Rapport annuel 2000

CIRAD

RÉUNION

juin 2001

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

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

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

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

Directeur de la publication

Michel Trebel

Comité de lecture

Antoine Colligan, Patrice Grimaud,

Jean-François Martiné, Marc Piraux,

Bernard Reynaud, Magalie Jannoyer

Sécrétariat

Nadège Nanguet

Rapport annuel 2000
Cirad Réunion

7	**Canne à sucre**
8	Amélioration de la production
10	Amélioration de l'efficience de l'eau
12	Modélisation de la croissance
15	Amélioration de l'organisation des structures
19	**Fruits, légumes et plantes aromatiques**
20	Fonctionnement de la plante
22	Evaluation et valorisation du matériel végétal
23	Amélioration de la production
24	Agronomie des fruitiers
26	Systèmes de production intégrée
29	**Agriculture durable**
30	Diversification et systèmes de culture
33	Exploitations, territoires et politiques
35	Gestion des déchets
39	Biodiversité forestière
41	**Elevage**
42	Durabilité des exploitations
44	Alimentation et amélioration des performances
46	Etude des facteurs de risque
49	Etude des facteurs de variation de la qualité du lait
51	Modélisation économique de la rentabilité des exploitations d'élevage bovin
55	**Protection des plantes**
56	Epidémiologie des maladies bactériennes
62	Dynamique des populations
69	Résistance des plantes aux bio-agresseurs
72	Connaissance de la bio-diversité
77	**Agroalimentaire**
78	Transformation des produits carnés
81	Valorisation des productions végétales

L'année 2000 doit être considérée comme une étape importante pour les activités du Cirad à la Réunion.
En premier lieu la signature officielle, le 18 avril 2000, de la convention cadre tripartite 2000-2006 entre le Président du Conseil Régional, le Président du Conseil Général et le Directeur Général du Cirad, en présence du Préfet de Région, a clairement marqué la volonté des Collectivités locales et de l'État d'afficher comme une de leurs principales priorités le développement des secteurs agricole et agroalimentaire de la Réunion en apportant un soutien renouvelé à la recherche agronomique.

Les financements importants qui seront mobilisés par le Cirad sur ses fonds propres et par ses partenaires dans le cadre du Plan de Développement Régional (PDR) et du DOCUP permettront de conforter et d'amplifier les programmes de recherche en cours et d'initier des actions nouvelles en réponse aux besoins formulés par l'ensemble des filières de production.

D'autre part, la structuration de nos activités en pôles de compétence est devenue effective et permettra une réponse mieux adaptée à la demande de nos partenaires. Ces pôles, pilotés par des responsables bénéficiant de larges délégations d'animation et de

gestion, seront des structures ouvertes à des collaborations techniques et scientifiques. D'ores et déjà des rapprochements sont en cours avec les équipes de recherche de l'Université de la Réunion dont le plan quadriennal est en cours de finalisation. Ceci devrait aboutir à la reconnaissance par les ministères de tutelle d'unités mixtes de recherche ou d'équipes d'accueil doctorales communes. Des synergies sont également possibles avec les autres organismes de recherche présents localement.
A cet égard la signature récente d'une convention de concertation et de coopération pour l'Outre-mer tropical français entre l'Inra, l'Ird, l'Ifremer et le Cirad devrait avoir des retombées positives pour la Réunion.

Les préoccupations relatives aux effets du changement climatique, à la protection de l'environnement et de sa biodiversité, à la gestion des déchets ou la pollution des eaux, sans oublier les problèmes liés à la sécurité alimentaire deviennent chaque jour plus aiguës.
Ces questions complexes, nécessitant des investissements importants en infrastructures et moyens analytiques, doivent être traitées dans un cadre pluridisciplinaire et prendre en compte les spécificités du contexte réunionnais.
Le Cirad a déjà engagé une réflexion sur ces grands thèmes afin de proposer des stratégies adaptées et d'élaborer des projets en partenariat.
Les laboratoires du pôle de protection des plantes sont en cours de construction à Ligne Paradis.
Ils permettront de regrouper dans un complexe scientifique de haut niveau l'ensemble des compétences présentes à la Réunion dans ce domaine.
Un rayonnement scientifique au plan international en est attendu.

Enfin une démarche qualité a été initiée sur notre dispositif réunionnais, avec l'affectation d'un spécialiste confirmé en la matière. L'objectif visé est, dans un premier temps, d'obtenir la certification ISO 9002 de notre laboratoire d'analyses mais l'ambition, novatrice dans le domaine de la recherche, est également d'essayer d'appliquer cette démarche à l'ensemble de nos procédures afin de garantir à nos partenaires et bailleurs de fonds une qualité globale de nos activités, à l'aide d'indicateurs de suivi pertinents.

Michel TRÉBEL
Délégué du Cirad à la Réunion

Glossaire

AGETROP	Analyse du Génome des Espèces Tropicales
AFP	Association Foncière Pastorale
APE	Association des Planteurs Expérimentateurs
APIFA	Association Professionnel pour l'Information et la Formation Agricole
APR	Association pour la Promotion en milieu Rural
AQUA COOP	Coopérative d'Aquaculture de la Réunion
ARDA	Association Réunionnaise pour le Développement de l'Aquaculture
ARIBEV	Association Réunionnaise Interprofessionnelle des Bovins, de l'Elevage et de la Viande
ARMEFLHOR	Association Réunionnaise pour la Modernisation de l'Economie Fruitière Légumière et Horticole
AUPELF/UREF	Agence Universitaire de la Francophonie
CAHEB	Coopérative Agricole des Huiles Essentielles de Bourbon
CEMAGREF	Centre d'Etudes du Machinisme Agricole du Génie Rural, des Eaux et Forêts
CERF	Centre d'Essai de Recherche et de Formation
CFA	Centre de Formation d'Apprentis Agricoles
CFCS	Cebtre Français de la Canne et du Sucre
CFPPA	Centre de Formation Permanente pour Adultes
CIREF	Centre Inter-régional de Recherches et d'Expérimentation de la Fraise
CIMMYT	CIMMYT Centro Internacional de Melioramento de Maiz Y Trigo
CIVAM	Centre d'Initiative pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural
CPER	Contrat Plan Etat Région
CPPR	Coopérative des Producteurs de Porcs de la Réunion
CRIP	Centre Régional d'Intérêt Phytosanitaire
CRITT	Centre Régional d'Innovation et de Transfert de Technologie agroalimentaire
CTE	Contrat Territorial d'Exploitation
CUMA	Coopérative d'Utilisation des Matériels Agricoles
DAF	Direction de l'Agriculture et de la Forêt
DOCUP	Document Unique de Programmation
EDE	Etablissement Départemental de l'Elevage
FDGDEC	Fédération Départementale des Groupements de Défenses contre les Ennemis des Cultures
FICU	Fonds International de la Coopération Universitaire
GEGI	Groupement des Eleveurs de Grand-Ilet
GRDSBR	Groupement Régional de Défense du Bétail de la Réunion
GTV	Groupement Technique Vétérinaire
ICSB	International Consortium for Sugarcane Biotechnologies
LVD	Laboratoire Vétérinaire Départemental
LEGTA	Lycée d'Enseignement Général, Technique et Agricole
LEPAH	Lycée d'Enseignement Professionnel Agricole et Horticole
MRST	Maison Régionale des Sciences et de la Technologie
MSIRI	Mauritius Sugar Industry Research Institute
ONF	Office National des Forêts
OLAT	Opération Locale d'Aménagement des Terroirs
OVAPAL	Opération de Valorisation des Produits Agricoles Locaux
RADOI	Réseau Agriculture Durable de l'Océan Indien
SAFER	Société d'Aménagement Foncier et d'Etablissement Rural
SAPHIR	Société d'Aménagement des Périmètres Hydro-agricoles Irrigués de l'île de la Réunion
SDAEL	Société d'études, de Développement et d'Amélioration de l'Elevage
SICA	Société d'Intérêt Collectif Agricole chargée de la collecte laitière, d'approvisionnement et d'élevage de génisses
SPV	Service de Protection des Végétaux
SUAD	Service d'Utilité Agricole et de Développement
SRPS	Syndicat Réunionnais des Producteurs de Semences
UAFP	Union des Associations Foncières Pastorales

Canne à sucre

2000, année charnière, a été mise à profit pour redéfinir avec nos partenaires, Pouvoirs Publics et professionnels de la filière, les actions que doit mener le CIRAD en vue de participer aux objectifs généraux définis par le Comité de Pilotage de la Canne.

L'avenir de la filière repose sur une augmentation de la production, dont le niveau moyen doit s'établir au-delà de 2.000.000 tonnes de cannes.

Pour ce faire, il est indispensable de stabiliser les surfaces en cannes et d'en acquérir de nouvelles (zones irriguées par le transfert des eaux, zones des Hauts) et d'améliorer la production par unité de surface. Mais cela doit se faire dans des conditions de production qui assureront la durabilité des exploitations grâce à un revenu à l'hectare suffisant.

Parallèlement, il est important de valoriser les capacités de cette culture en terme d'aménagement du territoire, d'épuration des déchets et plus généralement de prendre en compte la préservation de l'environnement.

Afin de répondre au mieux à ces enjeux, un renforcement du dispositif a été décidé. Des moyens supplémentaires seront mis en place pour

1) optimiser l'utilisation de l'eau d'irrigation,

2) approcher la multifonctionnalité de la canne, en particulier en matière environnementale,

3) augmenter la production par une meilleure gestion des moyens bio-techniques,

4) mettre en place un système d'information pour la prospection agricole et l'évaluation des politiques publiques.

L'engagement du CIRAD réaffirmé par ce renforcement, contribuera à inscrire la filière canne à sucre à la Réunion dans la durée par :

1) l'augmentation de la production avec un souci d'équilibre économique, tant pour les agriculteurs que pour les industriels,

2) la confirmation de cette culture en tant que secteur d'activité essentiel pour la Réunion au niveau économique, aménagement du territoire et environnemental,

3) l'accompagnement au niveau scientifique et technique des opérateurs publics ou privés dans leurs actions de coopération régionale,

4) des recherches d'excellence reconnues au niveau international.

B. Siegmund

Amélioration de la productivité et de l'environnement de la sole cannière

Amélioration de la production cannière dans les hauts

Rappel de la problématique

La production cannière d'altitude est essentielle à la filière réunionnaise, affectée par un déficit croissant de surface cultivable. Selon les experts, le quart de la sole cannière et le cinquième de la production proviennent des hauts de l'île. Faute de variétés adaptées aux conditions contraignantes d'altitude, l'intérêt de la culture s'infléchit au profit de l'élevage et de la jachère.

Le développement de la production de canne en altitude met en jeu l'aménagement rural, la sélection variétale et l'agronomie. Les besoins en amélioration de la voirie, réduction des coûts de transport, aménagement foncier pour la mécanisation et mise en culture des jachères font l'objet d'actions en cours. La sélection de matériel végétal adapté aux basses températures est récente. L'existence d'une grande adaptabilité de la canne à ces contraintes et les résultats obtenus dans d'autres pays démontrent que l'on peut sélectionner du matériel végétal adapté et reconquérir les hauts. Il s'agit cependant d'un travail à moyen voire long terme. A plus court terme, la mise au point de nouvelles techniques agronomiques devrait permettre d'améliorer la productivité du travail et d'atteindre des rendements compatibles avec la durabilité des exploitations.

Les propositions agronomiques

Les contraintes de production sont relatives à l'enherbement et à l'alimentation minérale et hydrique. L'irrigation d'appoint et la fertilisation organique offrent d'indéniables possibilités, mais engagent des ressources rares, plutôt réservées en altitude aux cultures à forte valeur ajoutée. La lutte chimique contre l'enherbement est peu efficace et coûteuse. L'herbe est difficilement maîtrisable face à un couvert à croissance lente et nécessite souvent 3 passages.
Nos propositions portent sur une meilleure optimisation spatio-temporelle du couvert.
Une meilleure gestion de la période critique précédant la fermeture du couvert, ouvre d'intéressantes perspectives. Cette période augmente avec l'altitude, passant de 2 à 3 mois au niveau de la mer à plus de 7 ou 8 mois dans les hauts. Il en résulte les problèmes évoqués d'enherbement mais aussi des risques d'érosion et une réduction de la phase de pleine production du couvert (couvert fermé) préjudiciable au rendement. Nous proposons deux techniques complémentaires, ayant une action sur la durée absolue et relative de cette période (1) la diminution de la distance entre lignes de plantation et (2) l'augmentation du temps séparant deux récoltes.

Mise en œuvre

Le programme de recherche débuté en 1996 porte sur les actions suivantes :
- Enquête et information sur les pratiques
- Mise en place d'essais destinés à contrôler dans les conditions réunionnaises (sol, climat, variétés) l'effet de l'écartement sur la production.
- Mise en place d'essais destinés à étudier l'effet du cycle sur la production.
- Mise en place de tests en milieu paysan pour estimer la faisabilité technique de nos propositions en fonction des structures des exploitations agricoles.
- Modélisation des techniques proposées en vue de leur extrapolation.

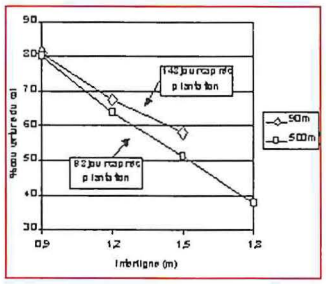


Figure 1 - *Couverture du sol en fonction de la distance interligne sur canne vierge.*

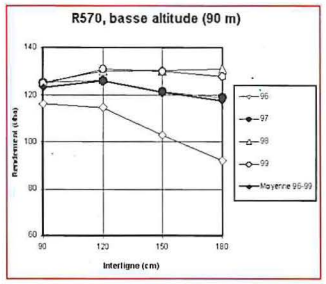


Figure 2 - *Rendement moyen de 4 récoltes dans les bas du Nord.*

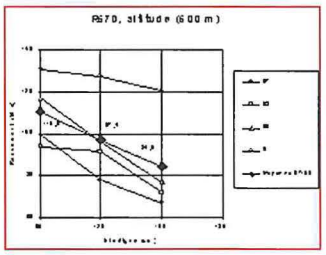


Figure 3 - *Rendement moyen sur 4 ans dans les hauts du Nord-Est.*

Enquête et information

Les enquêtes sur les pratiques ont été conduites en 1996 en collaboration avec le SUAD.
Les principaux résultats déjà cités précédemment, nous ont permis d'informer le développement et les structures de service de l'importance du paramètre écartement pour la production et mettre en œuvre au niveau des SICA des processus de contrôle de l'écartement des socs destinés au sillonnage.

Effet de l'écartement

Deux essais implantés en 1996 en basse altitude (90 m) et en 1997 en altitude (500 m) ont été conduits pendant 4 coupes. La variété est la R570. Les principaux résultats concernent la structure du couvert dans ses composantes vitesse de couverture du sol et caractéristiques moyennes des tiges récoltées et la production :

Couverture du sol

La fermeture du couvert est accélérée lorsque l'on resserre l'interligne (fig. 1). Il s'agit donc bien d'un paramètre important lorsque l'enherbement et l'érosion sont des contraintes de production.

Caractéristiques des tiges récoltées

L'étiolement des tiges avec le resserrement est une tendance systématique mais pas toujours significative dans nos conditions expérimentales. L'aspect tendance est très marqué puisque nous n'avons jamais trouvé de situation où le diamètre des tiges était plus important et les tiges étaient plus basses aux écartements les plus faibles.
Le phénomène devra donc être pris en considération, car outre le fait qu'il est fréquemment signalé par les agriculteurs qui ont testé la technique, il pourrait avoir une répercussion sur la quantité de sucre extractible par un accroissement relatif de la partie fibreuse et lignifiée par rapport à la partie centrale lorsque la tige s'étiole.

Production

Le resserrement n'agit pas de manière significative sur le rendement en basse altitude (fig. 2).
Il apparaît cependant une tendance certaines années à une meilleure production à 1,20 m d'écartement.
On peut de ce fait proposer en basse altitude des plantations à 1,40 m, plus petit interligne compatible avec la mécanisation, car :
- Le risque de réduction de rendement est plus faible en resserrant qu'en écartant les lignes de plantation,
- l'incidence agronomique (enherbement, érosion) n'est pas forcément négligeable, en situation climatique exceptionnelle (cyclone, basses températures…) voire dans des conditions défavorables de fluctuation climatique habituelle.
Le resserrement est par contre un facteur important du rendement en altitude, avec des gains significatifs annuels moyens conséquents (25 t*ha-1) dans nos conditions expérimentales entre 1.5 m et 0.90 m (fig. 3).

Effet du cycle

La comparaison expérimentale de la production de canne à 12, 18 et 24 mois débute cette année. Un premier essai sur repousse a été piqueté en début d'année 2001 à 1000 m d'altitude dans l'Ouest de l'île. La variété est la R577. Le dispositif en bloc de Fischer sera suivi pendant 6 ans, soit 6 récoltes à 12 mois, 4 à 18 mois et 3 à 24 mois. Les premières récoltes sont programmées en début de campagne sucrière 2001.
Un essai identique est prévu dans l'Est. Le site a été identifié à 500 m. Il sera décalé d'un an par rapport à l'essai Ouest.

Test des propositions techniques

Des tests d'écartement et de cycle sont mis en place chez des agriculteurs pour évaluer l'impact des techniques proposées sur la conduite de la culture et la production. Chaque agriculteur fait l'objet d'un suivi de son exploitation (foncier, parcellaire, équipement, main d'œuvre, diversification…) afin d'analyser l'intérêt et la faisabilité technique en fonction du type d'exploitation.

Ecartement

Le dispositif permet de comparer sur des parcelles de production l'écartement témoin à 1,50 m à un traitement resserré (1 à 1,2 m). Les mesures programmées concernent la couverture du sol et l'enherbement en début de cycle. La production sera évaluée par mesures biométriques en fin de saison des pluies et pesées à la récolte.
La multiplication des localisations permet d'évaluer la technique dans une grande variété de conditions pédoclimatiques et d'exploitation.

Cycle

Un dispositif en tests multilocaux comparable au précédent est mis en place pour étudier la faisabilité d'un rallongement du cycle séparant deux récoltes. Chaque site permet de comparer la production de parcelles récoltées à 12 et à 18 mois.

Nutrition minérale

L'alimentation minérale des cycles longs (18 à 24 mois) ne pose pas de problème en ce qui concerne le phosphore et le potassium, éléments qui peuvent être apportés en une fois en début de cycle. Le problème se pose par contre pour l'azote : peut-on épandre en une fois la totalité des besoins ? Où doit-on faire un apport fractionné et nécessairement manuel avant d'aborder la seconde saison pluvieuse du cycle ? Deux essais sont prévus pour estimer les possibilités du sol à alimenter correctement la culture. La comparaison porte sur un apport annuel suivi d'un demi apport en fin de saison des pluies avec un apport direct en début de cycle de la dose 1,5. L'essai est suivi par mesure de biomasse et caractérisation régulière du profil carbone azote du sol sur une profondeur de 60 cm. Le premier essai a été piqueté dans l'Ouest à 1000 m sur une première repousse de R577. Le second sera mis en place cette année dans l'Est à 450 m sur une parcelle en première repousse de R570.

Modélisation

Les données collectées sur les essais et tests servent de base à l'introduction dans le modèle de croissance de la canne à sucre de paramètres cycle et écartement. L'objectif est d'évaluer pour une variété et par site, le meilleur itinéraire technique (CAS105).

D. Pouzet

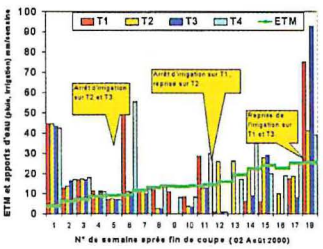


Figure 1 - *Etude des effets du rationnement en eau pendant le premier tiers du cycle cultural. Evolution hebdomadaire des besoins en eau (ETM) et des apports sur chacun des traitements (en mm/semaine)*

Amélioration de l'efficience de l'eau en culture de canne à sucre

A la Réunion, il est prévu environ 7 000 ha de nouvelles surfaces irriguées dans les prochaines années. Par ailleurs, du fait d'une urbanisation rapide et d'une ressource en eau limitée, l'eau agricole va être de plus en plus en concurrence avec celle à usage domestique et industriel. L'objectif de l'opération est de participer à l'optimisation (durabilité et rentabilité) de la gestion de la ressource en eau agricole, par des techniques adaptées.

Optimisation de la gestion de l'eau d'irrigation. Effets du rationnement.

Cette action vise à mieux cerner les incidences d'un rationnement hydrique subi (coupures d'eau) ou choisi (économie d'eau) sur la croissance et la production de la canne. L'objectif final est de produire autant avec moins d'eau.

Un rationnement en eau en fin de cycle a des effets positifs sur la maturation et toute réduction des apports en milieu de cycle a des effets négatifs. En revanche, pendant le premier tiers du cycle, les réactions de la plante au rationnement sont beaucoup moins bien connues.
En 2000, dans une parcelle de canne (Vaar. R579), la station Ligne-Paradis, une expérimentation comprenant 4 traitements (3 répétitions) a été mise en place à la fin de la coupe de la repousse précédente. Un des traitements est maintenu à l'ETM. Les trois autres traitements

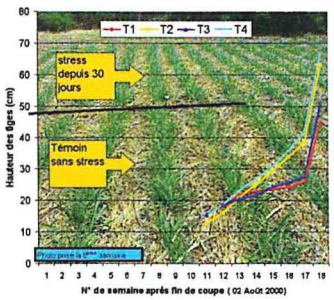


Figure 2 - *Etude des effets du rationnement en eau pendant le premier tiers du cycle cultural. Evolution de la hauteur des tigues sur les traitements.*
En arrière plan : photo de l'essai prise au cours de la 8ème semaine après le début de la repousse, montrant deux traitements :
T2, sans irrigation depuis 30 jours, et T4, témoin sans rationnement piloté à l'ETM

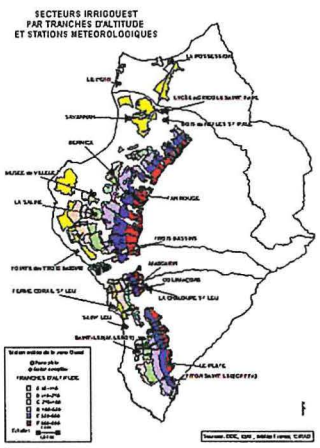


Figure 3 - *Actualisation des besoins en eau dans l'Ouest de la Réunion. Plan de la région concernée par l'étude avec les tranches d'altitudes retenues et les emplacements des stations météorologiques*

ont subi un arrêt ou une forte réduction des apports d'irrigations à des périodes variables.
T1 : entre 80 et 120 jours après le début de la repousse (JADR)
T2 : entre 30 et 80 JADR
T3 : entre 30 et 120 JADR
T4 témoin maintenu à l'ETM.
Sur le traitement T3, la durée du rationnement a été plus longue, mais quelques irrigations ont été apportées afin de maintenir la croissance de la culture. L'évolution temporelle des besoins en eau (ETM) et des apports d'eau est synthétisée dans la figure n°1.
Le suivi de la croissance de la canne pendant les deux premiers mois de repousse montre une absence totale d'effets de rationnement hydrique sur les traitements T2 et T3 (fig. n° 2). Les traitements T2 et T3 ont commencé à se différencier très légèrement du témoin
maintenu à l'ETM (diff. NS) pendant les tous derniers jours de rationnement, soit entre 30 et 40 jours après le début de celui-ci.
Lors de la reprise des irrigations sur T2 et de l'arrêt sur T1 (80 JADR), les hauteurs de tiges de chaque traitement sont très proches (fig. n°2). A partir de 100 JADR, la canne des traitements T1 et T3 manifeste des signes évidents de stress hydrique et un ralentissement de la croissance.
En revanche, la croissance du T2 reste proche de celle du témoin, montrant l'absence d'effet résiduel du rationnement précoce. Après la reprise générale des irrigations à 120 JADR, (fig. 2) il reste, en fin d'année 2000 (140 JADR), des différences notables (30 %) entre les hauteurs des traitements T2-T4 d'une part et T1-T3 d'autre part (fig. 2).
Dans le premier quart du cycle (0-90 JADR), une réduction des apports d'eau par rapport à ce qui est actuellement préconisé ne paraît pas utopique. Mais le dispositif doit être maintenu plusieurs années avant de pouvoir proposer des niveaux d'irrigation réduits sans diminution du rendement.

J.L. Chopart,
B. Mouny, L. le Mézo

Actualisation des besoins en eau d'irrigation dans l'Ouest de l'île (projet Irrigouest).

Cette étude a été menée à la demande du Conseil Général qui en a défini le cahier des charges avec la Direction de l'Agriculture et des Forêts (DAF). Le projet " Irrigation de l'Ouest " à partir d'eau provenant de l'Est de l'île est actuellement en cours de réalisation. Afin de définir au mieux les besoins en eaux d'irrigation des nouvelles zones irrigables et ainsi de bien dimensionner les dispositifs d'apport d'eau, les autorités ont estimé nécessaire d'actualiser une première étude préliminaire (1998). En effet, depuis cette date, de nouveaux postes météo sont disponibles, permettant une évaluation plus fiable du climat. Le travail a été réalisé avec le CIRAD-Montpellier. La demande concernait à la fois les débits de pointe en litres/seconde et les volumes d'eau en m3/ha/an, pour 6 tranches d'altitude (fig.3).
Dans la zone concernée, on dispose de données sur 19 stations météo dans une gamme d'altitude comprise entre 10 et 877 mètres.
Ces stations ont été utilisées pour simuler des bilans hydriques journaliers de chaque année disponible. Le modèle de simulation des bilans hydriques est un modèle à réservoir proche de PROBE (Chopart et Siband, 1988) et de IRRICANNE (Combres et Jacquemoud-Collet, 1990). Un logiciel (SIMULIRRIG) ayant pour moteur ce type de modèle de simulation du bilan hydrique a été mis au point, pour cette étude en 2000. Il calcule les besoins journaliers en eau d'irrigation d'une exploitation virtuelle à l'emplacement d'une station météorologique. Cette exploitation comprend ici 5 parcelles en canne avec 5 cycles de culture de 12 mois décalés d'un mois. On a ainsi simulé le bilan hydrique et évalué les besoins en eau d'irrigation de plus de 2 millions de journées. Les résulats obtenus tiennent compte de l'efficience du matériel, mais pas des pertes provenant des contraintes du réseau extérieur à l'exploitation.
Les besoins de pointe exprimés en litres/seconde /ha varient linéairement avec l'altitude (fig. n°4)

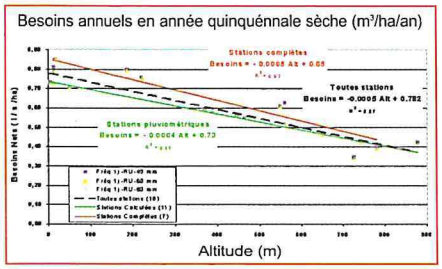


Figure 4 - *Actualisation des besoins en eau dans l'Ouest de la Réunion. Besoins nets de pointe en fonction de l'altitude.*

avec un rôle très faible des caractéristiques du sol. Il a été retenu des besoins de pointe (l/s/ha) dépendant uniquement de l'altitude (mètres) suivant la relation :

Besoins de pointe en eau d'irrigation
= - 5.3 10-4 x alt. + 0.8

Les besoins annuels en eau d'irrigation sont en relation linéaire avec l'altitude (fig. 5). Ils décroissent d'environ 14 000 m³ au niveau de la mer à environ 6 000 m3 à 800 mètres. Le sol (réserve maximale en eau utile) et la fréquence d'irrigation ont aussi une influence : un sol à fortes capacités de stockage de l'eau a des besoins moins élevés. Une fréquence élevée d'irrigation (goutte à goutte) induit des besoins en irrigation légèrement plus élevés dans les hauts.

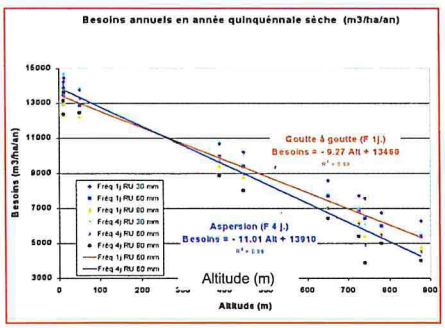


Figure 5 - *Actualisation des besoins en eau dans l'Ouest de la Réunion. Volumes d'eau d'irrigation nécessaires par année (m³/ha / an) en fonction de l'altitude.*

Ceci s'explique par un plus fort risque de voir une pluie tomber après une irrigation, avec dépassement des limites du réservoir.

Ces résultats ont été retenus par les demandeurs (CG et DAF) qui vont s'en servir pour dimensionner les réseaux d'irrigation dans la région concernée. Ils sont le fruit de calculs nombreux et complexes n'ayant pu être effectués, en un temps court, que grâce au logiciel SIMULIRRIG. Celui-ci pourra resservir dans d'autres études (planification des besoins en eau d'irrigation, optimisation d'une ressource en eau).

J.L. Chopart, C. Poser, J.C. Combres, M. Mézino.

Refonte du logiciel IRRICANNE de conseil en irrigation

La refonte du logiciel IRRICANNE a été mise en œuvre en 1999 pour que cet outil réponde mieux à la demande des agriculteurs, grâce à une meilleure prise en compte de la variabilité des situations rencontrées sur le terrain.
Cette nouvelle version aura de nombreuses nouveautés. La phase d'analyse-conception menée par le CIRAD et la Société DIAF-OI s'est achevée le 1er août 2000. Par la suite, le CIRAD a réalisé des jeux d'essais (configuration d'exploitations fictives avec des systèmes d'irrigation représentatifs) destinés à tester le logiciel.

Le travail de 2001 consistera à écrire le nouveau logiciel et à le tester, y compris en conditions réelles de fonctionnement sur la plate-forme de la Chambre d'Agriculture.

J.L. Chopart, J.C. Combres, L. Le Mézo, M. Mézino.

Modélisation de la croissance de la canne à sucre

A la Réunion, où il existe six grands types de sols et 22 zones climatiques différenciées, le CIRAD s'est engagé depuis 1993 dans une opération de recherche sur la modélisation de la croissance de la canne à sucre avec 3 objectifs :
- quantifier les effets du climat, des variétés et des techniques culturales, sur le fonctionnement d'un couvert végétal de canne à sucre ;
- formaliser ces effets au sein d'un modèle de croissance global intégrant les bilans carbonés et hydriques et fournir ainsi un outil d'analyse et d'aide à la décision ;
- appliquer cet outil aux différentes échelles de la parcelle, de l'exploitation et de la région afin de proposer des estimations de production ou de caractériser les productions (facteurs limitants, impacts des techniques, ..)

Développement du modèle CERES Canne

Le modèle actuellement utilisé – modèle de croissance Mosicas et modèle de bilan hydrique Irricanne inclus dans la plateforme Simulex– ne comporte pas de bilan azoté. Nous avons donc

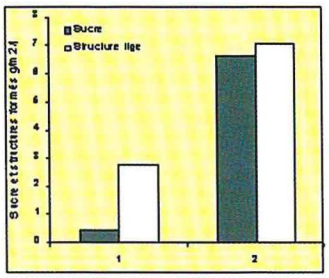


Figure 1 - *Accumulations en sucre* et structure de tiges un mois après défoliation sur cannes défoliées (1) et non défoliées (2)

entrepris de lier MOSICAS au modèle de bilan hydrique de CERES (modèle de Ritchie) et au modèle azoté Ncsoil utilisés par l'INRA Grignon. Ce bilan hydrique a plusieurs avantages par rapport à IRRICANNE : prise en compte des couches différentes de sol, du profil racinaire détaillé par couche et de l'hydromophie.
Un stage de DESS a donc été réalisé par G. Soumayet de l'UPS de Toulouse en collaboration avec B. Gabrielle de l'INRA Grignon. Après optimisation des paramètres, Ceres canne simule convenablement le lai, la biomasse aérienne et le rendement. Par contre, les simulations des structures de tige et du sucre produit ne sont pas satisfaisantes.
En 2001 le Bilan azoté Ncsoil sera intégré, le modèle de croissance sera modifié pour mieux formaliser l'élaboration du sucre et l'état hydrique des cannes. Le jeu de données nécessaire à la validation, encore trop restreint et non pris en compte dans ce stage, sera élargi et utilisé.

Elaboration du sucre et partition sous contrainte radiative (défoliation)

Les études réalisées avant 2000 sur la partition et l'élaboration du sucre ont été effectuées sous des contraintes hydriques variées et sans contrainte radiative (source).
Elles montrent que l'accumulation du sucre et des structures sont affectées de façon différentes par le stress hydrique et que le stock de sucre n'est jamais utilisé quelque soit l'intensité du stress hydrique. Il était donc important de connaître le comportement de la plante dans le cas contraire c'est à dire quand la demande est importante (absence de stress hydrique) et la source radiative faible ou nulle.
A cette fin, l'élaboration du sucre et des structures ont été comparées sur des parcelles de canne défoliées et non défoliées ayant un couvert fermé. Cette étude a été réalisée sur la station de La Mare.
Les résultats montrent que dans le mois qui suit la défoliation, l'accumulation du sucre est nulle sans qu'il y ait puisement dans le stock et que l'essentiel de la biomasse accumulée est réparti vers les structures tiges et feuilles (fig 1).
De cet ensemble d'études on observe que les accumulations ponctuelles des structures et du sucre divergent fortement selon les conditions du milieu bien qu'il y ait une corrélation positive entre le sucre et les structures accumulés. Il semble donC difficile de modéliser globalement l'accumulation journalière de biomasse de tige puis d'affecter un coefficient de partition fixe et indépendant des conditions du milieu. Une formalisation séparée des structures et du sucre est donc nécessaire.

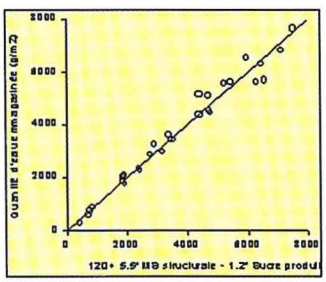


Figure 2 - *Relation entre l'eau stockée dans la tige et ses composantes (structure et sucre).*

Humidité des tiges

Afin d'estimer le rendement (matière fraîche de canne usinable) et la richesse (Sucre/ Rendement) il est indispensable de pouvoir modéliser l'eau contenue dans les tiges. Jusqu'à présent, l'humidité des tiges était modélisée en fonction de la somme des températures moyennes depuis la coupe précédente (meilleure corrélation trouvée), mais cette formalisation simulait des humidités incohérentes en cannes décyclées ou sous stress important.
Une approche différente a donc été utilisée en simulant la quantité d'eau et en considérant que cette dernière dépend d'une part du volume du contenant (tige) qui peut être représenté sous forme massale (matière sèche structurale de tige usinable) et d'autre part du sucre emmagasiné (figure 2).

Création d'une application SIG de simulation de la croissance de la canne à sucre (MAPCANNE)

Le CIRAD dispose d'un modèle de croissance (MOSICAS) de la canne à sucre intégré dans une plateforme de simulation SIMULEX. Ce modèle permet sur toute parcelle renseignée en paramètres climatiques

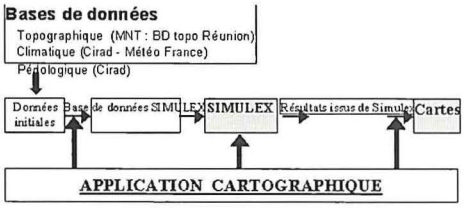
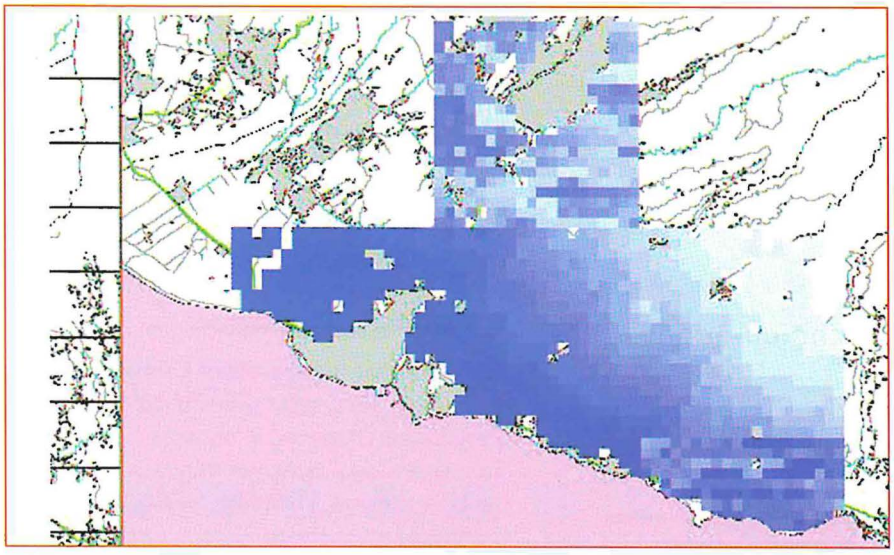


Schéma 4 - *Structure de l'application Mapcanne de cartographie de résultats de simulation.*



Carte 5 - *Cartographie des potentialités au niveau de la Région de Saint-Pierre (Réunion).*

journaliers, caractéristiques sols et itinéraire-technique (dates, irrigations, ..) de simuler de nombreuses caractéristiques du sol et du couvert dont notamment le rendement potentiel. Il est important de pouvoir cartographier ces résultats de simulation. Dans cet objectif, une application SIG a été réalisée sous visual basic. Elle intègre d'une part la BD topo de la Réunion (MNT), les bases sol et climat du CIRAD et d'autre part, les logiciels MAPINFO et SIMULEX.

