) et sept avec la variété R570 (résistante). On constate que seuls les quatre premiers

stades larvaires sont observés hors de la tige. Les chenilles se répartissent sur les feuilles terminales, les gaines foliaires et la tige dès le premier stade larvaire. Leur progression vers la tige se fait le plus fréquemment en perforant au moins une gaine foliaire. La pénétration dans la tige intervient majoritairement à la base des quatre entre-nœuds situés sous le méristème terminal. Les bourgeons axillaires ne sont pas un site privilégié de pénétration dans la tige. Des différences de comportement des chenilles entre variétés suggèrent que le franchissement des gaines foliaires est l'occasion de l'expression d'une partie de la résistance de la variété R570. Les tests menés en laboratoire confirment que les chenilles du premier stade larvaire détectent des différences entre variétés à la surface externe de la gaine foliaire. La variété R579 est préférée à la R570 et induit une moindre mortalité lors de la pénétration des chenilles.

S. Nibouche

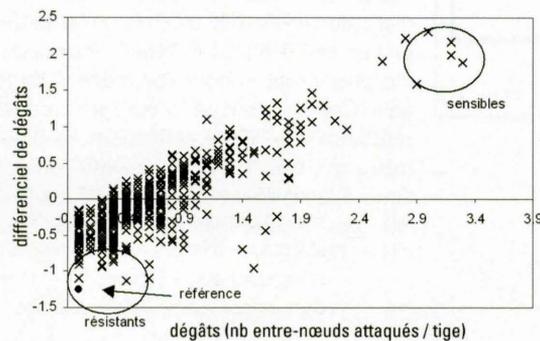


Figure 13.  
Distribution des dégâts observés sur tige en avril 2004 sur les 456 clones de la collection du Cerf. Le point noir indique le clone (KASSOER) utilisé comme référence résistance pour le calcul de la sensibilité.

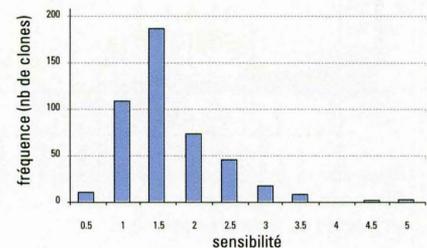


Figure 14.  
Histogramme de répartition de la sensibilité des clones de la collection. La sensibilité est évaluée par la distance euclidienne entre le clone et la référence, calculée à partir de la Figure 13.



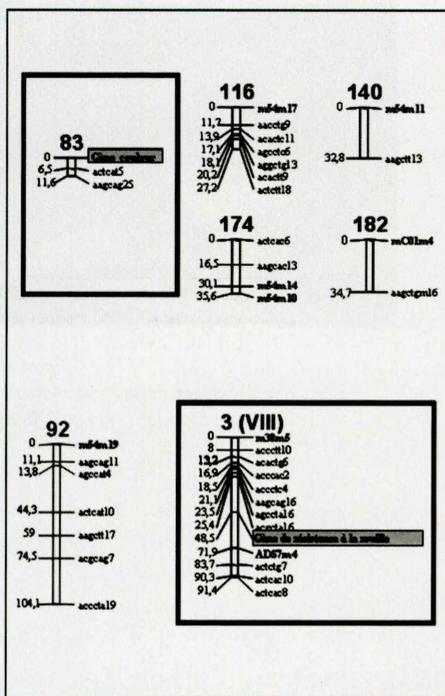


Figure 15. Extrait de la carte génétique de la variété MQ 76/53.

## ► Génétique de la résistance aux maladies de la canne à sucre

### Cartographie génétique

La carte génétique du croisement biparental impliquant R570 (résistant au charbon) et MQ 76/53 extrêmement sensible au charbon est achevée. 1 666 marqueurs polymorphes ont été produits à l'aide de 40 couples d'amorces AFLP, 46 SSRs et neuf sondes RFLP (gènes de défense fournis par la SASRI en Afrique du Sud). Quatre essais ont été mis en œuvre pour caractériser la résistance des 200 clones de la descendance vis-à-vis du charbon : deux essais au champ avec inoculation par trempage et observation de la maladie sur deux repousses et deux essais en serre avec inoculation par piqûre des bourgeons. L'analyse statistique devrait permettre de détecter les associations marqueurs-résistance au charbon les plus intéressantes en utilisant les 1 666 marqueurs polymorphes produits pour construire la carte génétique. Ces essais ont par ailleurs permis d'étudier la résistance à la rouille, la floraison, le brix, le diamètre des tiges. Ainsi, un nouveau gène de résistance à la rouille et un gène de la couleur rouge des tiges ont été identifiés liés à des marqueurs AFLP (Fig.15).

### Déséquilibre de liaison chez la canne à sucre et détection d'associations marqueur-résistance dans une population de cultivars

Une exploration du déséquilibre de liaison a été entreprise à partir de cette population. Un génotypage AFLP a été réalisé et plus de 1 600 marqueurs ont été produits dont 408 sont cartographiés chez R570. Cette information est très intéressante pour étudier la structure du déséquilibre de liaison chez la canne à sucre. Ainsi, des associations entre marqueurs distants de plus de 30 cM ont pu être détectées (Fig. 16). Le déséquilibre de liaison chez la canne devrait donc conférer à la diversité moléculaire en un point du génome une valeur prédictive pour la diversité au niveau de gènes utiles présents dans le voisinage. Cette approche devrait notamment permettre de révéler un certain nombre de marqueurs associés à la résistance au charbon de la canne à sucre à partir de la comparaison de deux sous-groupes dans la population de cultivars étudiée, l'un très résistant et l'autre très sensible. Leur résistance au charbon a été évaluée au Burkina-Faso en conditions d'inestation naturelle forte.

L.-M. Raboin

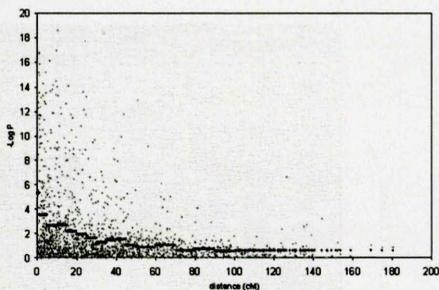


Figure 16. Diminution du « déséquilibre de liaison » en fonction de la distance génétique.

## ► Génétique de la résistance aux maladies virales chez le maïs

Les travaux de cartographie génétique de la résistance au *Maize stripe virus* (MSStV) sont maintenant achevés et en voie de publication. La résistance oligogénique originaire de la Réunion (Rev 81) agit principalement en réduisant l'incidence de la maladie. La présence simultanée d'un QTL majeur sur le chromosome 2L et d'un autre sur le chr.3, dans la région du cluster de gènes de résistance près du centromère, apparaît comme une condition minimale pour obtenir un bon contrôle de la maladie au champ. Cette constatation découle de l'étude comparée des deux fonds génétiques Rev 81 et MP 705, ce dernier ne possédant pas le QTL du chr.2 et ne présentant qu'une résistance partielle surmontée par un nombre important d'insectes vecteurs du virus. La dissection de cette résistance serait maintenant la prochaine étape en vue de la compréhension des mécanismes sous-jacents : résistance au virus et/ou à l'insecte vecteur ?

Cela nécessiterait dans un premier temps la mise au point d'une technique d'inoculation mécanique du virus à la plante de type biolistique, permettant de ne prendre en compte que les mécanismes de résistance au virus sensu stricto.

La résistance au *Maize mosaic virus* (MMV) présente dans le germplasm réunionnais reste à cartographier et à comparer au gène majeur Mv1 de résistance identifié dans le matériel originaire d'Antigua. Pour cela, une population de lignées recombinantes issues du croisement CVR12 x B73 est en cours de sélection. L'objectif est de savoir s'il existe une variabilité génétique pour cette résistance, avec les conséquences importantes que cela sous-entend en terme de sélection et de durabilité.

J. Dintinger



## ► Génétique de la résistance aux bégomovirus chez la tomate

Les bégomovirus transmis par l'aleurode *Bemisia tabaci* constituent un problème majeur de la culture de la tomate en zone tropicale mais également, et de plus en plus, en zone tempérée. La résistance variétale est la seule voie possible pour contrôler ces maladies de façon durable, étant donné la très faible efficacité et la nocivité pour l'environnement de la lutte chimique contre les insectes vecteurs. Les tests de résistance réalisés sur des accessions sauvages de *Lycopersicon* ont permis d'identifier différentes sources de résistance potentielle à la souche de TYLCV présente à la Réunion, notamment dans les espèces *L. chilense*, *L. hirsutum* et *L. peruvianum*. L'espèce *L. pimpinellifolium* s'est révélée également très intéressante avec des sources de résistance aux begomovirus bipartites tels que le *Potato yellow mosaic virus* (PYMV), mais également à l'insecte vecteur; résistance peu étudiée jusque-là. L'accession *L. pimpinellifolium* LA 2187-5 présente un niveau de résistance très élevée au PYMV, qui semble reposer sur un déterminisme monogénique récessif. La cartographie génétique

de cette résistance est en cours dans une population de lignées F2 issues de LA 2187-5 (R) × CRA66 (S). Après la constitution de pools de lignées R et S, grâce à de tests de résistance à ce virus menés actuellement en Guadeloupe, la cartographie du gène de résistance se fera à l'aide de marqueurs AFLP polymorphes entre ces deux pools et sur une population d'effectif réduit (approche BSA). Par ailleurs, la présence d'une résistance partielle au vecteur est soupçonnée dans les accessions *L. pimpinellifolium* INRA-hirsute et LA 1478. Cette résistance diminue l'incidence de la maladie et se montre efficace vis-à-vis du TYLCV aussi bien que du PYMV. Elle s'exprime de façon quantitative et peut être contournée par un nombre élevé d'aleurodes virulifères sur les plantes (Fig. 17). Néanmoins, utilisée en combinaison avec la résistance au virus, elle pourrait constituer une première barrière dans la lutte contre la maladie.

J. Dintinger, H. Delatte, B. Reynaud

## ► Génétique de la résistance au flétrissement bactérien chez la tomate

La bactérie *Ralstonia solanacearum*, responsable du flétrissement bactérien de la tomate, constitue l'autre facteur limitant de la culture en zone tropicale. Depuis peu, la race 3 de la bactérie constitue une maladie émergente sur tomate en zone tempérée menaçant les cultures sous serre dans l'hémisphère nord. Une étude de cartographie génétique de la résistance présente dans la variété Hawaï 7996 (*L. esculentum*, var. *cerasiforme*), menée vis-à-vis des différentes races de la bactérie, a montré l'existence de QTL (Quantitative Trait Locus) de résistances qui peuvent être soit généralistes, soit spécifiques de certains phylotypes de la bactérie. Un QTL situé dans le cluster de gènes de résistance du chromosome 6 est détecté quelque soit le phylotype, alors que des QTL sur les chromosomes 3, 4 et 12 s'expriment spécifiquement vis-à-vis du phylotype I ou II de la bactérie. Ce travail réalisé dans deux descendances issues du même fond génétique montre l'importance de dissequer ce type de résistance en vue de son utilisation dans un programme de sélection visant à contrôler de façon stable et durable le complexe

d'espèce que constitue *R. solanacearum*. La Réunion est un site privilégié pour mener de telles études, car les différents phylotypes y sont présents et permettent d'effectuer des tests en condition contrôlée de la maladie. Les sources de résistance à *R. solanacearum* sont pour l'instant rares et il convient de poursuivre les criblages systématiques de nouvelles sources potentielles. Parmi celles-ci, la variété *L. esculentum* CRA 66, parent sensible du croisement utilisé pour l'étude la résistance au PYMV, est une source potentielle de résistance partielle à la maladie. Cette population prévue initialement pour la cartographie de la résistance au PYMV, pourra donc aussi être exploitée en vue de la recherche de nouveaux QTL de résistance au flétrissement bactérien. Par contre, ce travail nécessitera la réalisation d'une carte génétique complète avec une bonne couverture du génome qui se fera à l'aide principalement de marqueurs RFLP. Un certain nombre de marqueurs microsatellites et PCR spécifiques polymorphes pourront compléter cette carte (Fig.18).

J. Dintinger

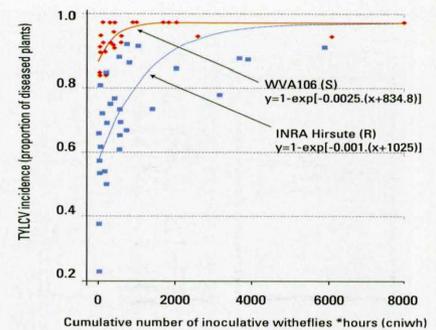


Figure 17.  
 Expression quantitative d'une résistance partielle dans l'accession *L. pimpinellifolium* 'INRA-hirsute' en fonction du nombre d'aleurodes virulifères sur les plants.

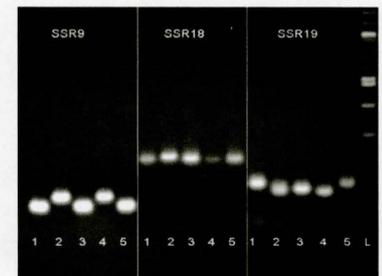


Figure 18.  
 Exemples de quelques marqueurs microsatellites polymorphes détectés au sein des géniteurs.  
 (Pistes : 1 = CRA66 ; 2 = LA2187-5 ; 3 = Atatürk ; 4 = INRA hirsute ; 5 = WVA106 ; L = ladder 100pb)



Photo 15.  
La collection de vanilliers indemnes de virus et aperçu du polymorphisme de trois accessions : *V. planifolia variegata* (a), *V. imperialis* (b) et *V. madagascariensis* (c).

## ► Génétique et certification des vanilliers

Ce programme vise à identifier les vanilliers qui expriment qualitativement et quantitativement des caractéristiques intéressantes pouvant être ensuite sélectionnées et utilisées en production ou en hybridation. La démarche entreprise consiste tout d'abord à mettre au point des outils de caractérisation moléculaire des génotypes et à analyser la variabilité phé-

notypique, notamment du point de vue de la résistance aux virus. En 2004, les travaux ont essentiellement porté sur la mise en place, d'une collection diversifiée de vanilliers et à la caractérisation des souches de *Cymbidium mosaic virus* (CymMV) qui infectent les vanilliers. Nous avons d'autre part cherché à élargir le champ d'application de cette recherche aux pays de la région qui contribuent à près de trois-quarts de la production mondiale de vanille.

La collection de vanilliers du Cirad a été enrichie cette année de 114 accessions originaires de la zone Océan Indien, d'Amérique, d'Afrique et d'Océanie. Ces introductions portent à 143 le nombre d'accessions en quarantaine ou en collection. Elles se répartissent provisoirement en 12 espèces, les plus représentées étant *V. planifolia* (66), *V. bahiana* (15) et *V. pompona* (13). Soixante-six lignées indemnes de virus ont été mises en collection, sous ombrière insect-proof à Bassin Plat (photo 15) en vue de leur caractérisation morphologique. De nombreuses lignées disponibles à travers le monde sont infectées par des virus, notamment par le CymMV. L'incorporation de ces ressources à la collection exige en préalable un travail d'assainissement pour les débarrasser des virus. La présence d'une collection mondiale de vanilliers sur la Réunion constituera une première mondiale de par sa diversité et surtout sa gestion rigoureuse aux plans de l'état sanitaire et du respect des règles de la Convention sur la Biodiversité. On peut en attendre des retombées scientifiques et potentiellement économiques. Elle sera tout d'abord valorisée dans le cadre de la thèse de Séverine Bory (Boursière Région Réunion) débutée en 2004. Son travail porte sur l'analyse moléculaire de la diversité génétique des vanilliers avec référence spécifique aux vanilliers de la Réunion. En préalable à l'évaluation des vanilliers pour leur

niveau de tolérance au CymMV, trente souches virales ont été caractérisées au niveau moléculaire par séquençage direct du gène de la protéine de capsid (CP) et d'un fragment de 495 nucléotides du gène de la RNA-Polymérase (RdRP). Les souches étudiées sont originaires de la Réunion (6), de Polynésie française (9), de Madagascar (2), de Fiji (1) et de vanilliers importés des jardins botaniques d'Auteuil (4) et de Cherbourg (8). Les dendrogrammes issus des séquences nucléotidiques sont nettement congruents pour les deux gènes étudiés (CP et RdRP). Ils mettent en évidence l'existence de deux groupes bien distincts de souches. Néanmoins, la divergence demeure faible au niveau protéique (<1%) et en particulier, l'ensemble des isolats de vanilliers sont bien détectés par les anticorps commerciaux ainsi qu'avec différents jeux d'amorces de RT-PCR. Ces résultats valident donc le schéma de certification sanitaire des boutures mis en place dans les pépinières de la Réunion et justifient d'autre part l'utilisation d'une souche locale de CymMV pour cribler les accessions de vanillier pour leur sensibilité à ce virus.

A cette fin, et à partir de l'étude de variabilité de la CP, un test de détection quantitative du CymMV dans le vanillier a été mis au point. Le protocole retenu est basé sur IC-SyBRGreen®-RT-PCR qui offre un bon compromis coût/performance (Fig. 19). Schématiquement, il repose sur la capture des particules virales à l'aide d'anticorps spécifiques suivie de la rétro-transcription de l'ARN puis de l'amplification de la séquence cible qui est révélée quantitativement par le SyBRGreen, un fluorochrome spécifique de l'ADN bicaténaire.

M. Grisoni

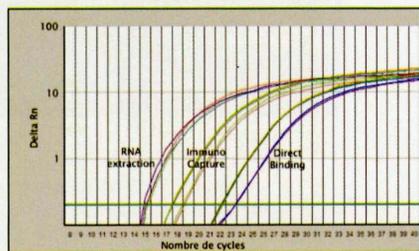


Figure 19.  
Détection quantitative du *Cymbidium mosaic virus* avec trois protocoles de Reverse Transcription – Polymerase Chain Reaction et fluorescence du SyBR-Green®.