Les opérations de simulation et de cartographie se déroulent en trois phases :

1/ Phase de définition des sites de simulation et de renseignement de ces sites et de simulex à partir de carrés de (250m x 250m). En utilisant les bases de données météo et sol ainsi que le MNT, l'application permet en chaque carré de définir les stations météo qui seront utilisées avec leurs poids respectifs (interpolation) et de déterminer le type de sol et ses caractéristiques.

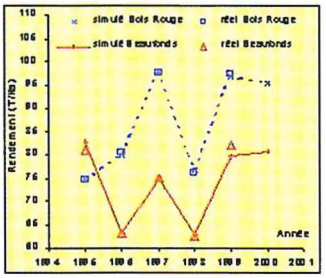


Figure 3 - *Rendements Canne réels et simulés sur les bassins de Bois Rouge et Beaufond.*

2/ Phase de simulation. : Sur les points choisis, l'application lance SIMULEX. Un ou plusieurs itinéraires techniques, définis à l'avance peuvent être utilisés.

3/ Phase de cartographie des résultats de simulation : les résultats, croisés avec d'autres tables (routes, sols, relief, parcellaires, ...) sont cartographiés en utilisant MAPINFO. Cette application peut être aussi utilisée au niveau de parcelles d'exploitation géoréférencées. L'application détermine pour chaque parcelle son altitude, son sol et les stations météo qui devront être utilisées. Le lancement de SIMULEX suivant les itinéraires techniques propres à chaque parcelle permet de simuler les variables agroclimatiques correspondantes et de les cartographier.

Estimations de récolte dans la zone de Bois Rouge

Jusqu'à 1999, ne disposant pas d'un historique de rendements fiable et suffisant (CTICS) par bassin, les estimations de production à l'aide de modèle sur les bassins de Beaufonds et Bois rouge étaient effectuées en calant le modèle sur les rendements des lotissements SAFER qui représentent 30 % de la production.

Ces estimations de production se sont avérées médiocres du fait de l'erreur importante sur l'estimation à priori des surfaces à récolter.

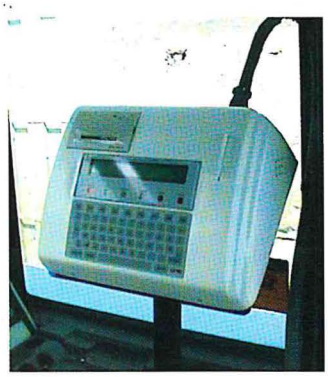
A partir de 2000, nous avons changé de méthode et utilisé les rendements calculés à partir des productions et surfaces fiables du CTICS de 1995 à 1999. Ainsi, en comparant ces rendements 95-99 par bassin et les paramètres agroclimatiques issus des simulations correspondantes, des corrélations multiples ont été réalisées pour trouver les paramètres les plus explicatifs et les meilleures corrélations.

Par cette méthode les corrélations ont été nettement améliorées et, il est donc possible de bien estimer la productivité (rendement canne) de chaque bassin avant campagne.

La plus grande incertitude concernera alors la surface à récolter qui devra être estimée à priori.
Pour la campagne 2000 sur l'usine de Bois Rouge nous avons observé une production réelle de 920700 t pour une estimation de 979 000 t soit une erreur de 6.3% par rapport à la production réelle. Cette erreur est encore trop élevée (>5%). La connaissance des surfaces effectivement récoltées permettra d'analyser les parts d'erreur sur l'estimation des surfaces et des rendements.

J.F. Martiné

Coupe mécanique : coupeuse Simon.



Centrale d'enregistrement embarquée.

Amélioration de l'organisation des structures de production et des prises de décision

Développement de systèmes de conseils technico-économiques aux groupements

Situation

Les entrepreneurs cherchent à réduire leurs coûts de mécanisation et à trouver des alternatives leur permettant de mieux faire face aux changements nécessaires à l'évolution de leurs activités.
Leurs besoins dépassent les problèmes techniques et comptables. Ils se diversifient et deviennent plus complexes. Quels sont les nouvelles références nécessaires à établir pour une utilisation efficace et rationnelle des matériels ?

Une réponse possible consiste :
- à développer des outils aptes à fournir des éléments chiffrés (références) pour des diagnostics sur les performances techniques mais surtout économiques des matériels agricoles dans une entreprise agricole.
- à évaluer l'impact, sur les résultats techniques et économiques de l'entreprise agricole, de plusieurs scénarios d'équipements et d'organisation du travail.

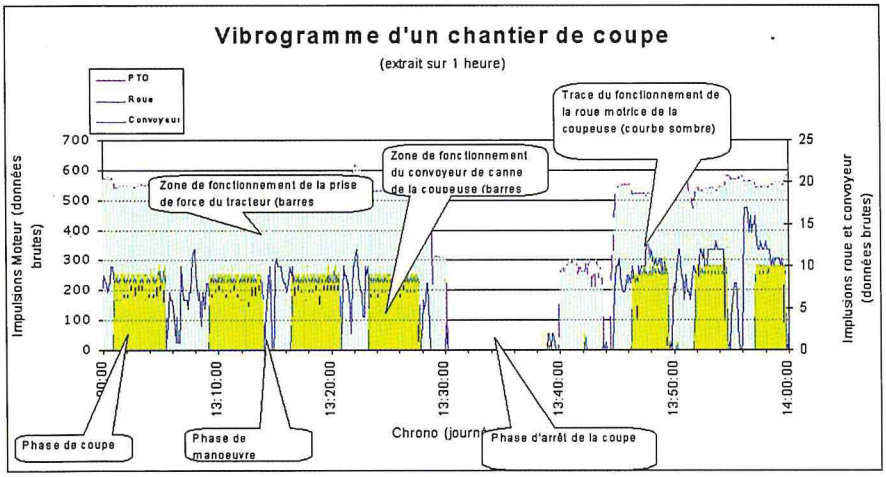
Coupe mécanique de la canne avec la coupeuse SIMON

Les suivis spécifiques réalisés sur la machine SIMON précisent les limites d'utilisation techniques et financières de cette machine fragile, et précisent les éléments d'organisation des chantiers à réunir pour utiliser la coupeuse de façon rentable.
Les traitements des enregistrements effectués par les centrales d'acquisition embarquées ont fourni les références suivantes :
Somme Tonnage : 3400 t ; Temps de chantier : 484.30 heures dont 139.54 heures de coupe pure et 125.07 heures de manœuvres.
Le coût de maintenance de la coupeuse est très important (84 407 F) du fait de pannes à répétition sur des accessoires de la machine. Ces pannes traduisent son manque de fiabilité et doivent être corrigées. La machine sépare très bien les choux des cannes mais conserve toutes les feuilles avec les tiges dans les tas. Le non-canne représente 10% de la masse des tas.
Les chantiers doivent être organisés et les parcelles préparées pour la coupe : réalisation d'un épierrage même si la machine se montre moins sensible à la présence de pierre que les autres coupeuses utilisées, détourage pour permettre les manœuvres autour de la parcelle. Les détourages non effectués divisent par deux les rendements de chantiers (7.02 t/hr).

Système d'acquisition de données embarqué sur les machines.

Les suivis réalisés avec l'outil "SADEM Gestion" ont permis cette année d'établir les coûts de revient des matériels et des engins de la SICA

PROMOCANNE. Ils ont permis aussi d'améliorer les outils d'évaluation des coûts de fonctionnement des matériels, des ateliers, et des véhicules de transport.
Cet outil est alimenté par 3 bases de données :
- Une base de données "Garage" dont la fonction est d'enregistrer l'ensemble des composantes des "coûts variables" associés aux engins (pneus, pièces et fournitures, carburant, entretien et réparation, transport) et qui permet de réaliser des regroupements d'informations pour fournir, à la demande, des états récapitulatifs ou tableaux de bord.
- Une base de données "Terrain", qui est en cours de constitution, dont la fonction est de recenser l'ensemble des travaux effectués et d'en noter les conditions de réalisation (pentes, pierres, matériel utilisé, localisation précise, surfaces et temps de réalisation...).
Sa structure "cartographique" permet de réaliser des cartes des travaux effectués. Des requêtes particulières, ou analyses thématiques, aboutissent à la localisation géographique d'informations du type "temps de réalisation", "conditions de réalisation". Cette base est constituée pour l'instant uniquement avec des informations issues des centrales montées sur les coupeuses SIMON.



- La comptabilité de l'entreprise dont l'interfaçage avec SADEM Gestion permet de renseigner le modèle de calcul des résultats sur les coûts fixes liés à chaque engin et à chaque outil.
Les données supplémentaires sur les frais généraux permettent de calculer le coût de revient réel d'un engin et son résultat économique.
En plus des saisies manuelles, les bases de données "Garage" et "Terrain" sont alimentées aussi à travers deux dispositifs électroniques :

- Un réseau de stations-service où les engins et les véhicules viennent s'approvisionner en carburant,

- Des enregistreurs embarqués (centrales SADEM) sur les engins dont les fichiers contiennent toutes les données techniques et commerciales de réalisation des chantiers. (en place sur les coupeuses SIMON, en phase d'étalonnage et de validation pour les autres engins, tracteurs et bouteurs).

La base de données "Terrain" est à compléter et à exploiter. L'analyse conceptuelle effectuée pour la réalisation de cette base de données nous a conduit à élaborer de nouvelles procédures pour la préparation des interventions sur le terrain et pour le suivi des opérations réalisées. Ces procédures se traduisent par de nouvelles "fiches de travaux" à remplir par les techniciens et les chauffeurs.
Les nouvelles installations de centrales, vont permettre d'étendre la palette des travaux suivis. A partir des suivis réalisés sur les chantiers, nous souhaitons pouvoir construire une "base de connaissance" des coûts et des temps d'exécution des travaux d'aménagement; de préparation des sols et de récolte, en fonction des matériels et des différents sites. Le but de cette base de connaissance est d'établir des devis de travaux à partir de références chiffrées, de produire des devis "à l'heure" et/ou des devis "à l'hectare", d'améliorer la productivité des engins sur les chantiers.

J.C. Dagallier

PUBLICATIONS EN 2000

Publications et communications

• CHOPART J.L.AND SIBAND P. 2000. Developpement and validation of a model to describe root length density of maise from root counts on soil profiles. Plant and Soil, 214 :61-74.

• DAGALLIER J.C. 2000. Scheduling loading and transport in a group of planters with the Farmi™ loader. (FARMI experience: Grouping of farmers for mechanical loading with a long span slewing cane loader). Agricultural Engineering workshop ISSCT. 23 au 28 Juillet 2000. Malelane, Mpumalanga, South Africa. 7 pages + graphiques + photos.

• DAGALLIER J.C. 2000. Gestion de parc de machines dans les entreprises de travaux agricoles. Séminaire SIG du programme CAS. 27 Octobre 2000. Montpellier. Document Power Point 18 transparents + texte de commentaires 6 pages.

• DAGALLIER J.C. 2000. Présentation de la base de données géographique BDTOPO. Séminaire SIG du programme CAS. 27 Octobre 2000. Montpellier. Document Power Point 10 transparents + texte de commentaires.

• POUZET, D., Novembre 2000. Colloque CFME-ACTIM sur les atouts de l'industrie sucrière française. San Miguel de Tucuman, Argentine, 30/11/2000. CIRAD CA CAS, La Réunion. 30 p.

• POUZET, D., CHABALIER, P-F., LÉGIER, P., november 2000. Fertilizer recommendations for cane-growers in Reunion Island. I.- Description of an expert system based on soil fertility. Projet de publication proposé à l'ISSCT. 5 p.

• POUZET, D., CHABALIER, P-F., LÉGIER, P., november 2000. Fertilizer recommendations for cane-growers in Reunion Island. II- Development and validation of an expert system based on soil fertility. Projet de publication proposé à l'ISSCT. 7 p.

• POUZET D., MARTINÉ, J-F., Décembre 2000. Distance interligne de plantation et production de la canne à sucre. Bilan de 4 années d'expérimentation en condition tropicale d'altitude. CIRAD CA, Pôle canne à sucre. 5 p.

Rapports et articles divers

• DAGALLIER JC, DEURVEILHER D. 2000 Rapport d'activités 1999. St Denis, La Réunion. Février 2000.

• DAGALLIER JC, DEURVEILHER D. 2000. Groupement de promotion de la coupeuse cannes entières SIMON. Organisation de la campagne 2000 de la coupeuse. Document de travail Réunion du 12 Mai 2000 Le Gol, La Réunion. 5 pages + tableaux

• DAGALLIER JC, DEURVEILHER D. 2000. Fiches de programmation 2001. Comité tripartite de Novembre 2000. St Denis, La Réunion. 2 pages + tableaux.

• DAGALLIER JC & MARNOTTE P : 2000. La gestion de l'enherbement et l'emploi des herbicides en culture de canne à sucre à la Réunion & Travaux pratiques sur les pulvérisateurs. La Réunion. Novembre 2000. 20 pages + annexes + graphiques + schémas.

• DAGALLIER JC & MAZOT JL : 2000. L'épierrage. Document de formation. 4 pages + photos + tableaux + photos

• DAGALLIER JC & MAZOT JL ; 2000. La Récolte mécanique de la canne à sucre. 4 pages + tableaux + photos.

• POSER C., Sept. 2000. Réactualisation des données sur les besoins en eau des cultures sur la zone Ouest de la Réunion. Projet Irrigouest. 8 pages + annexes.

• G. SOUMAYET. Modélisation de la croissance de la canne à sucre : développement de CERES Canne. Mémoire de DESS de l'UPS de Toulouse. 2000. 85p. + Annexes.

Fruits, légumes et plantes aromatiques

L'année 2000 a été une année de changements et de réorientations pour le pôle Fruits Maraîchage et Plantes Aromatiques. L'affectation de nouveaux chercheurs a permis le renforcement des équipes et de certaines thématiques, et de démarrer de nouvelles opérations (photosynthèse et acquisition de carbone chez le manguier, croissance de la mangue et élaboration de la qualité en particulier).
Elle a également été marquée par le départ de J. P. Lyannaz (maraîchage) qui a été remplacé en milieu d'année par S. Simon.

Les trois projets qui structurent le pôle prennent en compte les objectifs et les contraintes de l'ensemble de la filière, des producteurs aux consommateurs. Le respect de l'environnement, la garantie d'une qualité définie, la traçabilité des produits et leur innocuité sont au cœur de l'ensemble des opérations du pôle.

L'étude du fonctionnement de la plante a pour objectif de comprendre et de formaliser les processus de production et d'élaboration de la qualité du fruit. Ce projet est ciblé sur la mangue qui a un avenir certain sur les marchés d'exportation européens mais également sur les différents marchés locaux (marchés forains et GMS).

L'évaluation et valorisation du matériel végétal concerne les productions fruitières de diversification classiques (agrumes, annones, litchis, et autres) ainsi que les productions innovantes (pitahaya, ...). Ce projet permettra à moyen terme de proposer des variétés plus performantes mais également des produits originaux avec une approche intégrative pour l'ensemble de la filière.

Le projet "systèmes de production intégrés" vise à promouvoir une agriculture compétitive, avec la mise au point d'outils d'aide à la décision et la définition de cahiers des charges et/ou de labels pour des productions ciblées. Cette démarche prend en compte l'ensemble des aspects agronomiques, écologiques, phytosanitaires et économiques et concerne dans un premier temps l'ananas et la tomate.

Des liens importants sont établis avec le pôle Protection des Plantes, le pôle Agroalimentaire pour les aspects de conservation des produits végétaux et le pôle Agronomie Durable et Environnement pour les aspects environnementaux.

M. Jannoyer

Fonctionnement de la plante

Amélioration de la production du manguier

Ce programme s'articule autour de trois opérations du projet 1 du pôle Fruits Maraîchage et Plantes Aromatiques.

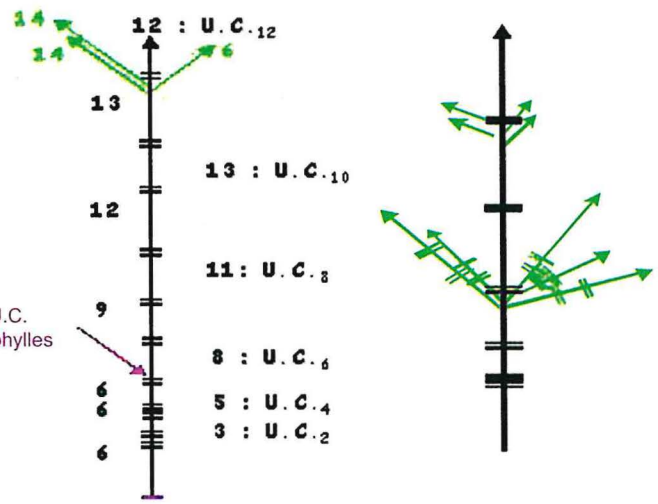
Déterminisme de la floraison :

A la Réunion, la température reste le facteur inducteur prépondérant de la floraison (l'hypothèse est que des températures plus fraîches provoquent un arrêt de croissance végétative, propice à l'accumulation de réserves et au déclenchement de la floraison). Cependant, des études récentes montrent que le stress hydrique peut aussi jouer un rôle dans la mise à fleur.

Une des difficultés majeures est de caractériser l'état hydrique de l'arbre. Le manguier possède des canaux laticifères, et la présence de latex vient masquer la lecture du potentiel hydrique lorsque la mesure est réalisée à la chambre de pression. Cependant, des mesures effectuées par psychrométrie confirment un potentiel élevé maintenu par l'arbre (-5 bar).
De plus, de faibles variations de diamètres de branche (amplitude de contraction diurne maximale de 10µm) montrent que les variations de teneur en eau du rameau à l'échelle de la journée sont faibles et que l'arbre a une forte capacité de régulation des pertes en eau (transpiration contrôlée par fermeture stomatique). Ces premiers éléments caractérisent un comportement isohydrique du manguier.

Les premières analyses de l'architecture du manguier montrent qu'au cours des premières phases de développement, plusieurs unités de croissance se mettent en place (polycyclisme), que la ramification est immédiate et acrotone et qu'elle est vigoureuse, la floraison est alors uniquement terminale sur des plants greffés. Au cours du vieillissement, le mono (ou bi) cyclisme s'installe, une à deux unités de croissance sont mises en place chaque année, la ramification devient moins vigoureuse (1 à 2 relais), et chaque rameau florifère est de faible longueur et de peu de nœuds. L'observation, à la Réunion, d'une floraison conséquente suivie par une fructification modeste nous a conduit à envisager d'optimiser la relation source/puits à l'échelle de l'arbre en faisant varier le nombre de flushs végétatifs émis et la densité et la longueur des inflorescences. Le suivi de la mise en place des unités de croissance successives et de leur fructification nous permettra de déterminer une séquence type déterminante pour la production.

M. Jannoyer



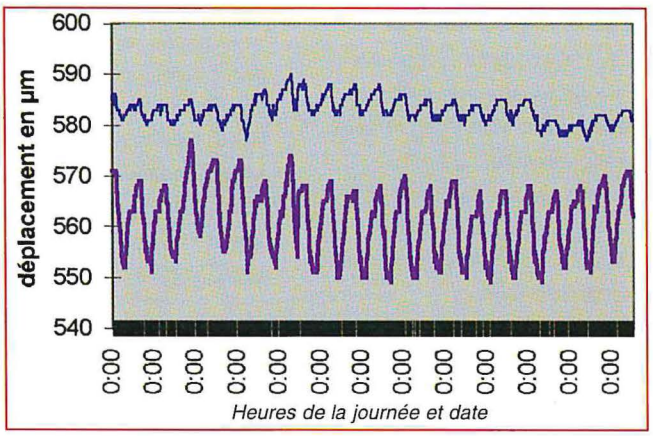
Comparaison entre un plant issu de semis (A) et d'un plant issu de greffe (B)

Hétérogénéité de maturité des mangues dans l'arbre

Suivi de croissance en diamètre de la mangue avec le système Pépista

Photosynthèse et production de carbone chez le manguier

L'ouverture des stomates, qui sont le siège des échanges gazeux, est très limitée chez le manguier. Une faible ouverture stomatique permet de réduire les pertes d'eau par transpiration. Elle est favorable à la survie puisqu'elle permet le maintien d'un état hydrique élevé même lorsque la disponibilité de l'eau dans l'environnement des racines est réduite, ce que nos mesures de potentiel hydrique, de teneur en eau relative et de variations de diamètre de tiges semblent confirmer. Malheureusement une faible ouverture des stomates a également pour corollaire une photosynthèse réduite, c'est-à-dire un potentiel de croissance et de production commercialisable limités. D'autres facteurs semblent aggraver cette situation : l'accumulation de sucres dans les feuilles en raison d'une croissance racinaire insuffisante et une importante perte de carbone par photorespiration. Ce dernier trait expliquerait pourquoi le manguier est capable de survivre sous fort éclairement alors que la sécheresse impose une réduction de l'ouverture des stomates et de l'assimilation du carbone. Il renforce l'hypothèse d'une plante bien adaptée aux régions tropicales sèches et rend compte des rendements très faibles généralement observés chez le manguier. A noter que les mesures de fluorescence de la chlorophylle que nous avons effectuées permettent d'exclure l'hypothèse d'une réduction de la photosynthèse par photoinhibition dans les conditions climatiques de l'île de la Réunion.



Graphique1 - *Variations micro-morphopétriques de charpentière et de rameau végétatif chez le manguier*

Le travail de modélisation de la photosynthèse annoncé dans la précédente fiche se révèle plus complexe que nous ne l'avions initialement prévu mais il s'enrichit de perspectives nouvelles dans la mesure où il pourrait déboucher sur des recommandations visant à améliorer la photosynthèse et le potentiel de production.

L. Urban

Croissance et qualité de la mangue Early Gold :

La production de mangues est en constante augmentation à la Réunion depuis une dizaine d'années. Certains producteurs s'orientent aujourd'hui vers des marchés plus rémunérateurs que ceux de la commercialisation locale (exportation). Ces nouvelles voies de développement exigent cependant une meilleure maîtrise de l'approvisionnement et de la qualité des fruits proposés à l'exportation.

Actuellement, la forte hétérogénéité des calibres des fruits au sein d'un même arbre, la variabilité de la coloration et le manque d'indicateurs du stade de maturité du fruit, sont des contraintes fortes pour le producteur voulant respecter le cahier des charges de l'importateur.

La compréhension des processus de grossissement de la mangue et de l'établissement de sa qualité sur l'arbre, en intégrant le fonctionnement du fruit et les relations avec le milieu, sont des préalables à l'élaboration d'outils de prévision de récolte pour le producteur. Ils permettront aussi :

- de déterminer la date de récolte optimale du fruit pour une qualité déterminée selon le marché destinataire,
- d'affiner certaines techniques culturales pratiquées de manière systématique et non raisonnée,
- de contrôler certaines phases de sensibilité du fruit pendant son grossissement (carbone, eau),
- de mieux gérer l'écoulement de la production de mangues soit sur le marché local, soit pour l'exportation, par une récolte programmée.

Cette opération a débuté en octobre 2000.

M. Lechaudel

Dégâts de lépidoptère des annones.
(Photo : F. Le Bellec)

Pitahaya, système de culture sur "table de récolte".
(Photo : F. Le Bellec)

*Pitahaya associée à l'*arachis pintoï
(Photo : F. Le Bellec)

Evaluation et valorisation du matériel végétal

Valorisation d'espèces et variétés fruitières tropicales et subtropicales

Cette opération propose d'une part des spéculations originales pour diversifier la production, en développant notamment une gamme plus large de variétés (agrumes, litchi, atte, longani...) offrant d'une part, des propriétés nouvelles (précocité/tardiveté, pomologie, tolérance aux maladies...) et d'autre part, des itinéraires techniques adaptés plus respectueux de l'environnement (gestion agro-environnementale parcellaire, respect de la faune auxiliaire ...). La validation d'une stratégie de lutte raisonnée contre les ravageurs des annones en est l'illustration parfaite (collaboration étroite FDGDEC).
Grâce à la détermination des principales périodes de dégâts par rapport aux cycles de culture et des ravageurs, une stratégie de lutte contre les lépidoptères des annones a pu être mise au point : a/ Vide sanitaire après récolte (taille, ramassage des fruits à terre...) ; b/3 traitements insecticides + fongicides (de type Benlate®, bénomyl) : 1 après la floraison (de type Tamaron®, méthamidophos), 1 durant le grossissement fruit (de type Bactospeine®, bacillus) et le dernier en fin de grossissement du fruit, 10-15 jours avant récolte (de type Décis®, deltaméthrine). Cette lutte raisonnée permet de maintenir à un niveau supportable les dégâts des ravageurs des annones, et peut se substituer aux pratiques actuellement constatées chez les producteurs, à savoir des traitements insecticides tous les 8-10 jours pendant toute la période floraison/grossissement des fruits (soit de novembre à juin).

Deux nouveaux systèmes de palissage (table de récolte et pan incliné) sont actuellement testés sur pitahaya. Cette étude a été initiée pour supplanter l'actuel tuteur d'acquisition difficile (poteau télécoms). Ces systèmes sont composés de matériaux de construction disponibles localement. Ils ont pour objectifs d'augmenter les densités de plantation (optimisation de la parcelle) et de faciliter les travaux de taille, de palissage, de fécondation et de récolte (système "verger piéton"). Une plante de couverture pérenne (Arachis pintoï) est également associée à ces systèmes. Deux formations d'agriculteurs aux techniques de production de la pitahaya (reconnaissance des clones, pollinisation, conduite...) ont été dispensées en relation avec la Chambre d'Agriculture.

Le suivi commercial des premières récoltes importantes de pitahaya a permis de confirmer les résultats d'une enquête consommateurs menée sur le marché du Tampon.
La pitahaya est très appréciée des consommateurs. La clientèle est fidèle. Le prix accepté par les consommateurs est de 30F/kg. Côté marchands, ces derniers apprécient particulièrement la pitahaya car elle se conserve facilement et est naturellement attractive sur l'étal. L'édition et la diffusion d'une fiche produit pitahaya a permis de compléter la promotion de ce nouveau produit notamment lors du "Salon régal" de Saint-Denis et de "Miel Vert" au Tampon.

F. Le Bellec

Plants-mères en production de stolons.

Fraisimottes® repiquées prêtes à planter.

Agronomie des fruitiers tempérés

Fraise

Production locale de plants de qualité

Compte tenu des problèmes rencontrés par les producteurs de fraises de la Réunion lors de l'approvisionnement en plants frigo en provenance des pépinières spécialisées situées en France métropolitaine (disponibilité des variétés et qualité des plants), il a été demandé qu'une étude soit réalisée pour la faisabilité d'une production locale de plants de qualité.

Le CIRAD et le CIREF ont collaboré avec l'ARMEFLHOR pour la mise en place d'une pépinière expérimentale de production de plants selon la technique "Fraisimotte", et pour l'évaluation sur le terrain de la productivité de ces plants.

Huit variétés sont testées (Camarosa, Chandler, Cigaline, Cirano, Mara-des-Bois, Seascape, Selva, et Sequoia).

La technique consiste à cultiver les pieds-mères hors sol pour la production de stolons. Cette phase de production de stolons dure de 6 à 8 mois. Les stolons sont ensuite repiqués en plaques alvéolées sur tourbe stérile. Ils sont prêts à être mis en champ après 3 semaines en pépinière.

Le site de Saint-Pierre a été choisi pour la production de stolons : les températures plus élevées permettent une plus grande productivité en stolons, en évitant la concurrence de la production de fruits.

Il a été montré que le nombre de stolons produits est variable selon les variétés, mais tout à fait comparable aux résultats obtenus au CIREF en France métropolitaine. Il varie de 30 stolons par pied-mère pour la variété Camarosa à 125 pour la Chandler.

L'évaluation agronomique des mottes a été réalisée sur deux sites, chez des producteurs expérimentés, à Piton-Hyacinthe et à Trois-Bassins.

Les mottes produites ont un taux de reprise en champ voisin de 100%, alors que les plants frigo peuvent subir des pertes importantes.

Le rendement des "Fraisimottes" est égal ou supérieur à celui des plants classiques.
Il reste à rechercher un étalement de la production (essentiellement une production précoce, de janvier à mai) en réalisant une plantation échelonnée de "Fraisimottes".
Pour l'avenir, l'évaluation des nouvelles variétés qui apparaissent sur le marché international doit être reprise sous peine de travailler sur des variétés obsolètes. Il faut toujours être à l'affût de variétés plus productives, tout en étant de plus en plus résistantes aux maladies et aux ravageurs, avec des qualités organoleptiques optimales.

C. Lavigne

TROIS BASSINS			
VARIETES	Poids Commercialisable (g)	Poids non Commercialisable(g)	POIDS TOTAL(g)
CIGALINE	347	81	428
CHANDLER	424	63	488
SEQUOIA	499	97	596
CIRANO	596	50	647
MARA DES BOIS	602	117	719
CAMAROSA	715	58	773

PITON HYACINTHE			
VARIETES	Poids Commercialisable (g)	Poids non Commercialisable(g)	POIDS TOTAL(g)
CIGALINE	321	95	416
MARA DES BOIS	409	60	469
CHANDLER	400	127	527
SEQUOIA	484	96	579
CIRANO	578	82	660
CAMAROSA	717	160	877

Rendements de différentes variétés de fraise dans deux localisations.

Période de sensibilité aux attaques de P. funiculosum

Paillage de feuilles de canne

Paillage de bagasse

Agronomie des fruitiers tropicaux non ligneux

Ananas Victoria

Tâches noires : application d'une solution de pH alcalin après le TIF

Il a été montré en laboratoire que *Penicillium funiculosum*, le champignon responsable des taches noires, ne pousse plus sur un milieu dont le pH est supérieur à 6. Nous avons donc tenté de maintenir un pH élevé dans la rosette du plant, au moment de la contamination.

Chez un producteur particulièrement concerné par les taches noires, une solution de chaux vive magnésienne (pH voisin de 12) est versée dans la rosette de la plante, chaque semaine, entre le TIF et la fin de la floraison vraie, de manière à conserver un pH du cœur supérieur à 8. Outre les analyses classiques (poids de fruit, poids de couronne, brix, acidité), on dénombre les taches noires des trois types (TN, LP, TLP).

On constate que, quel que soit le type de tache noire, le nombre moyen de taches par fruit reste inchangé par rapport au témoin non traité, de même que le nombre de fruits ayant au moins 1 tache. Chez ce producteur, le nombre de fruits ayant au moins 1 tache représente environ la moitié de l'effectif total récolté au cours de cette expérimentation, ce qui signifie qu'un fruit sur deux n'a pas une qualité suffisante.

Cette expérimentation, qui avait semblé efficace en Côte d'Ivoire, n'a donc pas donné de résultats positifs à la Réunion sur Queen Victoria.

Taches noires : équilibre entre cations

Une enquête réalisée à la Martinique avait montré un effet de la teneur du sol en cations K, Ca et Mg, ainsi que leurs proportions respectives dans la somme des cations, sur l'incidence des taches noires.

Après avoir réalisé une expérience non concluante sur la zone de Saint-Pierre, au cours de laquelle les fruits n'ont pas été atteints de taches noires (y compris les témoins), nous avons renouvelé cette expérimentation en zone plus favorable à cette affection.

Chez un producteur de la côte Est, très touché par le phénomène des taches noires, une fertilisation foliaire est appliquée mensuellement, de la plantation au TIF, ou de la plantation à la récolte. On fait varier le rapport entre potassium, calcium et magnésium.

Les apports de K sont de 7.5 ou 15 g/pied/cycle et toujours arrêtés au TIF.

Les apports de Ca sont de 0 ou 4 g/pied/cycle et soit arrêtés au TIF, soit appliqués jusqu'à la récolte. Mêmes doses et fréquences pour Mg que pour Ca.

Au moment du TIF (octobre 2000), des analyses de feuilles montrent que les teneurs des 3 cations dans la feuille D sont bien en accord avec les apports.

A la fin de l'année 2000, les fruits sont en cours de grossissement. La récolte est prévue au mois de mars 2001.

Outre les analyses de qualité (poids du fruit, brix et acidité), il est prévu un dénombrement des taches noires pour chaque traitement.

Culture biologique

Une demande de certains producteurs à vision plus lointaine s'est exprimée pour la production de fruits de culture biologique, destinés aussi bien au marché local qu'à l'exportation.
Nous avons donc mis en place au mois d'août 2000 une parcelle destinée à visualiser les difficultés auxquelles devront faire face les producteurs (enherbement, nutrition, protection phytosanitaire, induction florale).

Bien entendu, aucune fertilisation minérale et aucun traitement phytosanitaire ne sont appliqués.

Une fumure organique (fumier de cheval, Bactor, Végéthumus, ou leurs mélanges, ou un mélange de fumier de bœuf, d'écume de distillerie et de bagasse) est apportée lors de la préparation des billons à une dose de 10 à 40 tonnes par hectare de billon.

Paillage de feuille de vétiver

Paillage des passe-pieds

Les billons sont recouverts de polyéthylène avant plantation, et les passe-pieds sont paillés avec des feuilles de canne à sucre, de la bagasse ou des feuilles de vétiver.

Le Cyperus (zoumine) est dans notre cas la mauvaise herbe la plus présente. Elle colonise les passe-pieds, mais traverse aussi le polyéthylène recouvrant le billon. Elle nécessite un passage mensuel de débroussaillleuse dans les passe-pieds, et un désherbage manuel sur le billon dans les premières semaines de plantation. Les prochaines parcelles d'expérimentation devront être préparées en installant une plante de couverture destinée à supprimer le Cyperus.

On observe la croissance des plants et la qualité des fruits à la récolte (sucre et acidité, tâches noires).

Induction florale par des méthodes non chimiques

Dans l'éventualité d'une interdiction de l'éthéphon pour le TIF en culture biologique, nous avons testé d'autres méthodes de déclenchement de la floraison : enfumage, eau glacée, réduction de la surface foliaire.

Aucune méthode n'a permis d'approcher la performance de l'éthéphon.

La technique de l'enfumage devra être expérimentée à nouveau en utilisant un système de bâches pour concentrer la fumée.

Diversification variétale dans le groupe Queen

Il a été demandé par les producteurs locaux une amélioration de la diversité des cultivars. Nous avons donc introduit 3 variétés appartenant au groupe Queen (Mac Grégor, Mauritius, et Tahiti) en attendant de pouvoir introduire des cultivars plus "exotiques" comme le RL41. Par rapport au Victoria, l'introduction d'autres cultivars de Queen laisse espérer, d'après les observations réalisées à la Martinique, un poids moyen du fruit supérieur (ou plutôt un cycle plus court pour les fruits à l'export), un nombre de rejets plus faible, et une qualité gustative améliorée.

Les cultivars sont arrivés sous forme de vitro-plants en septembre et ont été sevrés immédiatement en les repiquant en plaques alvéolées sous serre de quarantaine et sous ombrière. Ils seront rempotés en pots de 1 litre en début d'année 2001. La mise en champ sera réalisée mi-2001.

C. Lavigne

Variétés	**Victoria** (Réunion)	**Pomaré** (Tahiti)	**Mac Grégor** (Australie)	**Mauritius** (Floride)
Poids du fruit sans couronne (g)	720	981	984	1031
Nombre de rejets par plant à la récolte	Plus de 10	1.7	1.2	1.8
Qualité gustative globale (jury)	Bon	Bon	Très bon	-

Résultats obtenus à la Martinique en 1998/99 en évaluation variétale «ananas»

Start-bac

Systèmes de production intégrés des cultures maraîchères

Amélioration des systèmes de culture de tomate hors sol

Ce thème est réalisé en étroite collaboration avec le "Groupe Cultures Sous Abris" de l'ARMEFLHOR. Par ailleurs, l'année 2000 a surtout été marquée par la construction sur la station CIRAD de Bassin-Martin d'une serre Insect-proof de culture hors-sol d'une superficie de 500 m².

L'essai sur l'existence d'une réserve sur sac Vapogro n'a révélé ni avantage ni inconvénient pour cette pratique.

Une comparaison de différents pilotes d'irrigation a été initiée au cours du dernier trimestre dans la nouvelle serre de Bassin-Martin. Ces pilotes (le solarimètre, le Start-bac et l'évaporomètre) sont analysés par rapport à la conduite traditionnelle réalisée avec un programmateur horaire.