Photo 16.  
Fruits de Piment Maurice.

## ► Production et certification de matériel végétal sain

La mise en application des normes européennes en matière de production et commercialisation de semences et plants d'espèces cultivées est un enjeu important pour la diversification de l'agriculture de la Réunion et la structuration des filières, en particulier maraîchère et fruitière. En 2004, les travaux inscrits dans le programme de mise en place de la **norme « qualité CE »** ont concerné essentiellement l'inscription au catalogue officiel de variétés locales d'espèces potagères. Après le travail d'homogénéisation réalisé en 2002 et 2003, trois variétés de piment, Maurice (photo 16), Martin et Gros piment, et deux variétés d'aubergines (oblongue et demi-longue) ont été déposées en pré-inscription au catalogue au GEVES à Cavailon. En parallèle, la production de semences de base a démarré (photo 17). En partenariat avec la SEMOI et après un complément d'étude, les variétés de haricot Marla et Kerveguen ont été officiellement inscrites au catalogue.

Les variétés locales de concombre et citrouille nécessitent un travail d'homogénéisation complémentaire avant inscription au catalogue. Suite à des problèmes constatés de perte de faculté germinative sur des lots de semences de haricot de la SEMOI, des essais ayant pour but d'analyser l'effet de différents facteurs (température, humidité, traitement insecticide et durée de stockage) ont été réalisés. Les résultats ne montrent pas d'effets significatifs. Une combinaison de facteurs incluant les conditions de culture au champ semble être responsable de ces problèmes. Le programme de création variétale d'oignon se poursuit conformément au programme. Plus de 25 000 graines issues de 37 hybrides ont été récoltées et serviront de matériel de départ pour la sélection d'une ou de plusieurs nouvelles variétés. Une nouvelle série de croisement entre lignées sélectionnées Véronique, G2 et IPA 3 a été réalisée.

La mise en place de la **norme de certification** des semences pour le maïs et l'ail est en cours à la Réunion. En préalable au développement de filières de production de semences certifiées, l'inscription au catalogue officiel est obligatoire. Après avoir été multipliée en conditions insect-proof (plus de 11 000 bulbes récoltés), la variété assainie d'ail rouge de la Réunion a été présentée à l'inscription fin 2004. Elle a été nommée « Ti Rouge ». La multiplication des semences débutera en 2005. L'assainissement des deux autres variétés locales, Vacoa et Gros bleu se poursuit. Les premières multiplications de Vacoa assaini démarreront en 2005.

Les travaux de transfert de résistance aux viroses dans des lignées élités de maïs se poursuivent. La production de semences commerciales a concerné essentiellement la variété population Cirad 412. Des formules hybrides 3 voies sont disponibles mais les conditions de production de semences commerciales dans le cadre de la SEMOI doivent être améliorées. Le maintien des principales lignées élités s'est poursuivi.

Après la décision du SOC (Service Officiel de Contrôle) de prendre en charge la **norme CAC** (Conformité Agricole Communautaire) pour les plants d'agrumes dans les DOM, la mise en place chez les pépiniéristes fruitiers a démarré courant 2004. Cette norme permettra à terme de proposer à l'utilisateur des plants d'agrumes puis d'autres espèces indemnes de maladies et génétiquement conformes. Ce travail est réalisé conjointement par le Cirad, l'Armefflor et la Chambre d'Agriculture. La rédaction d'un règlement technique officiel, commun à l'ensemble des DOM est en cours. Dans ce cadre, le Cirad poursuit l'aménagement de ses structures pour répondre à la demande de greffons et porte-greffe de qualité ainsi qu'à la nécessité de diffusion de nouvelles variétés. Pour répondre à une demande croissante de semences de papayer, le dispositif de production de semences a été amélioré. Les nouvelles variétés de papaye Solo (Sunset, Sunrise et Waïmanolo) ont été diffusées (photo 18).

La gestion des ressources génétiques est un élément essentiel pour le maintien de la diversité génétique des plantes cultivées. Pour répondre à l'accroissement des travaux de conservation des semences dans ce domaine, une nouvelle chambre froide positive à hygrométrie contrôlée a été aménagée. Une collection d'aux tropicaux a été installée in vitro en 2004. Elle se compose de trente accessions, essentiellement d'origine africaine. Après une phase de quarantaine réalisée en serre en 2004, un travail d'évaluation au champ et de caractérisation sera conduit en 2005. Certaines variétés pourraient présenter un intérêt agronomique pour la Réunion. Les travaux de caractérisation de légumes lontan se sont poursuivis avec un travail particulier sur les margoses (photo 19). Neuf variétés de piments et six d'aubergines ont été multipliées en 2004 dans le cadre du réseau ressources génétiques solanacées du BRG (Bureau des Ressources Génétiques).



Photo 17.  
Tunnel de production de semence de base de piment.



Photo 18.  
Production de semences de Papaye Solo Sunrise.



Photo 19.  
Margose amère.



# E NDÉMISME ET INVASIONS BIOLOGIQUES DES ÉCOSYSTÈMES TERRESTRES EN MILIEU INSULAIRE

## ► Adventices des cultures et plantes envahissantes

### Caractérisation des enherbements

L'étude réalisée au cours des années 2003 et 2004 a porté sur 410 relevés phyto-écologiques en parcelles agricoles, dont 314 en canne à sucre et 92 en maraîchage. La flore adventice inventoriée comprend 228 espèces, dont 220 en canne à sucre et 176 en maraîchage. L'analyse de la relation entre fréquence relative et abondance moyenne des espèces permet de classer celles-ci en fonction de leur importance agronomique dans chacun des systèmes de culture. Les parcelles de canne à sucre présentent en moyenne une diversité floristique de 29 espèces (photo 20) tandis que les parcelles de maraîchage n'en comptent que 23 (photo 21).



Photo 20.  
Enherbement diversifié en canne à sucre  
(T. Le Bourgeois).



Photo 21.  
Enherbement spécifique en maraîchage  
(T. Le Bourgeois).

Est-Sud à moins de 400 m, (2) Nord-Ouest à moins de 400 m, (3) Ouest entre 400 et 600 m, (4) Est-Sud au dessus de 400 m et ouest au dessus de 600 m. La comparaison des groupes d'espèces en fonction de leur importance agronomique montre que les espèces majeures des différents systèmes de culture ne sont pas les mêmes. La flore adventice d'une parcelle dépend donc des conditions environnementales et du système de culture. Il convient de raisonner les pratiques de désherbage en fonction de la culture concernée et de la flore de la parcelle. La distribution de chaque espèce a été cartographiée en fonction de son abondance.

L'ensemble des résultats sera synthétisé en 2005 au

### Principaux groupes d'espèces d'importance agronomique en fonction des systèmes de culture.

Importance agronomique	Canne à sucre	Maraîchage
Majeures générales Fr>50 et AD>2	<i>Panicum maximum</i> <i>Sigesbeckia orientalis</i> <i>Cyperus rotundus</i> <i>Cynodon dactylon</i>	<i>Ageratum conyzoides</i> <i>Coronopus didymus</i> <i>Gallinsoga parviflora</i> <i>Stellaria media</i>
Générales Fr>50 et AD>2	<i>Oxalis corniculata</i> <i>Solanum americanum</i> <i>Bidens pilosa</i> <i>Ageratum conyzoides</i> <i>Lantana camara</i> <i>Litsea glutinosa</i> <i>Momordica charantia</i>	<i>Oxalis corniculata</i> <i>Solanum americanum</i> <i>Bidens pilosa</i> <i>Conyza sumatrensis</i> <i>Eleusine indica</i> <i>Sonchus asper</i>
Majeures régionales 25<Fr<50 et AD>2	<i>Euphorbia heterophylla</i> <i>Paspalum paniculatum</i> <i>Ipomoea hederifolia</i> <i>Rottboellia cochinchinensis</i> <i>Kyllinga elata</i>	<i>Plantago lanceolata</i> <i>Gamochaeta purpurea</i> <i>Apium leptophyllum</i> <i>Euphorbia heterophylla</i>

Les cultures maraîchères ont tendance à sélectionner une flore plus ciblée, adaptée à un travail du sol régulier et des rotations courtes, de forts apports d'engrais et une faible variabilité de molécules herbicides. En canne à sucre, la flore est globalement plus diversifiée, du fait de l'étendue de la zone de culture, de la variabilité de la nature des sols, du climat et des niveaux d'intensification rencontrés. Nous avons pu différencier quatre zones principales en fonction de la composition floristique de l'enherbement (1)

travers de la mise à jour des fiches descriptives des adventices de la Réunion et de la réalisation d'une série de nouvelles fiches dans le cadre de la deuxième version du cédérom AdvenRun.

### Espèces envahissantes

Le programme d'étude complémentaire de la tenthrède *Cibdela janthina* (Hymenoptera, Argidae), agent potentiel de lutte biologique contre *Rubus alceifolius*, a porté principalement sur la mise au

point des conditions d'élevage en quarantaine de l'insecte à la Réunion. Différents lots de cocons ont été reçus de Sumatra, où cet insecte est élevé pour le projet. Il ressort que les nymphes en cocons sont très sensibles au transport, ce qui se traduit par un taux d'émergence des adultes à l'arrivée de 10 à 30 %. Dans 85 % des cas de non émergence, il s'agit de nymphoses incomplètes ; le développement a été perturbé par le transport. Les conditions biotiques des différentes phases du cycle de l'insecte sont très rigoureuses et difficiles à obtenir en quarantaine (Photo 22). En effet, l'accouplement doit se faire en plein soleil, intensité lumineuse très difficile à obtenir en conditions contrôlées. Cela s'est traduit par des pontes de femelles généralement non fécondées, donnant naissance à une très grande minorité de femelles, 7 %, contre 70 % dans la nature. Les conditions d'élevage des larves à 22°C la nuit et 28°C le jour, photopériode de 12h/2h et 80 % d'humidité sont bien maîtrisées permettant l'obtention de 80 % des larves atteignant le stade nymphe et 85 % des nymphes donnant naissance à un adulte.

Les premiers tests de spécificité de ponte et d'alimentation entre *R. alceifolius* et *R. apetalus* montrent que la ponte est possible sur *R. apetalus* mais que la survie larvaire sur *R. apetalus* seul (66 %) est inférieure à celle sur *R. alceifolius* (93 %). Ces résultats doivent être confirmés.

Etant donné les difficultés d'élevage en quarantaine, les études de spécificité seront réalisées à partir de lots importants envoyés de Sumatra début 2005 sans tenir compte du maintien de l'élevage. Trois missions de prospection et de collecte ont été réalisées en Chine, dans l'île d'Hainan et dans la région du Guangdong, par R. Desmier de Chenon. Ces missions ont permis de collecter de nouvelles espèces de *Cibdela* sp. responsables de dégâts importants sur *Rubus alceifolius*. D'autres insectes semblent également avoir une action régulatrice du développement des massifs de *Rubus* de ces régions. Il s'agit d'un charançon *Alcidodes* sp. (photo 22), dont les adultes se nourrissent en creusant des gouttières dans les pétioles, les pédoncules et les jeunes tiges au point d'en provoquer le dessèchement ou la rupture. La ponte a lieu dans les tiges. Les larves se développent en foreurs de tiges contrariant l'élongation des rameaux. Un lot de ces charançons est en cours d'étude en quarantaine à la Réunion. Un micro-lépidoptère se développe dans les jeunes feuilles des apex de tiges et tisse un réseau de fils qui empêche le déploiement des feuilles.

## Gestion intégrée de la biodiversité à la Réunion

L'atelier sur la biodiversité a réuni à la Réunion les chercheurs réunionnais et neuf chercheurs sud-africains pour définir des collaborations dans le domaine de la conservation de la biodiversité et de la lutte contre les plantes envahissantes (photo 24).

La Réunion a la responsabilité locale et régionale de conserver une biodiversité unique. Nombre d'écosystèmes naturels des Mascareignes, ne sont plus présents qu'à la Réunion.

Au niveau de la zone Sud-Ouest de l'océan Indien, l'Afrique du Sud et la Réunion sont tous deux confrontés au problème de la conservation de la biodiversité mais présentent deux situations très différentes. L'un est un pays continental, vaste, d'origine géologique très ancienne, tandis que l'autre est une île océanique de petite surface, d'origine géologique très récente. L'analyse comparée des données obtenues dans des problématiques communes dans ces deux situations très différentes doit nous apporter beaucoup d'informations et d'éléments de compréhension sur les processus d'évolution et de construction de la biodiversité ainsi que sur la dynamique des menaces qui portent sur cette biodiversité (enjeux d'utilisation de l'espace, invasions biologiques...). Les équipes de recherche sud-africaines sont beaucoup plus nombreuses et travaillent sur ces sujets depuis beaucoup plus longtemps que les équipes de la Réunion. Il apparaît donc très intéressant d'associer nos efforts et d'adapter les méthodologies qui ont été mises au point en Afrique du Sud aux besoins de la Réunion. Ces collaborations pourront être renforcées par la mise en place de cursus de formation communs Master, Phd, Post Doc. et au travers de l'échange d'étudiants.

De nombreuses perspectives de collaborations ont été envisagées qui devront être précisées en 2005 dans le cadre d'un programme régional.

S. Baret, T. Le Bourgeois



Photo 22.  
Elevage de *Cibdela janthina* en quarantaine NS3 (T. Le Bourgeois).



Photo 23.  
*Alcidodes* sp. sur *Rubus alceifolius* (R. Desmier de Chenon).



Photo 24.  
Atelier biodiversité franco-sud-africain à la Réunion.

## ► Fonctionnement et restauration des forêts réunionnaises indigènes

Ces recherches ont pour but d'acquérir les connaissances permettant la gestion des forêts réunionnaises et d'apporter des éléments pour effectuer des opérations de restauration écologique. Elles se déclinent en deux actions :

### Reproduction des plantes indigènes

Pour comprendre les processus de régénération naturelle, des études ont été menées à la Rivière des Remparts sur la conservation des graines en forêt en collectant des échantillons de terre mis en conditions contrôlées. On observe une nette prépondérance du nombre de germinations en faveur des espèces indigènes par rapport aux espèces exotiques (91 %). Par contre, la conservation des graines des espèces indigènes chute considérablement au bout d'un an à l'inverse des espèces exotiques.

Les études se sont poursuivies sur l'influence de la lumière sur le développement des plantules, en plaçant en condition expérimentale des plantules de *Grand Natte-Mimusops maxima* et de Bois d'Osto-*Antirhea borbonica* à différents niveaux de lumière.

*Mimusops maxima* se développe de manière plus importante lorsque les intensités lumineuses sont les plus fortes et *Antirhea borbonica* a une croissance optimale pour des intensités intermédiaires (Fig. 20).

Le troisième thème abordé est celui de la régénération des espèces en forêt tropicale humide de montagne. On constate que la régénération se produit soit uniquement sur les stipes des fougères arborescentes (*Weinmania tinctoria*, *Hypericum lanceolatum*, *Forgesia racemosa*, *Nuxia verticillata*...)

(photo 25), soit uniquement sur le sol (*Doratoxylon apetalum*, *Maillardia borbonica*, *Dombeya* sp...), soit indifféremment sur les deux (*Phyllanthus phillyreifolius*, *Hedychium gardnerianum*, *Aphloia theiformis*...). L'étude des trouées dans ce type de forêt montre qu'elles sont nombreuses et de petites tailles et ne semblent pas avoir d'impact sur la régénération et la distribution des espèces.

### Fonctionnement et restauration de la biodiversité forestière

Pour comprendre le fonctionnement des écosystèmes forestiers et leurs dynamiques, les observations sur la phénologie et la dynamique des plantules des espèces ligneuses (indigènes et exotiques) ont été poursuivies en 2004 à Mare-Longue et Notre Dame de la Paix. Ainsi que sur les placettes du dispositif d'étude de la Rivière des Remparts. Exemple de la phénologie de *Mimusops maxima* (Fig. 21).

On commence ainsi à observer les stratégies de régénérations des espèces, par banque de graines ou banque de semis. A la Rivière des Remparts, on observe qu'il n'y a pratiquement pas d'apparition d'espèces exotiques en dehors de la zone perturbée.

Pour observer les possibilités de régénération du *Grand Natte (Mimusops maxima)* en milieu naturel, on a prospecté sept peuplements en notant les formes de fruits comme indicateur de la variabilité génétique.

J-M. Sarrailh

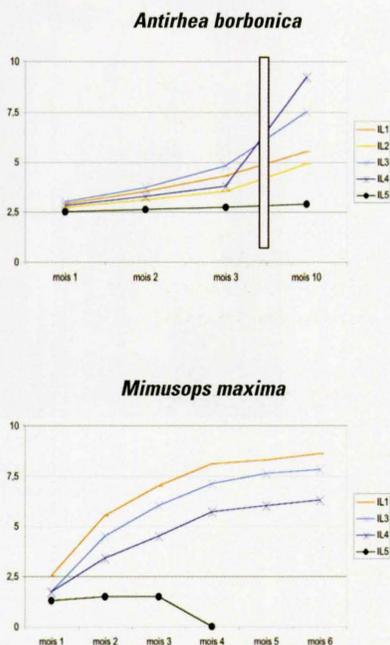


Figure 20. Moyenne de la hauteur des individus de deux espèces forestières au cours du temps (pour les mois suivants la germination et 1 an après). IL : Intensité lumineuse. IL 1 correspond à une zone où 72% de la lumière extérieure est encore perceptible ; IL 2 = 52% ; IL 3 = 20% ; IL 4 = 14% et IL 5 = 0,3%.



Photo 25. Plantule de *Weinmania tinctoria* sur stipe de *Cyathea* (J.M. Sarrailh).