Solarimètre

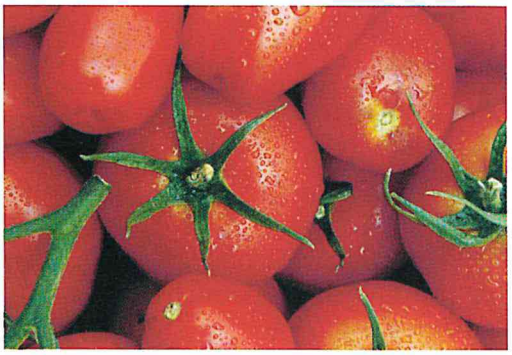
Gestion de l'irrigation et de la fertilisation de la petite tomate de plein champ

Tensiomètre

En 2000, un essai jumelé " irrigation " et " fertilisation phosphorée " a été mis en place. Mais, outre la difficulté de conduire un tel essai croisé, celui-ci a été perturbé par une hétérogénéité inattendue de la parcelle.
Etant donné les mauvaises conditions de réalisation de cet essai, il est nécessaire de reconduire de nouvelles expérimentations sur les mêmes thèmes.

Méthode de lutte contre le flétrissement bactérien de la tomate *(Ralstonia solanacearum)*

Collaboration CIRAD – ARMEFLHOR.
Compte tenu du double problème créé d'une part par la bactériose et d'autre part par le Tomato Yellow Leaf Curl virus (TYLC virus), la mise au point d'une variété répondant à ces deux critères de tolérance est un travail de longue haleine. Aussi, une des voies pour

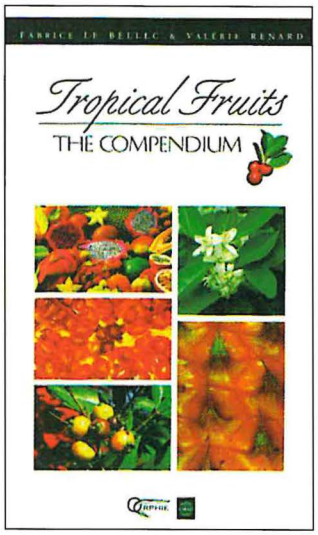


résoudre tant bien que mal ce problème reste le greffage de variétés tolérantes au TYLC sur des variétés tolérantes à la bactériose.
Ce sujet fait l'objet d'une collaboration avec l'Armeflhor.
L'exploitation des résultats de la comparaison variétale est rendue délicate par le fait que de nombreux plants ont cassé au niveau du point de greffe (confirmant le travail restant à faire sur les techniques de greffage).

En matière de greffage, l'intérêt de la bague en silicone comme méthode de greffage sur tomate a été clairement démontré en comparaison avec la méthode traditionnelle.

S.Simon

PUBLICATIONS



• *LE BELLEC F., RENARD V., & BURFORD H. (traductrice) 2000. – Tropical Fruits, the compendium. Coédition : Orphie Editions Saint-Denis (Réunion) / Cirad Montpellier. 190 pages.*

• *LE BELLEC F., 2000. – Chapitre Agriculture Spéciale - Les espèces fruitières d'importance secondaire. 30 pages, In Mémento de l'agronome. Version multimédia, Ministère de la Coopération. Paris, dépôt légal : en cours, 1591 pages.*

• *Publication indirecte : dans le "Guide de Routard – Réunion 2001"*
- Les espèces fruitières à la Réunion, Editions HACHETTE (Paris), 6 pages.

BOURGLAN Y. et COTTINEAU J.S. – Projet pilotage de l'irrigation en culture hors-sol. Document ARMEFLHOR – CIRAD-FLHOR Réunion, 16 pages + annexes.

COTTINEAU J.S. – Influence de la fente de drainage sur l'absorption racinaire. Rapport CIRAD Réunion, 11 pages.

COTTINEAU J.S. et SIMON S. – Comparaison variétale de tomates en vue d'une utilisation comme porte-greffe. Rapport CIRAD Réunion en cours de rédaction.

COUTEAUX Clémentine – La réduction d'intrants en culture de tomates de plein champ à La Réunion : gestion de l'irrigation et de la fertilisation phosphorée. Rapport de stage ENSAIA Nancy, 30 pages + annexes.

GONTIER, E., BOUSSOUEL, N., TERRASSE, C., JANNOYER, M., MÉNARD, M., THOMASSET, B. AND BOURGAUD, F. (2000), Litchi chinensis fatty acid diversity; occurrence of the unusual cyclopropanoic fatty acids, 14th International Symposium on Plant Lipids, Cardiff, 23-28 july 2000.

Agriculture durable, environnement et forêt

Dans une île où développements urbain, agricole et touristique sont en étroite interaction et exercent une pression croissante sur un milieu naturel fragile, il est indispensable de relever les défis d'un développement agricole durable : gestion des déchets, partage équitable de l'eau, préservation de la biodiversité et de la fertilité des sols, conservation forestière, maintien d'un tissu dense d'exploitations agricoles facilement transmissibles, équilibre entre le développement des différents territoires de l'île.

Les recherches conduites au sein du pôle ont pour vocation à comprendre les processus biologiques et économiques en jeu et à définir des indicateurs de durabilité et de multifonctionnalité des systèmes agricoles appréhendés à différentes échelles (parcelle, exploitation, territoire). A partir d'une démarche pluridisciplinaire, cet ensemble de recherches contribue à un diagnostic global et prospectif des dynamiques rurales, utile pour proposer des modes de gestion des ressources et d'aménagement des espaces agricoles et naturels, ainsi que des choix de politiques agricoles cohérents. Les recherches visent une portée opérationnelle, en fournissant des innovations aux professionnels et des moyens d'aide à la décision aux institutions d'appui au monde rural. Dès lors, le partenariat avec les organismes de développement et avec la profession est un élément majeur de la démarche de recherche en intervention que privilégie le pôle.

Ce dernier développe aussi une stratégie de formations professionnelles (Lycée agricole, CFPPA...) et universitaires. Plusieurs opérations sont, en effet, menées en étroite collaboration avec l'Université.

Les connaissances sont aussi valorisées dans des actions de formation et de coopération au sein de la région de l'Océan Indien.

Le Pôle agriculture durable, environnement et forêt concentre ses actions de recherche au sein de quatre thèmes scientifiques :

- la mise au point technique de systèmes de culture innovants (système sous couverture végétale et diversification) qui améliorent la productivité et la fertilité ;
- la gestion des exploitations, la dynamique des territoires ruraux et l'évaluation des politiques agricoles ;
- la gestion des déchets organiques ;
- la conservation de la biodiversité forestière et sa valorisation dans le cadre d'opération de génie écologique.

Une nouvelle opération s'intéresse aux CTE (Contrats territoriaux d'exploitation) et correspond à l'évolution des activités du dispositif de recherche diffusion des Hauts de l'Ouest, l'autre concerne la diversification fruitière dans les hauts humides. L'année 2000 a aussi été l'occasion, dans le cadre du nouveau contrat de plan, de construire une offre de recherche renforcée pour le pôle, qui se traduira en 2001 par de nouveaux axes de recherche et par l'affectation de chercheurs supplémentaires.

M. Piraux

Diversification et systèmes de culture avec couverture végétale

Géranium avec paille de canne à sucre.
(photo A. Chabanne)

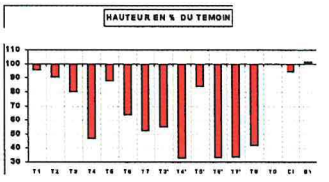


Figure 1 : *Réduction de la croissance du Plantain (Plantago lanceolata) avec arrosage à partir de différentes préparations à base d'avoine (T1 à T8) et exprimée en pourcentage du témoin (T0).*

*Protection et restructuration des sols par l'*Arachis pintoï.
(Photo A. Chabanne)

Contrôle herbicide de Arachis pintoï *autour des arbres dans les vergers d'agrumes*
(Photo A. Chabanne)

Pour le développement d'une agriculture durable, une approche technique permettant de concilier la rentabilité économique et la protection de l'environnement est nécessaire. Ceci constitue l'objet principal de ce projet qui associe la recherche d'une diversification des espèces cultivées, la conception de systèmes de culture innovants et la caractérisation de leurs impacts sur l'activité biologique des sols.

Gestion de la fertilité et amélioration des systèmes traditionnels

La mise au point technique de la gestion agroécologique des systèmes de culture avec couvertures vives et recharges en biomasse sur géranium, cultures maraîchères et fruitières a été poursuivie. Les systèmes de cultures avec paillage du sol permettent de réduire de façon hautement significative les temps de travaux (plantation et lutte contre les adventices) tout en augmentant la productivité. Sur géranium, le paillage du sol permet d'augmenter la production en huile essentielle de 30 % à plus de 70 % selon la fertilité du sol. Un suivi technico-socio-économique a été initié afin de faire un premier bilan de la technique du paillage du sol en grandes parcelles et d'affiner les modalités d'un futur Contrat Territorial d'Exploitation (en relation avec la CAHEB). Sur cultures maraîchères et fruitières, des essais sont en cours d'installation sur le périmètre irrigué de l'Antenne 4. La constitution des collections d'espèces à utilisation alimentaire et fourragère et productrices de biomasse a été poursuivie. Il s'agit de : riz pluvial (70 variétés de Madagascar et du Brésil résistantes au froid et de haute qualité de grains), de 60 variétés fourragères de blé, avoine, orge, triticale, seigle, ray-grass, dactyle, sarrasin, de quelques variétés de brachiaria, vigna, soja, sésame, mucuna, dolique, féverole, pois fourrager, voandzea, haricot (Brésil). Les effets allélopathiques d'une couverture d'avoine ont été démontrés. La décomposition des pailles libère des substances inhibitrices de la croissance d'autres espèces. Les plantes cibles ont un comportement différencié. Des adventices y sont fortement sensibles : *Bidens pilosa, Plantago lanceolata* (figures 1 et 2).

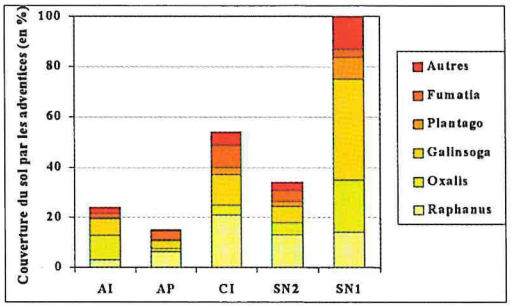
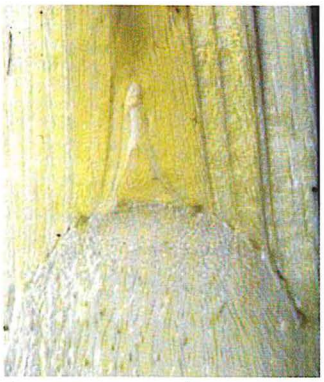


Figure 2 : *Enherbement sur les parcelles conduites en sol nu non sarclé (SN1) et régulièrement sarclé (SN2) comparé à des parcelles avec couverture d'avoine importée (AI) ou produite sur place (AP) et une couverture interne (CI).*

Des plantes cultivées y sont insensibles (haricot) ou bénéficient des restitutions organiques (maïs). Par contre, la tomate et le riz semblent montrer une altération de leur croissance sur couverture d'avoine. Les relations et méthodes d'expérimentation avec les agriculteurs (Association des Planteurs Expérimentateurs des Hauts de l'Ouest) ont été approfondies. La notion d'agriculteur-expérimentateur s'affine. Des contrats avec les agriculteurs seront mis en place pour l'expérimentation mais aussi pour la constitution d'un dispositif de création-diffusion autour de sites "vitrines". La diffusion du paillage sous géranium est en cours. Enfin, la participation au montage et au fonctionnement du réseau "Agriculture Durable Océan Indien" s'est intensifiée. Un avant-projet de création de site Internet a été réalisé. Ce site aura trois fonctions : animation autour de projets communs, diffusion interne de l'information et valorisation internationale du réseau, site "portail" vers d'autres sources d'information.

A. Chabanne



Le cœur du cœur : bourgeon terminal de pejibaye.
(Photo F. Normand)

Diversification fruitière dans les Hauts humides

L'opération de diversification dans les Hauts humides de la Réunion est une opération nouvelle dont l'objectif est de contribuer au développement des Hauts humides de l'île (Est et Sud) par la mise au point d'itinéraires techniques pour des cultures nouvelles de diversification adaptées aux conditions pédoclimatiques et socio-économiques de la zone. Les travaux portent principalement sur la coronille (*Psidium friedrichsthalianum)* et le pejibaye (*Bactris gasipaes*), sur un réseau de parcelles expérimentales chez des agriculteurs.

Les essais en cours sur le goyavier-fraise et les palmistes qui avaient été engagés par l'ancien programme d'expérimentation dans les Hauts de l'Est sont arrivés à terme. Les résultats obtenus depuis plusieurs années sur ces deux espèces et sur les passiflores ont été synthétisés dans trois fiches techniques.

Différence de couleur et de calibre entre des goyaviers-fraises portés par des plants de charges différents. A gauche : charge modérée, à droite charge forte.
(Photo F. Normand)

Le goyavier-fraise

Les travaux ont porté sur la maîtrise des cycles de production et du calibre des fruits. La réduction du nombre de jeunes fruits par éclaircissage des plants très chargés entraîne des conséquences positives durables dans le temps, restant significatives deux ans après l'opération sur les plants éclaircis : meilleur équilibre entre les productions naturelles et de contre-saison ; poids moyens et qualité des fruits plus élevés; rendements totaux annuels équivalents à ceux des plants non-éclaircis. Les retombées économiques concernent la diminution des coûts de récolte et une meilleure valorisation des fruits. Mais l'éclaircissage est une opération demandant ponctuellement beaucoup de main-d'œuvre. Pour tenter de réduire ce besoin, un essai de contrôle de la charge des plants en limitant la pollinisation-fécondation par pulvérisation d'eau durant la floraison a été réalisé. Cette technique n'a pas eu d'effet sur les taux de fructification et a été abandonnée. La récolte de la totalité des fruits sur plusieurs plants âgés de six et sept ans a mis en évidence le potentiel de production très important du goyavier-fraise : 21 kg/plant/an en deux récoltes. Cependant, les récoltes effectives des agriculteurs sont bien en dessous de ce potentiel pour diverses raisons: densité de fruits matures le jour de la récolte, débouchés, main-d'œuvre. La levée de ces points de blocage montre que des rendements élevés peuvent être récoltés (16.5 t/ha/an) et générer des revenus complémentaires conséquents. Mais les récoltes ne représentent que 37% du potentiel de production de la parcelle, ce qui laisse envisager des augmentations importantes des rendements effectifs par une bonne préparation de la récolte (marchés, main-d'œuvre). Cela implique une prévision précise et précoce des périodes de récolte et des rendements. L'appui technique à l'Association Réunionnaise des Producteurs de Goyaviers a été poursuivi.

Maturité des fruits groupée chez le goyavier-fraise.
(Photo F. Normand)

Fin de récolte sur une parcelle de palmistes rouges.
(Photo F. Normand)

Les palmistes

Les traitements des essais "forme chimique de l'azote apporté" et "amendements organiques" n'ont pas d'influence sur le développement foliaire des plants deux ans et demi après la plantation. Par contre, l'apport de matière organique dans le trou de plantation se traduit par une section du tronc des plants à deux ans et demi, paramètre bien corrélé au poids du cœur, plus grande que celle des plants n'en ayant pas reçu. La conduite technique de ces deux essais a entraîné une bonne croissance des plants : les premières coupes ont eu lieu trois ans après la plantation, et la majeure partie des cœurs sera récoltée durant la quatrième année. La phénologie de la floraison du pejibaye a été étudiée sur les quelques plants ayant commencé à fleurir. Deux périodes de floraison se dégagent dans l'année, la plus importante étant en début de saison des pluies. La libération du pollen par les fleurs mâles a lieu en quelques heures, une journée après l'ouverture de la spathe. Elle recouvre partiellement la période de réceptivité des fleurs femelles du même spadice. Mais le niveau d'autocompatibilité des plants semble variable. Ces données ont conduit à réaliser des fécondations contrôlées pour limiter le nombre de fruits parthénocarpiques et obtenir ainsi des graines pour répondre à la demande croissante de plants.

Plant de coronille de 6 ans (6m de haut).
(Photo F. Normand)

Dessication localisée de Brachiaria ruziziensis pour le semis du maïs.
(Photo J-B. Boyer)

Protection et restructuration du sol par lotier.
(Photo J-B. Boyer)

La coronille

Les rendements de cette espèce sont importants à moyenne altitude dans les Hauts humides et sont répartis en deux saisons de production : avril-juin et octobre-décembre.

La filière de transformation s'est développée au cours de l'année avec l'apparition de nouveaux produits mis en marché : gamme de confitures, sorbets, pulpes fraîches et congelées. Parallèlement, des agriculteurs ont fait de nouvelles plantations. La caractérisation physico-chimique et l'étude des phénomènes de dénaturation des arômes et de la couleur de la pulpe lors d'une cuisson ont été poursuivies en collaboration avec le pôle agroalimentaire du Cirad.

F. Normand

Analyse et gestion de la fertilité biologique des sols

Il existe actuellement un grand intérêt pour l'étude des modifications apportées par l'homme à son environnement naturel.
A ce titre, l'étude des conséquences de la diminution de la diversité biologique des écosystèmes a reçu un écho croissant de la part du monde scientifique. Cet intérêt récent est motivé par l'observation des modifications anthropogéniques apportées aux écosystèmes (terrestres et aquatiques) de l'ensemble de notre planète. Dans ce cadre scientifique général, l'étude du rôle fonctionnel de la biodiversité des sols a une importance toute particulière puisque les sols sont le siège de processus fondamentaux à l'échelle des écosystèmes et de la biosphère.

Parmi les nombreux facteurs déterminant la diminution de la fertilité des sols, le dérèglement de l'activité des macro-organismes (invertébrés et racines) et microbienne du sol joue un rôle clé, car il influence à la fois les propriétés physiques et chimiques du sol, les cycles des nutriments et la croissance des plantes.
Les macro-invertébrés (macrofaune) occupent une place importante dans les processus liés à la fertilité des sols.

Les travaux actuellement en cours dans des écologies différentes (Saint-Philippe, les Hauts de l'Ouest et Saint-Pierre) portent sur l'étude des interactions qui peuvent exister entre les pratiques culturales, les macro-invertébrés et la microflore du sol. Les objectifs définis sont :
1) de maintenir la fertilité biologique et chimique héritée de la forêt (forêts secondaires de Saint-Philippe) dans le cas de sa gestion (exploitation partielle, déforestation mécanique ou sélective),

2) de restaurer les peuplements de macro-invertébrés dans des sols érodés par l'érosion et la monoculture de géranium (Hauts de l'Ouest),

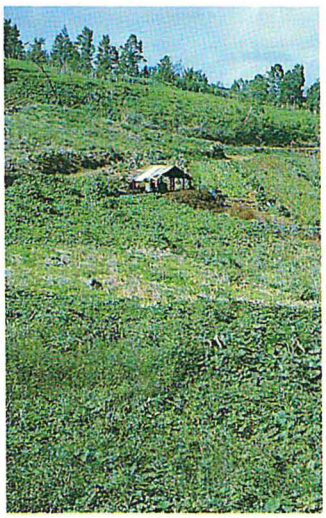
3) de réduire l'utilisation de pesticides et de fertilisants chimiques et organiques (Hauts de l'Ouest et Saint Pierre).

• Les premiers résultats montrent que l'utilisation de couverture végétale vivante (lotier) en association avec la culture de maïs permet de réduire les populations de nématodes phytoparasites, et que l'utilisation de nématicide (Carbofuran) ne semble pas nécessaire.
Lorsque le maïs est cultivé en présence d'une couverture morte (paille d'avoine), nous avons le même type de résultat avec seulement la moitié de la dose conseillée.

• En comparaison avec du maïs cultivé avec une double fertilisation (organique et chimique), on observe une plus grande productivité lorsque le maïs est associé à une graminée (*Brachiaria*) ou à une légumineuse (*Mucuna*).
Les divers traitements appliqués montrent que l'association avec l'une de ces couvertures permet de supprimer l'une des deux fertilisations (organique ou chimique).

• En comparaison avec une forêt (partiellement ou pas exploitée), une perte de la fertilité (chimique et biologique) est observée lorsqu'on pratique une déforestation sélective (manuelle) ou mécanique (bull).
Cette perte est significativement plus importante dans le cas de la déforestation mécanique.

J. Boyer



Exploitation familiale diversifiée dans les Hauts de l'Ouest.
(Photo M.Piraux)

La distillation du géranium dans les Hauts de l'Ouest.
(Photo M.Piraux)

Exploitations, territoires et politiques agricoles

Ce projet s'intéresse à l'évolution et aux conditions de durabilité des petites exploitations familiales et à leurs dynamiques collectives pour partager des ressources, accéder à des marchés ou occuper l'espace. Les recherches conduites portent sur les processus et les perspectives (1) d'adoption des innovations techniques, organisationnelles ou institutionnelles (CTE), (2) de mise en œuvre des projets de développement locaux et (3) d'insertion dans les marchés. Ces recherches s'appliquent aux échelles de l'exploitation agricole, du terroir et des territoires où interviennent des dynamiques collectives, de bassins versants et de l'environnement économique global (marchés et filières, politique agricole).

Durabilité des systèmes de production et aide à la décision

En l'an 2000, les actions du dispositif de recherche -développement des Hauts, menées conjointement avec l'APR, se sont articulées autour : (1) du suivi et de l'évaluation des CTE et des démarches territoriales, (2) de l'analyse des stratégies et des pratiques des agriculteurs et des conséquences sur la gestion des exploitations agricoles.

Les contrats territoriaux d'exploitation (CTE) et les démarches territoriales

Le dispositif a formulé un certain nombre de propositions pour la mise en œuvre des CTE dans le contexte particulier de l'île. L'échelle du territoire et de l'exploitation prise dans sa globalité induisent des changements du contexte d'intervention. Une évolution des démarches de développement doit en découler. Les propositions ont fait l'objet de deux publications. Le dispositif a, par ailleurs, apporté un appui technique et méthodologique à la DAF et à différents porteurs de projet CTE (CIVAM, CAHEB, cellule irrig-ouest). Comme les CTE veulent promouvoir des filières de qualité, une analyse des liens entre produits agricoles d'origine végétale et leurs terroirs d'origine a été menée, en particulier dans les Hauts. Très peu de travaux précisent, en effet, l'existence de tels produits, leurs caractéristiques et leur potentiel de développement. L'étude s'est articulée autour des points suivants :
(1) établir une typologie des produits basée sur leur origine géographique, leur mode de commercialisation et selon les caractéristiques des liens établis selon les 4 axes suivants : "usage et tradition", "lien écologique", "typicité et identité", "image et notoriété" ;
(2) affiner l'analyse de deux couples "produit-terroir" (le curcuma sur la plaine des Grègues et l'artichaut sur le Plate) ;
(3) élaborer une grille d'évaluation permettant de mieux formaliser les méthodes d'appui à ces dynamiques territoriales, notamment au travers des CTE. Les problèmes de gestion collective et de représentation de la qualité sont, à ce titre, des éléments majeurs à prendre en compte.

L'analyse des stratégies, des pratiques et la gestion des exploitations agricoles

Dans ce domaine, différentes études ont été conduites :

- Une typologie fonctionnelle des exploitations en géranium sur l'ensemble des zones de production a été recoupée avec les grands enjeux de développement de ces territoires.
- Une réflexion sur la durabilité des exploitations, prenant en compte leur diversité et la nécessaire diversification des systèmes, a été engagée.
- Des enquêtes plus fines ont permis d'analyser les pratiques traditionnelles et innovantes (plasticulture, paillage naturel du sol) liées à la culture du géranium et leurs liens avec les stratégies des agriculteurs. Des perspectives en terme de CTE filière territorialisée géranium ont été formulées.

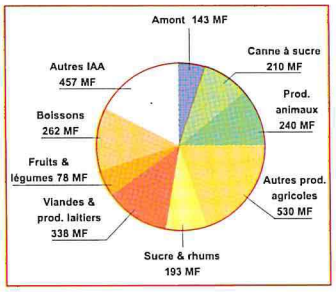


Figure 3 : *Répartition de la valeur ajoutée des secteurs agricole et agro-alimentaire.*
(Hors subventions)
Sources : Insee.Daf Réunion 1998

- Une modélisation d'exploitations des Hauts de l'Ouest à partir des bases de données disponibles et d'enquêtes complémentaires a été faite au travers du logiciel QV (Quatre vents – INRA). Des simulations ont permis d'appréhender l'impact de mesures particulières liées aux projets de l'exploitant, à l'évolution de la situation foncière et de l'environnement économique sur le fonctionnement et les performances des exploitations.
Le risque lié aux différents scénarios a été évalué. L'utilisation du logiciel permet d'apporter une aide à la décision aux agriculteurs et concourt à la représentation de la diversité régionale du fonctionnement des exploitations.

- Concernant les pratiques des élevages de bovins et de caprins au sein des exploitations en polyculture dans les Hauts de l'Ouest, un bilan a été réalisé et une restitution aux partenaires organisée. Des recommandations techniques et des propositions d'amélioration concrètes (en terme de conseil ou de formation) ont été formulées.

- Une étude typologique des Hauts de Saint-Denis a aidé à l'élaboration de diagnostics des dynamiques et des problèmes de développement par zone et par type d'exploitations, destinées à fournir des scénarios prospectifs. Cette étude a permis de dégager les grands enjeux de développement des différents terroirs, au regard notamment des problèmes importants rencontrés : l'urbanisation et le manque d'eau.
Du point de vue de la coopération régionale, une mission a été effectuée à Rodrigues en appui à un projet de l'UE et du CIRAD et une participation active à un séminaire à la Guadeloupe a permis de présenter l'état des lieux de la mise en place des CTE à la Réunion.
En terme de formation, un atelier d'une semaine a été organisé avec les étudiants du DESS "Sciences et gestion de l'environnement tropical" de l'université de St-Denis sur le thème de la relation agriculture-environnement. Il constitue une expérience pédagogique intéressante qu'il est possible de renouveler pour d'autres publics.

M. Piraux

Économie de la diversification agricole et gestion des organisations

L'opération a été orientée en 2000 vers l'achèvement des analyses sur la diversification fruitière et légumière en traitant d'une part du problème de la compétitivité des productions locales face aux importations et, d'autre part, en appliquant au cas des fruits la démarche de modélisation de la dynamique des prix testée en 1999 pour les légumes. Une synthèse a été réalisée en collaboration avec l'INSEE, sur l'impact économique des diverses filières de production agro-alimentaires intégrant les secteurs amont et aval de l'agriculture.

Structure et performances du secteur agro-alimentaire

L'agro-alimentaire est considéré, à la Réunion, comme un secteur d'activité important et dynamique ; toutefois, cette importance est sous estimée avec la nomenclature officielle qui n'intègre que les entreprises industrielles. L'objet de cette synthèse sectorielle était d'abord, de réévaluer le poids économique du secteur en élargissant le champ à l'artisanat alimentaire et au commerce de gros des produits agricoles (fig 3). Ensuite, il s'agissait d'affiner la structuration du secteur en termes de filières et de niveau de transformation en raisonnant sur une segmentation détaillée des activités. Les données mobilisées par l'INSEE, portant sur plus de 500 entreprises, ont permis de distinguer 20 segments d'activités. Enfin, on s'est intéressé aux performances comparées des divers segments d'un triple point de vue : (1) celui de la performance intrinsèque des industries (croissance, productivité, rentabilité), (2) celui de la dynamique d'ensemble de la filière (répartition de la valeur ajoutée entre les stades de production agricole et de transformation), (3) celui de la satisfaction du marché réunionnais (compétitivité par rapport aux importations). On note parmi les résultats le poids économique croissant des industries de seconde transformation orientées vers l'approvisionnement du marché local.
Les industries sucrières (sucreries et distilleries) ne représentent plus que 15% de la valeur

ajoutée agro-alimentaire en 1998. Alors que la diversification des exportations alimentaires marque le pas, le développement du secteur repose sur le dynamisme de la demande locale et sur la capacité à concurrencer des importations qui détiennent près de la moitié du marché des produits alimentaires transformés.

Étude de la compétitivité des productions de fruits et de légumes face aux importations sur le marché réunionnais

Certains fruits et légumes sont actuellement concurrencés par les importations sur le marché local. Ce sont essentiellement l'ail et l'oignon qui se trouvent marginalisés par leur coût de revient très supérieur au prix des produits importés. D'autres, comme l'orange et la carotte, apparaissent menacés car les importations autrefois saisonnières et complémentaires tendent à s'étaler sur les périodes de production. Enfin, pour la tomate et la pomme de terre dont les importations en frais sont marginales, une concurrence indirecte croissante s'exerce par les produits transformés (conserves et surgelés).

L'accroissement des importations est lié au développement des formes concentrées de distribution (grandes surfaces et restauration collective hors foyer). Ces dernières tendent à instaurer un pilotage par l'aval au sein des filières. Elles imposent des contraintes de régularité des approvisionnements et de calibrage et agréage que les produits locaux ne satisfont pas pleinement. Cette étude analyse l'agencement des circuits d'approvisionnement et les relations entre distributeurs et fournisseurs de fruits et légumes. Si ces relations apparaissent encore assez diverses, la tendance semble aller au renforcement de formes de partenariat entre distributeurs, grossistes et producteurs.

JL Fusillier

Gestion des déchets organiques

L'équipe "Gestion des déchets organiques" (Gdor) du Padef/Cirad Réunion a pour objectif essentiel l'aide à la gestion des flux de biomasse et des transferts de fertilité en agriculture à l'échelle de territoires. Son approche consiste en l'utilisation de modèles de simulation développés à partir de l'analyse des pratiques des acteurs agricoles et d'expérimentations agronomiques. Il s'agit donc d'une approche ascendante, pluridisciplinaire (agronomie, modélisation mathématique et informatique), par laquelle on cherche à représenter et simuler le fonctionnement de systèmes de production en utilisant une variété de méthodes mathématiques ou informatiques (systèmes dynamiques hybrides, systèmes multi-agents, programmation linéaire...).
Ce travail s'inscrit actuellement dans le cadre d'une action thématique programmée du Cirad (ATP 99/60) permettant une collaboration sur trois ans (1999-2001) de l'équipe Gdor avec des équipes de l'Inra, du Cirad et de l'Université de la Réunion.

Bien qu'essentiellement appliquées, à l'heure actuelle, aux effluents d'élevages, on envisage à moyen terme l'extension de nos activités à d'autres types de déchets organiques. Les collectivités locales se tournent, en effet, de plus en plus vers l'agriculture, déjà confrontée à des problèmes aigus de gestion de ses propres déchets, pour valoriser les déchets d'origine urbaine. Au-delà des aspects agronomiques, cette évolution pose de nouveaux problèmes de gestion, par exemple, en termes de complémentarité ou concurrence territoriale entre déchets agricoles et urbains.
La démarche actuelle qui prévaut au niveau des politiques publiques vise d'ailleurs à une approche globale des problèmes de déchets et ce, d'autant plus, dans un contexte insulaire tel que celui de la Réunion. Une réflexion est également menée pour la généralisation de nos méthodes et de nos modèles à d'autres filières où la gestion de réseaux de flux territorialisés intervient (c'est le cas, par exemple, de la collecte de produits agricoles destinés à l'industrie, tels que la canne à sucre.

La représentation de l'information spatiale et la "spatialisation" des modèles par couplage avec un SIG, est également une perspective à moyen terme. Les trois principales opérations de recherche de l'équipe Gdor sont présentées ci-après :

• la caractérisation des flux de matières organiques et la description des pratiques actuelles de gestion des déchets par les agriculteurs ;

• la construction d'outils de modélisation et de simulation de ces flux, permettant l'analyse des pratiques et l'évaluation d'alternatives de gestion ;

• la valorisation agronomique des déchets, par l'étude des processus bio-physico-chimiques (minéralisation, respiration,...) dans le système sol-plante.

Caractérisation des flux et échanges, pratiques de gestion des déchets

Volatilisation ammoniacale après épandage de lisiers

Cette étude a concerné l'épandage (1) de lisier de porc sur mulch de canne à sucre en zone côtière (sols ferralitiques), (2) de lisier de bovin sur prairies d'altitude (andosols). Les premiers résultats sur prairies d'altitude (figure 4), obtenus grâce aux essais menés en collaboration avec la SICA LAIT, montrent une volatilisation très rapide durant les premières heures qui suivent l'épandage. La volatilisation se réduit ensuite considérablement pour aboutir à un départ assez faible d'ammoniac vers l'atmosphère (20% du NH4 apporté). La raison de ce phénomène est le couvert prairial qui jouerait, d'abord, en faveur de la volatilisation par augmentation de la surface d'échange air/lisier, puis, comme ralentisseur par absorption d'azote par le végétal.

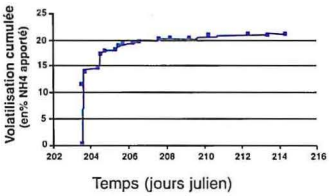


Figure 4 : *Flux cumulé de volatilisation ammoniacale mesuré à la Plaine des Cafres après épandage de lisier de bovins. On constate que le flux, très intense au cours des premières heures qui suivent l'épandage tend à s'estomper après une dizaine de jours.*

Caractérisation de la paille de canne à sucre pour la filtration du lisier de porc

Il ressort des expérimentations que nous avons effectuées sur colonne expérimentale, que la paille de canne non broyée est un très bon support, compatible avec le fonctionnement du procédé de traitement Agrifiltre (brevet Cirad). Elle permet, en effet, d'éliminer environ 90% des MES du lisier à un taux de compaction de 30 kg/m³ et une vitesse de 0,5m/h (contre 85% MES pour la paille de blé à 50 kg/m³ et 0,5m/h). Sa porosité élevée permet de stocker davantage de MES que la paille de blé (2 kg MES/kg paille contre 1,3 pour la paille de blé), ce qui réduit la consommation de paille du procédé. D'autres essais, réalisés avec des déchets verts broyés, semblent prometteurs malgré la grande hétérogénéité de ce matériau.

Modélisation conceptuelle des pratiques de gestion des effluents d'élevage

Cette approche vise à décrire de façon concise les pratiques des agriculteurs sous la forme de "modules", composés de variables structurelles ou de gestion, et de règles de décisions permettant d'attribuer des modalités à ces variables. Elle concerne tant la gestion interne à l'exploitation que les transferts entre exploitations. Deux types de modules permettent de représenter les entités de gestion réelles (figure 5) :

• modules "biotechniques" qui ne comportent que peu de règles de décision (production d'effluents par les animaux, consommation par les cultures, transformation) ;

• modules "décisionnels" (évacuation, stockage, épandage, transferts).

Cette représentation, traduite en langage mathématique ou informatique, sert de base au développement et à l'amélioration des modèles

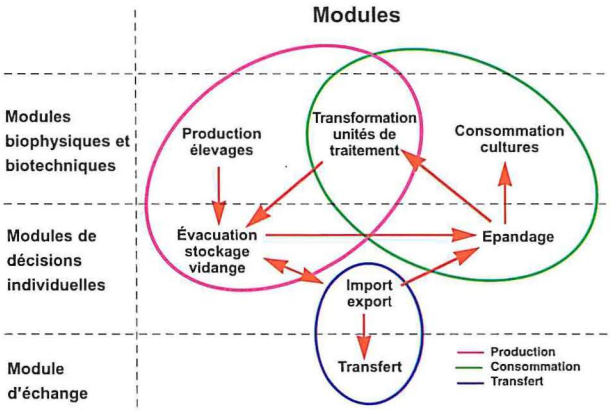


Figure 5 : *Schématisation des modules représentant les pratiques de gestion des matières organiques au sein d'une exploitation*

de simulation Magma (gestion intra-exploitation) et MagmaS (gestion inter-exploitations) ; cf. ci-après.

Jean-Marie Paillat

Modélisation et simulation des flux de matières organiques

Simulation des flux intra-exploitation

Le modèle Magma permet de simuler les flux de production et de consommation (épandage sur les cultures, compostage) des effluents d'élevage au sein d'une exploitation agricole selon ses caractéristiques structurelles (type de production animale, taille du cheptel, assolement, distances, matériel et main-d'œuvre disponibles,...) et les règles de gestion utilisées (détermination des dates et des doses d'épandage, priorités entre activités,...).

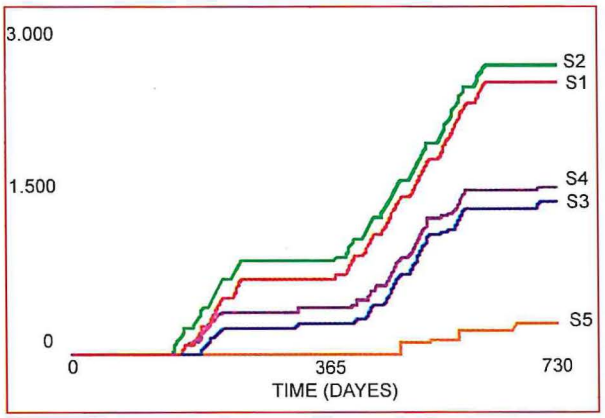


Figure 6 - *Cumul des quantités d'Azote (tonnes N) déversées dans l'environnement selon 5 stratégies de gestion des effluents d'élevage dans un même exploitation. S1, S2 : épandages non fractionnés ; S3, S4 : épandage fractionnés ; S5 épandages fractionnés et compostage à la ferme.*

Il s'agit d'un système dynamique hybride, incorporant à la fois des variables continues (par exemple, les flux) et des variables discrètes (règles de décision, priorités d'action, ...).
Les simulations réalisées avec ce modèle permettent de quantifier, notamment, les quantités d'azote déversées dans l'environnement au cours du temps (figure 6), et les temps de travaux relatifs à la gestion des effluents dans une exploitation quelconque. Inversement, par optimisation, le modèle permet d'évaluer les valeurs des paramètres structurels de l'exploitation ou des règles de gestion qui permettraient de minimiser ces quantités. L'état relativement avancé de ce modèle, dont un début de validation sur cas réels a été réalisé, permettrait, en principe, sa diffusion auprès d'utilisateurs extérieurs (conseillers agricoles) pour tester son utilisation en aide à la décision. Nous avons demandé, pour cela, l'affectation dans notre équipe d'un agronome "système" pour animer un réseau d'utilisateurs.