### Mimusops maxima

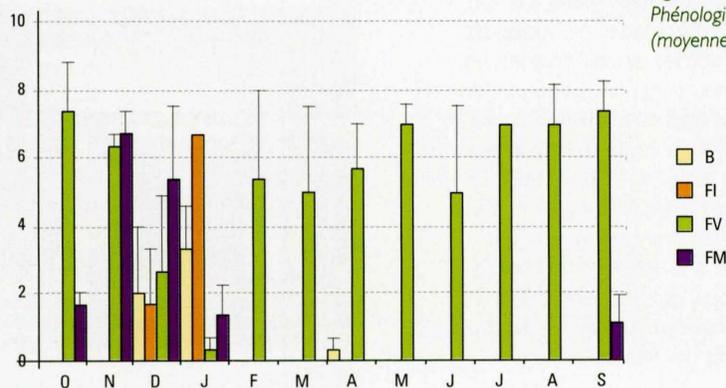


Figure 21. Phénologie de *Mimusops maxima* (moyenne sur 3 ans).

## Publications et communications en 2004 :

### Publications, ouvrages, thèses, HDR :

ASNAGHI C., ROQUES D., RUFFEL S., KAYE C., HOARAU J.Y., TELISMART H., GIRARD J.C., RABOIN L.M., RISTERUCCI A.-M., GRIVET L., D'HONT A., 2004. Targeted mapping of a sugarcane rust resistance gene (Bru1) using bulked segregant analysis and AFLP markers. *Theor. Appl. Genet.* 108:759-764.

ATTIE M., BOURGOIN T., FOUILLAUD M., REYNAUD B., BONFILS J., 2004. Ecology and distribution of *Mahellus determinatus* (Distant, 1917) (*Cicadomorpha*). *African Entomology*, 12 (1): 63-70.

BALIRAINE F., BONIZZONI M., GIUGLIELMINO C.R., OSIR E.-O., LUX S.A., MULAA F.J., GOMULSKI L.M., ZHENG L., QUILICI S., GASPERI G. and MALACRIDA A.R., 2004. Population genetics of the potentially invasive African fruit fly species, *Ceratitis rosa* and *Ceratitis fasciventris* (*Diptera : Tephritidae*). *Molecular Ecology*, 13: 683-695.

BARET S., LE BOURGEOIS T., 2004. Case study : *Rubus alceifolius*. Case studies on the Status of Invasive Woody Plant Species in the Western Indian Ocean - 4. Réunion. C. Kueffer and C. Lavergne., FAO 4: 19-22, Rome, Italy.

BARET S., MAURICE S., LE BOURGEOIS T., STRASBERG D., 2004. Altitudinal variation in fertility and vegetative growth in the invasive plant *Rubus alceifolius* Poirlet (*Rosaceae*), on Réunion island. *Plant Ecology* 172: 265-273.

BESSE P., DA SILVA D., BORY S., GRISONI M., LE BELLEC F., and DUVAL M.-F., 2004. RAPD genetic diversity in cultivated vanilla : *Vanilla planifolia*, and relationships with *V. tahitensis* and *V. pompona*. *Plant science* 167 (2): 379-385.

BEYO J., NIBOUCHE S., GOZE E., DEGUINE J.P., 2004. Application of Probability Distribution to the Sampling of Cotton Bollworms (*Lepidoptera : Noctuidae*) in Northern Cameroon. *Crop Protection*, 23: 1111-1117.

CARMEILLE A., 2004. Bases génétiques de la résistance de la tomate à *Ralstonia solanacearum* : comparaison des races 1 et 3. Thèse, Université de la Réunion. 147 p + annexes.

DUYCK P.F., STERLIN J.F. and QUILICI S., 2004. Survival and development of different life stages of *Bactrocera zonata* (*Diptera : Tephritidae*) reared at five constant temperatures compared to other fruit fly species. *Bull. entomol. Res.* 94: 89-93.

DUYCK P.F., ROUSSE P., RYCKEWAERT P., FABRE F. and QUILICI S., 2004. Influence of adding borax and modifying pH on effectiveness of food attractants for melon fly (*Diptera : Tephritidae*). *J. Econ. Entomol.* 97(3): 1137-1141.

DUYCK P.F., DAVID P. and QUILICI S., 2004. A review of relationships between interspecific competition and invasions in fruit flies (*Diptera : Tephritidae*). *Ecological Entomology* 29: 511-520.

GILLES J., LITRICO I., SOURROUILLE P., DUVALLET G., 2004. Microsatellite DNA markers for the Stable Fly: *Stomoxys calcitrans* (*Diptera : Muscidae*). *Molecular Ecology Notes* 4: 635-637

GRISONI M., DAVIDSON F., HYRONDELLE C., FARREYROL K., CARUANA M.L., PEARSON M., 2004. Nature, incidence and symptomatology of viruses infecting *Vanilla tahitensis* in French Polynesia. *Plant disease* 88 (2): 119-124.

LE BOURGEOIS T., BARET S., STRASBERG D., 2004. Les invasions biologiques, un problème majeur en milieu tropical insulaire : l'exemple de la situation à la Réunion. *C.R. Académie d'Agriculture de France* 90 (2): 18-19.

LE BOURGEOIS T., GOILLOT A., CARRARA A., 2004. New data on the biology of *Phaedon fulvescens* (*Col. Chrysomelinae*), a potential biological control agent of *Rubus alceifolius* (*Rosaceae*). In Jolivet, P.H., Santiago-Blay, J.A., Schmitt, M. [eds.], *New contributions to the biology of Chrysomelidae*, 757-766. SPB Academic Publishers, The Hague, Netherlands.

LITRICO I., 2004. Evolution du genre sexuel et de la diversité génétique dans une succession primaire : étude d'*Antirhea borbonica* (*Rubiaceae*) sur les coulées de lave de la Réunion, Thèse, Université de la Réunion. 66 p + annexes.

LETT J.M., DELATTE H., NAZE F., REYNAUD B., ABDOUL-KARIME A.L., PETERSCHMITT M., 2004. A New Tomato leaf curl virus from Mayotte. *Plant Disease*, 88: 681.

NIBOUCHE S., BABIN R., BEYO J., GOZE E., 2004. Within Plant Distribution of Cotton Boll-infesting *Lepidoptera*. Application to Sampling. *Environmental Entomology*, 33: 1458-1464.

QUILICI S., 2004. Interactions à différents niveaux trophiques chez les diptères *Tephritidae*. Habilitation à Diriger des Recherches, Ecole doctorale interdisciplinaire, Université de la Réunion.

RASSABY L., GIRARD J.C., LEMAIRE O., COSTET L., IREY M.S., KODJA H., LOCKHART B.E.L., ROTT P., 2004. Spread of Sugarcane Yellow Leaf Virus in sugarcane plants and fields in Reunion Island. *Plant Pathol.* 53: 117-125.

ROUMAGNAC P., GAGNEVIN L., GARDAN L., SUTRA L., MANCEAU C., DICKSTEIN E. R., JONES J. B., ROTT P., PRUVOST O., 2004. Polyphasic characterization of xanthomonads isolated from onion, garlic and Welsh onion (*Allium* spp.)



and their relatedness to different *Xanthomonas* species. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 54:15-24.

**ROUMAGNAC P., PRUVOST O., CHIROLEU F. and HUGHES G., 2004.** Spatial and temporal analyses of bacterial blight of onion caused by *Xanthomonas axonopodis* pv. *allii*. *Phytopathology* 94:138-146.

**ROYER M., COSTET L., VIVIEN E., BES M., COUSIN A., DAMAIS A., PIERETTI I., SAVIN A., MEGESSIER S., VIARD M., FRUTOS R., GABRIEL D.W., ROTT P.C., 2004.** Albicidin pathotoxin produced by *Xanthomonas albilineans* is encoded by three large PKS and NRPS genes present in a gene cluster also containing several putative modifying, regulatory, and resistance genes. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 17: 414-427.

**RUIZ M., ROUARD M., RABOIN L-M., LARTAUD M., LAGODA P., COURTOIS B., 2004.** Tropgene-db, a multi-tropical crop information system. *Nucleic Acids Research.* 32: D364-D367.

**TASSIN J., RIVIERE J.N., 2004.** Durée optimale d'écoute pour la détermination d'indices ponctuels d'abondance dans les paysages ruraux des hauts de la Réunion. *Alauda* 72 (3) 2004 : 187-191

**VERNIERE C., PERRIER X., DUBOIS C., DUBOISA., BOTELLA L., CHABRIER C., BOYE J-M., DURAN VILA N., 2004.** Citrus viroids: symptom expression and effect on vegetative growth and yield on clementine trees grafted on Trifoliolate orange. *Plant Dis.* 88: 1189-1197.

**VERNIERE C., COHEN S., RAFFANEL B., DUBOIS A., VENARD P., PANABIERES F., 2004.** Variability in pathogenicity among *Phytophthora* spp. Isolated from citrus in Corsica. *J. Phytopathology* 152: 476-483.

### Communications dans des congrès

**Atelier sur la dynamique de la biodiversité à l'île de la Réunion, 29 nov-5 déc. 2004, St Pierre, Réunion :**

**ATTIE M., QUILICI S., BOURGOINT., CHIROLEU F., VESLOT J. and REYNAUD B., 2005.** *Auchennorrhyncha* (Insecta : Hemiptera) as possible bioindicators of disturbed / undisturbed habitats in Reunion Island: a model study in Mare-Longue forest. In S. Baret, M. Rouget, I. Nänni & T. Le Bourgeois (eds.). Proceedings of a workshop on biodiversity dynamics in La Réunion Island, La Réunion, Nov. 29th - December 5th 2004: 21-23.

**BARET S., 2004.** Spatial analysis of the main alien plant invasion on La Réunion Island. In S. Baret, M. Rouget, I. Nänni & T. Le Bourgeois (eds.). Proceedings of a workshop on biodiversity dynamics in La Réunion Island.

**QUILICI S., ATTIE M., CHIROLEU F. and B. REYNAUD, 2005.** Current status of knowledge on endemic entomofauna from highlands of La Réunion. In S. Baret, M. Rouget, I. Nänni & T. Le Bourgeois (eds.). Proceedings of a workshop on biodiversity dynamics in La Réunion Island.

**RIVIERE J-N., SCHMITT L., SARRAILH J-M., HIVERT J., GOUSSEF M., BARET S., 2004.** Tropical forest structure and dynamics for conservation. In S. Baret, M. Rouget, I. Nänni & T. Le Bourgeois (eds.). Proceedings of a workshop on biodiversity dynamics in La Réunion Island.

**Congrès international d'entomologie, août 2004, Brisbane, Australie :**

**DELATTE H, REYNAUD B., GRANIER M., LETT J.M., GOLDBACH R., PETERSCHMITT M., 2004.** Distribution of an indigenous and an introduced biotype of *Bemisia tabaci* (*Gennadius*) in Reunion Island using microsatellite markers. International Congress of Entomology, August Brisbane, Australia.

**DINTINGER J., REYNAUD B., BUDUCA C., LECOQ J., TURPIN P., GRONDIN M., CHIROLEU F., 2004.** Application of multivariate analysis to electrical penetration graphs using manual and automate waveform recognition from the planthopper *Peregrinus maidis* feeding on susceptible and resistant maize. International Congress of Entomology, August, Brisbane, Australia

**REYNAUD B., GARGANI D., LECOQ J., TURPIN P., GRONDIN M., PETERSCHMITT M., LETT J. M., 2004.** Feeding behaviour of the planthopper *Peregrinus maidis* on maize analysed by digital signal processing of EPG and MET structure of stylet pathway. Poster présenté à l'International Congress of Entomology, August, Brisbane, Australia.

**REYNAUD B., TURPIN P., DINTINGER J., DELATTE H., BIANCHI M., LESTRAUT G., MOLINARO F., 2004.** EPG-SOFT a software for acquisition and automated recognition of EPG recording . EPG Workshop, ICE 2004, August 10-13, Brisbane, Australia.

**Quatrième symposium international sur les Geminivirus, 15-20 février 2004, Cape Town, Afrique du Sud :**

**DELATTE H., NAZE F., GRANIER M., REYNAUD B., PETERSCHMITT M., LETT J.M., 2004.** Tomato-infecting begomoviruses in the South Western islands of the Indian Ocean. 4th International Geminivirus Symposium, February 15-20, Cape Town, South Africa.

**SOUSTRADE I., WUSTER G., DALMON A., DELATTE H., 2004.** Poster. Use of molecular and serological methods to detect begomoviruses in imported tomato lots in Réunion

Island. 4th International Geminivirus Symposium.

**SOUSTRADE I., WUSTER G., LE BOURGEOIS T., CADET V., DALMON A., LETT J.M., 2004.** Inventory of weeds contaminated by the TYLCV in Réunion Island using serological and molecular methods. Poster présenté au 4th International Geminivirus Symposium.

*Sixièmes Rencontres Plantes-Bactéries, 11-15 janvier 2004, Aussois, France :*

**GAGNEVIN L., JOUEN E., FILIPSKI M. and PRUVOST O., 2004.** IS1595 : suivi de mobilité in vitro et in planta, intérêt pour le génotypage de populations de *Xanthomonas* pv. *mangiferaeindicae* par LMPCR. 6èmes Rencontres Plantes Bactéries, 11-15 janvier 2004, Aussois, France.

**ROBENE-SOUSTRADE I., ROUMAGNAC P., COUREAU A., PRUVOST O. 2004.** Elaboration d'un outil de détection de *Xanthomonas axonopodis* pv. *allii*, agent de la bactériose de l'oignon. 6èmes Rencontres Plantes Bactéries.

**ROUMAGNAC P., GAGNEVIN L., GARDAN L., SUTRA L., MANCEAU C., ROTT P., PRUVOST O., 2004.** Caractérisation polyphasique des *Xanthomonas* isolés d'oignon, d'ail et de ciboule. 6èmes Rencontres Plantes Bactéries.

*Autres congrès ou symposium :*

**DUYCK P.F., DAVID P., GLENAC S., QUILICI S., 2004.** Peut-on identifier les espèces de mouches des fruits à potentiel invasif à l'aide de leurs traits démographiques ? Séminaire « Modélisation », 12 mars 2004.

**FARREYROL K., PEARSON M.N., GRISONI M., RASSABY L., 2004.** Potyviruses of vanilla: A diagnostic puzzle. European foundation for Plant Pathology Meeting, 5-10 sept 2004, Aberdeen, Scotland.

**GRISONI M., BESSE P., ROUX-CUVELIER M., 2004.** Un projet régional pour la caractérisation, la valorisation et la conservation des vanilliers de l'océan Indien. Congrès international du marché de la vanille, 20-21 octobre 2004, Nice, France.

**GRISONI M., BARON V., 2004.** La certification sanitaire : la clé pour lutter contre les viroses des vanilliers cultivés sur le mode intensif. Assises de la Recherche dans le Pacifique, 24-27 août 2004, Nouméa, Nouvelle-Calédonie.

**HUMEAU L., ROUMAGNAC P., SOUSTRADE I., COUTEAU A., CHIROLEU F., HUGHES G., PRUVOST O., 2004.** Spatial and temporal analysis of onion bacterial blight in seed production fields. Poster présenté à l'International Plant Disease Epidemiology Workshop, 10-15 avril 2005, Rennes.

**LE BOURGEOIS T., LEBRETON G. et al., 2004.** Caractérisation des enherbements en culture de canne à sucre à la Réunion. 19ème Conférence Internationale du Columa, Dijon, France, AFPP.

**LE BOURGEOIS T., JEUFFRAULT E., GRARD P., CARRARA A., 2004.** A new process to identify the weeds of La Réunion Island : the AdvenRun system. 14th Australian Weeds Conference, Charles Sturt University, Wagga Wagga, Australia: 660-663.

**LECUNFF L., GARSMEUR O., RABOIN L.M., GRIVET L., GLASSZMANN J.C., D'HONT A., 2004.** Construction of a sugarcane BAC contig covering the target resistance gene Bru1 though exploitation of synteny with sorghum and rice. Plant and Animal Genomes XII conference San Diego.

**LE ROUX, A. RICHARD, C. RIVIERE, J. PERIBE, B. COME, P. RYCKEWAERT, M. GRISONI, S. QUILICI, D. MATILE-FERRE-RO, 2004.** *Conchaspis angraeci* Cockerell (*Hemiptera, Coccoidea, Conchaspidae*), a new pest on vanilla plantations in Reunion Island (Indian Ocean). X° Symposium International sur les cochenilles. Adana, Turquie, 19-28 avril.

#### Rapports, documents techniques ou de vulgarisation

**BEZZOU K., 2004.** Analyse multivariée de la relation entre piégeages de mouches des fruits et conditions agro-climatiques à La Réunion entre 1994 et 1998. DEA de Biostatistique. Université Montpellier II, Montpellier, France.

**BRUNEL C., 2004.** Aspects de la compétition chez les Diptères Tephritidae : mise en évidence de phéromones de marquage. Relations entre poids des pupes et potentiel biotique. DAA Santé du Végétal, Agronomie, Economie et Environnement, INH Angers / ENIHP, 44 p.

**COUSTON L., 2004.** Etude de la persistance, de la dynamique et de la transmission transovarienne du TYLCV à travers son insecte vecteur *Bemisia tabaci*, IUP d'Agrosciences de la Faculté des Sciences d'Avignon, 30 p.

**DELARRE J., GRATTEAU C., 2004.** Régénération naturelle de la forêt mésotrophe hygrophile des Makes – modalités de régénération des plantules selon le type de substrat, influence des trouées sur la régénération. Maîtrise, Université de la Réunion, Saint Denis, Réunion.