Figure 7 - *Pièges à CO_2 pour la mesure de la respiration des produits organiques en chambres thermostatées à 20° et 28° C. (Photo P.-F. Chabalier)*

Simulation des flux inter-exploitations

Nous avons réalisé en 2000 le couplage entre le modèle Magma et un système multi-agents, Cormas, développé au Cirad (Montpellier).
Le système résultant, MagmaS, est pratiquement achevé au plan technique. Il permet de simuler les transferts d'effluents entre différentes exploitations représentées dans Magma. Sur ce même sujet, en collaboration avec l'Iremia (Université de la Réunion), nous avons amélioré le système multi-agents Biomas développé les années précédentes à la suite de simulations réalisées sur des scénarios réalistes, inspirés des cas de Grand-Ilet et de la Plaine des Grègues (plusieurs centaines d'agents).
Un nouveau modèle, destiné à simuler des scénarios d'approvisionnement d'unités de transformation des matières organiques gérées collectivement, a également été développé, par l'intermédiaire d'une approche couplant systèmes dynamiques et programmation linéaire.

François Guerrin

Valorisation agronomique des déchets organiques

Ces recherches visent à évaluer la qualité des produits organiques apportés au sol et leur impact sur l'environnement. Elles sont destinées à permettre l'élaboration de "codes de bonnes pratiques agricoles" et proposer des adaptations aux réglementations européennes sur les épandages agricoles, du fait du contexte tropical de la Réunion.

Caractérisation des sols

Une bonne connaissance de la matière organique des sols et de leur potentiel de minéralisation, dû à la microflore, est nécessaire à la compréhension des interactions avec les produits organiques apportés. Huit sols caractéristiques des zones de culture de la Réunion ont été étudiés dans le détail. Outre des analyses classiques, des tests biologiques normalisés de minéralisation et de respiration ont été réalisés en chambres thermostatées (figure 7).

Les résultats définitifs seront disponibles vers la mi-2001. Ils permettront de renseigner les paramètres des modèles de simulation (p. ex. : modèles Mobe5 développé dans notre équipe et Stics de l'Inra).

Caractérisation des produits organiques

L'étude porte sur la mise au point de méthodes standardisées et de tests qui rendent compte de la minéralisation des produits organiques dans les sols. Neuf produits locaux (composts de déchets verts, de litières, de lisiers...) ont subi des analyses complètes, chimiques et biologiques. Les paramètres des cinétiques de minéralisation (figure 8) seront mis en relation avec des caractéristiques physico-chimiques, le but étant de pouvoir prévoir par simulation la dégradabilité des produits sans passer par des tests longs et coûteux.

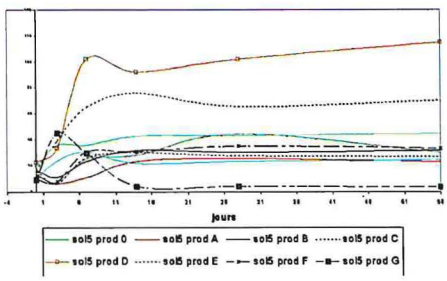


Figure 8 - *Cinétiques de minéralisation de l'azote de différents produits organiques en sol brun à 20° C.*

Phytotoxicité et valeur agronomique des produits

Le but était de mettre au point une méthode adaptée au contexte tropical, dérivée de celle élaborée à l'Inra d'Angers. Pour cela, nous avons étudié deux composts (litière de volaille et écumes de sucrerie), mélangés en part variable avec 2 supports neutres : tourbe blonde et tourbe brune.

La phytotoxicité a été estimée par le taux de levée de graines de tomates. Il en résulte que la levée est plus influencée par les phénomènes physiques liés à l'hydromorphie de certains mélanges avec la tourbe brune, qu'à un réel effet chimique des composts. L'utilisation de la tourbe blonde semble donc préférable. Ce genre de test peut être poursuivi pour estimer la croissance et la biomasse produite et donc la valeur en équivalent-engrais des matières organiques apportées.

Pierre-François Chabalier

Biodiversité forestière et génie écologique

L'année 2000 est une année transitoire qui marque le passage des activités de recherche du domaine forestier cultivé vers le domaine forestier naturel, dans des perspectives de restauration et de réhabilitation écologique.

Reproduction des plantes indigènes

L'analyse bibliographique des expériences portant sur la production en pépinières de plantes indigènes ainsi que celle des expériences portant sur la restauration écologique de milieux naturels a été réalisée en préalable à ce type d'actions. Elles justifient le choix de développer les connaissances locales sur la biologie des semences et l'écologie de la germination.
La phénologie de la reproduction a été étudiée sur trois espèces forestières réunionnaises, montrant notamment le caractère gynodioïque du Tan rouge, non sans conséquences pour la récolte de semences. Les conditions de séchage des graines de cette espèce ont été techniquement améliorées. L'inhibition de la germination a été montrée sur plusieurs espèces mésothermes dans des conditions de température élevée.
Le caractère irrégulier de la production du Petit Natte a été rattaché non pas à une déficience de la floraison mais à un problème de nouaison.
L'étude de la conservation des graines du Petit Natte a montré qu'elles ne survivent pas à une perte de plus de 10 % de leur poids en eau.
L'étude de l'élevage d'espèces indigènes en pépinière a été poursuivie. Une fiche synthétique présentant les techniques de multiplication d'une trentaine d'espèces indigènes a été éditée en 500 exemplaires.

L. Schmitt

Hedychium gardnerianum (Longose).
(Photo J. Tassin)

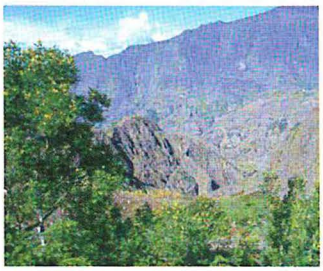
Diagnostic et génie écologique

Le bilan du diagnostic écologique des friches à *Acacia mearnsii* montre en particulier la nécessité d'envisager les invasions en référence au gradient altitudinal et de prendre en compte l'hétérogénéité du milieu pour évaluer les risques d'invasibilité. Il confirme la pertinence d'utiliser l'avifaune comme indicateur de biodiversité.

Une étude réalisée sur le Longose confirme l'impact élevé sur la régénération des formations indigènes, et met en avant une corrélation positive entre la fermeture des peuplements et la densité du Longose. A l'inverse, la richesse du milieu semble, à l'échelle des placettes retenues, opérer comme un facteur de résistance aux invasions de Longose. Des tests en laboratoire ont montré que le Rossignol du Japon, nouvellement naturalisé à La Réunion, pouvait faciliter la dispersion du Longose.

Le diagnostic réalisé sur l'invasion de *Dichrostachys cinerea* (Zépinard de Saint-Leu) montre une extension très rapide des surfaces envahies, et une très forte réactivité phénologique de la plante aux premiers épisodes pluvieux. Enfin, les essais de restauration écologique par semis direct avec utilisation d'hydrosols ont montré que, pour le Bois de Judas mais sans doute pour d'autres espèces, l'apport de ces derniers précipite la germination mais a ensuite un effet dépressif entraînant la mort des plantules.

J. Tassin



Acacia mearnsii (Acacia des Hauts).
(Photo J. Tassin)

PUBLICATIONS

Publications et communications

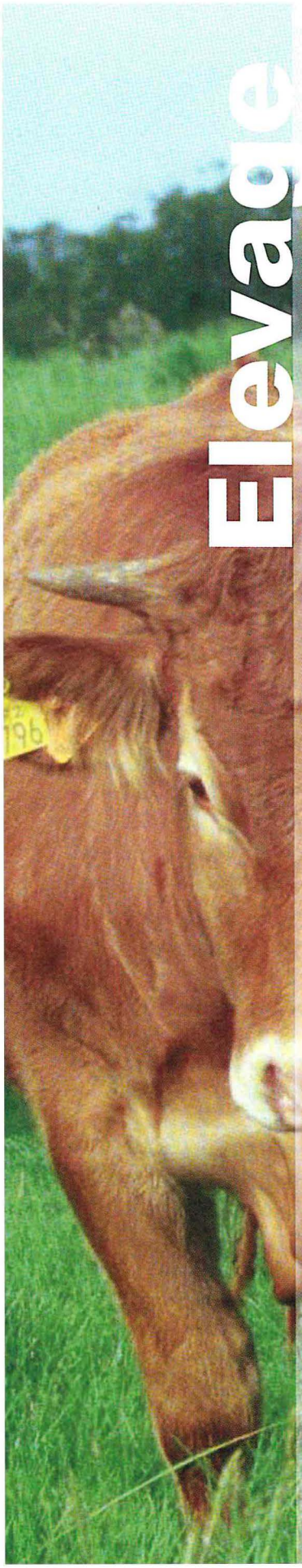
• *FUSILLIER J.-L., DALPHIN A., NEF A. "Structure et performances du secteur agro-alimentaire réunionnais". Revue Economie de la Réunion n°107, INSEE, mars 2001.*
• *GUERRIN, F., 2000a. Simulation of actions to help animal wastes management at the farm level. MCPL'2000, IFACIIFIPIIEEE 2nd Conference on Management and Control of Production and Logistics, 5-8 July 2000, Grenoble (F) ;*
• *GUERRIN, F., 2000b. Magma: a model to help animal manure management at the farm level. Agricontrol'2000, IFAC Conf. on Modelling and Control in Agriculture, Horticulture and Post-Harvest Processing, 10-12 July 2000, Wageningen (NL).*
• *HASSOUN P., PAILLAT J.M., BRUNSCHWIG P., 2000. Les ressources fourragères extérieures à l'exploitation. In : L'élevage bovin à la Réunion – synthèse de quinze ans de recherche, G. Mandret coord., Cirad, collection Repères, p. 209-223.*
• *HASSOUN P., PAILLAT J.M., MANDRET G., BRUNSCHWIG P., BIGOT A., LATCHIMY J.-Y., 2000. Les rations en élevage laitier. In : L'élevage bovin à la Réunion – synthèse de quinze ans de recherche, G. Mandret coord., Cirad, collection Repères, p. 225-247.*
• *MANDRET G., BLANFORT V., PAILLAT J.-M., BARBET-MASSIN V., FONTAINE O., RIVIÈRE E., 2000. L'installation et la fertilisation des parcelles fourragères. In : L'élevage bovin à la Réunion – synthèse de quinze ans de recherche, G. Mandret coord., Cirad, collection Repères, p. 97-127.*
• *MANDRET G., PAILLAT J.-M., BIGOT A., FONTAINE O., LATCHIMY J.-Y., RIVIÈRE E., 2000. Le comportement des espèces fourragères. In : L'élevage bovin à la Réunion – synthèse de quinze ans de recherche, G. Mandret coord., Cirad, collection Repères, p. 65-96.*
• *NORMAND F., QUILICI S., SIMIAND C., 2000: Seasonal occurrence of fruit flies in strawberry guava (Psidium cattleianum Sabine) in Réunion Island: host phenology and fruit infestation. Fruits 55(4) 271-281.*
• *NORMAND F., 2000: The strawberry guava: a new fruit species for humid areas in Reunion Island. Acta Horticulturae (in press).*
• *NORMAND F., 2000: The strawberry guava: a new fruit species for humid areas in Reunion Island. International Symposium on Tropical and Subtropical Fruits, 26/11-1/12/2000, Cairns, Australie.*
• *PAILLAT J.-M., BLANFORT V., 2000. Le fonctionnement des systèmes d'élevage. In : L'élevage bovin à la Réunion – synthèse de quinze ans de recherche, G. Mandret coord., Cirad, collection Repères, p. 165-175.*
• *PAILLAT J.-M., GAILLARD F., 2000. Air-tightness of Wrapped Bales and Resistance of Polythene Stretch Film under Tropical and Temperate Conditions. Journal of Agricultural Engineering Research, in press.*

• *PAILLAT J.-M., HASSOUN P., LATCHIMY J.-Y., BRUNSCHWIG P., LEPETIT J., 2000. La constitution de réserves fourragères sous forme d'ensilage. In : L'élevage bovin à la Réunion – synthèse de quinze ans de recherche, G. MANDRET coord., Cirad, collection Repères, p. 177-208.*
• *PAILLAT J.-M., MANDRET G., 2000. Le dispositif de recherche. In : L'élevage bovin à la Réunion – synthèse de quinze ans de recherche, G. Mandret coord., Cirad, collection Repères, p. 55-59.*
• *PIRAUX M., GUILLUY D. 2000. Contrats Territoriaux d'exploitation et système d'information locale Communication présentée à l'atelier " Système d'information et développement territorial ", CIRAD-TERA, 1 sept. 00 ; Montpellier.*
POUZET D., CHABALIER P.F., LÉGIER P., 2001. Fertilizer recommendations for canegrowers in Reunion Island. 1. Description of an expert system based on soil fertility. ISSCT Congress, Brisbane, Australia. Soumis.
POUZET D., CHABALIER P.F., LÉGIER P., 2001. FERTILIZER recommendations for canegrowers in Reunion Island. 2. Validation and use of an expert system based on soil fertility. ISSCT Congress, Brisbane, Australia. Soumis.

Rapports et notes techniques

AUDRAY M., 2001 (à paraître). Respiration de substrats carbonés. BTS du Lycée agricole de St-Paul.
• *Bourque A., Fusillier J.-L., 2000 " Rapport de mission de réorientation du Projet de Développement des cultures vivrières aux Comores ". Document interne Commission Européenne DGVIII.*
• *CHABALIER P.F., 2000. Synthèse des résultats obtenus sur un essai de fertilisation NPK de longue durée sur une culture de canne à sucre à la Réunion. Rapport Cirad, La Réunion, 18 p.*
• *CHABALIER P.F., CHALUFOUR M., 2000.Caractérisation de sous-produits organiques et étude du pouvoir épurateur des sols à la Réunion. Rapport convention MVAD-Cirad 1999, 80 p. et annexes.*
• *CHABANNE A, BAUDU M., 2000. Proposition de développement d'un système d'information et d'animation du Réseau Agriculture durable Océan Indien. Avril 2000, 20 pages.*
• *CICM-industrie, 2000. Fiche technique sur l'utilisation des cendres de bagasse. 8 p.*
• *DALPHIN A., 2000 Etude des pratiques d'élevage bovin et caprin des petites exploitations diversifiées des Hauts de l'Ouest de la Réunion. Mémoire de fin d'études, ISARA, Lyon, 68 p + annexes.*
• *EVENO M.E., 2000. Rapport de stage de DED (Diplôme d'Etudes Doctorales) de l'Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), " Importance des phénomènes d'allélopathie dans les systèmes de cultures avec couvertures végétales. Impact sur la macrofaune du sol ", octobre 1999 à juin 2000.*
• *FARINET J.-L., 2000. Rapport de mission à la Réunion du 1-9 mai 2000. Rapport Cirad-CA, Montpellier.*
FERNANDEZ C., 2001 (à paraître). Etude de la minéralisation de la matière organique des sols de la Réunion suite à l'épandage de différents déchets organiques. Mémoire d'ingénieur Istom.
GOVINDAMA N., 2001 (à paraître). Tests de phytotoxicité. BTS du Lycée agricole de St-Paul.
• *GUERRIN F., LE GAL P.-Y., LE PAGE C., LETERME P., PAILLAT J.-M., 2000. Compte rendu du second séminaire de l'ATP 99/60, Cirad-Tera, Saint-Denis, 25-31 octobre, 21 p.*
• *GUILLUY D., PÉRINO H., PIRAUX M., 2000. Stratégies cannières dans les exploitations agricoles des Hauts de l'Ouest. Conditions de mise en œuvre d'un programme d'appui au développement de la canne dans les Hauts. Dispositif de recherche-développement des Hauts. CIRAD-TERA, 39/00, 51 p.*
• *HÉLIAS A., 2000. Modélisation et simulation de l'approvisionnement d'une structure collective de traitement d'effluent d'élevage ; cas des effluents porcins de la localité de Grand-Ilet (La Réunion). Mémoire de DAA Agrotic, Agro Montpellier, 69 p.*
• *LAURENS V., 2000. Délimitation et analyse des objets géographiques structurant le secteur nord de la commune de Salazie. Carte synthétique des paysages. Mémoire de DEA, Université Paul Valéry, 66 p + annexes.*
• *LEPETIT J., MICHON A., PAILLAT J.-M., 2000. Mieux gérer les effluents des élevages bovins dans une perspective d'amélioration de la productivité des prairies et de réduction des pollutions. Propositions d'équipements et d'expérimentation. Dossier Région Réunion. Rapport Sicalait, le Tampon, 17 p. + annexes.*
• *MICHELLON R., 2000 CHABANNE A., BAUDU M.. Proposition de CD-Rom multimédia " Conception de systèmes agricoles durables pour les Hauts de la Réunion ". Avril 2000, 9 pages.*
• *MORVAN T., 2000. Rapport de mission à la Réunion du 9 au 17 mars 2000. Rapport INRA, Rennes.*
• *NORMAND F., HUET P., 2000 : Fiche technique goyavier (2ème version). Cirad Réunion, 14 p.*
• *NORMAND F., HUET P., 2000 : Fiche technique palmistes (2ème version). Cirad Réunion, 10 p.*
• *NORMAND F., HUET P., 2000 : Fiche technique grenadilles. Cirad Réunion, 19 p.*
• *PIRAUX M., GUILLUY D., 2000. Les Contrats territoriaux d'exploitation. Compte-rendu de la mission en France métropolitaine. Eléments de propositions pour la Réunion. Dispositif de recherche-développement des Hauts, CIRAD-TERA, 10/20, 38 p.*
RAUX S., 2001 (à paraître). Etude de la minéralisation de déchets organiques dans les sols de la Réunion. Mémoire de fin d'études d'ingénieur ESA Angers.
• *RAZAKANDRETSA R.W., 2000. "Analyse de la dynamique des prix à la production des fruits de la Réunion 1990-1999". Rapport de projet DESS MQME, Université de la Réunion. 20 p.*
• *RICHARD S., 2000. Adaptation du procédé Agrifiltre à la paille de canne à sucre. Mémoire d'ingénieur, Ecole des Métiers de l'Environnement, Rennes, 48 p. + annexes.*
SANSOULET J., 2001. Etude de la volatilisation de l'azote ammoniacal après épandage de lisiers sur sols tropicaux de l'île de la Réunion. Mémoire d'ingénieur, ESA Purpan, à paraître.
• *SORHAITZ E.., 2000. "Compétitivité des filières fruits et légumes frais face aux importations à l'île de la Réunion. Thèse de Master of Science, CNEARC. 61 p.+ annexes.*
• *VIARD G., 2000. Mise à l'épreuve d'un modèle d'aide à la gestion des effluents d'élevage ; validation et potentialités d'aide à la décision en agriculture. Mémoire DAA Sciences animales, Ina-PG, 68 p. + annexes.*

Elevage



Pour faire face aux besoins croissants du marché local en produits d'élevage, d'importants progrès ont été réalisés par les éleveurs bovins réunionnais, tant en élevage laitier qu'en élevage allaitant (augmentation des quantités de lait collecté et du tonnage abattu). Les orientations fixées depuis plusieurs années par les filières de production animale (SICA LAIT, SICA RÉVIA) se traduisent par une intensification des systèmes d'élevage et une professionnalisation de l'activité des éleveurs.

Mais une telle évolution des conditions d'élevage entraîne l'apparition de contraintes zootechniques et sanitaires nouvelles, dans un contexte local aujourd'hui soumis aux normes de production européennes.

Les perspectives d'évolution du contexte économique, leur impact sur la viabilité des exploitations et les problématiques liées à la qualité des productions animales sont des sujets qui préoccupent les professionnels.

A ce titre, ils ont été intégrés dans la problématique générale du pôle Elevage du Cirad.

Ces nouvelles orientations de la programmation, en ce début de contrat-plan coïncident avec de nombreux mouvements de personnel au sein de l'équipe. Il s'agit chronologiquement (1) du départ en formation d'ingénieur jusqu'en septembre 2001 de notre technicienne Olivia Fontaine, (2) de la création d'un poste de VAT pour la réalisation d'un suivi dans les élevages bovins allaitants, (3) de la mise en place d'une opération de modélisation économique dans les élevages bovins de l'île dont l'initiation a été confiée à une agro-économiste du Cirad EMVT, Véronique Alary, qui effectue des séjours réguliers sur l'île, (4) du départ de Philippe Hassoun, nutritionniste de l'Inra, après six années de travail au sein du pôle, et enfin, (5) de la mise à disposition par la Fédération Réunionnaise des Coopératives Agricoles d'un VAT pour la mise en place d'un suivi dans les élevages de caprins.

Les inflexions de notre programmation nous imposent une collaboration encore plus étroite avec les éleveurs, ainsi que des échanges plus forts avec les organismes qui les suivent ou les encadrent. En élevage laitier, le Cirad a su tisser depuis plusieurs années, en collaboration avec la SICA LAIT et l'EDE, un réseau qui forme la base de suivis réguliers, et qui a permis la constitution d'une base de données dans des domaines agro-zootechniques et épidémiologiques. En élevage allaitant, la signature en mars 2000 d'une convention technique avec l'EDE, la SICA RÉVIA et l'UAFP a favorisé la mise en place par le Cirad Elevage d'un suivi plus poussé en exploitation, avec pour objectif d'élargir la base de données en constitution en élevage laitier à l'ensemble des systèmes de production bovins de la Réunion.

Les activités du pôle en 2000 sont fédérées à l'intérieur d'un seul projet, "Amélioration des systèmes d'élevage bovin", et structurées autour de cinq opérations de recherche. Un deuxième projet, qui porte sur l'étude d'autres ruminants élevés à la Réunion, cervidés et caprins, ne sera individualisé qu'à partir de janvier 2001. Cependant, au titre d'utilisateurs de pâturage, ces animaux sont suivis dans le cadre de l'une des opérations du projet actuel.

P. Grimaud

Valorisation des fourrages tropicaux.
(Photo P. Hassoun)

Valorisation des aliments concentrés.
(Photo P. Hassoun)

Durabilité des systèmes d'élevage bovin

Valorisation des ressources alimentaires dans les systèmes d'élevage laitier

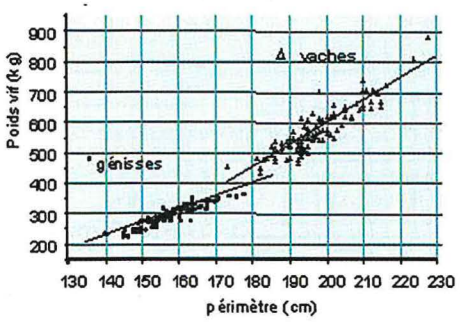
Jusqu'à présent, les pratiques de rationnement ne prenaient pas ou peu en compte la nature des fourrages, ni les besoins des animaux (entretien, déplacements, reprise d'état d'engraissement, croissance des primipares..). Aussi la ration de base fourragère ne couvre t-elle qu'à peine les besoins d'entretien des animaux et quelquefois une petite part de la production laitière.
Dans ce contexte, l'apport d'aliments concentrés est important voire excessif et leur efficacité diminuée.

Tableau 1 : Nature et classe () des différents fourrages et sous-produits en exploitation laitière

Ray grass (B)	Mixte (temp + trop) (B)	Ensilage gram. tempérées (B)
Ray grass (M)	Mixte (temp + trop) (M)	Ensilage gram. tempérées (M)
Dactyle (B)	Liane de patate	Ensilage mixte (B)
Dactyle (M)	Kikuyu (B)	Ensilage mixte (M)
Tempérées (B)	Kikuyu (M)	Ensilage gram. tropicales
Tempérées (M)	Tropicales	Ensilage Chloris
Avoine (B)	Chloris	Maïs ensilage
Avoine (M)	Cannes fourragères	Choux canne
Brome (B)	Canne à sucre (10 mois)	Paille de canne
Brome (M)	Canne à sucre (> 10 mois)	Foin Chloris
		Bagasse

(B) = Bon, (M) = Mauvais

Figure 1 : Relation entre le périmètre thoracique et le poids vif des génisses et des vaches laitières réunionnaises



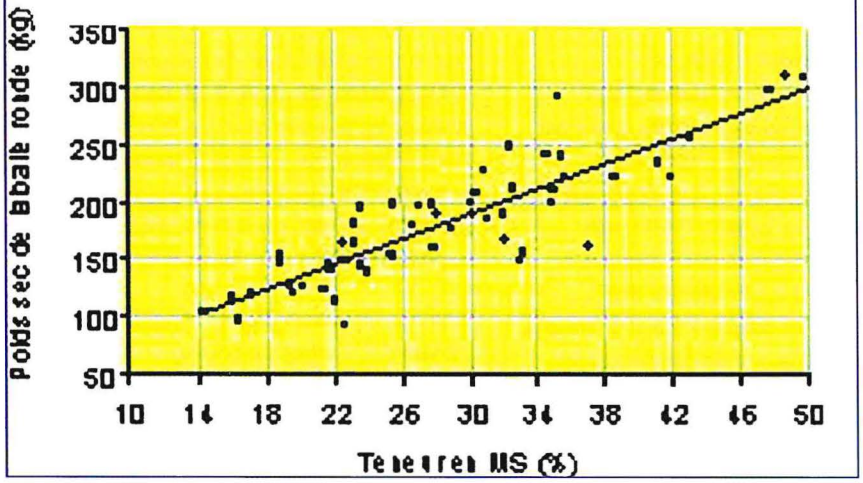
"RATIONVL" un outil pour le rationnement des vaches laitières.

Après plus de 6 années d'actions dans le domaine de l'alimentation de la vache laitière et de la valeur nutritive des fourrages, un système d'approche pratique du rationnement a été conçu. "RATIONVL" est fondé sur la connaissance de la nature et de la valeur des fourrages distribués, les besoins réels des animaux, les pratiques des éleveurs et les contraintes liées aux structures des exploitations et au climat.
Les différents fourrages et sous-produits rencontrés ont été regroupés par grandes classes plutôt que par stade ou âge (tableau 1).
Le poids vif de 107 vaches laitières a été mesuré et permet de connaître les besoins d'entretien. Il est de 537 ± 17 kg pour les primipares et de 600 ± 50 kg pour les multipares. Dans la pratique, les poids peuvent être estimés par la mesure du périmètre thoracique d'après la relation que nous avons établie pour les vaches et les génisses (figure 1.) Les autres besoins des animaux (déplacements, croissance, mobilisation/stockage des réserves) sont intégrés dans le module de calcul.

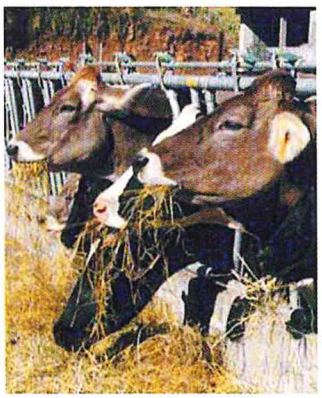
L'ensemble de la démarche du module "RATIONVL" est fondé sur un intervalle de temps qui est celui du contrôle laitier. Il prend en compte le nombre de femelles primipares et multipares, leur stade de lactation et leur production de lait. Il intègre la nature et la qualité des fourrages distribués ainsi que les aliments du commerce utilisés dans l'exploitation. Au final, il permet d'établir une ration de base la plus équilibrée possible en fonction des contraintes de l'exploitation.

Outre les données zootechniques, il impose de connaître les quantités de fourrages distribués et leur qualité. Pour certains modes de conditionnements (balles rondes de foin, de paille ou d'ensilage), les pesées peuvent être évitées. Pour les ensilages enrubannés, une relation a ainsi été établie entre la teneur en matière sèche et le poids total sec (Figure 2).

Figure 2 : Relation entre le périmètre thoracique et le poids vif des génisses et des vaches laitières réunionnaises



Foin de Chloris avant et après traitement à l'ammoniac.
(Photo P. Hassoun)



Ingestion de foin traité à base d'urée.
(Photo P. Hassoun)

Dans d'autres situations (fourrages verts fauchés), la pesée est inévitable.
L'efficacité de cet outil informatique passe par une relation de confiance et une étroite collaboration entre l'éleveur et le technicien qui établit la ration. Il permet également de fournir une base de raisonnement commune pour l'ensemble des personnes intervenant sur l'exploitation.
"RATIONVL" a déjà été transmis aux organismes de développement qui le testent depuis quelques mois avec succès.

Conservation du foin de *Chloris gayana* par un traitement à base d'urée.

En altitude, la conservation du foin sur de longues périodes, et en particulier pendant la saison humide, pose des problèmes car il a tendance à moisir, ce qui diminue sa valeur nutritive, son appétence et peut entraîner des risques sanitaires. Une expérimentation a donc été conduite dans les Hauts de l'Ouest pour conserver une quantité importante de foin en saison humide en prévision de la période de sécheresse.

Près de 460 bottes ont été traitées à 6% d'urée par rapport à la MS finale et 30 % d'humidité finale.

Le foin a été posé sur des palettes, elles-mêmes disposées sur une bâche d'ensilage classique avec laquelle le tas a été fermé. Le foin a été traité en couches successives par aspersion de la solution d'urée à l'aide d'arrosoirs. A la fin du traitement, la bâche a été rabattue hermétiquement sur le tas.
Après 6 semaines de traitement, le tas a été ouvert. Aucune trace de moisissure n'était observable, la couleur du foin était devenue jaune cuivre et il sentait l'ammoniac. Plus de 97% de l'urée avait été dégradée en ammoniac. Le même foin, non traité et stocké à l'abri sur palettes pendant la même période, avait au contraire totalement moisi.
La teneur en azote total ainsi que la digestibilité de la MO ont été améliorées. Après une période de transition de 2 semaines, il a été très bien ingéré par les vaches laitières et n'a causé aucun trouble.
Le coût du traitement a été de 0,61 F / kg MS.
La méthode, simple à mettre en œuvre, nécessite un matériel limité, facile à se procurer et dont le coût est modeste. Le stock de foin ainsi réalisé peut être utilisé en une ou plusieurs fois à plusieurs semaines ou mois d'intervalle. Il faut toujours respecter une période de transition avant et après sa distribution, et le conserver en atmosphère ammoniacale sous bâche.

Conclusion de l'opération

Cette opération, commencée il y a 6 ans, s'est terminée en l'an 2000. Elle a abouti aux principaux objectifs fixés : meilleure connaissance des fourrages réunionnais, connaissance quantitative et qualitative et variabilité des rations des troupeaux laitiers, amélioration de l'alimentation des vaches laitières.
L'outil de rationnement "RATIONVL" qui a été conçu dans le cadre de cette opération, est l'aboutissement de 6 années de suivis en exploitation avec la collaboration étroite des éleveurs et des différents personnels des structures techniques d'encadrement de l'élevage. Tous ont dès lors contribué à la réussite de cette opération.

P. Hassoun

Alimentation et amélioration des performances zootechniques

Pesée des aliments sur l'exploitation.
(Photo P. Hassoun)

Les outils d'aide à la décision issus des recherches sur la gestion des pâturages sont opérationnels dans plus de 80 élevages suivis par l'Union des AFP, à laquelle le Cirad continue d'apporter son appui par la mise à disposition à mi-temps d'un technicien. Depuis 1999, cette opération de gestion raisonnée des prairies a évolué vers une approche plus globale des exploitations, qui prend en compte les performances zootechniques des animaux. Son objectif est de relier les pratiques de gestion des pâturages et la politique de complémentation des bovins aux performances zootechniques des animaux.

Elle tend dès lors vers une approche intégrée des systèmes d'élevage bovin, prenant en compte tous les éléments susceptibles d'influencer l'éleveur ou d'expliquer ses choix.

	UFL	PDI	Ca	P
Moyenne	7,00	400,0	34,9	25,2
Ecart-type	0,57	11,2	0,7	0,3

Tableau 2 : *Besoins d'entretien des vaches laitières (moyenne de 18 exploitations).*

UFL : unités fourragères lait.
PDI : protéines digestibles au niveau de l'intestin.
Ca : calcium.
P : phosphore

Cette étude est conduite dans deux systèmes d'élevage avec des objectifs de production bien différenciés, lait et viande, et doit aboutir à la mise en place de référentiels techniques pour la meilleure adéquation de l'offre alimentaire en fourrage et en complément aux besoins del'animal.

En élevage bovin laitier

La pesée de l'ensemble des constituants de la ration proposée aux vaches en production fait à présent l'objet d'un suivi bimensuel dans 18 des exploitations laitières. A la suite de chacun des passages, les données collectées sont transférées dans le logiciel RATIONVL (cf opération précédente), en parallèle de celles du contrôle laitier qui permet un calcul des besoins de production de l'animal. Une feuille du tableur est réservée au calcul des besoins d'entretien des animaux de l'exploitation.

	UFL	PDIN	PDIE
Moyenne	24,1	30,5	32,6
Mini-maxi	10,2-31,4	12,8-45,9	17,7-45,2

Tableau 3 : *Production de lait permise par l'énergie et les protéines (sur 18 élevages).*

UFL : unité fourragère lait.
PDN : PDI permises par l'azote fermantescible.
PDIE : PDI permises par l'énergie fermantescible.

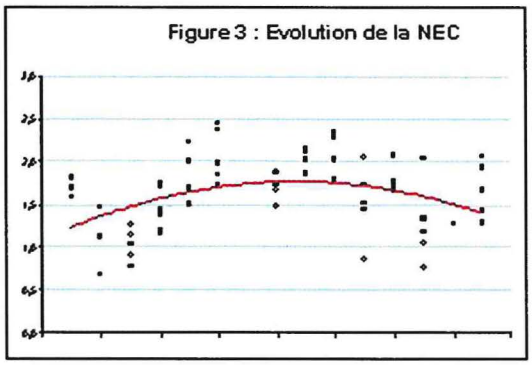
Après 5 mois de suivi, correspondant à 2 ou 3 visites par exploitation, il est possible de dresser un premier bilan de la politique de l'alimentation des vaches laitières dans ces exploitations. Les besoins d'entretien des animaux calculés dans l'ensemble des exploitations sont les suivants :

Ces besoins sont calculés à partir d'un poids moyen des vaches de 550 kg.
Les quantités de lait permises par la ration moyenne pour les vaches en production figurent dans le tableau 3 ci-dessous, où sont particularisées les quantités permises par l'énergie (UFL) et par les sources de protéines (PDIN et PDIE).

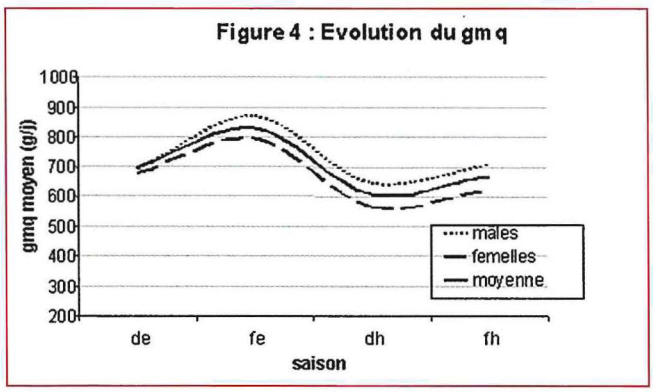
Dans ces mêmes exploitations, la production moyenne de lait est de 19,7 ± 2,7 litres de lait, au taux butyreux de 38,6 ± 2,0 g / litre de lait.
Il ressort de ces premiers résultats que l'alimentation moyenne des vaches en production est forte en regard des données de production laitière. En référence aux moyennes présentées, outre un excès de PDIE par rapport aux PDIN, ces rations présentent un déficit en énergie par rapport aux protéines, ce que confirme l'observation des résultats individuels de 11 des 18 exploitations suivies.
Un point sur l'alimentation doit être fait avec les autres intervenants dans l'alimentation des vaches laitières : avec les techniciens de coopérative, afin de confronter nos observations avec les conseils qu'ils dispensent en élevage, où la part de concentré intervient à 44 % (valeur moyenne des 18 exploitations, avec un écart-type de 10,8), mais également avec l'équipe du Cirad en charge de l'opération exposée ci-après, dont les travaux en matière de statut nutritionnel des vaches en production doivent être mis en parallèle avec les différents aliments ingérés.

En élevage bovin allaitant

Dans l'ensemble des élevages bovins allaitants de l'île, le système fourrager est fondé sur l'utilisation de l'herbe. Les animaux sont conduits toute l'année sur pâturage et leur alimentation est raisonnée sur l'utilisation prioritaire des ressources herbagères naturelles, dans un triple objectif d'utilisation optimale du capital herbe, de pérennisation des ressources et de l'alimentation des animaux. L'allaitement des veaux, la reproduction des femelles et la croissance des broutards se feront au pâturage.