**DUPONT R., 2004.** Stimuli olfactifs et compétitivité dans l'appropriation du fruit-hôte chez les femelles de quatre espèces de *Tephritidae* de la Réunion. DAA Santé du Végétal, Agronomie, Economie et Environnement, INH Angers / ENIHP, 45 p.



- HIERNARD S., 2004.** Attractivité de différentes plantes hôtes sur la mouche du melon, *Bactrocera cucurbitae* – Coquillett) (*Diptera* : *Tephritidae*). DESS gestion, contrôle et conservation des populations d'insectes, 40 p.
- HUMEAU L., ROUMAGNAC P., SOUSTRADÉ I., GAGNEVIN L., DEGAS J., JEUFFRAULT E., PRUVOST O., 2004.** Une maladie émergente de l'oignon : le dépérissement bactérien causé par *Xanthomonas axonopodis* pv. *allii*. *Phytoma*, 573: 28-30.
- JEUFFRAULT E., ROLET A., REYNAUD B., MANIKOM R., GEORGER S., TAYE T., CHIROLEU F., FOUILLAUD M., VER-CAMBRE B., 2004.** Vingt ans de lutte contre le ver blanc de la canne à sucre de la Réunion. *Phytoma*, 573: 16-19.
- JUNOD G., 2004.** La compétition larvaire interspécifique chez les *Tephritidae* : cas de quatre espèces de mouches des fruits de l'île de la Réunion. DAA Protection des Cultures (ENSAIA-Nancy) et DEA Sciences Agronomiques (INPL, Université de Metz), 35 p.
- LAINÉ M-F., 2004.** Caractérisation du comportement alimentaire de *Bemisia tabaci* en relation avec la résistance de la tomate au Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV). Maîtrise de Biologie des Populations et des Ecosystèmes. Université Pierre et Marie Curie, Paris.
- LE BOURGEOIS T., 2004.** a - Les mauvaises herbes de la canne à sucre : une flore diversifiée comprenant 210 espèces. *Caro canne* 5: 22.
- LE BOURGEOIS T., 2004.** b - Les mauvaises herbes de la canne à sucre : l'importance agronomique des espèces. *Caro canne* 5: 22-23.
- LE BOURGEOIS T., 2004.** Projet de recherche sur la lutte biologique contre *Rubus alceifolius* à la Réunion - Etude complémentaire de *Cibdela janthina* agent potentiel de lutte biologique : rapport synthétique d'activité 2004. Cirad, Saint Pierre, Réunion, 12 p.
- LEGRAND D., 2004.** Détection moléculaire de *Xanthomonas axonopodis* pv. *allii* dans les semences d'oignon". DESS Gestion de la Biodiversité, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 42 p.
- MARIANNE D., 2004.** Contribution au plan de gestion de la forêt de la rivière de l'Est. DESS Sciences et Gestion de l'Environnement Tropical, Université de la Réunion, Saint Denis, Réunion.
- MICHEL J., 2004.** Approche de la dynamique successionale forestière à la Réunion : le regroupement d'espèces en fonction de leurs caractéristiques d'installation. Mémoire de première année d'ingénieur, ENSAM Montpellier, France, 25 p.
- NASSIBOU J., 2004.** Contribution à la mise au point d'une méthode de multiplication *in vitro* chez les Cyathéacées. Rapport de stage de licence, Université de Montpellier II, France.
- OLIVIERO A., 2004.** Etude de la diversité biochimique et génétique des *Xanthomonas* pathogènes de la canne à sucre à la Réunion ». BTS ANABIOTECH (Analyse Agricoles Biologiques et Biotechnologiques), Lycée Professionnel Agricole le Paraclet (Cottenchy, Somme).
- PAJANIAYE P., 2004.** Application du temps fréquence à l'électropénétrographie. Maîtrise de physique et application. Université de la Réunion, 31 p.
- PELLARDY N., 2004.** Recherche d'une phase Viable Non Cultivable chez *Xanthomonas axonopodis* pv. *dieffenbachiae*, agent responsable du dépérissement bactérien de l'*Anthurium*, IUP Productions Végétales, Université d'Angers.
- QUILICI S., 2004.** FAO-IAEA co-ordinated research project "Development of improved attractants and their integration into fruit fly SIT management programmes". Final report for phases 2 and 3, 13 p.
- QUILICI S., POUSSEREAU J., VOISIN J.F., RAZAFINDRAINIBE S., 2004.** Une curieuse anomalie des pattes chez un *Cratopus humeralis* Boheman, 1834. *Le Coléoptériste* 7 (2) : 135-136.
- SAURET S., 2004.** IS1595 et LMPCR (ligation-mediated polymerase chain reaction) pour le génotypage de *Xanthomonas* sp. pv. *mangiferaeindicae*. Rapport de stage de 3ème année, UTC Compiègne, France.
- TRICHET A., 2004.** Recherche d'une phase Viable Non Cultivable chez *Xanthomonas* sp. pv. *mangiferaeindicae*, agent responsable de la maladie des taches noires du manguiier. IUP Productions Végétales, Université d'Angers, France



# Agro-alimentaire

**Pour améliorer sa capacité d'appui dans le domaine agro-alimentaire, premier secteur d'activité de la Réunion, le Cirad renforce progressivement ses recherches sur la valorisation des productions végétales et la transformation des produits carnés.**

Concernant les produits végétaux, des travaux sont en cours en lien étroit avec les agronomes sur la caractérisation de la qualité, la physiologie post récolte et le traitement de conservation des fruits (mangue, litchi). De concert avec la Chambre d'Agriculture et le pôle Fruits du Cirad, une réflexion est menée sur l'amélioration des itinéraires techniques de la filière ananas.

Dans le domaine des produits carnés, le travail sur l'amélioration du procédé de fabrication du porc boucané arrive à son terme avec la proposition d'un équipement innovant adapté à une production artisanale. En lien avec la Chambre des Métiers, un artisan-charcutier, utilisateur pionnier de la technique, est aujourd'hui recherché. Ce travail est un exemple qui illustre bien la volonté de trouver des réponses aux problèmes diagnostiqués au niveau de l'entreprise par la mise en œuvre d'une recherche finalisée. C'est également le cas du travail de thèse d'Elodie Arnaud dont l'objectif est de répondre à un problème technologique, identifié au sein de l'entreprise Crête d'Or, qui concerne la mauvaise qualité

de la matière grasse de volaille. Une nouvelle opération a été initiée en 2004 sur l'amélioration de la qualité sanitaire de la viande de volaille. Pour ce dernier thème, un laboratoire de microbiologie a été mis en place fin 2004.

Le pôle s'appuie désormais sur trois laboratoires d'analyses. Des investissements en matériel de laboratoire ont été réalisés et sont en cours afin d'accéder à des mesures essentielles à l'évaluation de la qualité des produits alimentaires étudiés et ce, en particulier pour les qualités sanitaires et aromatiques.

Il déploie progressivement son activité au niveau régional. Une mission a été réalisée dans le cadre de l'appel d'offre Interreg III-b en vue du montage d'un projet bilatéral Réunion-Madagascar sur l'amélioration de la qualité de la volaille. D'autre part, une thèse, portant sur la transformation du cerf Rusa, est en cours en liaison avec l'Université de Maurice. Au niveau local, le pôle réaffirme sa volonté de renforcer les collaborations avec ses partenaires (Université de la Réunion, Chambre des Métiers, Chambre d'Agriculture, lycée agricole de St Joseph). Dans cette optique, un accord cadre a été signé avec l'Université fin 2004.

*A. Collignan*



# T RANSFORMATION DES PRODUITS CARNÉS

## ► Validation d'un fumoir à chaud à vocation artisanale

La présence d'un foyer direct lors de la production artisanale de boucané induit des teneurs en benzo(a)pyrène, composé cancérigène, pouvant être jusqu'à six fois supérieures à la recommandation française.

Après caractérisation du procédé actuel de fabrication, un prototype de fumoir innovant a été réalisé et implanté au lycée agricole de St Joseph, à proximité de notre partenaire charcutier.

### Amélioration du prototype et définition du cahier des charges de l'équipement définitif

Un nouveau système de brassage d'air permettant de réaliser simultanément les opérations de séchage/cuisson et fumage a été réalisé et testé sur le prototype. Le chauffage au bois a été éliminé au profit d'un brûleur à gaz régulé. Ces modifications permettent de diminuer la durée des cycles de production, et rendent le système autonome. Il est ainsi possible de réaliser deux à trois cycles de production par jour.

Les enseignements tirés d'une étude réalisée par la Chambre de Métiers de la Réunion (besoins des artisans en termes de capacité de production) et d'une étude du Cirad Montpellier (bilan du fonctionnement du prototype) ont permis de définir le cahier des charges d'un équipement définitif.

Ainsi, un compartiment supplémentaire sera ajouté, portant la capacité du système à 25 kg par cycle, et la nettoyabilité de l'enceinte sera améliorée. Les plans de ce matériel ont été réalisés par une entreprise extérieure et soumis à plusieurs équipementiers locaux. Une mission d'un technicien du bureau d'étude du Cirad Montpellier a permis de clarifier les dernières questions techniques et de retenir, sur la base des devis présentés, l'entreprise qui sera chargée de la réalisation de l'équipement définitif.

### Teneurs en benzo(a)pyrène

Une méthode de quantification de la teneur en benzo(a)pyrène par chromatographie gazeuse couplée à une spectrométrie de masse a été développée. Cette méthode pourra facilement être adaptée pour la quantification des 11 HAP les plus dangereux de la liste définie par l'AFSSA.

### Perspectives

Le coût de la réalisation d'un équipement de production a été chiffré et un utilisateur pionnier de la technique est recherché en lien avec la Chambre des Métiers. Un appui technique serait apporté à l'artisan pour garantir un démarrage de la production dans de bonnes conditions.

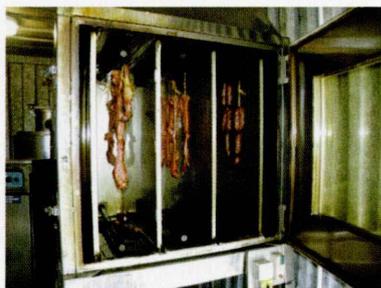
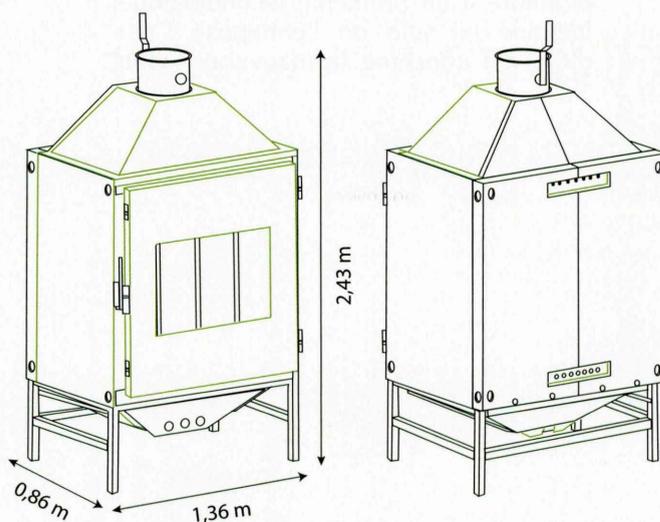


Photo 1.  
Prototype de fumage.

Schéma de la future cellule de fumage



## ► Amélioration de la qualité sanitaire de la viande de volaille

La viande de volaille est la viande la plus consommée à la Réunion (34 kg/an/habitant), du fait notamment de l'existence d'interdits religieux concernant le porc et le bœuf. Cependant, les volailles sont sujettes à de nombreuses contaminations causées par des bactéries pathogènes : *Salmonella*, *Listeria*, *Campylobacter*. D'autre part, une proposition de réglementation européenne imposera très probablement l'absence de salmonelles dans tous les produits à base de volaille à partir de 2009, contrainte à laquelle la filière ne sait pas répondre à l'heure actuelle. Le Cirad cherche donc à mettre au point des technologies douces pour décontaminer de façon efficace la surface de produits alimentaires en combinant vapeur d'eau surchauffée et solution acide/alcaline afin d'améliorer la qualité sanitaire des carcasses de volaille.

### Équipement

Un laboratoire de microbiologie de niveau I permettant la manipulation de germes non pathogènes a été aménagé et équipé au Cirad à la station de la Bretagne.

### Mise au point des méthodes expérimentales

Une formation a été suivie par Jean-Yves Lecompte au laboratoire P2 du Cirad-Montpellier afin d'apprendre les bonnes pratiques, les techniques de préparation et d'analyse lors de manipulation de bactéries pathogènes.

Différentes techniques d'inoculation, de récupération des bactéries et de dénombrement ont été testées et comparées afin de retenir les méthodes les plus adaptées à l'étude menée à la Réunion. Ainsi, l'inoculation se fera en déposant un faible volume de suspension bactérienne à la surface de la peau plutôt que par immersion, et la récupération des bactéries survivantes s'effectuera par broyage de l'échantillon plutôt que par écouvillonnage. Le dénombrement sera réalisé sur un milieu sélectif des microorganismes étudiés. De même, les incertitudes de mesure aux différentes étapes ont été évaluées.

### Décontamination acide

La méthodologie décrite ci-dessus a été appliquée au traitement de cubes de dinde inoculés avec *Listeria innocua* (souche non pathogène de *Listeria*) puis immergés dans des solutions d'acide lactique

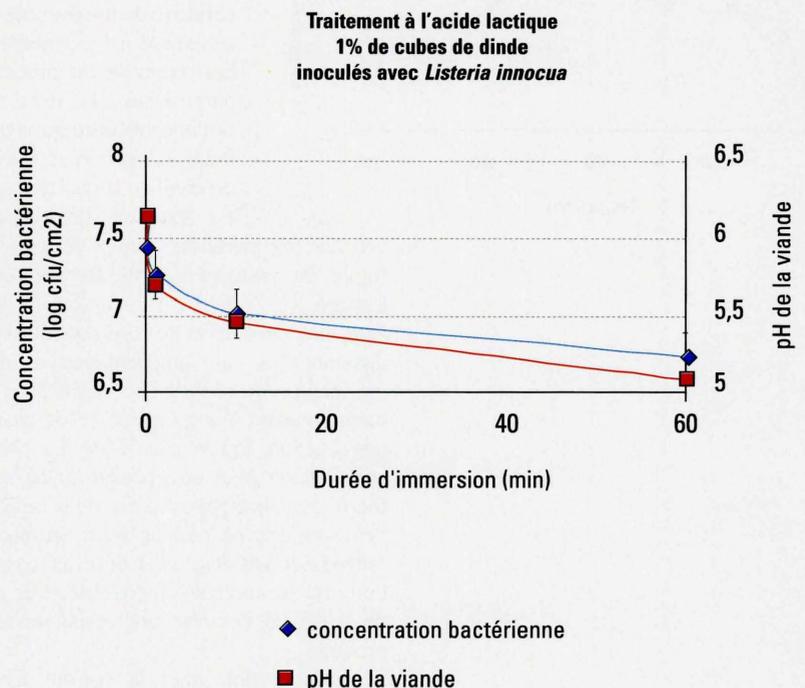
à 1% durant 1, 10 et 60 minutes. Ces premiers résultats montrent que la réduction de la population bactérienne suit la diminution du pH de la viande, et atteint 0,7 log après 1 h de traitement. (Fig. 1).

### Perspectives

Des essais vont être poursuivis en 2005 en inoculant cette fois de la peau de poulet avec *Listeria innocua*.

Dans le courant de l'année 2005, des aménagements complémentaires seront réalisés dans le laboratoire de microbiologie pour le transformer en laboratoire P2 et ce, afin de travailler en toute sécurité sur des germes pathogènes.

Figure 1.



## ► Amélioration des propriétés technologiques de la matière grasse de volaille

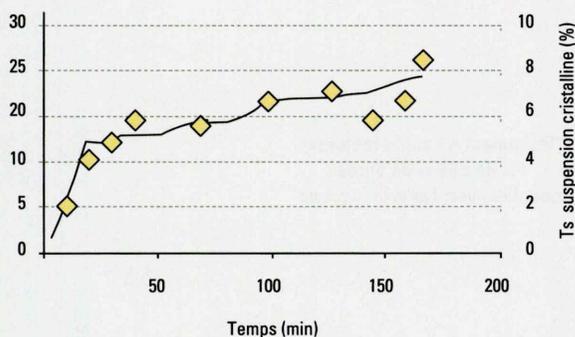
Le développement de produits de charcuteries 100 % volaille se heurte à la difficulté de trouver une source de gras adaptée. En effet, l'utilisation de gras de volaille conduit à des produits huileux et suintants non acceptables pour le consommateur. Aussi, l'objectif de ce travail est d'améliorer les propriétés technologiques de la matière grasse de volaille en vue de lui conférer des propriétés équivalentes à celles des gras de porc utilisés dans la fabrication de charcuteries traditionnelles.

veaux ont également été réalisés comme le nappage des terrines ou encore des rillettes de poulet.

Afin de fabriquer un analogue de barde de lard, un protocole de texturation de la matière grasse de volaille a été mis au point. Il consiste en une gélification de la matière grasse à l'aide d'alginate. L'impact du taux d'alginate et du type de matière grasse utilisée (fraction solide ou liquide) a été étudié et montre qu'une fermeté maximale du gel est obtenue avec la fraction solide et pour un taux d'alginate de 1,5 % (cf. matière grasse texturée photo 2). Des mesures de texture ont révélé que les caractéristiques de ces gels sont différentes de celles de la barde de lard du fait notamment d'une proportion d'eau plus élevée (57 % dans les gels contre 11 % pour le gras de porc). La quantité d'eau utilisée dans le protocole de gélification ne pouvant être réduite pour une bonne solubilisation des alginate, des essais de séchage des gels ont été réalisés afin de diminuer leur teneur en eau. Un tranchage fin de ces gels pourrait permettre la fabrication de brochettes ou pour entourer des rôtis, ces gels étant thermostables.