La production fourragère des prairies est fortement dépendante des conditions climatiques à la Réunion : forte production en saison chaude (du 15 novembre au 15 mai), supérieure de 33 à 50 % de celle en saison fraîche, plus sèche et plus froide (du 15 mai au 15 novembre). Cette situation générale masque une diversité à la fois botanique, suivant les variétés fourragères utilisées au pâturage (tempérées et/ou tropicales) et géographique, la saison chaude étant plus humide dans les Hauts de l'Est et la sécheresse de saison fraîche plus forte dans les Hauts de l'Ouest.



Dans ces exploitations où la production est étalée sur toute l'année et où on observe une stabilité du chargement animale le long de l'année, la vache allaitante utilise ses réserves corporelles en hiver et les reconstitue l'été. En général, l'alimentation des vaches allaitantes est uniquement basée sur le pâturage, même en hiver. Une complémentation minimale des vaches est quelquefois pratiquée pour leur permettre de passer l'hiver si la situation est critique.

Un suivi de l'état corporel des vaches adultes a été opéré dans chacune des exploitations, selon la grille mise au point par l'Inra pour les vaches allaitantes. La figure 3, qui présente leur évolution tout au long de l'année, montre une diminution de cette note à partir du mois de juillet. La croissance du broutard est représentée sur la figure 4. Elle montre une augmentation durant l'été (de = début d'été ; fe = fin d'été) et une baisse dès le début de l'hiver (dh).

La croissance des broutards diminue donc en moyenne pendant la période hivernale. Si cette diminution est similaire entre les mâles et les femelles, elle ne l'est pas selon l'âge de l'animal : les veaux sous la mère jusqu'à 4 mois ont une légère diminution de leur GMQ en hiver.

Cette diminution est plus nette pour les broutards âgés de plus de 8 mois : la plus grande part de leur alimentation étant assurée par l'herbe, la baisse générale de la pousse de l'herbe induit une baisse de leur GMQ. En revanche, pour les broutards de 4 à 8 mois, la part de la complémentation sous forme de concentrés dans la ration permet d'atténuer l'effet de la diminution de la pousse de la végétation.

L'intensification animale et fourragère ainsi que l'accroissement de la taille des troupeaux et la spécialisation rendent les systèmes d'élevage de plus en plus vulnérables. Le principal risque est le risque de sécheresse : chaque année, la fin de l'hiver est redoutée par les éleveurs et on peut estimer qu'une sécheresse marquée intervient une année sur deux. Chacune d'elles relance la question des disponibilités fourragères nécessaires, à l'échelle de l'élevage comme de la région d'élevage, sinon pour la survie du cheptel, du moins pour le maintien des performances suffisantes. Les éleveurs suivis ont adopté plusieurs types de sécurités qui sont autant de solutions à mettre en œuvre en cas de sécheresse. Elles ont pu être listées après les entretiens individuels avec les exploitants sur l'analyse fonctionnelle des systèmes d'alimentation, telle qu'elle nous a été présentée par Christine Moulin de l'Institut de l'Elevage lors de sa mission à la Réunion.

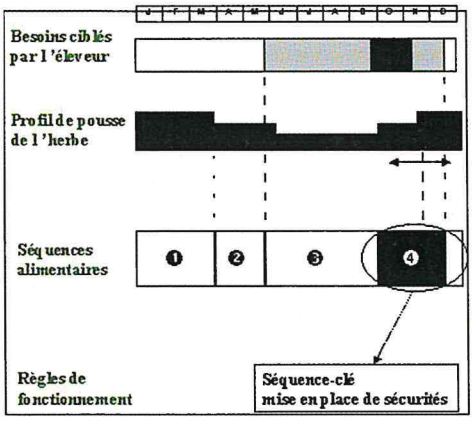


Fig. 5 - Mises en évidence de séquences-clés.

Cette analyse conduit à l'identification de séquences clés pour lesquelles l'éleveur devra mettre en œuvre des processus de sécurisation de son système d'alimentation (figure 5). Parmi ces sécurisations ont pu être particularisées la constitution de stocks fourragers sur pied, en foin ou en ensilage, ou l'utilisation de co-produits de la culture de canne à sucre. Une autre possibilité est de profiter du décalage de la production fourragère, selon un mode d'exploitation parcellaire qui repose sur l'utilisation de zones herbagères plus ou moins délaissées, à production faible ou modérée, correspondant à des surfaces pastorales de type parcours, landes, bois, friches...

Elevages de cerfs sur une exploitation de la côte Est.
(Photo P. Grimaud)

En élevage de cervidés

Les conclusions de l'activité de l'année précédente montraient de réelles contre-performances zootechniques lorsque la densité animale dans les élevages de cervidés était trop élevée. Il se confirme d'après les observations en 2000 que le modèle intensif, tel qu'il est appliqué à la Réunion, n'est pas satisfaisant. Mais peut-être plus que dans le comportement social de l'animal, c'est vraisemblablement dans la technicité des exploitants que l'échec de ce modèle trouve son origine. La création d'élevages semi-extensifs, d'une surface moyenne de 8-10 ha pour un troupeau de 60 à 80 biches, et gérés par des éleveurs formés à ce type d'exploitation, semble représenter la formule qui permettrait de mieux asseoir la filière et de lui trouver une crédibilité auprès des bailleurs de fonds. Une réflexion en ce sens est demandée par la Conseil Régional ; la venue en mission d'un chercheur du Cirad EMVT, spécialiste de l'élevage du cerf rusa, est programmée pour le début de l'année 2001.
L'élevage des cervidés est de mieux en mieux encadré par les services nationaux et régionaux, et le Cirad participe à la constitution des réseaux qui se créent autour de cette production animale ; comme le réseau d'épidémiosurveillance animé par le Groupement Régional de Défense Sanitaire du bétail réunionnais, ou le suivi mis en place dans une exploitation et assuré conjointement avec l'EDE et l'UAFP.
L'un des problèmes majeurs de l'élevage semble lié à la forte mortalité des faons juste après la mise-bas. Cette conclusion résulte des observations en élevage intensif, mais également des rapports d'autopsie des jeunes faons trouvés morts dans les élevages extensifs.

P. Grimaud

Etude des facteurs de risque de l'infertilité en élevage bovin laitier : approche écopathologique

Les facteurs qui sont à l'origine d'infertilité en élevages bovins laitiers demeurent encore mal connus. Le protocole de suivi qui a été mis en place fin 98 dans 23 exploitations laitières (1200 animaux) sur 2 années doit pouvoir à terme (1) hiérarchiser les différents facteurs de risque de l'infertilité identifiés et (2) proposer des plans de prévention adaptés à la situation propre à chaque éleveur.

Actions menées en 2000

La collecte des données de terrain et de laboratoire s'est poursuivie en 2000. A ces données se sont ajoutées les données de production laitière, des analyses sérologiques visant à identifier les causes infectieuses des avortements cliniques, des dosages d'insuline en complément des paramètres biochimiques caractérisant le

statut énergétique (glucose, cholestérol, acides gras libres et betahydroxybutyrate) et enfin des enquêtes sur les pratiques de logement et de traite. Un suivi régulier des plannings fourragers a été mis en place dans les élevages laitiers (cf ph) L'ensemble des informations est structuré dans une base de données relationnelles en cours d'élaboration.

Relation entre profils biochimiques et infertilité

Schéma d'analyse et résultats

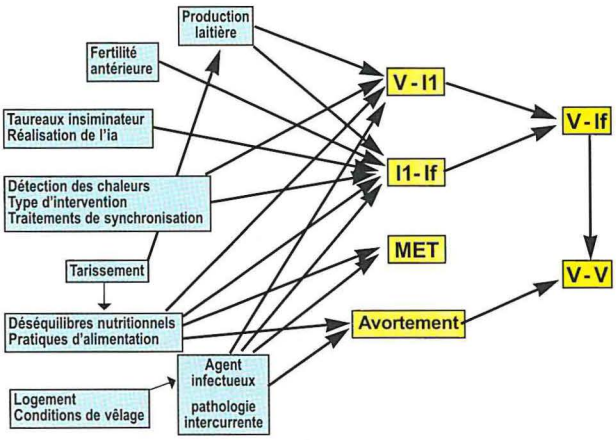
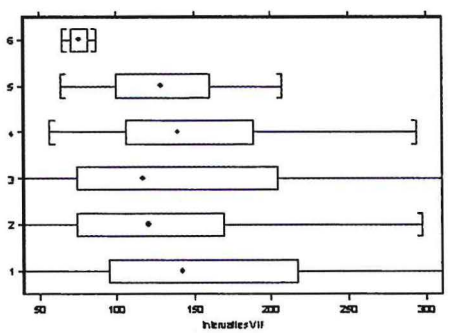


Figure 6 - *schéma d'analyse des relations entre les hypothèses de facteurs de risque d'infertilité et les performances de reproduction.*

Chaque animal fait l'objet de prélèvements de sang dans le mois qui suit le tarissement, dans celui qui suit le vêlage, entre 60 et 90 jours et entre 120 et 150 jours post-partum. Pour chaque stade de lactation, une analyse en composante principale associée à une classification hiérarchique ascendante permet d'identifier des groupes d'animaux présentant un profil biochimique proche. Entre 60 et 90 jours post-partum, par exemple, 6 groupes se différencient (fig.7). Deux d'entre eux présentent des intervalles vêlage-insémination fécondante (VIF) plus élevés. Le groupe 1 présente des concentrations en enzymes hépatiques (GGT, GLDH) et en urée plasmatique élevées, et une concentration en glucose et betahydroxybutyrate faible.

Figure 7 - *distribution de l'intervalle vêlage – insémination fécondante (VIF) pour chacun des 6 groupes.*



Les animaux de ce groupe sont encore à ce stade en déficit énergétique. L'excès conjoint d'azote (ammoniac) est détoxifié par le foie en urée, ce qui, associé à la stéatose initiale, pourrait entraîner des lésions hépatiques, et, en conséquence une chute des performances de reproduction. Le groupe 4 présente lui une concentration en phosphore, magnésium et albumine faible. Ce type d'approche permettra à terme de mieux cerner le rôle de la pathologie hépatique ou de la couverture minérale dans l'apparition de l'infertilité. D'autres analyses seront effectuées pour prendre en compte l'évolution des paramètres dans le temps au cours d'une lactation.

Organisation hiérarchique des données

On peut structurer les données de reproduction selon 4 niveaux emboîtés les uns dans les autres : la lactation, l'animal, le troupeau et la zone. Des facteurs de risque différents peuvent être identifiés pour chacun de ces niveaux. Les données collectées entre 93 et 96 ont été re-analysées à l'aide de modèle mixtes pour quantifier la variabilité des intervalles vêlage–insémination première (VI1), et insémination première-insémination fécondante (I1IF) à l'intérieur de chacun des niveaux hiérarchiques. La plus grande partie de la variabilité (78 et 90% pour VI1 et I1IF respectivement) reste localisée au niveau lactation. Néanmoins, pour tous les indicateurs, les niveaux d'agrégation animal et troupeau concourent significativement à la variance totale (tableau 4).

Effets aléatoires	VI 1			I 1 I F			RI 1			RI 1 (boot strap)		
	Variance	(s.e.)	%	Variance	(s.e.)	%	Variance	(s.e.)	%	Variance	(s.e.)	%
Région	0.001	(0.002)	0,6	0.000	(0.000)	0	-			-		
Troupeau	0.015	(0.004)	8,9	0.023	(0.010)	4	0.063	(0.029)	1.8	0.063	(0.038)	1.7
Animal	0.020	(0.004)	11,9	0.031	(0.028)	5.5	0.173	(0.082)	1.8	0.272	(0.091)	7.5
Lactation	0.132	(0.005)	78,6	0.516	(0.034)	90.5	1		93,3	1		90,8

Tableau 4 : *proportion de variance à chaque niveau hiérarchique, pour 3 indicateurs différents des performances de reproduction.*

Ces résultats nous indiquent que c'est au niveau de la lactation qu'il faut concentrer les efforts de recherche. Les facteurs de risque "candidats" sont nombreux (déséquilibres nutritionnels entre le tarissement et la fécondation suivante, les conditions de vêlage, la pathologie post-partum, en particulier les atteintes ovariennes et utérines, la production laitière, la maîtrise des cycles...). On confirme également ici que les facteurs structurels (année, saison, origine des animaux, nature de l'intervention ...) ne permettent d'expliquer qu'une infime partie de la variabilité des performances de reproduction constatée pour les 3 premiers niveaux d'agrégation.

Diagnostic de l'infertilité

Les dosages de progestérone à l'insémination artificielle (IA) et à 24 jours post-IA, associés aux dosages de la protéine embryonnaire entre 30 et 45 jours post-IA
permettent un diagnostic précis de l'infertilité. Un dosage de progestérone à l'IA a pu être réalisé pour 2561 IA. Dans 10% des cas, des concentrations élevées en progestérone ne permettent pas d'être sûr de la qualité des chaleurs. 32% des inséminations sur vraies chaleurs ont abouti à une gestation, 10% à une mortalité embryonnaire tardive (MET) et 32% à une non fécondation (NF). Dans 19% des cas, la distinction entre MET et NF n'a pu être établie faute de prélèvement de progestérone à 24 jours post-IA. Les différences entre troupeaux sont importantes. Le taux de gestation varie de 22 à 55%, le taux de MET de 4 à 16% et le taux de NF de 20 à 50% selon les troupeaux.

En marge du suivi, des recherches sérologiques ont été menées sur plus de 100 cas cliniques d'avortement en vue de préciser leur cause infectieuse. La leptospirose (sérogroupe sejroë) et la maladie des muqueuses semblent être les 2 causes infectieuses dominantes (tableau 5). Les avortements cliniques surviennent en moyenne après 90 jours de gestation. Avant ce stade, les avortements passent inaperçus. Pour cette raison, les recherches seront prochainement étendues aux avortements précoces que les dosages hormonaux permettent de repérer. Un protocole additionnel sera également mis en œuvre à court terme pour identifier les causes infectieuses des métrites.

	Nb cas	%	1 agent	%	>1 agent	%
BVDV	20	42,6	4	20,0	16	59,3
Mycoplasma bovis	4	8,5	0	0,0	4	14,8
IBR	5	10,6	3	15,0	2	7,4
Chlamydia psittaci	2	4,3	1	5,0	1	3,7
Fièvre Q	6	12,8	1	5,0	5	18,5
Leptospira hebdomadis	7	14,9	1	5,0	6	22,2
Leptospira sejroë	29	61,7	7	35,0	22	81,4
Leptospira icterohemorragine	0	0,0	0	05,0	0	0,0
Leptospira automnalis	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Leptospira pomona	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Anasplasma marginale	7	14,9	0	0,0	7	25,9
Babesia bovis	1	2,1	0	0,0	1	3,7
Babesia bigemina	9	19,1	3	15,0	6	18,5
Total avortement identifié	47	72,3	20	30,8	27	41,5
Total avortement non identifié	18	27,7				
Total avortement	65	100,0	65		65	

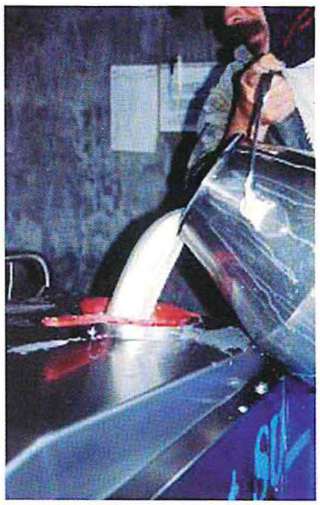
Tableau 5 : *agents infectieux potentiellement impliqués dans les avortements cliniques constatés entre novembre 98 et mai 2000*

Perspectives

Les résultats issus du suivi des performances de reproduction (93-96) et du suivi épidémiologique (95-96) ont été publiés dans un ouvrage de synthèse (Tillard et al. 2000).
Les travaux sur l'identification des sources de variation des performances de reproduction en élevages bovins laitiers ont fait l'objet d'une publication (Dohoo et al., à paraître) et de 3 communications au 9ème congrès d'épidémiologie vétérinaire (ISVEE).

Le suivi des performances de reproduction sera arrêté en juillet 2001. La base de données et l'applicatif de saisie seront achevés et opérationnels avant la fin 2001. Des enquêtes concernant les pratiques de gestion de la reproduction seront effectuées au cours du premier semestre 2001 et viendront compléter les nombreux éléments déjà collectés.

E. Tillard



(Photo P. Hassoun)

Etude des facteurs de variation de la qualité du lait en élevage bovin

Objectifs

Des efforts importants sont déjà menés depuis plusieurs années par la filière pour améliorer la qualité bactériologique du lait. Actuellement, plus de 95% du lait est classé en catégorie A. Récemment, la SICALAIT a mis en place un programme d'actions ambitieux en élevages pour réduire la concentration cellulaire du lait de manière à respecter à terme les nouvelles normes de la réglementation européenne.
Le développement considérable du marché local des produits laitiers et la mise en place à court terme des normes sanitaires européennes justifient la mise en oeuvre d'actions visant à améliorer les aspects qualitatifs du lait à la production, en collaboration étroite avec les partenaires de la filière lait.

L'année 2000 a été l'occasion d'initier cette opération par une analyse préalable des données disponibles à la Réunion en matière de qualité du lait. Le taux butyreux (TB) et la production laitière journalière sont mesurés régulièrement par l'Etablissement Départemental de l'Elevage.

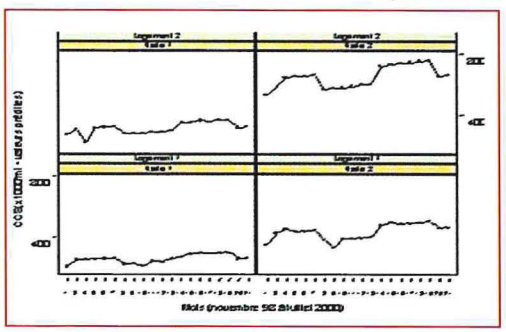


Fig ure 8 - *Evolution de la CCS mensuelle en fonction des pratiques de traite et de logement.*

Dans le cadre du programme "cellules moins", la SICALAIT effectue mensuellement des mesures de la concentration en cellules somatiques (CCS) dans le lait de tank de l'ensemble des éleveurs laitiers. L'objectif de l'étude consiste à établir dans les élevages suivis par le CIRAD les facteurs de variation des taux de matières utiles (CCS et TB).

Les déséquilibres nutritionnels post-partum, certaines caractéristiques zootechniques et sanitaires individuelles (comme la race, le rang de lactation, le stade de lactation, la durée du tarissement et le traitement de prévention des mammites effectué, la survenue et la récidive d'une mammite) et les pratiques d'alimentation, de logement et de traite constituent les hypothèses de travail.

Les enquêtes sur les pratiques de traite et de logement

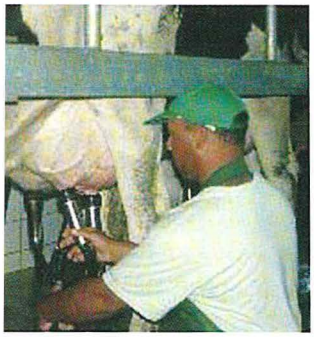
Des questionnaires ont été élaborés avec l'aide des différents intervenants du programme "Cellules Moins", la SICALAIT, les vétérinaires praticiens et la DSV. L'enquête a été menée directement auprès des exploitants.
Des informations sont collectées : pour la traite, la chronologie de l'opération, les personnes l'effectuant, les locaux et installations, et les opérations de maintenance des installations. Pour le logement, des informations sur les différents composants des bâtiments d'élevage, leurs dimensions, la nature et la propreté du sol, l'éclairage et l'aération.

L'alimentation du troupeau

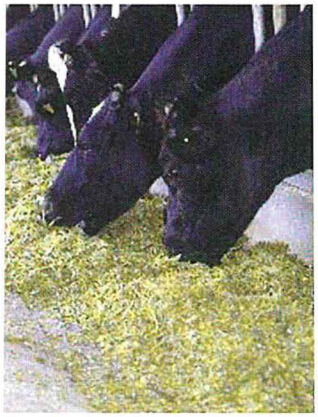
Le suivi des plannings fourragers dans le cadre de l'opération "Alimentation et amélioration des performances zootechniques" dans les 23 élevages du suivi permet aujourd'hui de connaître pour chacun des éleveurs suivis la nature de la ration de base, le poids de chacun des constituants de la ration (concentrés inclus), le rythme de distribution, le moment de distribution du concentré par rapport aux fourrages, et la quantité de concentré distribuée individuellement. On déduit des mesures pondérales des constituants de la ration le rapport C + F moyen pour le troupeau, rapport de la quantité de concentré sur la quantité totale de matière sèche (concentrés et fourrages) distribuée.

La concentration en cellules somatiques (CCS)

Deux groupes distincts d'élevages ont été identifiés pour chacune des pratiques de traite et de logement (notés 1 et 2). La différence de CCS moyenne entre les 2 groupes "traite" est très significative (près de 400 milliers de cellules / ml de lait) (fig. 8).



Hygiène de la traite.
Photo E. Tillard)



Alimentation à l'auge.
(Photo P. Hassoun)

Le groupe 1 est constitué à 100% par des éleveurs utilisant une salle de traite. Les locaux de traite sont fonctionnels et propres. Les installations sont entretenues et l'hygiène de la traite est correcte. Le groupe 2 est constitué à 60% par des éleveurs utilisant un lactoduc en ligne haute. La salle de traite est sale et l'aire d'attente non systématiquement couverte. Les locaux sont inadaptés au nettoyage des sols (sol bétonné) et des mamelles (éclairage défectueux par exemple). Aussi, ces éleveurs accordent-ils moins d'attention à l'hygiène de la traite.

La CCS plus élevée dans le groupe 2 pourrait être liée à la fonctionnalité et la propreté moindre des locaux ainsi qu'à un manque de préparation de la mamelle. Le pipeline se prête moins facilement au nettoyage du sol entre 2 vaches. L'accès à la mamelle et son nettoyage sont moins faciles. Deux des 7 éleveurs de ce groupe appartiennent aussi au groupe de logement 2 (Figure 8) et présentent une CCS supérieure, avec des écarts maximum entre saisons et une augmentation des CCS mensuelles plus nette. Le niveau élevé des CCS constaté chez ces éleveurs, en particulier en saison des pluies, pourrait être lié à la conjonction de 4 éléments : (1) une aire d'alimentation exiguë et sale favorisant une certaine promiscuité des animaux, (2) une souillure plus importante des mamelles, (3) des installations de traite vieillissantes, et (iv) un défaut de nettoyage des mamelles au moment de la traite.

Ces résultats confirment la nécessité de poursuivre les efforts déjà engagés par la filière en matière de modernisation des installations de traite et d'amélioration de l'hygiène de la traite auprès des éleveurs.

Les éleveurs pratiquant un traitement préventif des mammites (seringues intra mammaires) systématique présentent une CCS moyenne inférieure de 130000 cellules/ml de lait par rapport aux éleveurs pratiquant un traitement sélectif (ciblant généralement les animaux ayant extériorisé une mammite pendant leur lactation). Le rang et le stade de lactation, la durée du tarissement et la fréquence des mammites cliniques n'ont montré aucun effet significatif.

Le taux butyreux

L'analyse montre que la variance inter troupeaux et la variance inter lactation représentent une part non négligeable de la variance totale (41 et 29 % respectivement).
La nature du fourrage présente un effet significatif sur les taux. En début de lactation, on note une différence de près de 3 points entre les TB enregistrés sur pâturage de kikuyu ou sur canne à sucre et ceux enregistrés sur graminées tempérées. L'interaction trimestre de lactation - nature du fourrage est significative (p = 0.0166). Le pâturage de kikuyu est associé à une détérioration du TB au cours de la lactation. Au contraire, le TB croit au cours de la lactation avec les fourrages tempérés et les rations à base de canne à sucre (fig. 9).

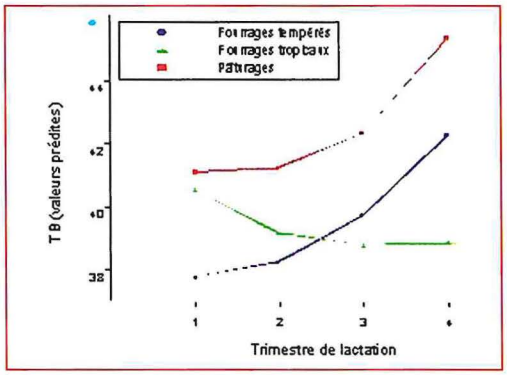


Figure 9 - *Evolution du taux butyreux en fonction de la nature du fourrage distribué.*

Le pâturage de kikuyu est riche en azote comparativement par exemple à la canne à sucre ou à certains ensilages de fourrages verts de graminées tempérées. L'altération du TB pourrait ainsi résulter d'une mauvaise complémentation énergétique des animaux dans le cas de l'utilisation de pâturage de kikuyu. La distribution simultanée des concentrés et des fourrages est associée à des taux supérieurs de 3 points en moyenne. On peut admettre que l'ingestion décalée de concentré et de fourrage entraîne des perturbations de la microflore ruminale. Enfin, le taux butyreux tend, comme cela est généralement observé en élevages laitiers, à diminuer avec la production laitière et à augmenter avec le trimestre de lactation. Les résultats sont également

conformes à la bibliographie quant à l'incidence de la durée du tarissement sur la richesse du lait.

Perspectives

Cette étude confirme la possibilité de mettre en place un guide des bonnes pratiques de traite et de logement, adapté aux caractéristiques des élevages laitiers réunionnais. Les améliorations attendues concernent les systèmes d'alimentation, les pratiques et le matériel de traite, et le logement des animaux. Ces résultats déboucheront à court terme sur la formulation d'un protocole de recherche 2001-2004 plus global visant à préciser l'ensemble des déterminants de la qualité du lait à la Réunion incluant des aspects technologiques et microbiologiques sur la base d'une collaboration étroite avec la filière et les transformateurs.

E. Tillard

Modélisation économique de la rentabilité des exploitations d'élevage bovin

La mise au point d'un modèle dynamique d'aide à la décision, intégrant différentes variantes structurelles, techniques ou économiques, permet la simulation de l'impact de changements du système des aides ou de modifications techniques sur l'évolution des différents types d'exploitation. Cet outil à destination des décideurs ou responsables des filières bovines (SICA LAIT, SICA RÉVIA) et des organismes d'encadrement, doit constituer un instrument d'aide ou de pilotage en terme d'orientation des politiques agricoles locales et de planification.
Une étude approfondie des méthodes d'analyse factorielle sur les données relatives aux exploitations laitières permet aujourd'hui d'envisager diverses voies de recherche et développement en matière de conduite d'une étude typologique de l'utilisation de l'analyse de données comme moyen de mise en place d'un suivi régulier et léger.

Mise en place du système d'enquête

Le système d'enquête proposé a été construit en fonction du matériel de recherche et de développement accumulé sur les élevages bovins à La Réunion depuis une dizaine d'années. Compte tenu du suivi ancien des performances zootechniques auprès de 22 exploitations laitières et de la mise en place d'un suivi alimentaire depuis 1 an au sein du pôle Elevage, il nous est apparu pertinent de reprendre ce lot d'exploitations. Une première typologie d'ordre socio-structurelle sur les premières 18 exploitations enquêtées a été la base d'une première discussion avec les agents de la SICALAIT qui a conduit à une extension de l'échantillon, avec la prise en compte des unités en voie de constitution dans un contexte de forte pression foncière (système proche du hors-sol) et des petites unités qui stagnent depuis une dizaine d'années.
Dans le cadre des élevages bovins de la filière viande, une première enquête a été conduite auprès de 12 exploitations allaitantes et 8 exploitations d'engraissement. Ce premier échantillon a été déterminé à partir des critères de différenciation des exploitations choisis avec les techniciens de la SICA REVIA. Les deux analyses factorielles séparées sur les élevages allaitants d'une part et d'engraissement d'autre part ont été la base de deux typologies qui vont nous permettre d'étendre l'échantillon à une trentaine d'exploitations pour chaque type.

Ce système d'enquête comprend deux passages dans l'exploitation : une enquête préliminaire dont l'objectif est de comprendre le mode et le rythme de constitution du système d'élevage et sa place dans l'exploitation, ainsi que les motivations passées et actuelles des éleveurs ; une deuxième enquête approfondie vise à comprendre le fonctionnement global de l'exploitation. Cette deuxième enquête permet d'approfondir l'analyse du mode de fonctionnement des

types d'exploitations, d'évaluer leur solidité économique et financière en fonction de leur dotation initiale et des formes d'aides reçues, mais aussi de simuler l'impact de différentes mesures de politiques agricoles pour mesurer leur capacité de résistance à des chocs économiques externes ou leur capacité d'intégration des changements techniques.

Approche typologique des exploitations laitières

Les données collectées ont été analysées par une Analyse Factorielle Multiple sur 12 tableaux, chaque tableau représentant un thème ou une facette du fonctionnement de l'exploitation. Sept thèmes ou tableaux permettent de caractériser les structures et l'histoire de l'exploitation ; ont été distingués l'histoire de l'exploitation, le capital (foncier, cheptel et humain), les modes de conduite du système fourrager et du cheptel, le niveau des transactions, les contraintes déclarées des éleveurs et ses projets relatifs à l'élevage ou la famille. Les 5 thèmes économiques isolent la structure des charges d'exploitation, la répartition des charges d'alimentation, les résultats d'exploitations, le bilan et l'endettement.

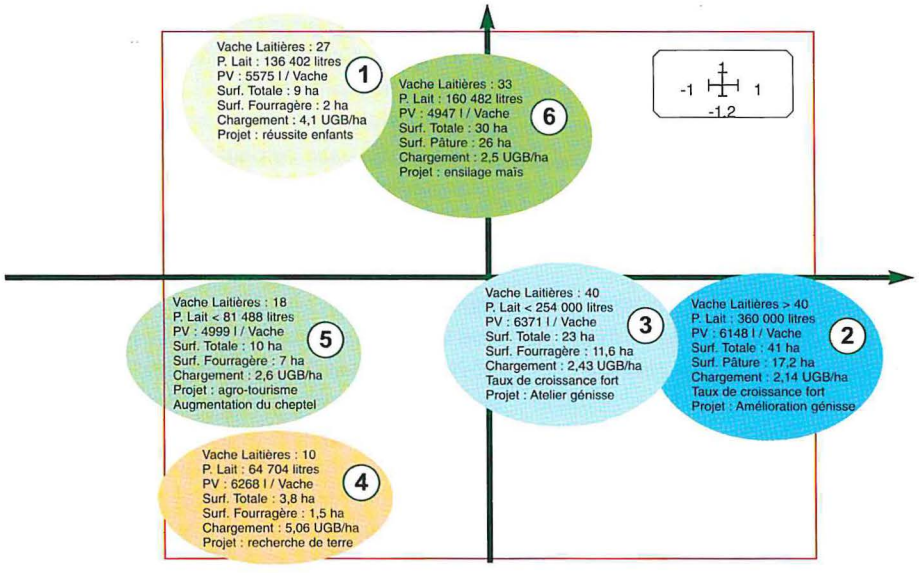
L'analyse des écarts par thème montre le rôle fortement structurant du capital, des transactions et du budget et enfin de la composition du cheptel et du bilan sur le premier Plan Factoriel commun. Trois grands groupes d'exploitations se différencient : deux en fonction de leur structure (et notamment de la taille du troupeau), qui enregistrent dès lors de gros écarts en terme de flux monétaires, que ce soit au niveau des charges ou des résultats d'exploitation ; un troisième de par ses résultats économiques (bonne rentabilité brute d'exploitation) et de sa gestion de trésorerie (maîtrise des charges opérationnelles). Or ce groupe apparaît relativement hétérogène en terme de système fourrager ou de charges d'alimentation, mais non sur le thème "Histoire de l'exploitation". En fait il s'agit d'un groupe d'anciennes structures, qui soit, ont assis une certaine solidité financière, soit, ont acquis une gestion prudente de leur exploitation avec l'expérience.

Cette structuration de la population, qui peut paraître peu originale à première vue (les grandes structures enregistrent les flux monétaires les plus importants, les plus anciennes structures en voie de cession ont une gestion plus prudente ou modérée, etc....), fait apparaître le rôle peu structurant des charges d'alimentation ou des systèmes fourragers.

Une analyse ascendante hiérarchique à partir de l'AFM permet de définir 6 groupes d'individus relativement homogènes qui vont définir les types ou classes d'exploitations laitières (figure 10).

La projection des classes d'éleveurs laitiers sur le premier plan montre une forte opposition entre les classes 3 et 5 et les 4 autres classes sur l'axe factoriel 1. On distingue les grandes et moyennes structures des plus petites, qui se différencient aussi en terme de budget et de résultats du bilan. Les 4 groupes des plus petites exploitations se différencient sur l'axe 2, facteur de l'intensité et des types de transactions, qui pourrait aussi être nommé l'axe des stratégies économiques alimentaires en situation de pression foncière, que cette pression provienne de l'exiguïté des parcelles ou de leurs caractéristiques physiques.

Figure 10 - Typologie d'exploitation : élevage laitier.

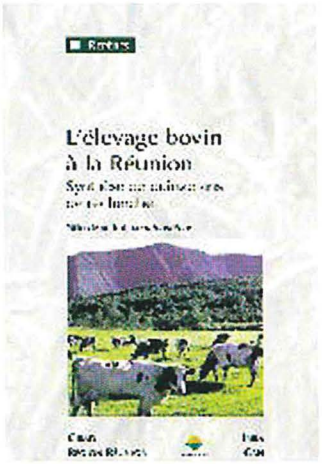


Les perspectives

Cette première analyse typologique nous a donc permis d'identifier et caractériser des groupes d'éleveurs laitiers ayant une certaine

homogénéité sur le plan du capital cheptel et foncier, et des résultats économiques. La simple projection des points moyens de chaque groupe ouvre des perspectives en terme d'analyse de trajectoire. La variabilité intra-groupe pour certains thèmes nous conduit à un questionnement sur les méthodes de traitement des données quantitatives, de découpage et recomposition des modes de fonctionnement des exploitations par les thèmes, etc.
Les types moyens identifiés, après validation auprès des partenaires et notamment de la SICA LAIT, serviront d'exploitations de référence dans le modèle pour les simulations des impacts de changements du système d'aide ou de changements techniques sur la viabilité et la rentabilité des exploitations. Aujourd'hui dans le modèle de programmation linéaire, l'accent a été mis sur les différents itinéraires techniques relatifs au système fourrager et au mode d'affouragement des éleveurs compte tenu de leur objectif de production laitière.

V. Alary



Publications et communications

Ouvrage

BLANFORT, V., HASSOUN, P., MANDRET, G., PAILLAT, J.-M., TILLARD, E.
L'élevage bovin à La Réunion. Synthèse de quinze ans de recherche. collection Repères Cirad, St Denis.

Publications

DOREAU, M., GRIMAUD, P., MICHALET-DOREAU, B. La sous-alimentation chez les ruminants ; ses effets sur la digestion. Productions animales, 247-255.

GRIMAUD, P. Les intoxications d'origine alimentaire chez le cheval. Merens, 17-18.

Communications

TILLARD, E., DOHOO IR., FAYE B., STRYHN H. Use of multi-level models to evaluate sources of variation in the calving to conception interval of dairy cattle, IXth ISVEE, Colorado (USA), 07-11/08/2000.

DOHOO IR., TILLARD E., STRYHN H., Linear and logistic multilevel models applied to evaluating sources of variation in components of the calving to conception interval of dairy cattle, IXth ISVEE, Colorado (USA), 07-11/08/2000.

STRYHN H., DOHOO IR., TILLARD E., HAGEDORN-OLSEN T.. Simulation as a tool of validation in hierarchical generalised linear models, IXth ISVEE, Colorado (USA), 07-11/08/2000.

Rapports de mission

ANGÉ, A., GRIMAUD, P. Aménagement de l'espace rural, infrastructures et systèmes de culture / systèmes d'élevage et mobilisation des ressources fourragères à Rodrigues. Rapport technique de mission, Vakakis-Cirad, 13 p.

GRIMAUD, P. Etude des systèmes d'élevage et de l'utilisation des ressources fourragères à Rodrigues. Rapport technique de mission, Vakakis-Cirad, 37 p.
GRIMAUD, P., THOMAS, P., SAUZIER, J. Gestion raisonnée des prairies dans les élevages de cervidés à l'île Maurice. Rapport de mission. 22 p.

MOULIN C. : Méthode d'analyse des systèmes d'alimentation en élevage bovin allaitant à la Réunion. Rapport de mission. 14 p. + photos.

Rapports de stage

ARIGUE A., Les facteurs de variation de la qualité du lait à la production sur l'île de la Réunion, mémoire de fin d'étude ITA, Ecole Nationale d'Ingénieurs des Travaux Agricoles de Bordeaux, 64p.

PRADELEIX, L., BARANGER, C. Diagnostic agraire et gestion des ressources naturelles dans le cadre de l'aménagement participatif et intégré d'un bassin versant. Ile Rodrigues / République de Maurice. Rapport TERA 96 / 00.

TACHÉ C., Typologie des systèmes d'exploitations laitières à La Réunion, rapport de mémoire provisoire de 3 ième année ISTOM

Autres rapports

ALARY, V. (a). Opération "Modélisation et simulation économique de la rentabilité des exploitations laitières et allaitantes" - Mise en place de l'étude. Rapport CIRAD-EMVT n° 2000-24.

ALARY, V. (b). Compte rendu de mission, "Mise en place de l'enquête économique auprès des exploitants laitiers", CIRAD-EMVT – Programme Productions animales, 18-28 juillet 2000.

BLANCO M., Appui à l'Opération " Modélisation et simulation économique de la rentabilité des exploitations laitières et allaitantes.

HASSOUN P., E., LATCHIMY J. Y. Traitement du foin de Chloris gayana *à l'ammoniac généré à partir de l'urée. Résultats d'un essai en exploitation.*

Protection des plantes

En 2000, le chantier de la construction du pôle de protection des plantes (3 P) s'est déroulé conformément au planning prévisionnel : le gros œuvre s'est achevé en novembre et le bâtiment était couvert et clos fin décembre. Le respect des objectifs au cours de ces 10 premiers mois de travaux permet d'envisager la réception du bâtiment pour octobre 2001.

La concertation entre les organismes fondateurs du 3P a également bien avancé : un projet de convention quadripartite a été rédigé.

Le renforcement des activités s'est poursuivi en 2000 :

un biomodélisateur a été affecté en janvier. Ses recherches devraient déboucher sur des outils d'aide à la décision en protection des cultures. Son activité transversale facilitera les échanges entre projets du 3P mais aussi avec d'autres pôles du CIRAD comme avec le pôle FMA sur le goyavier fraise et le pôle CAS en tant que correspondant SIG.

En septembre a été initié un travail post doctoral sur l'entomofaune des forêts primaires qui permettra une collaboration étroite avec les chercheurs forestiers du PADEF et les botanistes de l'Université de la Réunion.

Cette année, un travail de confortement des acquis et de rapprochement avec nos partenaires a été réalisé, en particulier avec l'Université de la Réunion. Ceci s'est traduit, outre notre implication dans les enseignements de deuxième cycle, par la co-direction de thèses (sur les cinq thèses réalisées au 3P en 2000, deux ont été soutenues à l'UR) et par la mise en place, dans le cadre d'une politique de pôles d'excellence scientifique (CPER XII) soutenue par l'Europe, l'Etat et le Conseil Régional, d'un programme de recherche commun concernant la biologie et les industries alimentaires impliquant le 3P et le pôle agro-alimentaire (PAA) ainsi que trois laboratoires de la Faculté des Sciences.

Avec nos partenaires du secteur agricole, les équipes CIRAD et INRA du 3P se sont fortement impliquées dans les groupes de travail mis en place sous l'égide de la DAF : ver blanc, merle de Maurice (bulbul orphée), bactériose de l'oignon, bactériose de l'anthurium, TYLCV virose de la tomate.

D'autre part, l'arrivée d'un nouveau ravageur *Bactrocera zonata*, la mouche de la pêche, a nécessité un plan d'urgence d'éradication, dirigé par le SRPV, auquel le CIRAD a largement participé. Ces efforts de lutte devront être poursuivis en 2001 car cette mouche était toujours présente en fin d'année.

La qualité scientifique des travaux menés au sein du 3P s'est confirmée cette année par des publications dans des revues internationales de bon niveau. Plusieurs résultats peuvent être soulignés :

- la réceptivité au flétrissement bactérien des sols réunionnais a été analysé ainsi que l'effet des plantes hôtes sur la diversité génétique de l'agent bactérien.

- le rôle de la contamination des semences dans le développement du dépérissement bactérien de l'oignon a été établi,

- le Bulbul Orphée se nourrit en particulier de fruits de pestes végétales d'où son importance dans leur dissémination,

- le contrôle génétique de la résistance au MStV chez le maïs a été pour la première fois déterminé. Des QTL majeurs et mineurs ont été localisés sur la carte génétique d'une lignée réunionnaise.

Les activités de coopération régionale et internationale ne sont pas en reste en 2000. De nombreuses communications dans des congrès internationaux et des missions d'expertises ont été réalisées. Le montage d'un programme régional de protection des végétaux entre les pays de la COI est en phase de faisabilité ; la participation du 3P est particulièrement attendue en termes de gestion et de diffusion régionale de l'information scientifique et technique.

B. Reynaud

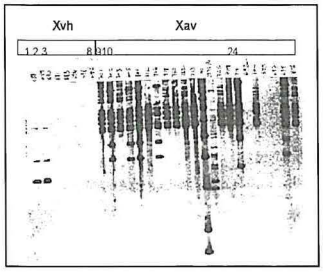


Photo 1 - *Plusieurs souches de Xanthomonas de 2 espèces ont été testées en RFLP (sonde AVR XA 10° ; digestion Bamtt). Pour les Xantomonas vasicola pv. holcicola (Xvh) un premier profil se distingue dans les puits 1 et 2, et un second profil dans les puits 3 à 8. Pour les Xanthomonas axonopodis pv. vasculorum (Xav), on peut différencier 3 profils a) puits 9 b) puits 10 c) puits 24. (photo J. Notaise)*

Pôle 3 P en construction à Saint-Pierre.

Epidémiologie des maladies bactériennes et virales

Les *Xanthomonas* pathogènes de la canne à sucre

Une étude sur le développement de l'échaudure des feuilles suivant l'âge physiologique de la canne à sucre a été menée sous serre tunnel. Cet essai est conduit également au CIRAD Montpellier. L'objectif de ce travail est de connaître, en fonction de l'âge physiologique de la canne à sucre, les réactions de la plante vis-à-vis du développement de la maladie.

L'étude de la diversité génétique et de la variabilité du pouvoir pathogène des *Xanthomonas* pathogènes de la canne à sucre fait l'objet d'un travail de thèse. Il s'agit dans un premier temps de comprendre la diversité génétique et la structure des populations des cinq espèces de *Xanthomonas* pathogènes de la canne à sucre. D'autre part, grâce aux essais en serre et au champ, nous caractériserons la variabilité du pouvoir pathogène de l'agent causal de la gommose (*Xanthomonas axonopodis* pv. *vasculorum*). L'analyse de la corrélation entre diversité génétique et la variabilité du pouvoir pathogène de ces espèces pathogènes de la canne à sucre permettra d'évaluer l'importance des différents groupes génétiques.

La mise au point de nouveaux milieux sélectifs pour les *Xanthomonas* pathogènes de la canne à sucre a pour but de pouvoir isoler spécifiquement les différentes espèces mises en cause. Deux antibiotiques (métronidazole et néomycine) incorporés aux milieux permettent la croissance de tous les *Xanthomonas* pathogènes de la canne à sucre. Les autres bactéries associées en milieu naturel à la canne à sucre ne se multiplient pas sur les milieux contenant ces antibiotiques. De plus, deux espèces de *Xanthomonas* pathogènes de la canne à sucre peuvent être isolées spécifiquement grâce à leur résistance à l'ampicilline incorporée dans le milieu sélectif. Ces milieux sélectifs autorisent la réalisation d'expérimentations dans un environnement non stérile, comme par exemple de travailler sur des bactéries in planta, ainsi que la détection de bactéries présentes à de faibles niveaux. Les derniers tests de validations des résultats sont en cours.

La diversité génétique des souches de *Xanthomonas* pathogènes de la canne à sucre est analysée à l'aide de marqueurs moléculaires neutres ou liés au pouvoir pathogène (*avr*, *hrp*). L'objectif est d'obtenir une image de la structure des populations au niveau de la Réunion, mais également au niveau mondial. Les premiers résultats obtenus par RFLP et par REP-PCR ont révélé un polymorphisme entre les espèces de *Xanthomonas* pathogènes de la canne, mais également, au sein d'une même espèce (Photo 1). A partir de ces résultats, quatre techniques (RFLP, AFLP, RAPD et Box-PCR) ont été sélectionnées pour l'étude complète de la diversité génétique. Les travaux menés en AFLP seront effectués au CIRAD Montpellier.

J. Notaise, L. Gagnevin

Le flétrissement bactérien des solanacées

Les principaux résultats obtenus en 2000 pour ce qui concerne l'écologie de *Ralstonia solanacearum* et l'épidémiologie du flétrissement bactérien peuvent être déclinés en quatre points :
1) Des outils moléculaires (PCR et Nested-PCR) basés sur une amplification spécifique d'une séquence nucléotidique de la zone des gènes hrp ont été appliqués à la détection de *R. Solanacearum* dans les sols.
L'inhibition partielle ou totale de l'amplification dans les extraits de sol, obstacle majeur à une détection sensible et reproductible de *R. solanacearum*, a pu être levée par le choix d'une méthode d'extraction des bactéries appropriée au sol, renforcée par l'addition de substances intervenant lors de la

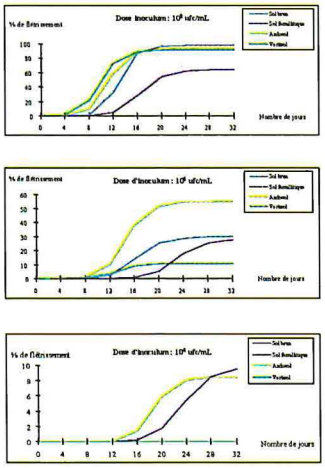


Figure 1 - *Evolution du pourcentage de flétrissement de plants de tomate en fonction du type de sol et de la dose d'inoculation (souche A) après modélisation.*

phase d'amplification (la sérum-albumine bovine ou la protéine P32 du phage T4).
Une comparaison de différentes méthodes d'extraction des bactéries a permis d'en sélectionner une (kit QIAmp) qui confère à la détection par PCR sensibilité et reproductibilité, mais son prix de revient relativement élevé est, pour le moment, un obstacle à une utilisation généralisée.
2) Les différentes méthodes basées sur la PCR et la Nested-PCR ont été comparées pour leur efficacité (sensibilité et reproductibilité) dans la détection de *R. solanacearum* au sein des principaux réservoirs d'inoculum (plantes infectées, semences, eaux d'irrigation et sols). L'efficacité d'une méthode varie selon le réservoir et pour chaque réservoir, une ou plusieurs méthodes sont disponibles. Cependant, la méthode basée sur l'extraction de l'ADN bactérien par le kit QIAmp montre une efficacité élevée quel que soit le réservoir d'inoculum. Le nombre et la nature des étapes requises pour la préparation de l'ADN bactérien et pour l'amplification varient en fonction du réservoir d'inoculum. Elles sont plus nombreuses pour ce qui concerne la détection de *R. solanacearum* dans le sol.

3) Une analyse de diversité génétique de *R. solanacearum* a été engagée sur les populations d'une parcelle dénommée "le vallon", située à proximité du laboratoire et maintes fois utilisée pour des essais de comportement variétal de la tomate en particulier. Sur cette parcelle, qui abrite naturellement "une" abondante population de *R. solanacearum* appartenant à la race 1-biovar 3, et qui manifeste des symptômes de flétrissement dès qu'une plante sensible y est installée, ont été implantés divers hôtes de la bactérie (tomate, poivron, aubergine, piment, tabac, géranium rosat et bringellier (*Solanum torvum*) selon un dispositif expérimental approprié. Un ensemble de 193 isolats extraits des plants en cours de flétrissement ou du sol situé à proximité et identifiés à *R. solanacearum* race 1- biovar 3 a été analysé par AFLP (*Amplified Fragment Length Polymorphysm*), en collaboration avec l'INRA deToulouse. Huit profils AFLP ou haplotypes ont pu être distingués mais leur fréquence est très variable (de 67% à moins de 1%). Leur répartition n'est pas homogène et en particulier les haplotypes minoritaires sont significativement associés à des plantes-hôtes comme le poivron, l'aubergine ou le geranium rosat, ce qui renforce l'hypothèse du rôle de la plante-hôte dans l'apparition de diversité.

4) La capacité des quatre types de sol les plus fréquents à la Réunion (andosol, sol brun, sol ferrallitique et vertisol) à favoriser la survie et la conservation des populations de *R. solanacearum* a été estimée dans une approche expérimentale en conditions contrôlées et portant soit sur un sol nu, c'est-à-dire sans plantes-hôtes, soit sur un sol porteur de jeunes plants de tomate d'une variété sensible. Dans un sol nu, la population bactérienne diminue plus ou moins rapidement selon la nature du sol et aussi selon la souche. Dans un vertisol, la durée de survie est inférieure à 4 semaines quelle que soit la souche ou légèrement supérieure dans un sol brun ou dans un sol ferrallitique. En revanche, dans un andosol, seule la souche de race 1 se maintient au-delà des 6 semaines de l'expérience. Dans un sol porteur de jeunes plants de tomate, la population bactérienne se maintient significativement mieux que dans un sol nu et le délai d'apparition des symptômes ainsi que le taux de flétrissement sont fonction de la souche et de sa concentration mais aussi de la nature du sol. Ainsi l'andosol favorise significativement le développement de la maladie, en particulier pour la souche de race 1, alors que le vertisol le réduit significativement, sauf lorsque la concentration initiale de la population est élevée, auquel cas le taux de flétrissement atteint le niveau de ceux des autres sols. Les sols brun et ferrallitique montrent une réceptivité au moins aussi élevée que celle de l'andosol (Figure 1).

J. Luisetti, S. Poussier

La bactériose de l'oignon

Xanthomonas sp., responsable du dépérissement bactérien, est un agent pathogène largement méconnu. Des études permettant de définir son spectre d'hôtes ont été développées.

Photo 2 - *Isolement de Xanthomonas sp. sur milieu semi-selectif NCTM1 à partir de semences d'oignon cv. Véronique.*
(Photo P. Roumagnac)

Photo 3 -*Dispositif expérimental utilisé pour l'analyse du rôle des semences en tant que source d'inoculum primaire lors d'épidémies du dépérissement bactérien de l'oignon.*
(Photo P. Roumagnac)

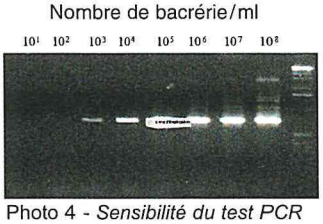


Photo 4 - *Sensibilité du test PCR évaluée sur différentes concentrations bactériennes.*
(Photo I. Soustrade)

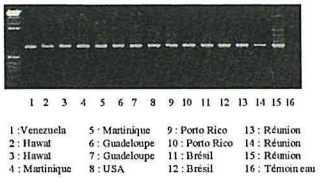


Photo 5 - *Même réponse positive au test PCR pour toutes les souches de X.a. diffenbachiae d'origines géographiques diverses testées.*
(Photo I. Soustrade)

Après inoculation par pulvérisation de souches de *Xanthomonas sp.* pathogène de l'oignon, des symptômes similaires à ceux décrits dans la littérature sur feuilles d'oignon ont été observés sur plusieurs plantes appartenant à la famille des Alliacées (ail, ciboulette, échalote, poireau). Toutefois, les souches sont plus agressives sur l'oignon, hôte d'origine, que sur les autres *Allium* spp. Après inoculation de la majorité des mêmes souches sur des feuilles de haricot, des symptômes morphologiquement proches de la graisse du haricot ont été observés. Nos résultats semblent confirmer des travaux antérieurs réalisés à la Barbade. D'un point de vue épidémiologique, la vérification en conditions naturelles de la présence du haricot dans la gamme d'hôte de *X sp.* reste à réaliser.

La présence dans les semences de *Xanthomonas* sp. a orienté les travaux (1999-2001) sur 1) une étude de l'importance épidémiologique de cet inoculum primaire et 2) la mise au point d'un outil moléculaire de détection de l'agent pathogène. Comme en 1999, l'étude épidémiologique a été axée sur le rôle que jouent les semences contaminées dans le développement d'une épidémie de dépérissement bactérien de l'oignon (photo 2 et 3).
Il a été montré qu'un taux de graines infectées de 4 pour 10000 permet le déclenchement d'une épidémie. L'incidence de la maladie en fin de cycle de culture sur les deux parcelles expérimentales a été respectivement de 8 et 16 %. La distribution de la maladie est agrégée, ce qui indique des infections secondaires (dissémination par les pluies et l'irrigation) à partir d'un nombre limité de foyers primaires (graines contaminées).
Cette étude qui sera renouvelée en 2001 montre que le *Xanthomonas* sp. responsable du dépérissement bactérien de l'oignon est transmissible par semences. Pour confirmer que l'inoculum associé aux épidémies a bien comme origine les semences, une étude de typage moléculaire des souches isolées sur plantes et sur semences sera entreprise en 2001-2002.
Plusieurs fragments d'ADN hautement conservés dans les génomes de sp. ont été identifiés par la méthode RAPD. Ces fragments ont été clonés et leur séquence nucléotidique a été déterminée. L'homologie des séquences obtenues avec des séquences disponibles dans les bases de données internationales a été évaluée.
Si plusieurs des fragments clonés sont homologues de gènes hautement conservés dans les génomes (et n'ont donc pas d'intérêt pour la détection spécifique de la bactérie), deux fragments n'ayant aucun homologue dans les bases de données semblent potentiellement intéressants et ont donc été retenus pour la suite de l'étude.

P. Roumagnac, O. Pruvost

Le dépérissement bactérien de l'anthurium (*Xanthomonas axonopodis pv. dieffenbachiae*)

L'objectif des travaux engagés est la mise au point d'une méthode de détection de *Xanthomonas axonopodis* pv. *dieffenbachiae* basée sur l'amplification génique (PCR). Cet outil de détection, sensible et spécifique permettra d'évaluer de façon plus fiable l'état sanitaire du matériel végétal importé et sera également utile pour certifier indemne de *Xanthomonas axonopodis* pv. *dieffenbachiae* du matériel végétal devant être multiplié à grande échelle. Cette méthode devra également être valide pour les autres régions (en particulier les Antilles) où la maladie est présente. La mise ou point de tels outils à la Réunion pourra faire l'objet d'une valorisation régionale, voire internationale.

La constitution d'une collection de souches de *Xanthomonas axonopodis* pv. *dieffenbachiae* d'origines géographiques diverses, amorcée en 1999 a été largement poursuivie en 2000.
Au total, environ 180 souches de *X. axonopodis* pv. *dieffenbachiae* en provenance des différentes zones où le dépérissement bactérien est présent (La Réunion, Hawaii, Venezuela, USA, Brésil, Porto Rico, Guadeloupe et Martinique) ont été rassemblées.
L'identité de chaque souche a été vérifiée par des techniques sérologiques, couplées, quand cela s'est avéré nécessaire, à des tests de pouvoir

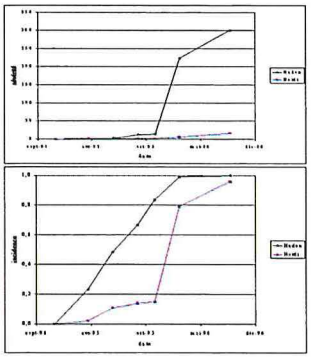


Figure 2 - *Evolution de l'incidence et de la sévérité de la maladie des taches noires du manguier sur cultivar sensible (Haden) et partiellement résistant (Heidi).*

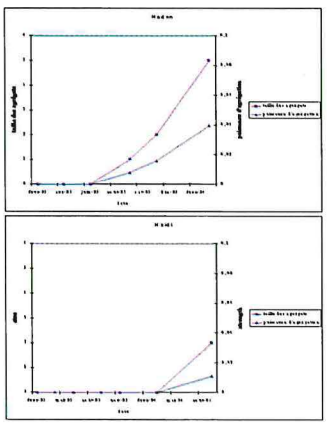


Figure 3 - *Mise en évidence par la technique des autocorrélations spatiales d'une distribution agrégée de la maladie des taches noires du manguier dans deux vergers expérimentaux plantés à l'aide d'un cultivar sensible (Haden) et partiellement résistant (Heidi).*

pathogène sur anthurium menés en milieu confiné. La première étape d'élaboration du test a consisté à identifier une séquence conservée caractéristique de X. a. pv. *dieffenbachiae* par la méthode RAPD-PCR. Une centaine d'amorces RAPD ont été testées sur plusieurs souches du pathogène d'origines géographiques diverses. Plusieurs amorces ont permis l'amplification de fragments spécifiques de *X.* a. pv. *dieffenbachiae*. Deux de ces fragments ont été clonés et séquencés. Une Nested PCR a été développée pour un de ces fragments à l'aide de deux couples d'amorces choisies d'après la séquence nucléotidique. Les deux amplifications successives de la Nested PCR assurent une grande sensibilité de détection du pathogène (de l'ordre de 10^3 bactéries/ml) (Photo 4). Cette technique permet l'amplification d'un même fragment chez toutes les souches testées de X. a. pv. dieffenbachiae pathogènes sur Anthurium. (Photo 5). Par contre aucune amplification n'est observée pour d'autres *Xanthomonas* et genres bactériens, ainsi que différentes souches bactériennes isolées de feuille d'anthurium mais non pathogènes sur ce végétal. L'étude de la détection de la bactérie in planta à l'aide de ce test est en cours au laboratoire. Ces travaux devraient aboutir à la mise au point d'un outil de diagnostic sensible, universel et rapide d'emploi, utilisable à différents niveaux de la lutte contre cette maladie : surveillance phytosanitaire, certification, études épidémiologiques.

I. Soustrade, L. Gagnevin

La maladie des taches noires du manguier *(Xanthomonas sp. pv. mangiferaeindicae)*

L'analyse de l'influence de résistance partielle à la maladie des taches noires présente dans un cultivar sud-africain (Heidi) a été poursuivie en conditions contrôlées et au champ par des analyses du développement spatio-temporel de la maladie dans deux vergers expérimentaux de la station de Bassin-Plat. La maladie s'est généralisée dans les deux parcelles (Figure 2) suite au passage des dépressions de faible intensité Connie (janvier 2000) et Eline (février 2000). Toutefois, les arbres malades du cultivar sensible (Haden) portaient en moyenne 20 fois plus de symptômes que ceux du cultivar partiellement résistant (Figure 2).

La modélisation du développement temporel de l'incidence de la maladie dans les deux parcelles démontre que la résistance partielle entraîne un retard significatif dans la progression des épidémies. Les résultats confirment que la dissémination de Xm en vergers est majoritairement associée à la Réunion au passage de dépressions. Cependant, les analyses spatiales d'épidémies par la méthode des autocorrélations spatiales mettent en évidence que, chez un cultivar sensible, des disséminations à courte distance (d'arbre à arbre) se produisent rapidement après l'arrivée d'inoculum liée au passage d'une dépression (pluies et vents à faible vitesse, opérations d'entretien du verger). La maladie a alors rapidement une distribution agrégée (Figure 3). Sur le cultivar partiellement résistant, ces disséminations secondaires sont beaucoup plus limitées. La présence d'agrégation a été détectée avec un an de retard par rapport au cultivar sensible (Figure 3). L'analyse génétique des isolats collectés lors de la première année d'épidémie (1999) a permis de mettre en évidence que le cultivar partiellement résistant sélectionne assez rapidement une sous-population bactérienne qui est un sous-ensemble de celle présente sur un cultivar sensible planté dans la même zone.

Cette sélection est mise en évidence lorsqu'un gène d'avirulence est utilisé comme sonde (Photo 6). En revanche, les indices de diversité mis en évidence à l'aide d'un marqueur neutre vis-à-vis du pouvoir pathogène ne sont pas différents sur les deux cultivars. Il est maintenant nécessaire d'une part de suivre cette évolution au cours des cycles épidémiques suivants et, d'autre part, de mesurer le pouvoir pathogène des souches sélectionnées de façon à estimer le risque à moyen terme de voir se développer des épidémies causées par des sous-populations plus agressives. En conditions contrôlées, les résultats indiquent que l'épaisseur de la cuticule (barrière à l'infection) sur les cultivars sensibles et partiellement

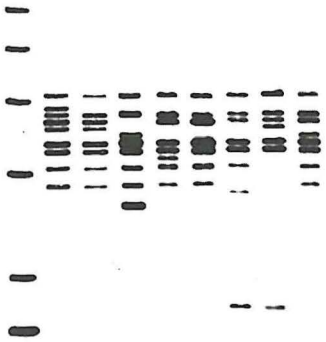


Photo 6 - *Exemples de profils RFLP obtenus avec la sonde avcXa10 (souches provenant des essais épidémiologiques).* *(O. Pruvost)*

résistants n'est pas statistiquement différente, mais qu'à l'issue de blessures, la cicatrisation est plus rapide chez le cultivar partiellement résistant.

L'analyse de la diversité génétique par des souches prélevées dans un verger expérimental de manguier cv. Haden a été poursuivie. Le typage moléculaire de ces isolats (± 700) avec la séquence insertionnelle IS1595 a permis de confirmer que la grande majorité de l'inoculum primaire était exogène et que les populations épiphytes détectées en pépinière n'ont contribué que très faiblement à l'épidémie. Ces résultats indiquent qu'une dépression de très faible intensité (Daniela) peut permettre la migration d'inoculum sur au moins quelques centaines de mètres.

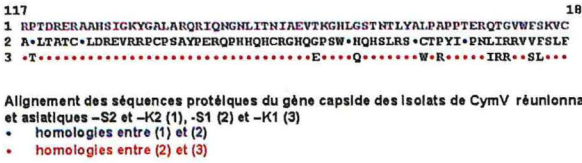
Des travaux complémentaires ont été initiés en phytotron dans l'objectif de mieux comprendre l'importance biologique de la phase épiphyte chez X.m. La bactérie se maintient mieux à la surface des feuilles étant à un stade phénologique jeune. De plus, elle colonise plus fréquemment et plus abondamment la face inférieure des feuilles. On la retrouve souvent localisée au niveau de la nervure centrale (zone de fort relief) et en pourtour du limbe (accumulation fréquente d'eau libre). Ce micro-climat lui permet d'être abritée des rayons UV et de la dessiccation par exemple. La localisation plus précise de la bactérie (réellement en surface ou au niveau de sites plus internes ?) reste à évaluer. De plus, des résultats préliminaires indiquent que sa survie à l'état de biofilms semble limitée. Trois groupes génomiques, dont deux semblent provenir d'un ancêtre commun, existent à l'île de la Réunion. Il semble que la lignée regroupant les groupes génomiques C et D ait une aptitude épiphyte nettement plus prononcée que les représentants du groupe génomique A.
Nous utilisons au laboratoire plusieurs techniques d'analyse du génome nous permettant de mesurer la diversité génétique des bactéries et de comprendre la structure des populations et leur évolution dans le temps et dans l'espace. De nouveaux outils (AFLP : amplification enzymatique à partir de sites de restriction et LMPCR : amplification enzymatique à partir de sites de restriction et de sites d'éléments insertionnels) ont été évalués et adaptés à *Xm*.
Les techniques AFLP et LMPCR permettent de différencier un plus grand nombre de types au sein d'une population, et il existe une bonne corrélation au niveau des relations mises en évidence entre souches. L'utilisation de nouveaux outils d'analyse du génome devrait permettre d'améliorer la précision des résultats et la taille des échantillons analysés pour des études d'épidémiologie.

O. Pruvost, L. Gagnevin

Le syndrome de la feuille jaune de la canne à sucre

Le Sugarcane yellow leaf virus (SCYLV), agent causal du syndrome de la feuille jaune de la canne à sucre, était largement répandu à la Réunion en 1998. Les taux d'infection variaient de 10 à 100% selon les six lieux et les trois cultivars étudiés. Ces taux d'infection n'ont pas beaucoup varié de 1998 à 2000. Ces résultats suggèrent que :
1/ il existe une différence variétale vis-à-vis de l'infection virale,
2/ les souches de canne à sucre ne " récupèrent " pas de la maladie après une récolte,
3/ la maladie serait surtout disséminée à la Réunion par la plantation de boutures contaminées et non par l'intermédiaire d'insectes vecteurs.
L'évolution des populations virales in planta a été étudiée à l'aide de boutures infectées. La distribution du SCYLV dans les tiges était systémique et uniforme depuis la germination des boutures jusqu'à 10 mois de croissance, quelle que soit la variété. Si aucune différence de répartition du virus n'a été mise en évidence entre variétés, des différences de densités de populations virales ne peuvent cependant pas être exclues.
Une autre étude a été effectuée pour déterminer l'impact du syndrome de la feuille jaune causé par le SCYLV sur les variétés R570, R577 et R579. Des boutures issues de cannes à sucre saines et infectées ont été plantées au champ dans un essai blocs incomplets à 6 répétitions.
Plusieurs paramètres ont été considérés pour étudier l'impact économique : nombre de tiges par touffe, hauteur, diamètre, poids et richesse en

sucre des tiges. Des différences significatives entre plantes saines et plantes virosées ont été observées pour la variété R577 quel que soit le paramètre considéré, excepté le nombre de tiges par touffe. Un effet de la maladie sur le diamètre et le poids des tiges de la variété R579 n'est pas mis en évidence au seuil statistique de 5% mais au seuil de 8%. Aucun impact n'a pu être mis en évidence pour la variété R570, quel que soit le paramètre mesuré.



Alignement des séquences protéiques du gène capside des isolats de CymV réunionnais et asiatiques –S2 et –K2 (1), -S1 (2) et –K1 (3)
- homologies entre (1) et (2)
- homologies entre (2) et (3)

Figure 4 - *Séquence génétique*

Photo 7- *Bulbes de la variété Ti l'ail Rouge assainie en potyvirus (OYDV et LYSV).*
(Photo F. Leclerc)

Une relation entre la présence du virus et la présence de symptômes a pu être mise en évidence. Plus les symptômes sont sévères, plus le taux d'infection par le SCYLV est élevé, quelle que soit la variété étudiée. La variété R577 présentait le plus grand nombre de plants virosés ainsi que les symptômes les plus sévères.

L. Rassaby

Les virus du vanillier et de l'ail

Les cultures réunionnaises sont soumises à de nombreuses contraintes phytosanitaires. Parmi celles-ci, les virus limitent le rendement de deux cultures traditionnelles que sont l'ail et la vanille. Pour lutter contre ce fléau viral, les voies de l'assainissement et de la multiplication de matériel indemne de virose ont été choisies. Elles nécessitent non seulement la mise en place de structures adaptées à l'entretien de matériel assaini mais aussi le suivi de mesures prophylactiques limitant les phénomènes de recontamination en plein champ.
Pour garantir à terme la diffusion de boutures indemnes des principaux virus et donc se doter de méthodes de diagnostic fiables, nous nous sommes intéressés à la caractérisation des potexvirus et potyvirus infectant le vanillier à la Réunion et également en Polynésie Française. Nous assurons également la multiplication d'ail assainie en potyvirus dont les performances agronomiques ont été suivies chez le producteur.
Les premiers travaux de caractérisation virale montrent qu'une seule souche de cymbidium mosaic virus (CymV) (Figure 4), homogène sur le plan sérologique, biologique et moléculaire, infecte les vanilliers à la Réunion. Dans le schéma de certification de lianes indemnes de potexvirus, développé sur l'île depuis 1998, les outils de diagnostic employés, ELISA et PCR, seront prochainement comparés à la technique d'immunoempreinte plus pratique à mettre en œuvre sur le terrain. La rédaction du règlement technique de production de boutures indemnes de potexvirus est en cours et le document provisoire est actuellement soumis à des experts du SOC. Les techniques de diagnostic et de caractérisation des potyvirus disponibles à ce jour sont loin d'être optimales. S'il est prévu une nouvelle production de réactifs immunologiques (K. Farreyrol, boursière de la Région Réunion en PhD à l'Université d'Auckland, NZ) celle-ci devra prendre en compte la diversité des situations et donc se faire à partir d'isolats réunionnais et polynésiens. Les outils moléculaires d'identification restent à optimiser et devraient apporter les premiers éléments de réponse à la variabilité suspectée des potyvirus du vanillier. Outre les potex- et potyvirus, les prospections effectuées en 2000 par K. Farreyrol révèlent la contamination des vanilliers polynésiens par un virus, le cucumber mosaic virus (CMV), encore non inventorié sur cette espèce végétale.

Depuis la multiplication en pleine terre de somaclones assainis en potyvirus de la variété Ti l'ail Rouge (Photo 7) nous disposons de bulbes de fort calibre et de forme homogène (ronde à plateau racinaire bombé). Sur les 6 clones multipliés, les numéros de poids moyen et de calibre plus élevés soit 2B, 3B et 17B, sont retenus pour amplification

Ces clones présentent également des colorations diverses avec des tuniques externes/internes plutôt blanches/rosées pour le clone 2B, rosées/rosées pour le clone 3B et blanches/violacées pour le clone 17B.

La variété assainie en potyvirus,Ti l'ail Rouge, exprime un potentiel agronomique élevé puisque sa croissance végétative significativement supérieure à celle de la variété Vacoa se traduit par la production de bulbes d'aspect régulier et de calibre et poids moyens supérieurs à ceux enregistrés pour la variété Vacoa.

F. Leclerc

Photo 8 - *Vue générale de l'essai agronomique 99-2000 de variété de petites tomates de plein champ résistante au TYLCV.*
(Photo B. Reynaud)

Photo 9 - *Exemple d'obtention de tomate résistante au TYLCV potentiellement intéressante en terme agronomique (rendement et type de fruit).*
(Photo B. Reynaud)

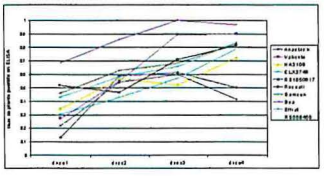


Figure 5 - Essai 2000 – Incidence du TYLCV sur différentes variétés de grosse tomate indéterminée après infestation artificielle selon différentes durées cumulées d'inoculation.

Le tomato yellow leaf curl virus (TYLCV)

Variabilité moléculaire du TYLCV

Pour confirmer en 2000 que nous avons bien toujours une seule souche de TYLCV présente sur tomate dans l'île et surtout suivre son évolution depuis son introduction en 1997, nous sommes allés prélever des échantillons sur les mêmes exploitations maraîchères infectées en 1997. Seul un exploitant avait arrêté la culture de tomate et nous avons donc pu récolter des échantillons positifs en juillet de 6 origines. Les six séquences correspondantes ont été comparées entre elles et avec les 7 séquences obtenues précédemment. L'hétérogénéité des séquences obtenues en 2000 a été évaluée à $4,8 \times 10^{-3}$. Une comparaison avec les résultats de 1999 (2×10^{3}), suggère que l'hétérogénéité de la population de TYLCV de La Réunion est en augmentation.
En terme de variabilité du virus, ces résultats confirment l'hypothèse d'une introduction récente et limitée. La souche de la Réunion serait très proche d'une des dernières souches de TYLCV-Il déterminées en Espagne et au Maroc. L'évolution de la population sur la base des séquences analysées étant vraisemblablement le résultat de la dérive génétique, il sera intéressant de montrer à plus long terme l'existence ou non de sélection positive (en particulier concernant la virulence).

Evaluation du niveau de résistance des variétés de tomate d'intérêt agronomique

Comme en 1998 et 1999, nous avons participé à la campagne d'essai 99-2000 des variétés de tomates résistantes au TYLCV chez les maraîchers sous l'égide du groupe de travail TYLCV (Photo 9) (cf. rapport REYNAUD et al.) (ARMEFHLOR, Chambre d'Agriculture, CIRAD, DAF/SPV, FDGDEC). Le niveau agronomique des obtentions des semenciers privés a pu être évalué et certaines obtentions sont maintenant d'un grand intérêt commercial pour la Réunion (photo 9). Par contre, les niveaux d'infestation naturelle par le TYLCV ont été insuffisants pour juger leur niveau de résistance.

Pour remédier à cela, des essais sous infestation artificielle étaient prévus sur les meilleures obtentions. En 2000, ils ont pu être réalisés uniquement sur les variétés indéterminées de grosses tomates pour la culture sous abri en raison d'un manque de semences (Figure 5). Une technique d'inoculation en cage permettant de moduler l'importance de l'infestation (Durée Cumulée d'Inoculation (DCI)) a été utilisée pour mieux évaluer le niveau de résistance en fonction de la quantité d'inoculum.
Les résultats montrent que l'on a bien une augmentation de l'incidence en fonction de la DCI, quelles que soient les variétés résistantes, alors même que le témoin sensible est déjà totalement atteint. Cette augmentation de l'incidence en fonction de la DCI est hautement significative et prouve l'intérêt de cette technique pour évaluer la résistance. On a également un effet variété hautement significatif, ce qui permet de classer les obtentions en fonction de leur niveau de résistance.

B. Reynaud, M. Peterschmitt

Dynamique des populations et comportement des ravageurs et de leurs auxiliaires

Le foreur ponctué de la canne à sucre (*Chilo sacchariphagus*)

Le foreur ponctué, *Chilo sacchariphagus*, est un ravageur majeur de la canne à sucre dans le sud-est asiatique et l'Océan Indien. A la Réunion, il est responsable de pertes importantes pour la variété de canne à haut rendement R579. La dynamique des populations du foreur est étudiée à l'échelle régionale depuis 4 ans, en relation avec les variétés, les pratiques culturales et le climat ; cette étude constitue un observatoire

Photo 10 - *Dégâts de foreur ponctué sur une canne de variété R579.*
(Photo J. Rochat)

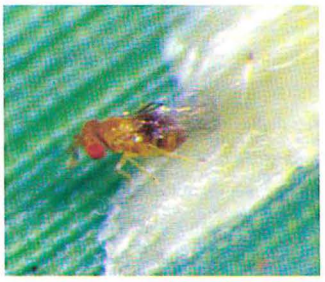


Photo 11 - *Femelle de Trichogramma chilonis en train de parasiter une ooplaque.*
(Photo J. Rochat)

du ravageur et de l'agrosystème cannier. Un programme de lutte biologique par lâchers inondatifs de trichogrammes a démarré en 2000 et constituera l'activité principale en 2001. Parallèlement à la lutte biologique, l'utilisation potentielle de variétés résistantes au foreur est étudiée au travers du cas particulier de la variété R570.