Figure 2.

Évolutions du flux de chaleur lié à la cristallisation et de la masse de cristaux



La première action retenue consiste à fractionner à sec la matière grasse de volaille. Ce procédé comprend une première étape de cristallisation sélective des triglycérides les plus saturés suivie d'une séparation par filtration. Il permet l'obtention d'une fraction liquide ressemblant à une huile végétale (photo 2). La conduite du programme de refroidissement est essentielle pour un bon contrôle du procédé, et les paramètres de refroidissement ont une influence sur la qualité des fractions générées. Un modèle prédictif de la qualité des fractions en fonction des variables du

procédé (température finale de refroidissement et temps de maintien à cette température) a été élaboré.

Ainsi, une diminution de la température de refroidissement ou une augmentation du temps de maintien permet l'obtention de fractions plus insaturées menant à une fraction solide plus molle et une fraction liquide plus fluide. La cinétique de cristallisation peut être prédite grâce au modèle thermique développé à partir de la caractérisation des transferts de chaleur ayant lieu au cours du refroidissement (Fig. 2). Il pourrait constituer un bon outil de contrôle du procédé et de prédiction de la qualité des fractions et du rendement du procédé.

En collaboration avec la société Crête d'Or Entreprise, des essais de fabrication de produits de charcuterie incorporant les fractions d'oléine et de stéarine ont montré d'une part que leur intégration dans les produits de type pâtés, mousses, saucisses knacki, saucisson à l'ail ne posait pas de problèmes particuliers et d'autre part, qu'il était possible de moduler la texture en fonction de la fraction utilisée et de sa qualité. Des produits nou-

Ainsi, chacune des matières grasses produites par fractionnement à sec et/ou texturation peut trouver des applications, la fraction solide en tant qu'équivalent de saindoux, la fraction liquide en huile de spécialité et la matière grasse texturée en équivalent de barde de lard.

En 2005, le travail sur l'analogue de barde de lard sera poursuivi et l'intérêt d'implanter une unité de fractionnement chez Crête d'Or Entreprise sera évalué.

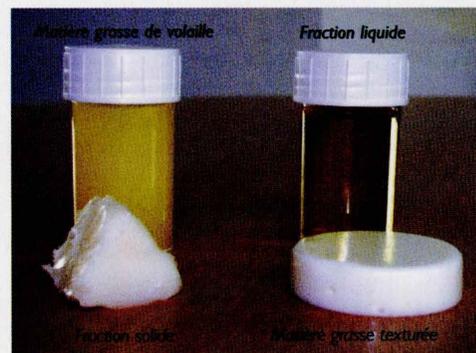


Photo 2. Matière grasse de volaille et produits générés par fractionnement et texturation.

## ► Transformation de la venaison

Actuellement, l'essentiel de la venaison produite à la Réunion et à Maurice est commercialisée en frais. La venaison fraîche, très périssable, constitue un obstacle majeur pour le développement de cette filière. L'objectif de ce travail est d'élaborer un produit transformé à partir de venaison qui serait stable à température ambiante et présenterait de bonnes qualités organoleptiques et sanitaires. En s'inspirant de la technique de fabrication du *Biltong*, traditionnellement fabriqué à partir de viande de gibier et de consommation courante en Afrique australe (Afrique du Sud par exemple), le procédé de transformation retenu comprendrait deux étapes. Un salage-séchage de la viande par immersion en solution concentrée (sel et autres solutés) suivi d'un séchage-fermentation afin d'améliorer la texture, la saveur et la stabilité du produit.

### Traitement par immersion en solution concentrée

Des essais d'immersion de la viande en solution concentrée (eau, sel et sirop de glucose) réalisés en 2003 ont montré que cette technique se prêtait bien au pré-séchage et au salage d'une pièce de viande maigre et de petite taille telle que la viande de cerf Rusa. Par la suite, une étude particulière a été menée pour mieux comprendre les mécanismes de transferts d'eau et de solutés entre le produit et la solution. L'utilisation d'un soluté modèle, le polyéthylène glycol (PEG), en substitution au sirop de glucose, nous a permis de dégager les rôles majeurs de la masse molaire et de la concentration molaire des solutés, et l'influence négligeable de la viscosité de la solution concentrée sur le séchage et l'imprégnation en sel et sucres de la viande. Un modèle de représentation des mécanismes de transferts de matière lors de l'immersion d'une pièce de viande maigre dans une solution complexe a été proposé. Afin de reproduire les performances du sirop de glucose, des mélanges de PEG de masse molaire variant de 200 à 20000 ont été utilisés. De manière générale, les combinaisons de PEG reproduisent de façon satisfaisante la performance du sirop de glucose mais des écarts significatifs sont notés en terme de déshydratation (Figure 3). Ceci pourrait s'expliquer soit par le fait que le mélange de PEG ne respecte pas rigoureusement la composition molaire du sirop de glucose soit par la nature des molécules de PEG différente de celle des sucres.

A terme, cette étude nous permettra de formuler la solution d'immersion pour obtenir les niveaux de salage et de séchage requis et d'identifier un

soluté offrant de meilleures performances que le sirop de glucose. Ce soluté pourra combiner plusieurs composés disponibles aux niveaux local et régional.

### Essais préliminaires de fermentation

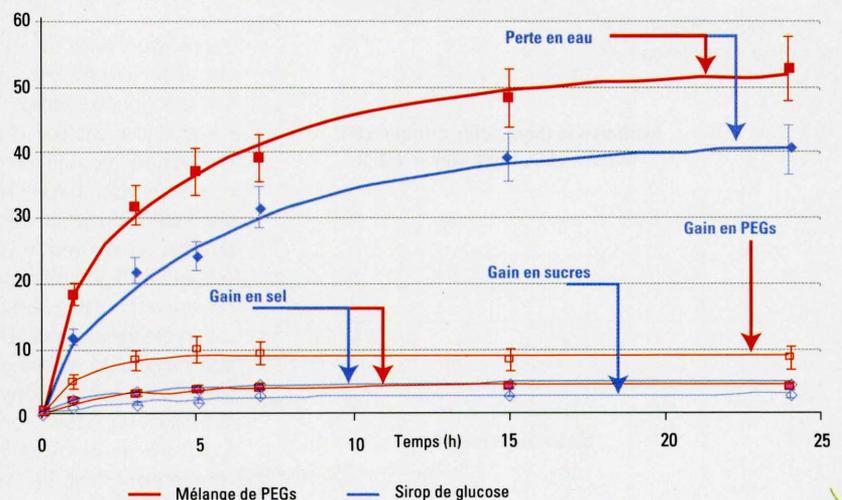
Des pièces de viande ont été pré-stabilisées par immersion en solution eau, sel, sirop de glucose puisensemencées avec une souche commerciale de *Lactobacillus sakei*.

Le mode opératoire d'ensemencement et de fermentation est satisfaisant puisqu'une viande fraîche inoculée présente une croissance significative de flore lactique et une augmentation de sa concentration en acide lactique. Les résultats obtenus avec une viande prétraitée par immersion se sont révélés moins concluants. En effet, ceux ci montrent que dans nos conditions expérimentales, la viande ne présente pas d'augmentation de concentration en acide lactique. Cependant, une forte augmentation de la croissance de la flore lactique est observée suggérant que ce substrat est adéquat à la fermentation tout comme la viande fraîche. Il est ainsi remarquable que la flore lactique présente sur ce substrat, éprouvant pour les micro-organismes, soit vivante et se multiplie, ce qui représente déjà en soi un résultat intéressant. Aussi, des essais doivent être poursuivis afin de tenter de favoriser la fermentation du produit.

A. Collignan, J.Y. Lecompte,  
S. Santchurn, E. Arnaud

Figure 3.

Comparaison de la performance du sirop de glucose et d'une combinaison de PEGs de masse molaire variant de 200 à 6000, lors de l'immersion de la viande en solution concentrée.



# CARACTÉRISATION ET TRAITEMENT POST-RÉCOLTE DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES



Photo 3 et 4.  
Litchis après 7 jours à 4°C

- 1. Litchis traités
- 2. Litchis témoin

(Photos. M. Le Blanc).

## Litchi (cv "Kwai -Mi") :

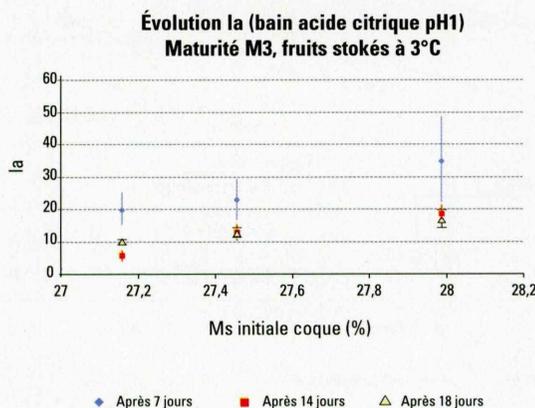
La préservation de la couleur de la coque est un enjeu majeur pour la commercialisation du litchi. Les anthocyanes responsables de la couleur de la coque sont rouges en milieu acide d'où l'émergence de nombreux travaux de recherche sur la technique de préservation par voie acide. Les travaux engagés par le Cirad en 2002 et 2003 ont montré une relation tripartite entre le brunissement, la perte en poids et le pH des coques. Un indice d'imprégnation acide (Ia) a été défini intégrant l'évolution des pertes en poids au cours de la conservation et pouvant servir de base de modélisation dans la prédiction du brunissement.

A partir de ces résultats, il semblait intéressant de prendre en compte le stade de maturité des fruits à la récolte et d'étudier l'incidence d'un stockage à basse température sur la valeur du coefficient d'imprégnation.

Les anthocyanes dont la teneur augmente avec le stade de maturité ont une incidence sur l'évolution du brunissement en conservation des fruits traités. Cet écart pourrait être plus conséquent avec des températures de stockage plus élevées.

Les travaux de 2004 confirment également l'importance de la teneur initiale en eau de la coque avant le traitement sur le facteur d'imprégnation acide (Ia) (Fig. 4). L'évolution de (Ia) en fonction de la teneur initiale en eau présente la même allure pour un stockage à 3°C que pour un stockage à 10°C réalisé en 2003.

Figure 4.  
Evolution de l'indice d'imprégnation en fonction de la teneur initiale en eau des coques.



Les premiers essais sur les activités enzymatiques ont montré que la polyphénoloxidase (PPO) n'a pratiquement pas d'activité chez le Kwai-Mi, contrairement à la peroxydase. Cependant, la disponibilité en peroxyde d'hydrogène semble limitée dans la cellule. Une  $\beta$ -glucosidase pourrait être responsable de la dégradation des anthocyanes : elles les transformeraient en anthocyanidines, composés se dégradant spontanément dans certaines conditions de pH. L'activité de cette enzyme doit être vérifiée chez le Kwai-Mi.

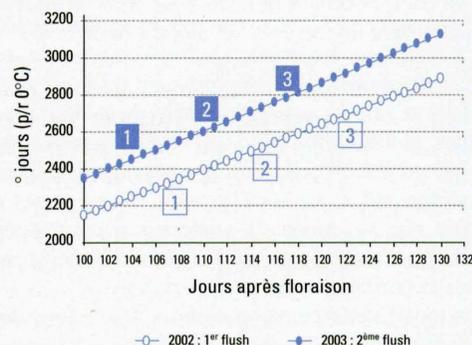
## Mangue (cv "Cogshall")

Les travaux des années précédentes ont montré que la qualité des fruits à la récolte dépend des conditions de stress de culture (rapport nombre de feuilles/nombre de fruits, stress hydrique, stade de récolte). Si les apports carbonés sont tributaires de la position du fruit dans l'arbre, un impact sur la qualité des fruits est prévisible. Pour vérifier cette hypothèse, l'incidence de la position du fruit sur la canopée a donc été privilégiée.

Deux modalités d'échantillonnage au champ ont été appliquées (fruits de zone ombrée et fruits de zone ensoleillée). Trois stades de récolte (15 jours et 7 jours avant point jaune estimé, point jaune) ont été retenus. La première floraison étant quasiment inexistante, l'échantillonnage a porté sur le deuxième flush, plus tardif. Pour un nombre de jours comparables entre les deux années, les sommes thermiques correspondantes sont pratiquement décalées d'un rang (Fig. 5). Ce décalage a eu pour conséquence une évolution plus rapide des fruits au champ, ce qui a perturbé notre schéma initial.

Un stockage à 20°C (température « contrôle ») et un stockage préalable de 15 jours à 13°C ont été appliqués pour étudier l'incidence effective d'une technique de conservation sur la qualité des fruits. Le stockage à 13°C ralentit mais ne bloque pas la maturation des fruits. L'évolution de la teneur en sucres n'est pas perturbée, quel que soit le stade de

Figure 5. Comparaison des sommes thermiques (en °C jours), pour un même intervalle de récolte (jours après floraison) 1, 2, 3 : stade de maturité à la récolte (en bleu : en 2003, en blanc : en 2002).



récolte considéré (Fig. 6). La teneur en sucres des fruits de zones d'ombre tend à être plus faible, la teneur en MACC (composé indicateur de stress) des fruits de zone ombrée tend également à rester supérieure à celle des fruits de zone ensoleillée, ce qui confirme les observations réalisées à la récolte. Ces résultats, qui fournissent des éléments sur l'importance de l'éclaircissage des plants pour une qualité homogène, sont à confirmer avec un plan d'échantillonnage sur le premier flush (floraison normale). Les stades de récolte seront définis en intégrant l'analyse de la fluorescence des fruits, qui pourrait être un indicateur de prédiction de récolte.

### Palmistes des Mascareignes et Pejibaye

Dans le cadre de la diversification de l'agriculture des Hauts de la Réunion, une espèce de palmiste sud-américaine a été introduite, le pejibaye. Des analyses physico-chimiques (pH, acidité, Brix) réalisées en 2003 montrent que les palmistes des Mascareignes et le pejibaye ne présentent pas de différences marquées. Cependant, le pejibaye offre le meilleur rendement pondéral en vitesse de croissance.

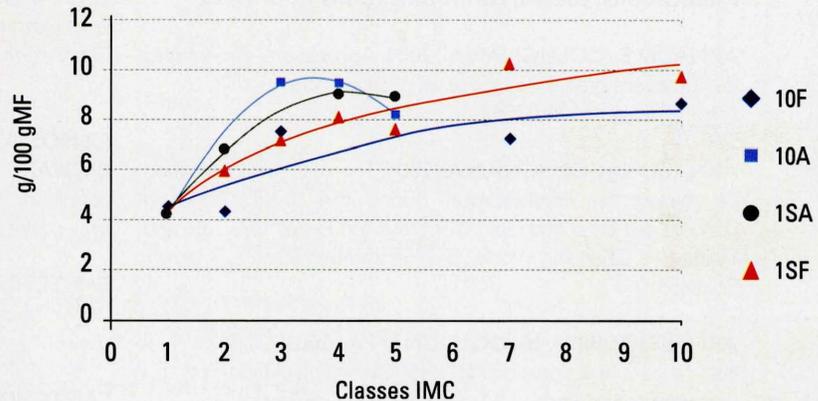
En partenariat avec le CRITT, une analyse sensorielle a été réalisée. Le recrutement et l'entraînement de 20 jurés a permis d'élaborer les profils sensoriels. Douze descripteurs ont été retenus. Le pejibaye est significativement plus compact que les trois autres cœurs, plus cru/frais en odeur et plus croquant que le palmiste blanc, moins oxydé que les palmistes blanc et noir, moins sucré que les palmistes noir et enfin moins filamenteux que les palmistes rouge et blanc (Fig. 7).

L'analyse hédonique a été réalisée avec la participation de 120 consommateurs. Le test de classement a révélé que le pejibaye est significativement préféré aux autres palmistes. Le test de triangulaire montre que le pejibaye et le palmiste rouge sont significativement différents.

Pour valoriser le pejibaye en 4<sup>ème</sup> gamme, des tests de conservation (4 et 8 jours) à 4°C en barquette filmée ont été réalisés. Un test triangulaire avec le jury entraîné a montré qu'une différence est perçue entre 0 et 8 jours mais qu'il n'y avait pas de différence pour les intervalles 0-4 jours et 4-8 jours. Une conservation 8 jours à 4°C ne remet donc pas en cause l'acceptabilité commerciale du pejibaye. En parallèle, les composés phénoliques ainsi que les activités enzymatiques ont été étudiés afin de mieux comprendre le faible brunissement du pejibaye. Les composés phénoliques des palmistes rouges et blancs correspondraient bien à l'épicatéchine et catéchine et à des dérivés cinnamiques. Le pejibaye différerait des autres palmistes par la

Figure 6.

Evolution des teneurs en sucres des fruits (récolte à 103 jours après floraison). IO=ombre, IS=soleil, A=stockage 20°C, F=stockage 13°C pendant 15 jours puis transfert à 20°C.

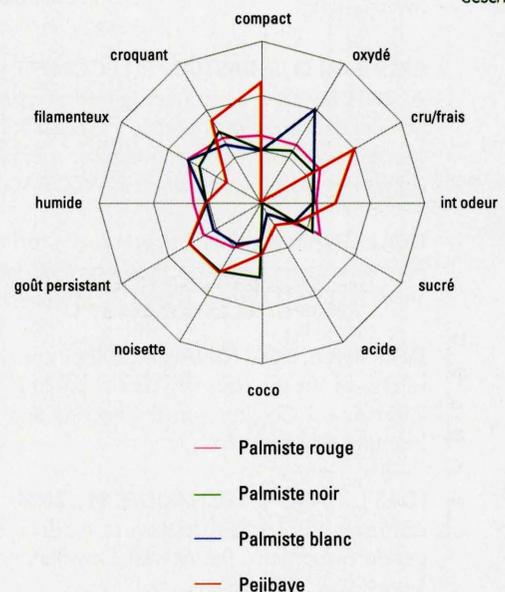


présence de flavanes.