Incidence du foreur à l'échelle régionale

Le taux d'attaque et le nombre d'entre-nœuds attaqués par canne, indicateurs pertinents des infestations en foreurs et de la perte de rendement, sont contrôlés deux fois par semestre sur une trentaine de parcelles de R570 et de R579 (Photo 10). Ces indicateurs sont mis en relation avec les caractéristiques des parcelles (techniques culturales, site, variété, etc.).
Le site et la variété sont les variables les plus significatives, et dans une moindre mesure l'altitude. Bien que l'hétérogénéité inter-sites soit forte, il apparaît une certaine constance par site et des ressemblances entre sites géographiquement proches. Cela montre une structuration géographique importante de la dynamique des infestations, probablement d'origine méso-climatique. Le parasitisme naturel des larves et des nymphes du foreur est abordé de la même façon. Une synthèse pluri-annuelle en cours devrait confirmer cette structuration spatiale.

Inventaire des parasitoïdes oophages du foreur ponctué

Préalablement aux opérations de lutte biologique à l'aide de trichogrammes, un inventaire des parasitoïdes oophages présent dans l'agrosystème cannier a été réalisé. Les parasitoïdes sont piégés à l'aide d'œufs de *Galleria mellonella*, hôte de substitution des trichogrammes au laboratoire. Les parasites ainsi récoltés constituent des lignées conservées au laboratoire (souchier) ; une partie de ces individus a été déterminée par B. Pintureau à l'INRA/INSA de Lyon. Des trichogrammes ont été rencontrés dans 9 sites sur 10, en très faible quantité. Jusqu'à présent, tous les individus identifiés appartiennent à l'espèce *Trichogramma chilonis* (Photo 11) ; l'existence d'autres espèces ne peut cependant pas être exclue (des oophages d'autres familles ont été trouvés dans d'autres milieux). Les souches certifiées sont rapatriées à la Réunion pour la recherche de biotypes adaptés aux différentes zones de culture de la canne. Le ou les biotypes les plus appropriés seront multipliés pour réaliser des lâchers inondatifs au champ afin de tester leur efficacité à limiter les populations de foreurs.

Résistance de la variété R570 au foreur ponctué

Il est acquis que la variété de canne à sucre R570 est moins attaquée par le foreur ponctué *C. sacchariphagus* que d'autres variétés actuellement cultivées à la Réunion, comme la R579. Nous recherchons l'origine de cette résistance par différentes approches (comportement, tests de choix, étude des propriétés physiques des tiges, histologie…). L'étude du développement et la survie des chenilles du foreur sur milieu semi-artificiel contenant de la poudre de canne broyée a apporté deux résultats marquants : (1) la tige de canne contient des éléments indispensables au développement complet des larves, et qui n'existent pas dans les feuilles pourtant consommées par les jeunes larves ; (2) la survie des larves élevées avec de la variété R570 est quasi nulle. L'effet des attaques préalables des cannes est à confirmer. Cette approche s'avère intéressante dans la recherche des mécanismes de résistance de la R570 au foreur, et pourrait constituer à terme un test biologique pertinent pour cribler les variétés.

J. Rochat, B. Vercambre

Modélisation de la dynamique des populations d'insectes ravageurs ou vecteurs d'importance économique

La gestion des populations de ravageurs est un des fondements de la protection intégrée des cultures qui vise à maintenir la densité de ces espèces nuisibles au dessous d'un seuil de dégâts économiques. Plusieurs facteurs abiotiques (température, pluie…) et biotiques (plante, auxiliaires…)

Photo 12 - *Adultes de Bemisia tabaci .*
(Photo A. Franck)

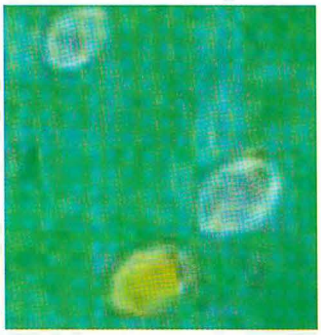


Photo 13 - Larves L4 de Bemisia tabaci.
(Photo A. Franck)

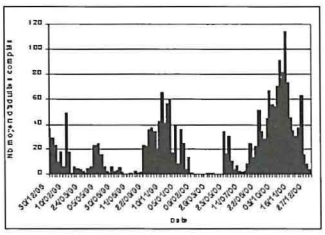


Figure 6 - *Quantité hebdomadaire d'aleurodes adultes piégés (moyenne par piège et par jour) sur le site de Bras-de-Pontho entre janvier 1999 et décembre 2000.*

Photo 14 - *Piège à phéromone sexuelle pour la capture des mâles de la teigne du chou.*
(Photo P. Ryckewaert)

influencent la dynamique de ces populations, aussi est-il important de mieux connaître l'effet de chacun d'eux afin d'optimiser les méthodes de lutte.

Mouches des fruits

Au travers d'un travail effectué par l'équipe de S. Quilici (Poseïdom 94/98), des données de piégeage hebdomadaire, avec différents attractifs (sexuels, alimentaires...) de différentes espèces de mouches (avec différentiation sexuelle) ont été récoltées sur une cinquantaine de sites à travers l'île. Ces derniers ont été choisis de manière à être proches de stations météorologiques de Météo France ou du CIRAD qui nous ont fourni des données sur les conditions climatiques de 1994 à 1998. Pour compléter la connaissance du milieu, la floristique propre à chaque site a été suivie de manière hebdomadaire en relevant les espèces de plantes présentes, leur abondance relative, le nombre de fruits et leur appétence. L'année 2000 a permis de mettre à plat ces données en les vérifiant soigneusement et en les inscrivant dans une base de données qui facilitera les extractions de données et la modélisation. Des données comportementales sur les mouches sont en cours d'ajout pour compléter la base. Une collaboration avec l'INRA d' Avignon s'est développée pour traiter la masse conséquente de données et un outil de SIG a été mis en place.

Aleurodes

Une étude a débuté en décembre 1998 en collaboration avec l'INRA Guadeloupe afin de suivre la dynamique des populations d' aleurodes adultes sur des parcelles de giraumon (Photo 12).
En 2000 le protocole expérimental a été amélioré. Sur 4 sites dans le sud et l'ouest de l'île (conditions climatiques différentes), nous suivons par comptages sur plant et piégeages (pièges englués de couleur jaune) hebdomadaires l'évolution des populations d'aleurodes adultes. Les données météorologiques sont également mesurées afin d'essayer d'expliquer les fluctuations de populations. L'un des problèmes rencontrés à la Réunion est la présence de deux espèces d'aleurodes sur plantes maraîchères, *Bemisia tabaci* et *Trialeurodes vaporariorum*, seule la première étant vectrice de virus. Des échantillonnages de feuilles réguliers permettent d'estimer la proportion de chacune des espèces en dénombrant les larves de stade L4 (Photo 13). Des tendances intéressantes commencent à se dessiner sur les 4 sites en fonction des conditions climatiques et des espèces présentes en 2001 (Figure 6).
La poursuite de l'étude doit permettre de modéliser au mieux le phénomène.

F. Chiroleu

Teigne du chou

La dynamique des populations de la teigne du chou (*Plutella xylostella*) et de ses parasitoïdes a été étudiée sur plusieurs parcelles de chou traitées ou non et situées à différentes altitudes (Photo 14). Les populations de teigne augmentent généralement de façon importante après un mois de culture. Les taux de parasitisme varient de 10 % en zone cannière à 45 % dans les zones maraîchères, mais les dégâts restent toujours importants. Les populations de parasitoïdes suivent une évolution comparable à celle de la teigne. *Diadegma* sp. est l'espèce la plus abondante en altitude alors que *Cotesia plutellae* est plus fréquent à basse altitude. D'autres parasitoïdes, des hyperparasites et des prédateurs (syrphes) sont également présents, toutefois en très faibles effectifs. Des traitements hebdomadaires avec des insecticides à large spectre ne semblent pas affecter les populations de *Plutella* ni des parasitoïdes mais protégent les choux des attaques de la pyrale du chou (*Crocidolomia pavonana*). Un programme de traitements raisonnés contre les chenilles n'a pas eu d'effet significatif sur les rendements.
L'utilisation d'un filet anti-insecte (Lutrasyl P17 ®) pour protéger mécaniquement les plants des pontes de la teigne n'a pas donné de bons résultats (développement des teignes à l'intérieur, croissance des choux perturbée et coût élevé de ce système).

P. Ryckewaert

Bemisia tabaci, vecteur du TYLCV :

Variabilité moléculaire de *Bemisia tabaci*

Les résultats obtenus en 1999 ont montré l'existence d'une hétérogénéité et d'une variabilité du

vecteur importantes qui demandaient à être confirmées et approfondies. Une meilleure caractérisation moléculaire des populations de *Bemisia tabaci* a été tentée :
- en multipliant le nombre d'amorces utilisées pour les RAPD (8 au lieu de 3) ;
- en travaillant à partir d'élevages de lignées isofemelles pour confirmer l'appartenance à l'espèce *Bemisia tabaci* (observation microscopique des puparium) et améliorer l'homogénéité de l'échantillon ;
- En utilisant une seconde approche ciblée sur la séquence d'un gène polymorphe de l'insecte, le gène de la *cytochrome oxydase* I.

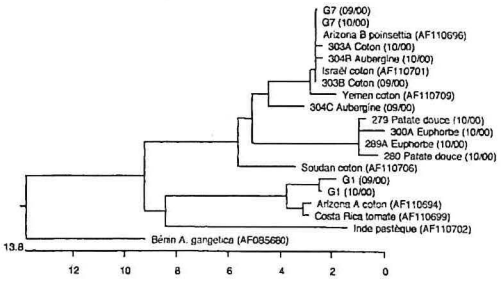


Figure 7 - *Arbre comparant les séquences du COI obtenues pour les échantillons de Bemisia tabaci de la Réunion (303A, 303B, 304B, 304C, 279, 300A, 289A, 280) à celles obtenues par Frohlich et al. (1999) dans d'autres régions du monde.*

Les analyses des gels RAPD montrent un groupe homogène dominant comprenant le témoin biotype B et un groupe particulier non A non B représenté par des populations provenant d'*Euphorbia heterophylla* L. (herbe-de-lait) et de *Impomea patatas* (patate douce). D'autre part, les individus des générations 0 et 1 sont très proches, ce qui montre l'intérêt de la production de lignées isofemelles pour ce genre d'étude. La comparaison de séquences partielles du gène COI, obtenu avec quelques individus de lignées réunionnaises, avec celles disponibles sur genbank, montrent clairement une similarité quasi totale du groupe majoritaire avec le biotype B dominant (Arizona, Israël,...) avec 99% à 100% d'identité nucléotidique (Figure 7). Le groupe minoritaire contenant les individus provenant de patate douce et d' *E. heterophylla* présente bien un niveau de similarité inférieur (environ 93%) avec le biotype B dominant. Ce groupe minoritaire est aussi éloigné du biotype B que le biotype S provenant du Soudan. L'existence d'au moins deux groupes différents pourrait correspondre à deux introductions (une première introduction de *Bemisia tabaci* avait déjà été mise en évidence en 1991 mais a priori éradiquée) car ils provoquent tous deux des symptômes d'argenture sur cucurbitacées, qui est l'une des caractéristiques biologiques conférée au biotype B et observée assez récemment. D'autres biotypes existent encore peut être à la Réunion, en particulier ceux correspondants aux *Bemisia tabaci* déterminés en 1938 et en 1970.

Photo 15 - *Larves parasitées et non parasitées de Trialeurodes vaporariorum et Bemisia Tabaci. (photo P. Ryckewaert)*

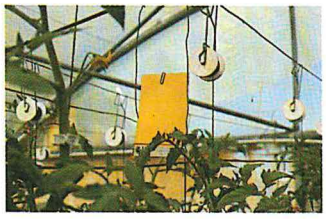


Photo 16 - *Panneau jaune englué utilisé pour la capture et le suivi des populations d'aleurodes en serre. (Photo P. Ryckewaert)*

Le biotype B, le plus dommageable à l'échelle planétaire, est donc bien omniprésent dans les bassins de production maraîchère et pose un problème majeur pour ces cultures. Il faut aussi savoir que dans de nombreuses régions (USA, Antilles...), le biotype B a complètement supplanté les autres biotypes et il pourrait en être de même prochainement à la Réunion.

B. Reynaud, M. Peterschmitt

Les parasitoïdes d'aleurodes

Les espèces d'aleurodes les plus fréquentes sur cultures maraîchères sont *Trialeurodes vaporariorum* et *Bemisia tabac*i, principalement sur tomate et cucurbitacées. L'inventaire des parasitoïdes avait mis en évidence la présence de 9 espèces appartenant aux genres *Encarsia* et *Eretmocerus*. Les parasitoïdes les plus fréquents sont *Encarsia formosa* (introduit en 1977), *E. nigricephala* (d'origine américaine) et *Eretmocerus mundus* (Photo 15).

Des suivis des populations d'aleurodes et de leurs parasitoïdes ont été réalisés sur plusieurs cultures, en plein champ ou sous serre (Photo 16). Sur citrouille, les quantités de larves restent faibles et aucun parasitisme n'a été observé. Cependant des plantes hôtes voisines de *Lantana camara* (corbeille d'or) peuvent héberger à certaines périodes de fortes populations d'aleurodes, sur lesquelles on observe par la suite un développement important de parasitoïdes. Sur tomate de plein champ, les traitements insecticides habituellement pratiqués réduisent de façon importante les populations de parasitoïdes et favorisent le développement des aleurodes. Sous abri étanche aux insectes, il est possible de mener un cycle complet d'une culture de tomate avec un minimum de traitements accompagnés de lâchers hebdomadaires de parasitoïdes d'aleurodes (amélioration de la protection biologique intégrée en appui à la FDGDEC).

Une meilleure connaissance des relations tri-trophiques entre les parasitoïdes, les aleurodes et les plantes cultivées devrait permettrait d'optimiser les lâchers d'auxiliaires.

P. Ryckewaert

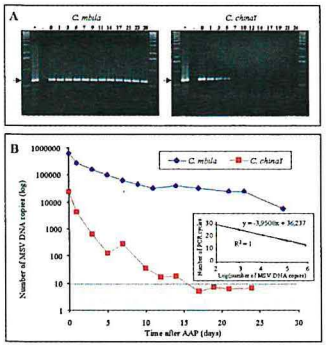


Figure 8 - *Cinétique de persistance du MSV, chez Cicadulina mbila vecteur et chez C. chinaï non vecteur. (A) Détection par PCR. La flèche indique l'amplification spécifique d'un fragment d'ADN du MSV de 632 pb. +. Détection quantitative par PCR, en utilisant le même couple d'amorces spécifiques que pour A. Encadré : courbe étalon utilisée en B.*

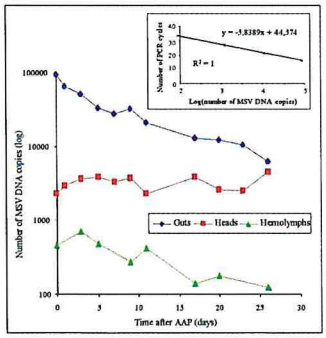


Figure 9 - *Cinétique de persistance du MSV virus clone R2 par PCR quantitative, chez Cicadulina mbila vecteur. L'expérience est réalisée sur des intestins, des hémolymphes et des têtes. Amplification spécifique d'un fragment d'ADN du MSV de 632 pb. Encadré : courbe étalon utilisée en B.*

Les mécanismes de transmission du maize streak virus (MSV) par *Cicadulina mbila*

Les barrières à la transmission circulante

L'objectif a été d'approfondir les connaissances dans le domaine de la transmission circulante des géminivirus par cicadelle, d'expliquer la persistance du maize streak virus (Genre : *Mastrevirus*) dans son vecteur *Cicadulina mbila* (*Auchenorryncha, Cicadellidae*) et d'identifier les barrières à la transmission et les lieux de préservation des particules virales dans le corps de l'insecte. La sensibilité de la technique PCR cumulée à la possibilité de quantifier le nombre de copies d'ADN viral par PCR quantitative, nous a permis d'étudier (1) l'acquisition et la persistance virale, (2) la colonisation des différents compartiments de l'insecte impliqués dans la transmission circulante et (3) la cinétique des charges virales et les flux de particules entre les compartiments. La paroi intestinale semble être l'unique barrière à la transmission du MSV par le genre *Cicadulina*. Ainsi, dans le cas d'un mastrévirus non transmis par une espèce de cicadelle du genre *Cicadulina*, le virus est restreint au tractus intestinal (Figure 8). En l'absence d'acquisition de nouvelles particules virales, la charge virale diminue plus ou moins vite selon la sensibilité des virions aux variations des conditions physiques et chimiques. Dans le cas du couple compatible MSV/C. *mbila*, le virus est présent, persiste et s'accumule dans les trois compartiments impliqués dans la transmission circulante : le tractus intestinal, l'hémolymphe et les glandes salivaires. La préservation virale et la rapidité de passage du virus à travers la paroi intestinale suggèrent l'intervention d'un mécanisme d'internalisation faisant intervenir un récepteur spécifique (Figure 9).

La persistance du pouvoir infectieux : stockage et préservation

L'augmentation graduelle de la quantité d'ADN viral détectée chez *C. mbila*, lors d'une alimentation continue sur une plante infectée par le MSV, confirme les résultats antérieurs sur la capacité d'emmagasiner une quantité très importante de protéines de capside. La différence d'accumulation virale observée entre cicadelles vectrices et non vectrices semble représenter la part de particules virales internalisée et stockée dans les cellules épithéliales du tractus intestinal et des glandes salivaires et dans l'hémolymphe. La persistance du MSV dans les trois compartiments de *C. mbila* est compatible avec sa capacité à rester infectieux durant toute sa durée de vie. La persistance d'une forte charge virale dans le tractus intestinal et dans les glandes salivaires de *C. mbila* montre que ces organes représentent vraisemblablement le lieu de stockage principal des particules virales dans l'insecte.

J. M. Lett

Les mouches des fruits et des légumes fruits

Bio-écologie et comportement des Tephritidae

En matière de bio-écologie des Tephritidae, les travaux ont porté sur l'influence de la température sur la durée du développement pré-imaginal et de la période de maturation ovarienne des 3 espèces de *Ceratitis* présentes à la Réunion.
Le développement et la survie de la mouche méditerranéenne des fruits, *Ceratitis capitata*, de la mouche du Natal, *C. rosa*, et de la mouche des

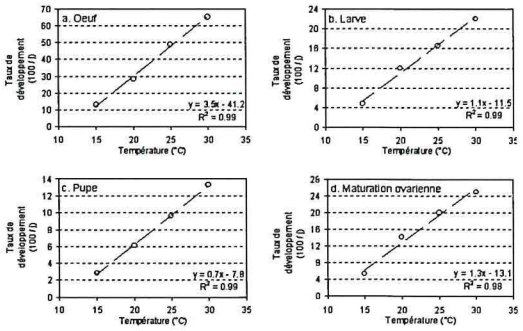


Figure 10 - *Relation entre température et taux de développement (100 / j) pour les différents stades immatures chez C. capitata : (a) œuf, (b) larve, (c) pupe et (d) maturation ovarienne des femelles.*

Mascareignes, *C. catoirii*, ont été comparés à 5 températures constantes allant de 15 à 35°C. Les seuils minimum de développement et les constantes thermiques ont pu être calculés par le modèle des sommes de température. On constate que les espèces diffèrent notamment au stade larvaire et peu au stade embryonnaire. *C. rosa* s'avère plus adaptée aux basses températures que les deux autres espèces.

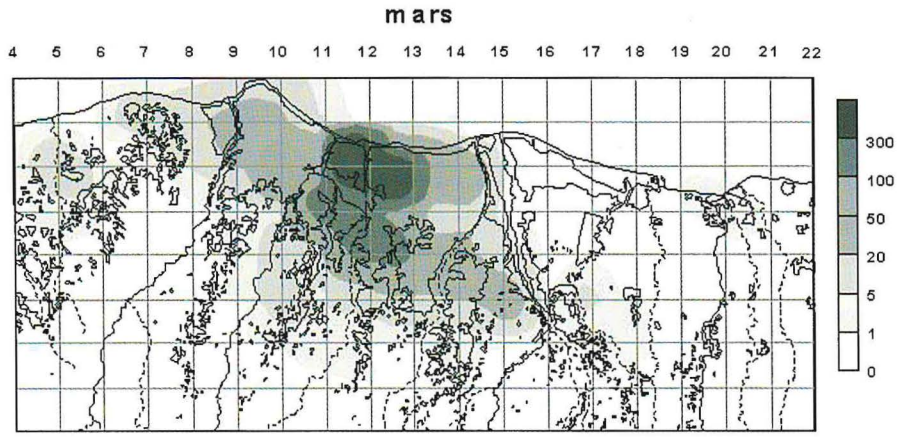


Figure 11 - *Réseau de piégeage en zone d'éradication ; captures cumulées du mois de mars 2000.*

Globalement, *C. catoirii* montre une survie faible sur l'ensemble de la gamme de températures étudiées. La distribution des 3 *Ceratitis* sur l'île peut être partiellement expliquée par la réponse différentielle des espèces à la température. D'un point de vue appliqué, les résultats obtenus pourront également servir à optimiser les élevages au laboratoire. Ils

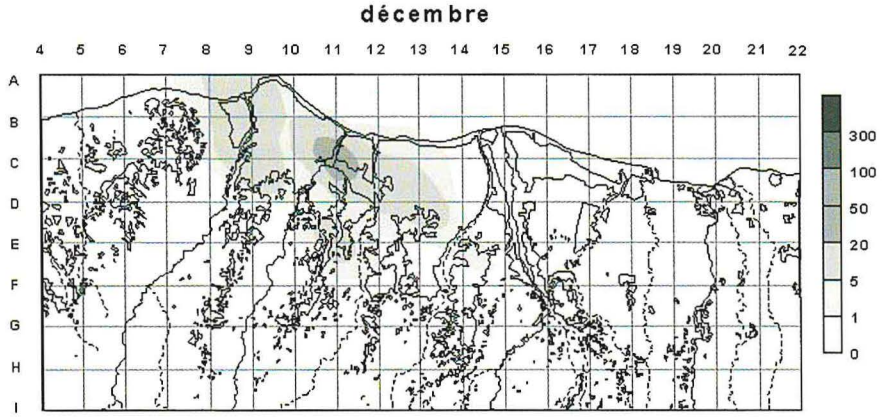


Figure 12 - *Réseau de piégeage en zone d'éradication ; captures cumulées du mois de décembre 2000. (B. Hurtrel)*

contribueront en outre dans un proche avenir aux études conduites sur la modélisation des populations de mouches des fruits (Figure 10).

En matière de comportement, les études ont porté sur la réponse des femelles matures de *C. capitata* à des composés volatils de certaines des plantes-hôtes de cette espèce polyphage. Ces stimuli olfactifs impliqués dans la localisation de l'hôte ont été étudiés en tunnel de vol. Les résultats confirment que l'odeur de fruit constitue un stimulus important pour la localisation de la plante-hôte. Les réponses diffèrent selon les espèces végétales testées, la goyave (*Psidium guayava*), les agrumes (*Citrus spp.*), le café (Coffea arabica), le piment (*Capsicum frutescens*), le badamier (*Terminalia catappa*) et le " coing de Chine " (*Mimusops elengi*) et selon le stade de maturité des fruits (fruits mûrs ou verts). Les feuilles de plantes-hôtes déclenchent également une réponse, toutefois plus limitée. Une certaine attractivité des effluves de fruit non-hôte comme la citrouille (*Cucurbita pepo*) a également été constatée. Ces premiers résultats fournissent 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 bio-technique contre la mouche méditerranéenne.

S. Quilici

Programme d'éradication de la "mouche de la pêche", *Bactrocera zonata*

Depuis le début de l'année 2000, les captures de mouches de la pêche *Bactrocera zonata* sont en forte recrudescence dans le Nord de l'île (La Montagne - Saint-Denis - Sainte-Marie). A l'initiative du SPV, un programme visant à l'éradication de l'espèce a été mis en place avec la participation du CIRAD, de la FDGDEC et de la Chambre d'Agriculture. La méthodologie retenue est similaire à celle employée en Guyane contre la mouche de la carambole et à Maurice contre la mouche orientale des fruits.

L'ensemble de l'île a été séparé en 2 zones : une zone d'éradication, qui s'étend de La Grande Chaloupe à l'ouest jusqu'à La Ravine des Chèvres à l'est, englobant donc toute la ville de

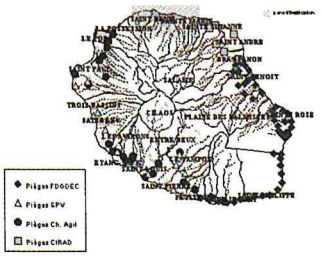


Figure 13 - *Réseau de piégeage de B. Zonata en zone de surveillance.*

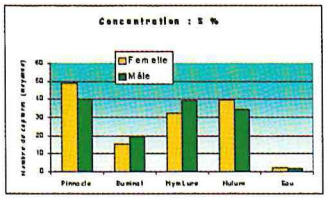


Figure 14 - *Comparaison de l'attractivité de 4 hydrolysâts de protéine à la concentration de 5 % sur la mouche du melon (Bactrocera cucurbitae).*

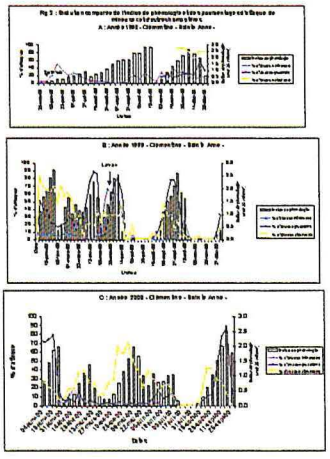


Figure 15 - *Evolution comparée de l'indice de phénologie et des pourcentages d'attaque de mineuse et d'autres homoptères.*

Photo 17 - *Comperiella bifasciata, parasitoïde du Pou rouge de Californie, Aonidiella aurantii.* *(Photo A. Franck)*

Saint-Denis, et quadrillée en carrés de 1km² contenant chacun 1 piège; une zone de surveillance recouvrant tout le reste de l'île, sur laquelle une centaine de pièges est répartie de façon homogène sur tout le pourtour de l'île (Figure 11).
L'ensemble des pièges est relevé chaque semaine, ce qui permet d'établir une cartographie précise de l'évolution des captures (Figures 12 et 13).

Dans la zone d'éradication, les traitements consistent à disposer des plaquettes biocides (killer-blocks), petits carrés de contre-plaqué imbibés d'attractif sexuel pour les mouches mâles et d'insecticide. Ce traitement est le plus souvent accompagné de traitements par taches à base d'attractif alimentaire afin d'éliminer les femelles. Cette année, deux campagnes de lutte ont pu être menées avec l'appui des militaires du RSMA des FASZOI, afin de poser un maximum de plaquettes biocides : en juin, 21 140 unités ont été réparties dans 75 sites de la zone d'éradication, et en novembre, 46 sites ont été traités avec 16 460 plaquettes biocides.

Dans la zone de surveillance, 60 mouches ont été capturées en 2000. Chaque capture entraîne la mise en place d'un protocole bien précis : intensification des pièges, suivi d'un traitement à l'aide de plaquettes biocides et des traitements par tâches en cas de nouvelle prise.

En 2001, les actions de contrôle et de surveillance devront se poursuivre afin de tenter d'éradiquer cette espèce. La participation des communes et des groupements d'agriculteurs sera sollicitée afin de renforcer les opérations de lutte.
Les plantes-hôtes de *B. zonata* devront être inventoriées. Enfin, s'il y a extension de la zone contaminée, il conviendra d'étudier la dynamique de dispersion et de colonisation des plantes-hôtes.

B. Hurtrel

Mouches des légumes

La mouche de la tomate (*Neoceratitis cyanescens*) et les mouches des cucurbitacées (*Bactrocera cucurbitae*, *Dacus ciliatus* et *Dacus demmerezi)* provoquent des dégâts importants sur ces cultures et ne sont que partiellement maîtrisées par les traitements insecticides. Ces derniers n'étant pas sélectifs, le développement d'une lutte intégrée sur ces cultures passe par la mise au point de méthodes raisonnées pour limiter les populations de mouches. A l'exemple des méthodes utilisées en arboriculture contre les mouches des fruits, nous tentons de définir des moyens biotechniques basés sur l'attractivité visuelle ou olfactive de différents systèmes de piègeage.

Des pièges visuels et/ou olfactifs pour la mouche de la tomate ont été testés au champ mais se sont avérés peu attractifs. En outre, des traitements insecticides raisonnés ont été insuffisants pour éviter les dégâts sur fruits.

Divers types d'attractifs alimentaires pouvant être utilisés pour des traitements chimiques par taches sont testés en grandes cages sur la mouche du melon (*B. cucurbitae*), en utilisant la technique de lâcher-capture d'insectes d'élevage (Figure 14). Les meilleurs produits seront ensuite testés au champ à la concentration optimale.

P. Ryckeawaert

Mineuse et cochenilles des agrumes

L'étude visant à une meilleure connaissance de la dynamique des populations de la mineuse des agrumes (*Phyllocnistis citrella)* et de ses parasitoïdes associés s'est achevée à la fin septembre 2000 (Figure 15). L'étude des parasitoïdes indigènes a confirmé qu'un complexe d'espèces était actif dans la régulation des populations de la mineuse, les plus importantes étant *Sympiesis* sp. et *Neochrysocharis* sp..
On constate que les taux de parasitisme globaux peuvent atteindre un niveau assez élevé, ce qui souligne l'intérêt de ne pas perturber cette importante action régulatrice.
Le succès de l'acclimatation du parasitoïde ovo-pupal *Ageniaspis citricola*, introduit en 1998 encollaboration avec l'INRA -Antibes, est confirmé, l'espèce apparaissant maintenant largement répandue dans l'île.
Les études futures devraient permettre de

Photo 18 - Adulte de Lindorus lophantae, coccinelle prédatrice d'Aonidiella aurantii.
(Photo A. Franck)

déterminer l'impact réel de ce nouvel auxiliaire. Sur cochenilles, les études ont visé à préciser le statut des principaux auxiliaires indigènes (parasitoïdes, prédateurs) de la principale espèce de diaspine nuisible aux agrumes, *Aonidiella aurantii* (pou rouge de Californie). Des battages et des échantillonnages ont ainsi été réalisés dans une série de vergers sélectionnés. Les principaux parasitoïdes de l'espèce sont les Aphelinidae *Aphytis lingnanensis* et *Encarsia perniciosi*, ainsi que l'Encyrtidae *Comperiella bifasciata* (Photo 17). Parmi les prédateurs, la coccinelle *Lindorus lophantae* (Photo 18) apparaît comme la plus fréquente dans les zones d'étude.

Serge QUILICI

Résistance des plantes aux "bio-agresseurs"

Etude du déterminisme génétique de la résistance aux maladies de la canne à sucre

L'échaudure des feuilles

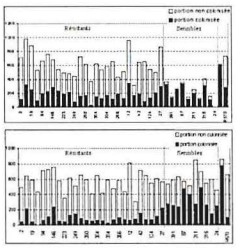


Figure 16 - *Caractérisation de la résistance de la canne à sucre à la maladie de l'échaudure des feuilles. Progression de Xanthomonas albilineans dans la partie située au dessus du point d'inoculation en terme de distance parcourue dans deux essais. En haut, essai réalisé en 1997, où l'expression de la maladie au niveau des symptômes était favorable. En bas, essai réalisé en 1998 sur les mêmes variétés, où l'expression de la maladie a été plus faible.*

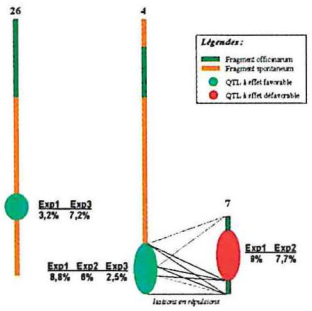


Figure 17 - *Analyse génétique de la résistance de la canne à sucre à la maladie de l'échaudure des feuilles. Positionnement sur la carte de R570 et effets de quelques uns des quantitative trait loci (QTL) identifiés comme liés à la résistance à Xanthomonas albilineans à l'issue de trois expériences indépendantes (Exp1-Exp3). Les chromosomes 4 et 7 s'apparient préférentiellement à la méiose.*

Cette étude menée dans le cadre d'une thèse a permis de progresser dans la caractérisation de la résistance de la canne vis à vis de l'échaudure des feuilles. Nous avons précisé que la symptomatologie fournit des paramètres dont la mesure, à l'intérieur d'une expérience, est fiable, mais que ceux-ci sont peu stables entre expériences. L'étude des densités des populations bactériennes a confirmé qu'une forte colonisation des tiges était nécessaire mais n'était pas suffisante pour qu'il y ait apparition des symptômes foliaires. L'étude de la distribution de la bactérie dans les tiges a permis de définir de nouveaux paramètres de résistance. Nous avons précisé que la résistance était associée à une faible progression de la bactérie dans les tiges (Figure 16). Ces paramètres de colonisation sont fiables et ont une bonne stabilité entre expériences. Certains résultats tendent à indiquer que l'expression de la maladie aurait un impact négatif sur l'élongation des entre-nœuds.

Dans le même temps, les marqueurs moléculaires AFLP ont été utilisés pour rechercher les QTL (quantitative trait loci) déterminant la résistance. La première étape de cette recherche a consisté à construire une carte génétique. Cette carte est longue de 5800 cM et couvre environ 50% du génome de la variété étudiée. Dans la deuxième étape de cette recherche, nous avons détecté des associations significatives entre marqueurs et QTL de résistance et avons précisé leurs localisations dans le génome de R570 (Figure 17). Ces QTL sont peu nombreux. Ils ont des effets individuels modestes mais le cumul de leurs effets explique dans certains cas jusqu'à 46% de la variation mesurée. Globalement les points de convergence entre les QTLs détectés lors des différentes expériences sont ténus.

B. Offmann

La rouille

Trois cent clones (augmentation de la population de R570 autofécondée) sélectionnés au stade seedling pour leur sensibilité à la rouille ont été de nouveau évalués au champ cette année et leur ADN a été extrait. Il servira à repérer les individus recombinants autour du gène de résistance à la rouille et affiner la carte génétique dans cette zone. Par ailleurs, une étude extensive de la ségrégation du caractère de résistance à la rouille dans les croisements du CERF a été entreprise en collaboration avec J.Y. Hoarau (sélectionneur CERF). Cette exploration vise à identifier les sources de résistance dans les géniteurs utilisés en création variétale.

Le charbon

Le croisement R570 castrée x MQ76/53 apparaît plus sensible en repousse que le croisement Nco376 x R570 (Figure 18) dans un essai préliminaire hébergé sur la station CERF du Gol. Cette observation est cohérente avec le niveau de sensibilité connu des parents MQ76/53 (très sensible) et Nco376 (sensible). Le croisement R570 castrée x

Figure 18 - *Cartographie des essais préliminaires "charbon" en 2000 (première repousse). Plus la parcelle élémentaire est foncée plus elle présentait de fouets. En haut , le croisement R570 castrée x MQ76/53 et en bas le croisement NCO376xR570. Les parcelles en noir sont hors-essai (bordures).*

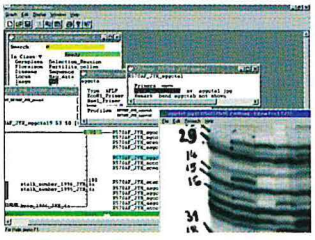


Figure 19 - *Capture d'écran de la base de données sur la génétique de la canne à sucre. Les marqueurs de la carte génétique sont interactifs. Il est notamment possible de visualiser les profils AFLP à partir desquels ils ont été codés.*

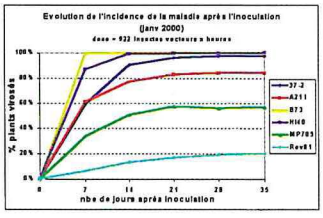


Figure 20 - *Test au champ des lignées résistantes au MStV face à l'inoculation d'une dose massive d'insectes infectieux.*

MQ76/53 a été choisi pour l'étude de cartographie des facteurs génétiques de la résistance au charbon car c'est le croisement qui présente la ségrégation la plus équilibrée entre résistants et sensibles. Deux nouveaux essais, avec inoculation artificielle, ont été mis en place cette année pour caractériser le niveau de résistance des clones issus du croisement R570 castrée x MQ76/53 : l'un en serre (La Bretagne) et l'autre en plein champ (Ligne Paradis). Dans ces essais, la sortie des fouets sera suivie régulièrement. Au champ, on effectuera en plus des mesures agronomiques (hauteur, tallage, diamètre des tiges, Brix). Les travaux de marquage moléculaire visant à établir les cartes génétiques des deux parents du croisement ont commencé. 12 combinaisons d'amorces AFLP ont été utilisées ce qui représente un potentiel de plus de 400 marqueurs polymorphes. Les profils génétiques générés sont en cours de codage.