Aucune activité de la polyphénoloxidase (PPO) responsable du brunissement n'a été observée dans le pejibaye, ce qui expliquerait sa faible sensibilité vis à vis de l'oxydation. A l'inverse, pour le palmiste rouge, nous montrons qu'il y a une corrélation positive entre la composition phénolique et l'activité de la PPO, en fonction de la zone observée sur le cœur.

J. Joas, M. Leblanc

Figure 7.  
Profil sensoriel des différents cœurs par rapport aux descripteurs retenus.



## Publications et communications en 2004 :

### Publications, thèses, communications et brevets

**ARNAUD E., COLLIGNAN A., 2004.** Applications alimentaires de la matière grasse de volaille et produits obtenus. Brevet français n°04 03098.

**ARNAUD E., COLLIGNAN A., 2004.** Thermal characterisation of chicken fat crystallization during the dry-fractionation process. 3rd Euro Fed Lipid Congress and Expo, "Oils, Fats and Lipids in a Changing World", 5-8 September 2004, Edinburgh, Scotland.

**ARNAUD E., PINA M., COLLIGNAN A., 2004.** Study of chicken fat dry fractionation. In 9th International Congress on Engineering and Food, 7-11 mars, Montpellier, France, 6p. Poland.

**ARNAUD E., PINA M., COLLIGNAN A., 2004.** Influence of factors involved in the chicken fat dry-fractionation process. 3rd Euro Fed Lipid Congress and Expo, "Oils, Fats and Lipids in a Changing World", 5-8 September 2004, Edinburgh, Scotland.

**ARNAUD E., RELKIN P., COLLIGNAN A., 2004.** Contribution de l'ACD au suivi du fractionnement à sec de la matière grasse de poulet. JCAT 35, Ecole des Mines de Saint Etienne. Mai 2004.

**ARNAUD E., RELKIN P., PINA M., COLLIGNAN A., 2004.** Characterization of chicken fat dry fractionation at the pilot scale. European Journal of Lipid Science and Technology. 106 (9), 591-598.

**BRUNEAU D., SEBASTIAN P., LECOMPTE J.Y., COLLIGNAN A., 2004.** Séchage-cuisson-fumage de produits carnés : développement d'un procédé « traditionnel » adapté aux futures directives européennes. 16ème rencontres scientifiques et technologiques des industries alimentaires, AGORAL 2004, poster.

**COLLIGNAN A., 2004.** Les actions de recherche du Cirad en Agro-alimentaire à la Réunion : Positionnement - Intérêt. Partenariats. 10 ans de l'IUT de St Pierre (La Réunion), 23 septembre 2004.

**DEUMIER F., COLLIGNAN A., 2004.** Increasing microbiological safety of fresh and dry-cured poultry sausages. In 9th International Congress on Engineering and Food, 7-11 mars, Montpellier, France, 6p.

**JOAS J., CARO Y., LECHAUDEL M., 2004.** Ripening behavior of Mango (Cv Lirfa) in relation to nutrition stress and harvest period Symposium Postharvest Downunder Unlimited 2004 Sidney, 10-12 Novembre.

**LÉCHAUDEL M., JOAS J., JANNOYER M., 2004.** Effects of the leaf : fruit ratio on some quality components of 'Lirfa' mango. International mango symposium. *Acta Horticulturae*. 645, 435-439

**OLMOS A., TRELEA I. C., POLIGNE I., COLLIGNAN A., BROYART B., TRYSTRAM G., 2004.** Optimal operating conditions calculation for a pork meat dehydration-impregnation-soaking process. *Lebens.-Wiss. u. Technol.* 37, 763-770.

**SANTCHURN S., COLLIGNAN A., TRYSTRAM G., 2004.** Dehydration of meat in concentrated solutions: role of high molecular weight solutes. In EFFoST 2004, 27-29 October,

**SANTCHURN S.J., COLLIGNAN A., TRYSTRAM G., 2004.** Effect of molality and molecular weight of solutes on mass transfer processes during dewatering-impregnation by soaking of meat. In 9th International Congress on Engineering and Food, 7-11 mars, Montpellier, France, 6p.

### Rapports

**ANDRIAMAHAZOSOA J.M., 2004.** Comparaison des palmiers des Mascareignes et du Péjibaye : analyse sensorielle et potentiel de valorisation du Péjibaye. 3<sup>ème</sup> année INSFA de Rennes.

**CARO C., 2004.** Maturation des mangues en fonction du stade de récolte et de la conservation au froid : incidence sur la teneur en sucres et la qualité des fruits. IUT génie biologique La Rochelle. 32 p.

**CRESCENCE L., 2004.** Influence du stade de récolte et de la température de conservation sur la teneur en sucre de la mangue. Maîtrise de Biochimie Nutrition Faculté Aix Marseille. 13 p.

**GOUDE Y., 2004.** Intérêt du procédé de fractionnement à sec de la matière grasse de volaille pour l'élaboration de produits de charcuterie. Stage 3<sup>ème</sup> année IUP Agro-alimentaire de l'Université de la Réunion, avril-août 2004.



# Une filière café gourmet à la Réunion : intérêt et viabilité

**Aujourd'hui, l'agriculture de la Réunion cherche des productions de diversification. Parmi elles, une production à haute valeur ajoutée, comme celle d'un café gourmet, pourrait améliorer le revenu des agriculteurs.**

C'est ce que cherche à démontrer le programme d'expérimentation préalable à la création d'une filière café Bourbon pointu.

Débuté en août 2002 grâce aux financements de la Région et de l'Europe, le programme vise à évaluer l'intérêt ou non de lancer cette filière à la Réunion.

Echelonné sur cinq ans, il travaille avec 86 producteurs-expérimentateurs volontaires, pour la plupart membres de l'association CAFE-Réunion (Caféiculteurs Associés pour une Filière Économique à la Réunion).

*F. Descroix*





Photo 1.  
Haie de Grevilleas plantés en août 2004  
(F. Descroix).



Photo 2.  
Trèfle en couverture  
d'une caféière plantée  
en février 2003  
au Tampon 17ème  
(F. Descroix).



Photo 3.  
Dégâts de  
Prophantis smaragdina  
(F. Descroix).

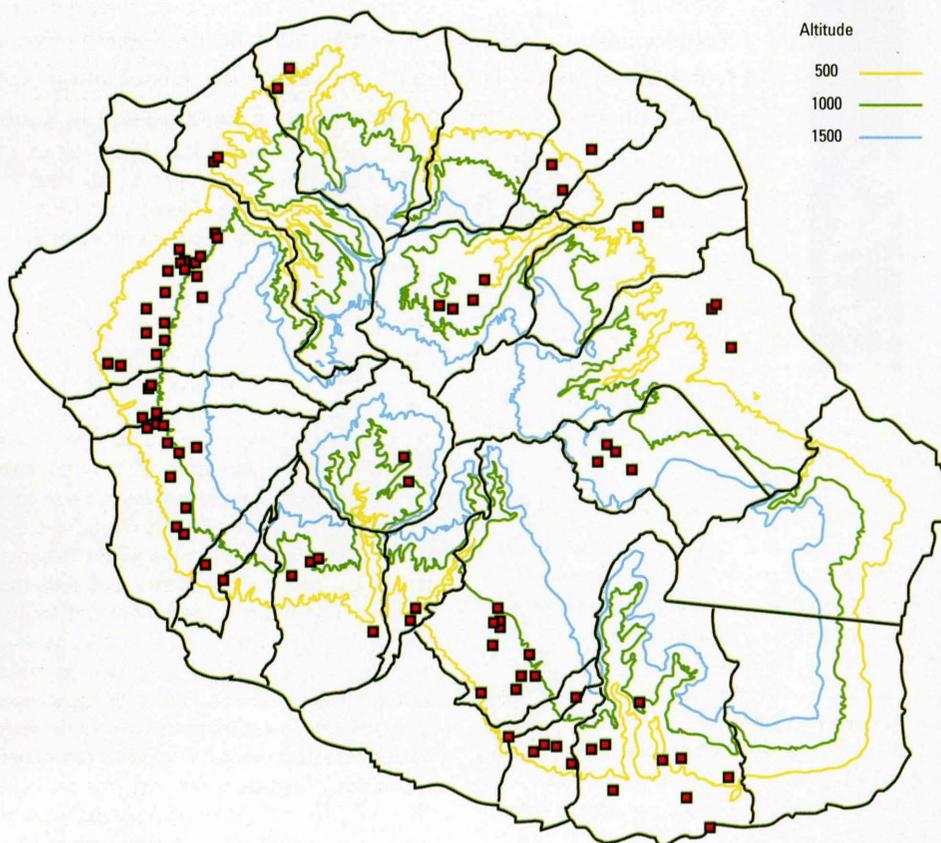
## ► Les caféières expérimentales

Fin 2004, le nombre de parcelles expérimentales correspond à 106 caféières ainsi réparties :

- 97 caféières conduites par 86 caféiculteurs expérimentateurs dont 71 sont membres<sup>1</sup> de CAFE-Réunion.
- 6 caféières comparatives de descendance conduites par le projet et sur lesquelles 27 descendance de Bourbon pointu sont évaluées pour leurs performances qualitatives et quantitatives.
- 1 caféière conduite par le projet en collaboration avec la mission de valorisation agricole des déchets de la Chambre d'Agriculture pour apprécier l'effet de l'épandage de lisier de bovin sur la croissance des caféiers et la qualité des produits café.
- 1 caféière pour la création d'un champ semencier et/ou jardin à bois pour la multiplication des caféiers.
- 1 caféière avec association caféiers et bananiers.

<sup>1</sup> Tous les caféiculteurs expérimentateurs ont vocation à devenir membres de CAFE-Réunion

### Répartition des caféiculteurs expérimentateurs



## ► Appui à la conduite et au suivi des vergers caféiers

Outre la création de nouvelles parcelles comparatives de descendance et les entretiens sur les parcelles conduites par le projet, les actions conduites dans le cadre de l'appui aux caféiculteurs expérimentateurs du réseau concernent :

### L'application d'engrais

Afin de pouvoir garantir le respect des doses d'engrais pour chaque caféière du réseau et pour chaque traitement des parcelles comparatives de fertilisation, les épandages d'engrais sont réalisés par le projet café sur toutes les caféières plantées en 2002 et 2003. Trois épandages ont été réalisés en 2004, en janvier-février, mai-juin et octobre-novembre. La formulation et les doses ont été définies à partir des analyses de sol.

### La plantation de haies brise-vent

Après élevage en pépinière d'espèces forestières adaptées, les plantations de haies brise-vent ont débuté en février 2004. Seules les semences de Benjoin *Albizzia lebbek*, Jacquier *Artocarpus heterophyllus* et Grévillea *Grevillea robusta* ont germé et donné un nombre de plantules suffisant pour les transplantations. Outre ces essences, une pépinière complémentaire de théiers a été démarrée en avril 2004 pour la constitution de haies brise-vent dans les zones froides et humides supérieures à 1100 mètres d'altitude où les températures hivernales peuvent descendre en dessous de 10° C.

Un total de 3 166 arbustes a été planté ce qui représente une longueur totale de 8,7 km de haies plantées (photo 1).

### Le semis des plantes de couverture

La plantation de légumineuses herbacées dans l'interligne des caféiers vise à enrichir les sols et les protéger de l'érosion par une couverture vivante. Les expérimentations visent à déterminer, en fonction du climat et des conditions de sol, la plante la mieux adaptée entre *desmodium intortum*, *arachis pintoï* ou *trifolium repens*.

Pour les semences de ces trois plantes, la période de germination est très longue (supérieure à 6 mois). Dans l'ouest, nous avons constaté un retard du développement du *desmodium* et de l'*arachis* principalement suite à une saison pluvieuse aux faibles précipitations. Si la durée semis germination est plus courte en saison chaude et humide pour l'*arachis* et le *desmodium*, le trèfle réclame des températures plus basses. Ce dernier s'est correcte-

ment développé en saison hivernale dans les hauts et chez les producteurs qui n'ont pas utilisé d'herbicide ni décapé le sol avec la débroussailluse.

Au total, 59 caféières ont été semées avec une ou plusieurs couvertures vivantes. Fin 2004, dix-sept d'entre-elles présentent une couverture du sol supérieure à 80 % de la surface, quinze une couverture du sol compris entre 10 et 79 % et vingt-sept, dans lesquelles soit les semis n'ont pas réussi soit les jeunes plantules ont été éliminées par une fauche ou un herbicide (photo 2).

### Le contrôle des populations de la pyrale *Smaragdina Prophantis*

Sur les caféiers âgés de plus de 20 mois - ce qui fin 2004 correspond à la quasi-totalité des caféières du réseau - le ravageur attaque préférentiellement les fruits. Les larves pénètrent dans la cerise, perforent la parche pour se nourrir des fèves. Un inventaire sur 77 caféières observées en fin 2004 a montré que 74,4 % d'entre-elles étaient attaquées par *Prophantis Smaragdina*. Les dégâts, sur les caféières 2002 de quelques producteurs des zones du Tampon et de l'Ouest, correspondent entre 40 et 80 % des fruits attaqués et donc non récoltés.

Après avoir réalisé des recherches pour caractériser le ravageur *Prophantis Smaragdina* puis pour inventorier les travaux conduits sur ce ravageur pour ce qui concerne sa biologie et son contrôle, le projet a lancé dès le dernier trimestre 2004 les premières actions pour maintenir la pression du ravageur à des niveaux économiquement acceptables. Afin de ne pas détruire la faune auxiliaire, le projet a privilégié les traitements avec du BT *Bacillus Thuringiensis*. Les traitements réalisés en novembre et décembre ont limité les populations du ravageur de façon efficace. Mais il importe de poursuivre le suivi des populations jusque la récolte et de renouveler les applications si nécessaire. Ainsi, entre mi-octobre et fin décembre, 41 caféières attaquées par *Prophantis* ont bénéficié d'applications. Vingt-deux ont reçu une seule application de BT, neuf deux applications, sept trois applications en fonction de la réapparition ou non de larves du ravageur dans la caféière (photo 3).

### Formation des producteurs-expérimentateurs

#### Les tailles, les maladies et ravageurs du caféier

Soixante dix-neuf caféiculteurs expérimentateurs ont suivi les formations constituées de deux séances :

- Présentations théoriques avec diaporama sur les techniques de taille, sur la morphologie, la biologie et les moyens de contrôle des maladies et ravageurs.
- Applications sur le terrain où les producteurs ont pratiqué la taille de formation unicaule et observé les maladies et ravageurs présents dans les vergers visités.

#### Formation aux techniques de récolte et aux traitements des produits

Deux thèmes ont été traités en 2004 :

- La cueillette et la collecte du café, des cerises, la démarche « qualité produit ».
- Des formations complémentaires seront organisées en 2005 pour les producteurs qui n'ont pas participé et dont les caféières entreront en production.



## ► Evaluation du matériel végétal

### Enrichissement des parcelles comparatives de descendance

En 2004, dix-sept nouvelles descendance ont été plantées, ce qui porte leur nombre à vingt-sept dans les essais comparatifs de descendance. L'objet de ces essais est de mesurer les performances agronomiques et d'analyser la qualité des descendance dans le but de retenir les plus performantes en fonction du terroir.

### Développement végétatif des caféiers

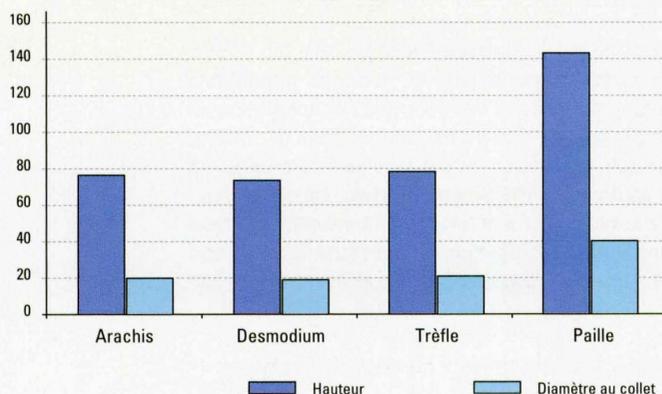
Ces relevés et mensurations constituent des données sur les mortalités et la production de bois fructifère. Ces résultats permettront de déterminer les descendance à diffuser en fonction des terroirs. Ces observations sur le développement végétatif seront complétées par des relevés de productivité et des analyses sur les caractéristiques chimiques et sensorielles des produits café. D'autres observations sont en cours pour évaluer la sensibilité aux maladies et l'attractivité pour les ravageurs dans les différentes situations de culture et pour chaque origine de Bourbon pointu.

Les résultats des mensurations réalisées 18 à 20 mois après plantation montrent en fonction des objets expérimentaux :

### > Parcelles comparatives de couverture

L'analyse statistique des mensurations comprenant hauteur et diamètre dans 18 caféières pour un échantillon de 30 caféiers par traitement montre une différence significative entre les couvertures du

#### Mensuration des caféiers en fonction de la couverture du sol

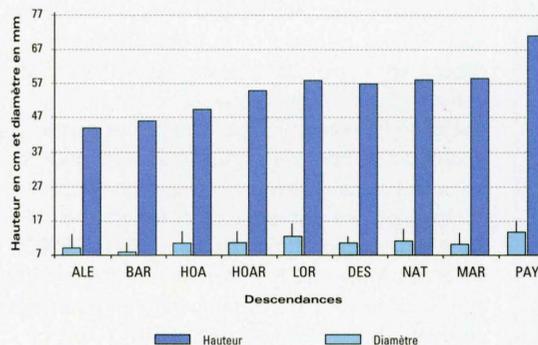


sol correspondant à  $p < 0.001$ . Un test de comparaison multiple (Dunn's) montre que la hauteur et le diamètre des arbres dans l'objet paillage sont significativement supérieurs aux trois objets couvertures vivantes qui n'ont pas de différence significative entre-elles.

### > Parcelles comparatives de descendance

L'étude des mensurations des hauteurs et diamètres au collet sur 22 caféières montre une différence significative entre les descendance correspondant pour la hauteur à  $p < 0.03$  dans les Hauts de l'Ouest, à  $p < 0.001$  dans la région Est, mais pas de différence dans la région Sud.

#### Développement en fonction des descendance en région EST



### > Parcelles comparatives de fertilisation

L'étude des mensurations de hauteur et diamètre au collet, deux années après la plantation, sur 37 caféières montre qu'il n'y a pas de différences significatives sur le développement végétatif des caféiers entre les niveaux de fertilisation et ce quelque soit les apports d'engrais et ce, avec ou sans amendement calco-magnésien.

A contrario, l'analyse comparative entre les régions montre des différences significatives à  $p < 0.001$  pour les traitements avec et sans chaux. Dans la région Est, dans les communes de Salazie, Bras Panon et St Benoit, le développement végétatif des caféiers est significativement supérieur à celui de ceux cultivés dans les régions Ouest et Sud. Entre les régions Ouest et Sud, le développement végétatif des caféiers n'est pas significativement différent.



Photo 4.  
Caféière plantée en mars 2002 dans la région de Saint Paul avec couverture de paille de canne (F. Descroix).

## ► Collecte et traitement des données

Vingt producteurs expérimentateurs ont récolté et vendu au projet un total 1 532,6 kilogrammes de café cerises au prix unitaire de 2 euros le kilogramme. Ce prix élevé, qui représente de 12 à 14 euros par kilogramme de café marchand selon le rendement cerise/marchand, est volontairement appliqué pour compenser les investissements que les producteurs ont engagé sur fonds personnels puisque le projet a stratégiquement choisi de ne pas subventionner la création des caféières.

### Étalement des récoltes

Cette première récolte montre que les cueillettes s'échelonnent sur une longue période en fonction des altitudes mais aussi des régions. La production du Bourbon pointu est précoce. Certaines parcelles plantées au premier semestre 2003 ont en effet donné des rendements s'élevant jusque 115 kilogrammes de café cerise/ha une année et demi après plantation. Les parcelles plantées en 2002 ont donné des rendements allant de 1 250 à 3 415 kg équivalent hectares de cerises. Ce qui correspond à des rendements en café marchand compris entre 180 et 480 kg/ha.

Les rendements pour 100 kilogrammes de café cerises varient de :

50 à 64,1 kg de café dépulvé  
 32,4 et 36,8 kg de café parche lavé  
 17,3 et 19,1 kg de café parche sec  
 13,7 et 14,9 kg de café vert tout venant

Le triage granulométrique a donné selon les échantillons de :

11,7 à 25,4 % de café marchand de grade 16/64<sup>ème</sup>  
 41,8 à 62,3 % de café marchand de grade 14/64<sup>ème</sup>  
 13,9 à 35,9 % de café marchand de grade 12/64<sup>ème</sup>  
 2,9 à 6,9 % de café marchand inférieur au grade 12/64<sup>ème</sup>

**Étalement des récoltes  
selon les zones et l'altitude en 2004**

		Mois							
Zone	Altitude	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	
St Leu	650								
La Saline	580								
La Saline	800								
Grègues	660								
Trois Bassins	900								
Tampon	750								
Tampon	1 000								
Tampon	900								
St Paul	1 000								
Trois Bassins	1 000								

### Traitement post-récolte et usinage

Les cerises collectées le jour de la cueillette sont dépulvé le soir même et mis à fermenter. Plusieurs durées de fermentation et de trempage ont été testées en 2004 : fermentation de 24 à 96 heures, trempage de 24 à 48 heures. Après lavage le café parche est mis à sécher sur des claies au soleil, puis stocké avant usinage.

### Analyses des produits de récolte

Soixante-neuf échantillons de café provenant de 9 caféières ont été préparés et envoyés pour analyse chimique et test sensoriel au laboratoire de Chimie Technologie du Cirad à Montpellier. Les résultats obtenus permettront, pour la récolte 2005, de choisir le ou les traitements post-récolte les mieux adaptés au Bourbon Pointu.

### Création d'une base de données

Une base de données sur les caféières du réseau expérimental a été créée en 2004.

Elle regroupe :

- des données climatiques, relevés aux postes météo les plus proches des caféières (pluviométrie, température, ventilation, humidité, évapo-transpiration, rayonnement global),
- des données pédologiques (origine géologique, type et composition en éléments chimiques du sol des caféières),
- des données socio-technico-économiques.

Ces données permettront de déterminer l'influence du terroir et l'effet de l'année climatique sur la qualité du produit.

## Synthèse des tests de dégustation 2004

	< 2	2 à 2,9	3 à 3,9
Qualité aromatique	2,9%	79,7%	17,4%
Corps	1,4%	76,8%	21,7%
Acidité	4,3%	47,8%	47,8%
Amertume	29,0%	60,9%	10,1%
Astringence	68,1%	31,9%	0,0%
Préférence	4,3%	71,0%	24,6%

### Identification d'un jury de dégustateurs

Dans l'objectif de déceler à la Réunion, et si possible parmi les caféiculteurs, des personnes capables d'analyser les cafés produits, tant du point de vue physique que du point de vue sensoriel, le projet a fait passer des tests, basés sur les normes ISO, à soixante-quatre personnes et retenu dix-sept d'entre-elles pour leur aptitude à détecter les saveurs de base à des niveaux suffisamment faibles pour prétendre devenir dégustateurs après une formation spécifique.

**Les teneurs en caféine** des descendances cultivées en parcelles expérimentales montrent des niveaux compris entre 0,52 et 0,68 %, très en deçà des teneurs de 1,2 % relevées pour les arabica les moins riches.

**Tests de dégustation :** Sur les 69 échantillons testés, 24 % ont une note de préférence supérieure à 3 sur une échelle de notation allant de 0 à 5. Dix-sept

cafés ont montré un potentiel aromatique intéressant. Ces premiers résultats sur des caféières très jeunes de deux années et demie, provenant de seulement 10 caféières, ne permettent pas encore de faire de commentaires. A contrario, la récolte 2005 qui concernera la grande majorité des caféières expérimentales devrait permettre d'identifier les premières différences entre les terroirs.

Certains échantillons ont permis de déceler des cafés acidulés et aromatiques avec pour certains, des notes florales, pour d'autres, des arômes de citron, de réglisse, d'artichaut ou de tilleul. Certains avaient des saveurs fruitées, d'autres de cacao ou de lait concentré, voire de cerises. Ces premiers résultats, bien qu'encourageants, ne sont que des indications. Ils ne prouvent pas encore que la production d'un café « grand cru » a vu jour à la Réunion. Cependant, ils montrent qu'il existe un potentiel.

## ► Dotation en matériel spécifique

Pour traiter les échantillons des prochaines récoltes, un atelier a été construit ainsi qu'un séchoir autobus. Cet atelier réceptionné en décembre 2004 est constitué d'un hangar fermé où seront faits les fermentations et le lavage. Les fermentations sont réalisées dans des bassines en plastique (40 à 50 litres) et le café fermenté est lavé dans deux lessiveuses constituées d'un bac en inox et équipées de pompes pour faire circuler le café. Le reste de mucilage adhérent à la parche est enlevé par friction dans le corps de motopompe.

Le séchoir autobus est constitué de 10 plateaux coulissants, protégés de la pluie, pouvant recevoir 120 kg de café parche humide.

De même, dans le but de caractériser les différents lots de café produits à la Réunion et de permettre la formation d'experts locaux, le projet a remis aux normes un laboratoire et l'a équipé d'une chaîne d'usinage du café comprenant tous les équipements nécessaires pour le traitement du produit post-récolte au conditionnement du café moulu.

## ☞ Publication en 2004 :

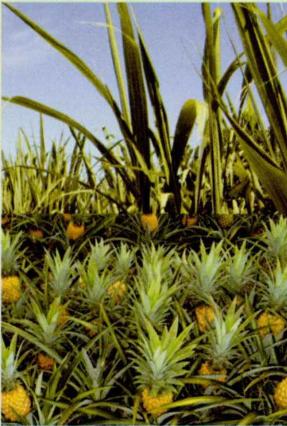
DESCROIX F., SNOECK J., Environmental Factors Suitable for Coffee Cultivation, pp 164-177 ;

DESCROIX F., WINTGENS J.-N., Establishing a Coffee Plantation, pp 178-243 ;

CILAS Ch. A., DESCROIX F., Yield estimation and Harvest Period, pp 595-603.

In: WINTGENS J.-N., Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production, a guidebook for Growers, Processors, Traders, and Researchers, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2004, 976 p. ISBN 3-527-30731-1.

# Annexes



▶ **Valorisation en coopération régionale**



▶ **Démarche qualité**



▶ **Laboratoire d'analyse agronomique**



▶ **Direction régionale**



▶ **Implantations**



▶ **Répartition des financements**

▶ **Effectifs**

▶ **Équipes**

## ► Valorisation en coopération régionale

Seule région française et européenne située dans l'océan Indien, la Réunion a résolument inscrit l'ouverture internationale et l'intégration régionale au cœur de sa stratégie de développement. Cet axe stratégique de la mandature de la Région Réunion (1998-2004) a été inscrit au Contrat de Plan Etat-Région et au Plan de Développement Régional (PDR III) pour la période 2000-2006.

Répondant à un impératif à la fois politique, économique, social et culturel, cette nécessaire ouverture de la Réunion passe par le renforcement des infrastructures d'échanges, par la promotion de la mobilité professionnelle et éducative, par la mise en œuvre d'une stratégie de valorisation de ses compétences et savoir-faire, et enfin, par une meilleure intégration de la Réunion dans son environnement régional. Cette volonté d'ouverture au service du co-développement durable de la Réunion et des pays de la zone repose sur trois principes d'action : complémentarité des actions conduites par la Réunion, réciprocité des échanges et partenariat entre les divers acteurs concernés.

La politique de coopération régionale de la Région Réunion, qu'elle s'inscrive dans un cadre multilatéral ou bilatéral, se développe dans le respect des compétences et priorités qui caractérisent sa politique de développement : l'éducation, la formation et l'emploi, la mobilité des jeunes réunionnais, le développement durable et l'action économique, la recherche-développement, la promotion de la francophonie, les échanges culturels, socio-éducatifs et sportifs, et enfin l'aide humanitaire lorsque des situations d'urgence l'exigent au nom de la solidarité régionale.

C'est ainsi qu'au cours de l'année 2004, la cellule de valorisation du Cirad a fortement contribué à la structuration et à la mise en œuvre des plans d'actions de coopération de la Région Réunion avec

Madagascar et l'Union des Comores qui ont impliqué la contribution en coopération de nombreux professionnels réunionnais, en particulier ceux intervenant dans le développement économique, la protection et la valorisation de l'environnement, la formation professionnelle, l'éducation et la recherche-développement. L'année 2004 a aussi permis une consolidation et un renforcement des actions de coopération démarrées en 2003 avec les Seychelles et le Kwazulu-Natal.

Les pôles de compétences du Cirad à la Réunion, en collaboration avec leurs partenaires réunionnais, qu'ils soient professionnels, scientifiques, techniques, d'enseignement supérieur et technologique, associatifs, etc. constituent un véritable instrument de coopération régionale, non seulement capable d'être actif dans la lutte contre la pauvreté, performant dans les échanges et la production scientifiques, mais aussi soucieux du développement durable et la protection de l'environnement. Grâce à l'appui financier de fonds FEDER (au travers du Programme Interreg III B), le Cirad à la Réunion a élargi en 2004 son rayonnement régional par l'élaboration et le démarrage de projets pluriannuels s'appuyant sur des enjeux scientifiques et de développement régionaux tout en valorisant ses partenaires professionnels réunionnais associés à leur conception et à leur mise en œuvre. Des thématiques telles que la sécurisation foncière et l'aménagement du territoire, la sécurité et qualité alimentaires ou la défense sanitaire du bétail ont suscité un intérêt marqué des partenaires régionaux de l'océan Indien qui se sont volontiers associés à ces projets structurants dans le cadre d'une coopération régionale mutuellement avantageuse.

L'année 2005 devrait permettre une première mise en exergue et valorisation des premiers résultats et bénéfices mutuels issus de ces projets.

*D. Polti*

## ► Démarche qualité

La démarche qualité entreprise à la Réunion concerne différents types d'activités – prestations de service, recherche, appui et management – déployées à différents niveaux – service, projet, direction.

Le laboratoire d'analyses agronomiques a obtenu le 16 mars 2004 la certification ISO 9001 : 2000, délivrée par l'AFAQ, pour ses prestations d'analyses de sols, végétaux, solutions et amendements organiques, la fourniture de recommandations



*Participants au Programme Régional de Protection des Végétaux dans l'océan Indien réunis (PRPV) à Madagascar en avril 2004. Le PRPV regroupe la Réunion, les Seychelles, Maurice, les Comores et Madagascar autour de toutes les questions de protection phytosanitaire des cultures dans la région. A la Réunion, il mobilise outre les compétences du Cirad, celles du Service de Protection des Végétaux, de la FDGDON et de la Chambre d'Agriculture.*

pour la fertilisation et l'amélioration des méthodes d'analyses. Cette certification atteste de l'efficacité du système de management de la qualité du laboratoire construit selon les exigences de la norme internationale ISO9001:2000. La durée de validité du certificat est de 3 ans, un audit de suivi annuel vérifie la fonctionnalité et l'efficacité du système.

Concernant la qualité en recherche, les recommandations les plus récentes de l'AFNOR, publiées en 2003 et 2004 portent sur le management de la qualité au niveau d'une institution de recherche et sur le management de la qualité d'un projet. Le premier projet de recherche finalisée managé selon ces recommandations – largement inspirées de la norme ISO9001:2000 – a démarré en novembre 2004. Il s'agit du projet « Sécurisation foncière et aménagement du territoire » piloté par le pôle Agriculture durable, Environnement et Forêt (Padef). Les dispositifs mis en place pour garantir le bon déroulement du projet et la fiabilité

de ses produits sont décrits dans le Manuel Qualité du projet ; il est complété par le recueil des procédures, instructions et formulaires destinés à simplifier son fonctionnement quotidien.

Au niveau de la direction, la démarche qualité est ciblée prioritairement sur la formalisation des processus de gestion des ressources humaines (formation professionnelle, accueil des stagiaires, recrutement, suivi médical) ; l'objectif est de simplifier leur déroulement pour économiser le temps qui leur est consacré.

Par ailleurs, diverses actions relevant d'un esprit qualité ont été entreprises, notamment au 3P, touchant à la sécurité des agents et l'évacuation des déchets. Ceci souligne, pour le futur, l'importance de mettre en place une démarche globale qualité-sécurité-environnement au niveau de la Direction régionale.

*P. Fallavier*

## ► Laboratoire d'analyses agronomiques

Le laboratoire a pour mission de réaliser des analyses de sols, de végétaux, d'amendements et tout autre produit utile en agriculture aux bénéfices des professionnels et des chercheurs impliqués dans le développement agricole de l'île de la Réunion. A l'aide d'un système expert construit avec les agronomes du Cirad, un conseil de fertilisation est délivré principalement pour la culture de la canne à sucre. Le laboratoire est en permanence à l'écoute de ses clients pour répondre à leurs besoins et satisfaire leurs exigences. Il est certifié ISO9001:2000 depuis mars 2004 pour ses activités d'analyses, de recommandation de fertilisation et d'amélioration des méthodes d'analyses. Les deux objectifs du laboratoire sont la fiabilité des analyses et des délais de remise des résultats inférieurs à un mois.

Le laboratoire a traité en 2004, 3178 échantillons et réalisé 23717 déterminations. Le nombre d'échantillons traités a diminué en 2004 comparativement aux années 2002 et 2003 (respectivement 4210 et 4306), tandis que le nombre d'analyses réalisées reste constant (24 886 en 2002, 23951 en 2003). La demande d'analyses de sols reste dominante et identique à celle de 2003 ; la demande d'analyses de plantes a augmenté (677 échantillons en 2004 contre 483 en 2003), alors que la demande d'analyses d'eaux et solutions a diminué.

Les analyses sont d'abord destinées à la filière canne ; l'analyse des échantillons est assez complète (près de 9 déterminations par échan-

tillons) afin de délivrer le conseil de fertilisation. On note une nette progression des analyses pour le pôle FMA, qui passe de 10,49 % à 21,02 % de l'activité du laboratoire, compensant la baisse de la filière canne (56,04 % à 49,58 %) et celle, plus faible, du Padef (17,30 % à 14,99 %). La filière Café n'a soumis que 6 échantillons à l'analyse en 2004.

La gamme des produits du laboratoire pourrait être étendue aux analyses de sédiments à l'occasion d'une relance de l'activité d'amélioration des méthodes, attendue suite à l'intégration du laboratoire dans une nouvelle unité de service du Cirad (Analyses physico-chimiques des sols, eaux et matériel végétal.)

Enfin, le système expert de recommandation est en cours d'amélioration pour s'adapter au cas de la culture de canne irriguée en goutte à goutte.

*P. Fallavier*

Milieux analysés	Echantillons	%	Déterminations	%
SOLS	1840	57,90	17329	73,07
PLANTES (Analyses minérales)	677	21,30	3969	16,73
EAX ET SOLUTIONS	293	9,22	784	3,31
FOURRAGES	12	0,38	49	0,21
AMENDEMENTS, EFFLUENTS	122	3,84	1019	4,29
DIVERS	234	7,36	567	2,39

Filières de production	Echantillons	%	Déterminations	%
CANNE À SUCRE	1350	42,48	11759	49,58
ENVIRONNEMENT, AGRIC. DURABLE	807	25,39	3555	14,99
CULTURES FRUITIÈRES ET MARAÎCH.	653	20,55	4985	21,02
ÉLEVAGE, PRODUCTIONS ANIMALES	115	3,62	1009	4,25
CAFÉ	6	0,19	60	0,25
DIVERS	247	7,77	2349	9,91

L'origine des échantillons est présentée dans le tableau ci-dessus en fonction de la filière de production.



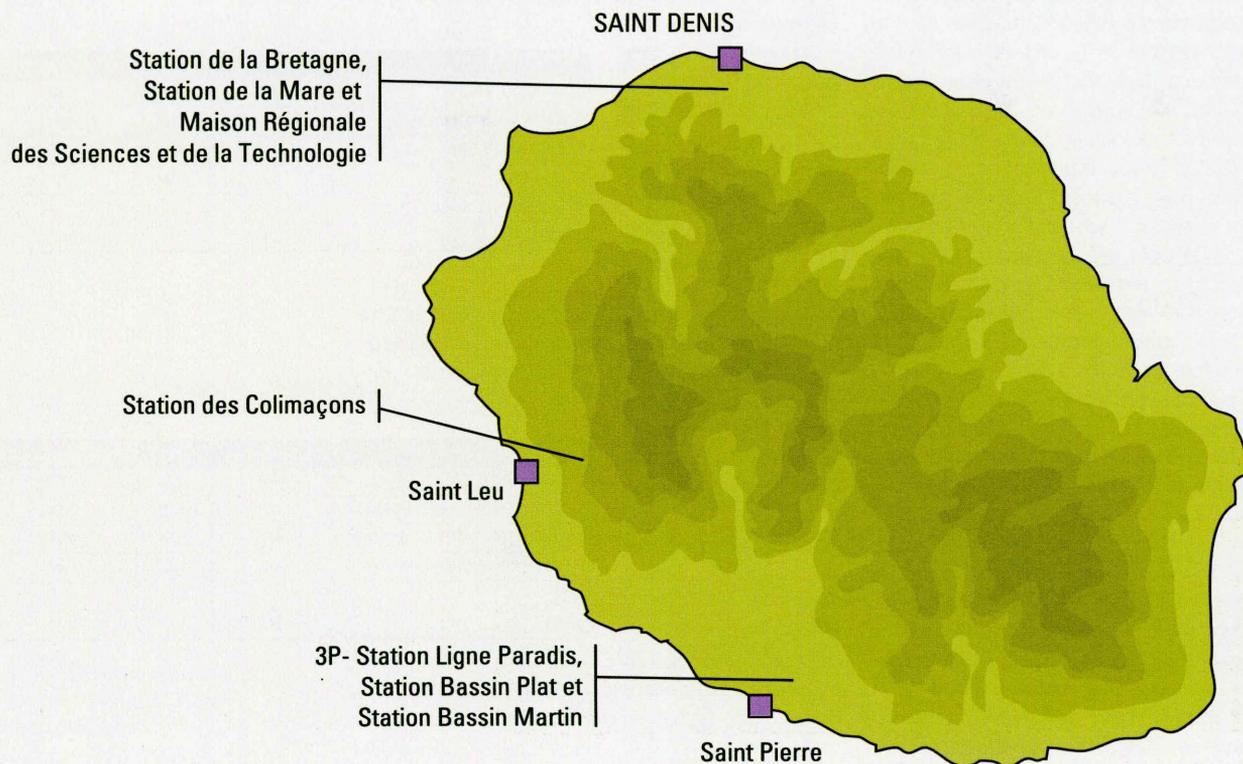
## ► Direction régionale fin 2004

Gabriel de Taffin : Directeur Régional

Thierry Corbineau : Responsable du service administratif et financier

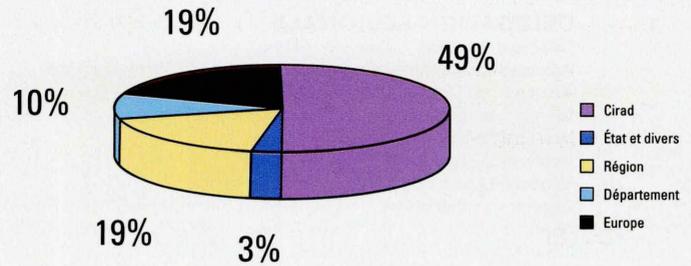
Pôles de compétences	Responsables
- CANNE À SUCRE	B. Siegmund
- FRUITS, LÉGUMES ET PLANTES AROMATIQUES	P. Cao-Van
- ÉLEVAGE	M. Piraux
- AGRICULTURE DURABLE, ENVIRONNEMENT ET FORÊT	P. Lecomte
- PROTECTION DES PLANTES	B. Reynaud
- AGROALIMENTAIRE	A. Collignan
- CAFÉ	F. Descroix

## ► Implantations du Cirad à la Réunion

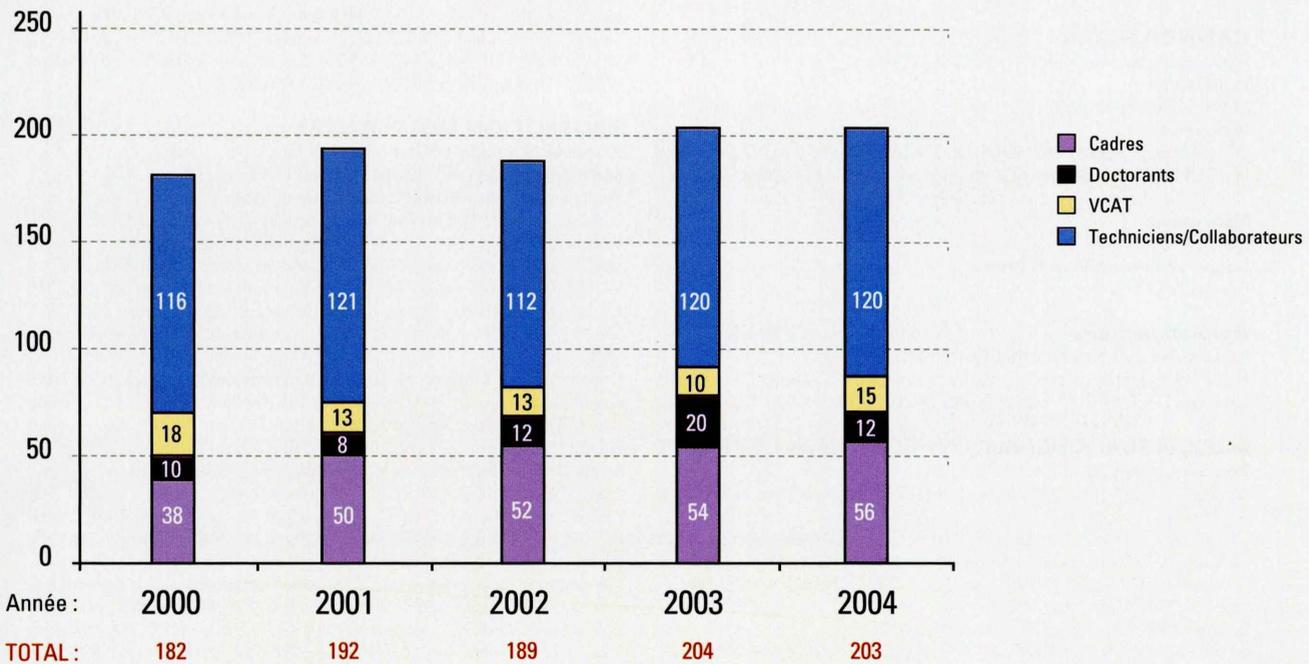


## ► Répartition des financements en 2004

Total des ressources du budget	Euros
CIRAD	6 644 000
ÉTAT ET DIVERS	346 000
RÉGION	2 486 000
DÉPARTEMENT	1 336 000
EUROPE	2 461 000
<b>TOTAL</b>	<b>13 273 000</b>



## ► Effectifs



### Effectifs comparés au 31/12/02 et au 31/12/04

	2002	2003	2004
Permanents	155	167	170
VCAT + Doctorants	25	30	27
Autres *	9	7	6
<b>TOTAL</b>	<b>189</b>	<b>204</b>	<b>203</b>

\* Contrat de qualification, d'apprentissage ou CDD  
VCAT = Volontaire Civil à l'Aide Technique

## ► Les équipes du Cirad à la Réunion

### A Saint-Denis

#### DELEGATION REGIONALE

Directeur Régional : Gabriel de TAFFIN

Administration et finances : Thierry CORBINEAU, Cyrille DUTOUR

Assistante de Direction : Nadège NANGUET

Secrétariats La Bretagne : Catherine ANGO, Marie-Vivienne BEGUE, Josie CARPANIN

Valorisation régionale : Dominique POLTI

Démarche Qualité : Paul FALLAVIER

Gestion et comptabilité : Philippe HAREL, Michel JAMBE, Yvette MAILLOT, Roselyne MOUNICHY, Marie-Yvonne RAMAYE, Hélène RAYEPIN, Marie-Annia SAUTRON (apprentie), Philippe SCHOETTEL

Service du personnel : Véronique BOYER, Delphine CARANDANTE

Services généraux : Erick GAUVIN, Philibert NADAL, Vincent-Paul ORANGE, Jean-Claude RIBOTTE

Informatique et réseaux : Marie-Andrée DUMAY

Laboratoire d'analyses : Patrick LEGIER,

Marie Charlyne GAUVIN, Marie Frède GAUVIN, Charles HOARAU, Johnny HOARAU, Jocelyn IDMOND, Aïdée Emilie LOMBARD, Jean Dolin MOUNY-LATCHIMY

### CANNE A SUCRE

Responsable du pôle : Bertrand SIEGMUND

#### Modélisation

Michel Rosaire JEANNETTE, Emmanuel HOARAU, Jean-François MARTINE

#### Agronomie

Eric BAPPEL\*\*, Jean-Jo ESTHER, Lilian GAUVIN, Ginot GAUVIN, Valentine LEBOURGEOIS\*, Caroline LEJARS, Hugues LOMBARD, Denis POUZET, Christophe POSER, Aurélien VELLE, Grégory VIGNAIS

#### Mécanisation

Dany DEURVELHER

Station expérimentale de la Mare

Alix RASSABY

### Agro-alimentaire

Responsable du pôle : Antoine COLLIGNAN

Elodie ARNAUD\*\*, Nelly BOURDIN, Jérôme MINIER, Muriel LE BLANC\*, Jean-Yves LECOMPTE\*\*, Jacques JOAS, Sunita SANTCHURN\*\*

### AGRICULTURE DURABLE, ENVIRONNEMENT ET FORET

Responsable du pôle : Marc PIRAUX

Equipe REGARD (*Risque environnemental, Gestion Agronomique et Recyclage des Déchets*)

Didier BARET, Léon J. Marie BEGUE, Pierre-François CHABALIER, Emmanuel DOELSCH, Frédéric FEDER, Jean-Fabien MAYEN, Géraud MOUSSARD, Nicolas PAYET\*\*, Josian RIVIERE, Hervé SAINT MACARY, Olivier SALMACIS, Patrick TECHER, Aristhène TIBERE

Equipe GERT (*Gestion des Ressources et du Territoire*)

Sigrid AUBERT, Aurélie BOTTA, William's DARE, Jean-Louis FUSILLIER, François GUERRIN, Erwan LAGABRIELLE\*, Manuella LESAGE\*\*, Cécile MARTIGNAC, Jean-Michel MEDOC, Guillaume POTIN\*, Tiana RALAMBONDRAINY, Lionel RICHEFORT\*\*, Carine SAQUE \*\*

### A Saint-Pierre

Infrastructures : Samuel LAURET

Systèmes d'information : Henri BROUCHOUD

Informatique et réseaux : Philippe AMIOT

Communication et information scientifique :

Sandra LAURET, Sophie DELLA MUSSIA

Centre de ressources documentaires : Micheline BAPTISTE

Services généraux : Jean-Louis HOAREAU, Marie-Gabrielle MOREL

Accueil/Secrétariat : Océane DESIRE

Programme Café : Frédéric DESCROIX, Josian DELAUNAY

### CANNE A SUCRE

Bioclimatologie et gestion de l'eau

Jean Luc BROSSIER, Jean-Louis CHOPART, Jean Paul D'EXPORT, Lionel LE MEZO, Mickaël MEZINO, Bernard MOUNY-LATCHIMY, Raymond NATIVEL, Roland PIROT

### ELEVAGE

Responsable du pôle : Philippe LECOMTE

Secrétariat : Gisèle MOREL

Jacques BONY, Béatrice CHATAIGNER\*, Jean-Philippe CHOISIS, Viviane CONTAMIN\*, Olivia FONTAINE, Matthieu GOUSSEFF, Yves LATCHIMY, Virginie MAILLOT, Serge NABENEZA, Dominique NIOBE\*\*, Jean Expédit RIVIERE, Emmanuel TILLARD, Jonathan VAYSSIERES\*\*

### PROTECTION DES PLANTES

Responsable du pôle : Bernard REYNAUD

Secrétariat : Magalie AURICANE, Chantal TERRENTROY

Epidémiologie des maladies bactériennes et virales :

Nathalie AH-YOU\*\*, Claudine BOYER, Jacques CHERON, Laurent COSTET, Annie COUTEAU, Julien DEGAS\*, Damien DROUET\*, Magali PAYET, Lionel GAGNEVIN, Jean Véronique GLORIES, André Walter GRONDIN, Richard GUILLEM, Christian HOAREAU, Laurence HUMEAU, Emmanuel JOUEN\*, Cédric LALLEMAND, Laurent LE BLEIS, Jacques LUISETTI, Yann PICARD\*, Julien POMPON\*, Olivier PRUVOST, Isabelle SOUSTRADÉ, Christian VERNIERE

Dynamique des populations et comportement des ravageurs et de leurs

auxiliaires : Cédric AJAGUIN-SOLEYEN, Frédéric CHIROLEU, Hélène DELATTE\*\*, Pierre François DUYCK\*\*, Antoine FRANCK, Jérémie GILLES\*\*, Serge GLENAC, Martial GRONDIN, Frédéric GOURDON, Sabrina HIERNARD\*, André HOARAU, Kenny LE ROUX\*, Jean-Michel LETT, Marie Ludders MOUTOUSSAMY, Florence NAZE, Samuel NIBOUCHE, Didier PASTOU, Jim PAYET, Serge QUILICI, Jérémy RAMIN, Pascal ROUSSE\*\*, Philippe RYCKEWAERT, Richard TIBERE, Patrick TURPIN, Christophe SIMIAND, Jacques VESLOT\*, Alix ZETTOR\*

Génétique et caractérisation de la résistance des plantes aux bioagresseurs :

Johnny ACAPANDIE, Paul BOILLY, Séverine BORY\*\*, Ellen BOUTY\*, Emmanuelle CHAPIER, Jacques DINTINGER, Michel GRISONI, Marianne HEDONT\*, Hélène HOLOTA\*, Julien MAYEN, Marion MOLES\*, Jean Claude MUSSARD, Iréné PROMI, Louis-Marie RABOIN, Claude RIVIERE, Michel ROUX CUVELIER, Auguste TAÏLAME, Nicolas TALIBART, David TEYSSÉDRE, Hugues TELISMAST

Endémisme et invasions biologiques des écosystèmes terrestres en milieu

insulaire : Stéphane BARET, Raquel CENICEROS\*, Thomas LE BOURGEOIS, Gérard LEBRETON, Jean-Noël RIVIERE, Jean-Michel SARRAILH, Laurent SCHMITT

### FRUITS, LEGUMES ET PLANTES AROMATIQUES

Responsable du pôle : Philippe CA0-VAN

Secrétariat : Anne-Marie LECHAUDEL, Maryse MERY

Marâchage : Jean Michel BAPTISTE, Jean Bernard DIJOUX, Cédric FULMART (apprenti), Camille LAFFUTEUR, Sylvain LEBON, Axel MUSSARD, Jean Pierre RANGAYEN, Serge SIMON

Fruits : Bernard ABUFERA, Philippe CABEU, Philippe DE BOISVILLIERS, Gaëlle DAMOUR\*\*, Doralice JESSU, René Claude JUDITH, Christian LAVIGNE, Jean Patrice LEBLE, Mathieu LECHAUDEL\*, Pierre-Guy LORILLON (apprenti), Joseph MAILLOT, Nicolas MERLE (apprenti), Séraphin Marco MOREL, Frédéric NORMAND, Louis PAULIN, Rose My PAYET, Jean Frédéric PAYET, Christian SORIA, Raymond Georget TULLUS, Laurent URBAN

Agriculture Durable : Thierry MICHELS

\* VCAT : Volontaire Civil à l'Aide Technique

\*\* Etudiants en thèse





**Photos de couverture :**

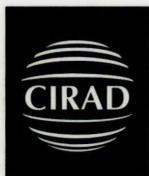
Antoine Franck  
Thomas Le Bourgeois,  
Sophie Della Mussia,  
Jonathan Vayssières

**Création, Conception :**

OTCHOZ - Graphisme & Multimédia

**Impression :**

NID Imprimerie  
Juin 2005  
Dépôt légal n° 1901  
RC 71 B 10



**Centre  
de coopération  
internationale  
en recherche  
agronomique  
pour le  
développement**

Délégation de la Réunion  
B.P. 20  
97408 Saint-Denis  
Cedex 9

Téléphone : 0262 52 80 00  
Télécopie : 0262 52 80 01

Site web : <http://www.cirad.fr/reunion>

Coopération scientifique