L.M. Raboin

Appui méthodologique à l'amélioration variétale de la canne à sucre

La base de données sur la génétique de la canne continue à être alimentée. Elle rassemble des informations sur la floraison, la fertilité, la généalogie, la résistance aux maladies et les caractéristiques générales des variétés. On y trouve en plus maintenant la carte génétique AFLP interactive, les profils électrophorétiques AFLP scannés servant de référence pour le codage des marqueurs, l'information sur les QTLs des composantes du rendement ou encore les séquences des microsatellites de canne (Figure 19).
Cette année, 36 clones FR de la collection in vitro ont été sevrés puis mis sur le terrain au CERF pour être évalués. La vitrothèque contient encore environ 170 clones hybrides commerciaux, nobles, sauvages et numéros utilisés pour la réalisation des cartes génétiques.

L.M. Raboin

La résistance aux maladies virales transmises par insectes vecteurs chez le maïs

Nous avons entrepris l'analyse génétique de la résistance au maize stripe virus (MStV) sur des fonds génétiques différents originaires de la Réunion et d'Antigua. Le but est de cartographier les gènes de résistance et d'essayer de les relier à des mécanismes de défense de la plante, soit face au virus sensu stricto, soit face à l'insecte vecteur, *Peregrinus maidis*.

L'étude d'une gamme de lignées vis à vis du MMV et du MStV, mais également vis à vis de *P. maidis*, qui peut transmettre les deux virus, est un moyen intéressant de caractériser des lignées qui possèdent des gènes de résistance fixés pour l'un et / ou l'autre de ces deux mécanismes.
Deux approches sont utilisées : l'analyse de l'expression de la maladie sur les plants observés au champ, l'analyse du comportement alimentaire de l'insecte sur les plants au laboratoire par mesures d'électropénétrographie (EPG). L'analyse comparée des résultats obtenus selon ces deux approches permet d'émettre un certain nombre d'hypothèses concernant le type de résistance fixée dans nos lignées (résistance au virus, à l'insecte ou les deux à la fois) et d'orienter le choix des croisements à réaliser en vue des études de cartographie génétique. Deux catégories de lignées résistantes sont mises en évidence au champ (Figure 20) : les lignées montrant une résistance très forte, peu ou pas contournable par la dose d'insectes inoculés (DCI) (Hi40 vis à vis du MMV et Rev81 vis à vis du MStV) et, les lignées montrant une résistance partielle vis à vis des deux virus et dont le niveau varie en fonction de la DCI (37-2, MP705, A211).
Pour l'application de l'EPG au travaux de génétique, le travail méthodologique s'est donc poursuivi en 2000 par la création d'une nouvelle base d'apprentissage et l'ajout d'un nouveau paramètre discriminant.
Les résultats de classement des signaux de la base d'apprentissage ont été fortement améliorés par cette nouvelle version du programme de reconnaissance automatique. Les confusions importantes sont maintenant uniquement observées au sein de la classe 5 donc pour des signaux assez proches dont les différences au niveau biologique n'ont pas également été déterminées. La compilation des divers modules

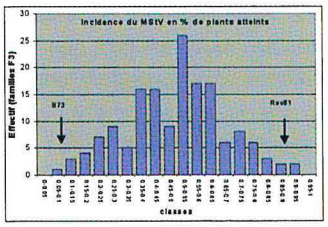


Figure 21 - *Distribution des familles F3 en fonction de leur niveau de résistance pour la composante incidence de la maladie.*

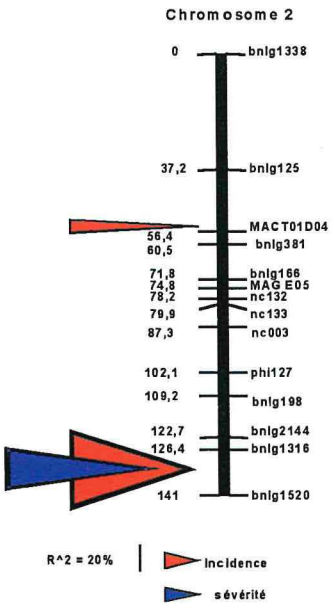


Figure 22 - *Extrait de la carte génétique avec la position sur le chromosome 2 du QTL majeur déterminé pour les composantes incidence et sévérité de la résistance au MStV.*

est bien avancée pour réaliser 3 programmes (acquisition des signaux EPG, reconnaissance automatique des signaux acquis, analyse statistique des résultats). Cette opération a nécessité la transposition des fonctionnalités matricielles de Matlab en langage C++ et la création de divers modules (composants ActiveX) permettant la réalisation de diverses taches, comme le pilotage de carte d'acquisition ou l'affichage de graphique en temps réel.

La version 2000 a déjà permis l'acquisition, le tri et traitement de plus de 300 enregistrements de 8H. L'analyse des résultats des mesures EPG sur ces mêmes lignées montre un effet hautement significatif du génotype sur le comportement alimentaire de l'insecte, celui-ci semblant le plus perturbé pour la lignée 37-2 qui, par ailleurs, montre une résistance partielle au MMV et au MStV contournable totalement par une dose massive d'insectes vecteurs.

Une première analyse génétique de la résistance au MStV a été réalisée sur une population F2 issue du croisement entre Rev81, supposée avoir fixé surtout des facteurs de résistance au virus sensu stricto, et B73, lignée américaine sensible. Les tests au champ des descendances F3 inoculées par des insectes vecteurs, menés au cours de 4 saisons différentes, confrontés à une carte génétique bâtie avec des marqueurs microsatellites, ont permis une recherche QTL et l'analyse du déterminisme génétique de la résistance. Les composantes de la résistance mesurées au champ, incidence et sévérité de la maladie, sont des variables de type quantitatif comme le montrent les graphiques de distribution de fréquence (Figure 21). Les analyses de chaque test et sur une base multi-environnement ont montré que cette résistance est fortement héritable et sous contrôle polygénique. Un QTL majeur, détecté sur le chromosome 2, contrôlerait essentiellement la composante incidence de la résistance, et son action serait de type surtout additive (Figure 22). Au moins deux autres QTL à effet moyen à fort, sur les chromosomes 3 et 5, seraient impliqués respectivement plutôt dans l'incidence et la sévérité. Un certain nombre de QTL mineurs ont également pu être détectés sur les chromosomes 2, 3, 8 et 10. Le QTL majeur et les autres QTL impliqués dans la composante incidence de la résistance ne montrent pas d'interaction avec l'environnement pour les effets d'additivité et de dominance et sont donc stables pour ce caractère.

Une deuxième analyse génétique de la résistance au MStV est en cours sur une population de lignées recombinantes issue du croisement entre MP705, originaire d'une population d'Antigua et supposée avoir fixé surtout des facteurs génétiques de résistance à l'insecte, et B73, parent sensible. Cette population peut être testée vis à vis des deux virus avec pour objectif de voir si ce sont les mêmes QTL qui sont impliqués, auquel cas cela confirmerait le caractère "virus non spécifique" de la résistance à l'insecte que l'on suppose fixée dans MP705. La comparaison des QTL détectés dans cette population avec ceux de la population précédente permettra de confirmer ou d'infirmer l'hypothèse de deux contrôles génétiques différents, correspondant au deux grands niveaux de résistance possibles (virus et insecte). Cela permettra également de voir si certains QTL de résistance se conservent ou non entre fonds génétiques éloignés. Par ailleurs, la lignée MP705 a été sélectionnée dans une population d'Antigua pour la résistance à un défoliateur américain et la possibilité de profiter de l'établissement d'une carte génétique pour marquer parallèlement cette résistance ouvre d'autres perspectives intéressantes de valorisation de ce matériel.

J. Dintinger, B. Reynaud

La résistance au flétrissement bactérien chez les solanacées

L'introduction de gènes de résistance au flétrissement bactérien chez la pomme de terre, qui a fait l'objet de la thèse d'I. Fock, a conduit à créer des hybrides somatiques à partir de deux espèces sauvages, *S. phureja et S. stenotomum*. Ceux-ci ayant été caractérisés aux plans cytologique, morphologique et agronomique, il restait à évaluer leur comportement vis-à-vis des deux populations

Photo 19 - *Solanum tuberosum S. stenotomum est l'un des hybrides obtenus par électrofusion de protoplaste. Aspect général des plantes. Morphologie comparée des feuilles-fleurs.*
(Photo I. Fock)

réunionnaises de *R. solanacearum* selon la méthodologie mise au point au cours de la première partie de la thèse.

1) Les hybrides de *S. phureja* montrent un taux de flétrissement presque nul lorsque confrontés à la souche de race 1 ; en revanche, ils se révèlent moyennement sensibles, comme le parent sauvage d'ailleurs, en présence de la souche de race 3. Une exception, cependant, pour l'hybride amphiploïde BP9 qui ne développe que peu de symptômes et montre un taux de flétrissement faible, inférieur à celui de *S. phureja*.

Les hybrides issus de *S. stenotomum* ont un comportement homogène : pas de flétrissement avec la souche de race 1 et des taux faibles avec la souche de race 3 (Photo 19).

2) L'analyse des populations dans les tissus des vitroplants, racinaires ou appartenant au système aérien, indique que si dans tous les cas, parents sensibles ou résistants, la population dans les racines est toujours forte, supérieure à 10^6 ufc/g de tissu frais, son niveau varie significativement selon la combinaison clone-bactérie. Il est toujours élevé pour l'espèce cultivée quelle que soit la souche. Pour *S. phureja* et *S. stenotomum* et leurs hybrides, les populations de la souche de race 1 sont absentes des tissus aériens. En revanche, pour ce qui concerne les populations de la souche de race 3, les niveaux sont élevés (supérieurs à 10^6 ufc/g de tissu frais) chez *S. phureja* et ses hybrides, sauf BP 9 et compris entre 10^3 et 10^5 ufc/g de tissu frais pour BP 9, *S. stenotomum* et tous ses hybrides. Ces résultats confirment la sensibilité à la souche de race 3 de *S. tuberosum*, de *S. phureja* et de ses principaux hybrides, la tolérance de BP 9, de *S. stenotomum* et de ses hybrides à cette même souche et enfin la résistance des espèces sauvages et de tous leurs hybrides à la souche de race 1.

I. Fock, J. Luisetti

La recherche de sources de résistance à la race 3 de *Ralstonia solanacearum* chez la tomate est la première étape du travail de thèse d' Amandine Carmeille. Elle a porté sur une partie du matériel végétal collecté par - ou créé à - l' INRA de Guadeloupe. Les premiers résultats confirment que la presque totalité de ce matériel végétal est sensible voire très sensible aux souches réunionnaises de race.3.

J. Luisetti, A. Carmeille

Photo 20 - *Forêt mégatherme de basse altitude de Mare Longue.*
(Photo M. Attie)

Photo 21 - *Tente malaise en forêt régénérée à Mare Longue.*
(Photo M. Attie).

Connaissance de la bio-diversité pour une meilleure gestion des relations entre espaces cultivés et milieux naturels en zone tropicale

Evaluation de la richesse des milieux indigènes à l'aide d'insectes

Sites d'étude

Une étude sur l'entomofaune est réalisée dans la forêt mégatherme de basse altitude de Mare-Longue (270 m) et dans la forêt mégatherme de moyenne altitude de la Plaine des Fougères (750 à 850 m).

Ces deux formations végétales indigènes sont devenues rares à la Réunion (photo 20).

Dans chaque site, l'entomofaune d'un habitat intact est comparée qualitativement et quantitativement à celle des habitats voisins anthropisés (plantations forestières, milieu indigène exploité). Les habitats perturbés sont en général fortement envahis par des pestes végétales telles que le goyavier (*Psidium cattleianum* Sabine Myrtaceae), la vigne maronne (*Rubus alceifolius* Poir. Rosaceae) et le tabac bœuf (*Clidemia hirta* (L.) D. *Don Melastomataceae*). Les insectes sont échantillonnés avec des pièges au sol (tentes malaises) et des pièges placés au niveau de la frondaison (photo 21 et 22).

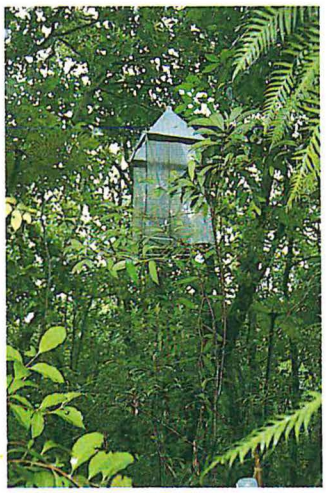


Photo 22 - *Piège au niveau de la frondaison en forêt intacte.*
(Photo M. Attie)

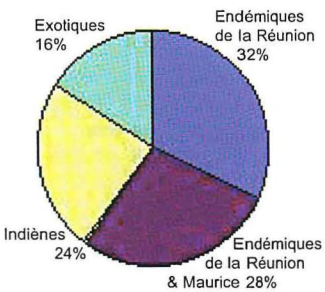


Figure 23 - *Pourcentage d'association recensée pour les Fulgoromorphes (exceptées les Delphacidae et les Flatidae) en fonction des catégories de plantes-hôtes.*

Insectes indicateurs de diversité

Un des objectifs de ce travail est de trouver des insectes ou des groupes d'insectes qui seront des indicateurs de la diversité biologique des milieux. Ces insectes indicateurs de biodiversité serviront à diagnostiquer l'état de plus ou moins bonne conservation des habitats. En matière d'inventaire faunistique, de nouvelles espèces d'hémiptères Fulgoromorpha sont en cours de description (*Cixiidae, Issidae* et *Meenoplidae*), dont certaines se rattachent à de nouveaux genres. Les Fulgoromorpha comprend actuellement sur l'île près de 70 espèces dont près de 50 % sont endémiques des Mascareignes.

Régime trophique

L'étude des relations qui existent entre les insectes phytophages et les taxons de plantes a permis de mettre en évidence près de 300 nouvelles associations. Certains régimes alimentaires ont été mis en évidence ; par exemple chez les fulgoromorphes on a observé des associations privilégiées entre les adultes de plusieurs genres endémiques de Cixiidae et des monocotylédones endémiques. De même, les espèces de Derbidae sont toutes associées à des monocotylédones pour la plupart endémiques (Figure 23).

D'une manière générale, les espèces de fulgoromorphes endémiques de La Réunion (Parmi les Achilidae, Cixiidae, Derbidae, Tropiduchidae etc...) montrent une étroite relation avec les plantes indigènes. Les autres familles (Delphacidae et Flatidae) sont au contraire essentiellement associées à des plantes à large répartition géographique.

M. Attié

Le Bulbul orphée (merle de Maurice)

L'étude de l'utilisation des ressources par ce passereau généraliste, a pour objectif de hiérarchiser et sélectionner des descripteurs d'habitat.
L'approche spatiale est privilégiée et permettra, à terme, la localisation de zones fortement exposées aux dégâts potentiels sur cultures fruitières.

Occupation de l'espace

Une typologie des milieux fréquentés a été effectuée sur des relevés réalisés dans 3 zones distinctes de l'île. L'analyse en composantes principales met en évidence la présence de sites présentant de fortes abondances d'oiseaux et d'autres faiblement ou irrégulièrement fréquentés, ce qui permet de faire les distinctions suivantes:

- d'une part, la zone de St Louis est notablement moins fréquentée que les 2 autres zones d'étude (zones de St Joseph et St Benoît).
d'autre part, dans ces dernières, les paysages de canne à sucre ainsi que les zones de vergers juste au dessus sont beaucoup plus fréquentées que les stations de forêt.

Au total, 200 bulbuls orphée ont été bagués entre avril 1998 et novembre 2000. A l'issue de ces campagnes de capture, il apparaît que la période de mue intervient en février-mars et donne lieu à des regroupements importants d'oiseaux. Dans toutes les zones où la méthode du radio-tracking a été utilisée, l'existence de dortoirs a pu être mise en évidence. Ceux-ci ne semblent pas avoir un caractère permanent mais la présence de canne à sucre semble être un facteur déterminant dans leur établissement. Le traitement des résultats de radio-tracking ainsi que des données d'observation d'oiseaux lors de plans quadrillés de 1998 à 2000 devrait, grâce aux techniques d'analyse spatiale, fournir des conclusions quant à l'utilisation de l'espace et des ressources par cet oiseau.

Utilisation des ressources alimentaires

Les végétaux sont présents dans la quasi-totalité des échantillons de fientes, alors que les animaux, exclusivement des invertébrés, ne sont contenus que dans 46,1% des fientes .
Il est remarquable de constater que les catégories végétales bien représentées appartiennent aux pestes. En outre, un genre d'insecte se démarque très nettement aussi dans les fréquences d'occurrence. Il s'agit du genre *Cratopus*, coléoptère endémique des Mascareignes, composé de 32 espèces, et connu pour les dégâts occasionnés sur les jeunes cultures fruitières et les camphriers.

I. Mandon

PUBLICATIONS

Publications et thèses

BREVAULT, T., QUILICI, S., 2000. Diel patterns of reproductive activities in the tomato fruit fly, Neoceratitis cyanescens. Physiological Entomology : 25, 233-241.

BREVAULT, T., QUILICI, S., 2000. Relationships between temperature, development and survival of different life stages of tomato fruit fly, Neoceratitis cyanescens. Entomologia Experimentalis et Applicata 94 : 25-30.

FOCK, I., COLLONNIER, C., PURWITO, A., LUISETTI, J., SOUVANNAVONG, V., VEDEL, F., SERVAES, A., AMBROISE, A., KODJA, H., DUCREUX, G., SIHACHACKR, D., 2000. Resistance to bacterial wilt in somatic hybrids between Solanum tuberosum and S. phureja. Plant Science. 160 / 165-176

HURTREL, B., 2000. Biologie du développement et écologie comportementale de deux parasitoïdes de mouches des fruits à la Réunion. Thèse Univ. Rennes 1, 150 pp.

KREITER, P., DIJOUX, L., DONNADIEU, F., MALAUSA, J.C., QUILICI, S. 2000. Tentative d'introduction dans les Alpes-Maritimes de la souche réunionnaise d'Arrhenophagus chionaspidis (Hymenoptera, Encyrtidae) pour lutter contre la Cochenille blanche du mûrier. Bull. mens. Soc. Linn. Lyon, 2000, 69 (6) : 121-126

LECLERCQ-LE QUILLEC, F., PLANTEGENEST, M., RIAULT, G., DEDRYVER, C.A. 2000. Analyzing and modelling temporal disease progress of Barley Yellow Dwarf Virus serotypes in barley fields. Phytopathology, 90, 860-866.

LETT, J.M., 2000. La transmission du Maize streak mastrevirus (Geminiviridae) par Cicadulina mbila Naudé (Auchenorryncha, Cicadellidae) sur maïs (Zea mays ssp. Mays) : comportement alimentaire de la cicadelle et dynamique du virus dans le vecteur – Thèse de l'Institut National Agronomique Paris-GRIGNON, 162pp

NORMAND, F., QUILICI, S., SIMIAND, C., 2000. Seasonal occurrences of fruit flies in strawberry guava (Psidium cattleianum Sabine) in Réunion Island : host phenology and fruit infestation. Fruits, vol.55 (4) 271-281.

POUSSIER, S. 2000. Exploration de la diversité génétique de Ralstonia solanacearum, agent du flétrissement bactérien. Détection et dynamique des populations dans les réservoirs d'inoculum. Université de Rennes I, 149 p.

POUSSIER, S., LUISETTI, J., 2000. Specific detection of biovars of Ralstonia solanacearum in plant tissues by Nested – PCR-RFLP. European Journal of Plant Pathology 106 : 255-265.

POUSSIER, S., TRIGALET-DEMERY, D., VANDEWALLE, P., GOFFINET, B., LUISETTI, J., TRIGALET, A., 2000. Genetic diversity of Ralstonia solanacearum as assessed by PCR-RFLP of the hrp gene region, AFLP and 16S rRNA sequence analysis, and identification of an African subdivision. Microbiology 146 : 1679-1692.

POUSSIER. S., PRIOR, P., LUISETTI, J., HAYWARD, C., FEGAN, M., 2000. Partial sequencing of the hrpB and endoglucanase genes confirms and expands the known diversity within the Ralstonia solanacearum species complex. System. Appl. Microbiol., 23, 479-486.

ROUMAGNAC, P., GAGNEVIN, L., PRUVOST, O. 2000. Detection of Xanthomonas sp., the causal agent of onion bacterial blight, in onion seeds using a newly developed semi-selective isolation medium. Eur. J. Plant Pathol. 106 : 867–877.

SOUSTRADE, I., GAGNEVIN L., ROUMAGNAC, P., GAMBIN O., GUILLAUMIN D., JEUFFRAULT E., 2000. First Report of Anthurium blight caused by Xanthomonas axonopodis pv. dieffenbachiae in Reunion Island. Plant Dis. 84 (12): 1343.published on-line as D-2000-1003-02N.

Communications à congrès

ETIENNE, J., QUILICI, S., MARIVAL, D., FRANCK, A., 2000 : Contrôle biologique de Diaphorina citri (Hem., Psyllidae) à la Réunion et en Guadeloupe au moyen de Tamarixia radiata (Hym., Eulophidae). Comm. présentée à l' " Atelier Régional d'Information sur la Situation Phytosanitaires des Agrumes dans la Caraïbe, Pointe à Pitre, Guadeloupe, 28-11 au 01-12-2000 ", 8 pp.

GAGNEVIN, L., GLORIÈS, V., COUTEAU, A., METE, K., GOUT, L., PRUVOST, O. 2000. Interest of the insertion sequence IS595 as a population typing tool for Xanthomonas pv. Mangiferaeindicae. In: EFPP. Biodiversity in plant pathology. Book of Abstracts. Giardini Naxos, Italie: Efpp, p. 37. Congress of the European Foundation for Plant Pathology. 5, 2000/09/18-22, Taormina and Giardini Naxos, Italie

GIRARD, J.C., BRAYER, C., HINNEWINKEL, F., RABOIN, L.M., NOTAISE, J., ROQUES, D., and ROTT, P., 2000. Variability in pathogeneticity of Xanthomonas albilineans in Reunion Island. The 6ty ISSCT Sugarcane Pathology Workshop/Department of Agriculture and Thailand Society of Sugar Cane Technologists,16-23 juillet 2000.

GOEBEL, R., FERNANDEZ, E., BEGUE, J.M., TIBERE, R., ALAUZET, C., 2000. Predatin and verietal resistance as important components of integrated protection of the sugarcane stemborer Chilo sacchariphagus (Bojer) (Lepidoptera : Pyralidae) in Reunion. In Sugarcane Pest Management Strategies in the Millenium. PG Allsopp and W Suasa-ard (Edts). Proceedings of the IV ISSCT

Sugarcane Entomology Workshop, Khon Kaen, Thailand, 7-10 February 2000, pp 51-56.

OFFMANN, B., 2000. Caractérisation et analyse génétique de la résistance de la canne à sucre à Xanthomonas albilineans. 18 Décembre 2000. Université de la Réunion.

OFFMANN, B., RABOIN, L.M., ASNAGHI. C., KAYE. C., RUFFEL. S., ROQUES. D., GIRARD. J.C., NOTAISE. J., SAUMTALL. S., DOOKUN. A., GRIVET. L., ROTT. P., GLASZMANN. J.C., D'HONT A., 2000. Progress in genetic analysis of resistance to rust and leaf scald in sugarcane. Plant and animal genome VIII. Conference, San Diego, CA, January 9-12.

PRUVOST, O., GAGNEVIN, L., 2000. Population structure of Xanthomonas with endophytic and epiphytic. Phyllosphere symposium, Berkeley CA, USA.

PRUVOST, O., GAGNEVIN, L., GLORIES, V., METE, K., GOUT, L., COUTEAU, A. 2000. Usefulness of IS1595 as a molecular tool for epidemiological typing of the Xanthomonas pathovar mangiferaeindicae, causal agent of mango bacterial black spot. Proc. 10th Int. Conf. Plant Bact. Charlottetown, Canada.

QUILICI S., 2000 : Lutte biologique contre les psylles vecteurs du greening à la Réunion. Comm. présentée lors de l'Atelier " Greening ", Hanoï, Vietnam, 31/03 et 1/04/2000.

QUILICI S., 2000 : Parasitoids of citrus pests in Reunion Island (Indian ocean). Comm. presented at the " XXI International Congress of Entomology, Foz do Iguassu, Brasil, August 20-26th 2000 ". (In Book of Abstracts II, p. 362).

QUILICI, S., BREVAULT, T., HURTREL, B., 2000 : Major achievements in Réunion within the Indian Ocean Regional Fruit Fly Programme. Paper presented at the " Indian Ocean Commission Regional Fruit Fly Symposium, Flic-en-Flac, Mauritius, 5-9th June 2000 ". (In : Book of Abstracts).

QUILICI, S., 2000 : The worldwide contribution of CIRAD (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement) to research programmes and activities on fruit fly biology and control. Paper presented at the "Indian Ocean Commission Regional Fruit Fly Symposium, Flic-en-Flac, Mauritius, 5-9th June 2000". (In : Book of Abstracts).

QUILICI, S., CAYOL, J.P., 2000 : Risques phytosanitaires liés aux mouches des fruits (Diptera : Tephritidae) dans les Antilles françaises. Comm. présentée à l' "Atelier Régional d'Information sur la Situation Phytosanitaires des Agrumes dans la Caraïbe, Pointe à Pitre, Guadeloupe, 28-11 au 01-12-2000", 4 pp.

QUILICI, S., FRANCK, A., 2000. Fruit Fly Trapping Experiences in Reunion Island. 1st Research Coordinated Meeting within the FAO/IAEA Coordinated Research Programme : "Development of improved attractants and their integration into fruit fly SIT management programmes", Sao Paulo, Brazil, August 28 –September 1, 2000.

QUILICI, S., HURTREL, B., GOURDON, F., 2000 : Biology, behavior and use of the medfly parasitoid Diachasmimorpha tryoni (Cameron) (Hymenoptera : Braconidae : Opiinae) for biological control. Comm. presented at the 9th Congress of the International Society of Citriculture, Orlando, USA, december 3 – 7th 2000. Program and Abstracts, p. 82.

RABOIN, L.M., 2000. A sugarcane genetic database. 6th international society of sugarcane technologists (ISSCT) breeding workshop. November 13-17, 2000.

RASSABY, L., GIRARD, J.C., IREY, M.S., LOCKHART, B.E.L., KODJA., H., ROTT, P., 2000. Dynamics of sugarcane yellow leaf virus in commercial varieties of Reunion Island. In Abstracts 6th patology workshop of the International Society of Sugar Cane Technologists, 17-23 July 2000, Cha-am, Thailand, p. Ph-5.

ROUMAGNAC, P., PRUVOST, O., 2000. First report of the selective isolation of Xanthomonas sp., the causal agent of onion bacterial blight, from onion seeds. Proc. 10th Int Conf. Plant Path. Bact. Charlottetown, Canada..

Rapports, posters et documents de vulgarisation

BOISSOT, N., GAMIETTE, F., PAVIS, C., SAUVION, N., URBINO, C., REYNAUD, B., CHIROLEU, F., RYCKEWAERT, P., DINTINGER, J., PETERSCHMITT, M., 2000. PROJET INRA/CIRAD Bemisia-Begomovirus – Cultures maraîchères. Fonds commun 2000-2001. Compte rendu intermédiaire

BOUVET, G., 2000. Analyse de la diversité génétique de Xanthomonas pv. mangiferaeindicae, agent de la maladie des taches noires de la mangue, par la technique AFLP. Mémoire DEA "Ressources Phytogénétiques et Interactions Biologiques" ENSAM, Univ. Montpellier II. 27 pp.

BREVAULT, T., QUILICI, S., GLENAC, S., 2000 : Mouche de la tomate à l'île de la Réunion : utiliser les signaux émis par la plante-hôte pour piéger les femelles. FAO, GCP/RAF/244/BEL "Coopération régionale pour le développement des productions horticoles en Afrique", Bulletin de Liaison, N°17, 31 mai 2000 : 76-78.

CHIROLEU, F., 2000. Analyse agronomique planifiée (plant d'expérience et ANOVA), ARMEFLHOR, Saint-Pierre (Réunion).

DELATTE, H., 2000. Molecular and biological characterisation of Gennadius (Homoptera : Aleyrididae), vector of the Tomato Yellow Leaf curl virus in Reunion island. Master Degree in Crop Protection-Virology – Wageningen Agricultural University.

DEVONDEL, Y., 2000. Impact du Surarcane Yellow Leaf Virus (SCYLV) sur les variétés commerciales de canne à sucre à la Réunion. Gradué en agronomie option agronomie des régions chaudes – Haute Ecole Provinciale du Hainaut Occidental.

DUYCK, P.F, 2000 - Etude comparée de la biologie du développement chez trois espèces de mouches des fruits (Ceratitis spp.)(Diptera : Tephritidae), nuisibles aux cultures fruitières à la Réunion. Mémoire DESS" Technologies du Végétal", Univ. Angers, 37 pp.

FLAHAUT B., 2000. Typage moléculaire de populations de Xanthomonas pv. mangiferaeindicae isolées sur des cultivars de manguier sensible et partiellement résistant à la maladie des taches noires. Mémoire DESS "Technologies du Végétal", Univ. Angers. 31 pp.

GARDON, M., 2000 : Utilisation de Diachasmimorpha tryoni (Cameron) en lutte biologique contre Ceratitis capitata (Wiedemann) à la Réunion. Etude des stimuli intervenant dans la recherche de l'hôte. Mémoire DESS " Ressources Animales et Végétales ", Univ. de Corse, 34 pp.

GOEBEL, R., TABONE, E., 2000. Projet de lutte biologique contre les foreurs de la canne à sucre à la Réunion. Compte rendu de mission d'Elisabeth TABONE (17-22/04/2000). Réflexions et propositions de protocoles de recherche pour la période 2000-2002. Rapport INRA/CIRAD, 19 p.

GRONDIN, E., 2000. Mise en place d'une base de donnée pour le suivi des populations de mouches des fruits à la Réunion, BTS Informatique Industrielle – Lycée Roland Garros, Le Tampon (Réunion) 24 pp.

JEUFFRAULT, E., QUILICI, S., 2000 : Lutte contre la mouche du pêcher Bactrocera zonata à la Réunion. Rapport d'exécution. Synthèse des opérations menées de février à septembre 2000. Doc. SPV-Réunion, 8 pp. (+ Annexes : 56 pp.).

LEBONVALLET, S., 2000. Etude de la gamme d'hôte de l'agent causal du déperissement bactérien de l'oignon. Stage de 2nde année Institut National Agronomique Paris-Grignon, 19pp.

MEUNIER, A., 2000. Analyse de la corrélation entre la surface des symptômes et les populations bactériennes chez le pathosystème manguier/Xanthomonas pv. mangiferaeindicae. Stage de 2nde INAPG, 18 pp

NGUYEN NGOC, T., 2000 : Etude de la réponse des femelles de Ceratitis capitata (Wiedemann) (Diptera : Tephritidae) à différents types de stimuli olfactifs en tunnel de vol. Mémoire DEA " Génétique, Adaptations et Productions Végétales ", Univ. Rennes 1, 29 pp. (+ Annexes).

QUILICI, S., SIMIAND, C., 2000 : Action 3a : Lutte contre les mineuses et les cochnies des agrumes. Programme POSEIDOM phytosanitaire de la Réunion – Programme opérationnel 99 – Compte rendu final. 14-17 pp.

REYNAUD, B., LAMBION, J., TILMA, P., BOURGLAN, Y., GOURC, D., PASTOU, D., CHIROLEU, F., 2000. Evaluation agronomique de variétés de tomate résistantes au TYLCV, 13pp (+ Annexes).

REYNAUD, B., PETERSCHMITT, M., GRONDIN, M., GRANIER, M., RYCKEWAERT, P., CHIROLEU, P., 2000. Lutte contre le TYLCV et son vecteur Bemisia tabaci. Programme POSEIDOM phytosanitaire de la Réunion. Programme opérationnel 1999. Compte rendu final. 18-23 pp.

SABIR, HOUSSEN, A., 2000. Recherche de QTls de résistance à l'expression des symptômes pour la maladie de l'échaudure des feuilles de canne à sucre. Rapport de Maîtrise de sciences et technique option valorisation chimique et biologique du végétal. Université de la Réunion.

SAVELON, C., 2000. Vie épiphylle de Xanthomonas pv. mangiferaeindicae, agent responsable de la maladie des taches noires du manguier. Mémoire DESS "Technologies du Végétal", Univ. Angers. 46 pp.

SOUSTRADE, I., 2000. Compte-rendu de mission sur le projet "lutte contre la bactériose de l'Anthurium". en Martinique et Guadeloupe du 23 au 27 octobre 2000 Rapport de mission. La Réunion, France : Cirad - Amis. 8 p

SPV REUNION / CIRAD REUNION, 2000 : Un nouveau ravageur important : Bactrocera zonata. Phytosanitairement Vôtre (SPV Réunion). N° 8, Avril 2000 : 5-6. (Fiche technique rédigée par B. Hurtrel, S. Quilici et E. Jeuffrault).

THORNARY, L., 2000. Caractérisation de la diversité génétique et biologique de Bemisia tabaci Gennadius à la Réunion. DESS Protection et Valorisation du Végétal, 34pp (+ Annexes, 39 pp).

VAYSSIERES, J.F., TURPIN, P., GRONDIN, M., REYNAUD, B., 2000. Rapport FIDOM/FEOGA, Lutte contre le TYLCV et son vecteur Bemisia tabaci, 10 pp (+ Annexes).

Agroalimentaire

Le secteur agroalimentaire occupe une part prépondérante au sein du tissu industriel réunionnais. Il représente le quart des unités industrielles et emploie 40 % des actifs salariés. De plus, il contribue pour plus de la moitié au chiffre d'affaire de l'industrie locale et pour 47 % de la valeur ajoutée, sachant que ces chiffres ne prennent pas en compte les entreprises de moins de six salariés (essentiel du secteur artisanal). Il convient cependant de préciser que la prédominance de ce secteur résulte de la faiblesse de l'industrie manufacturière et du poids de la filière sucrière.

Néanmoins, l'industrie agro-alimentaire non sucrière a connu un essor important depuis les années 60, du fait de l'élévation progressive du niveau de vie et d'un soutien constant des pouvoirs publics.

Ce secteur regroupe, outre deux usines sucrières, des unités de fabrication de produits laitiers, de boissons, de conserves, de salaisons, de plats cuisinés... Cette industrie de transformation est importante car elle s'approvisionne en partie auprès des producteurs agricoles locaux, leur assurant des débouchés nouveaux aux côtés du marché en frais traditionnel. Elle permet notamment de valoriser des écarts de production et de proposer des produits se substituant à ceux d'importation.

D'autre part, au niveau régional, la Réunion a un rôle prépondérant à jouer dans la transformation des productions de la zone (qui bénéficient de faibles coûts) et dans la commercialisation des produits qui en découlent.

Ainsi, à l'heure actuelle, s'affirme de plus en plus la double nécessité de mieux valoriser les matières premières agricoles pour les marchés locaux et de prendre en compte la qualité totale pour affronter la concurrence sur les marchés internationaux. Pour cela, l'acquisition et la reconnaissance d'une expertise forte dans ce domaine porteur à la Réunion sont nécessaires et dépendront de la coexistence d'une formation et d'une recherche de qualité, piliers indispensables du développement aux niveaux local et régional. Pour relever ce défi, le CIRAD s'est implanté à la MRST (Maison Régionale des Sciences et de la Technologie) et a signé en 96 un accord cadre avec l'Université et la Chambre de Commerce et d'Industrie de la Réunion afin d'engager des collaborations fortes sur ce thème.

Les travaux réalisés depuis 1998 sont une bonne illustration des formes de collaborations possibles que le CIRAD peut engager dans ce domaine aussi bien avec des partenaires de la recherche (Université) que du développement (CRITT, Chambre des Métiers, Aquacoop) en relation avec des privés (Crête d'Or).

A. Collignan

Photo 1 - *Produits de charcuterie réunionnais.*
(Photo : F.-L. Athénas)

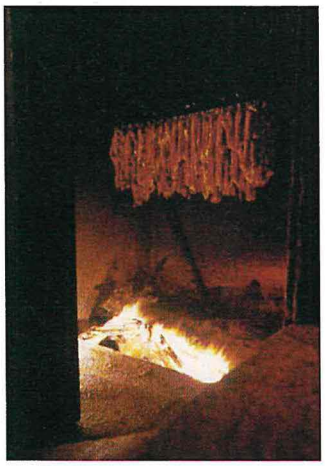


Photo 2 - *Fumage traditionnel du porc boucané.*
(Photo : F.-L. Athénas)

Transformation des produits carnés

Viande, produits de la pêche et de l'aquaculture

Etude et amélioration du procédé de fabrication de boucané à la Réunion

Le porc boucané est un produit de salaison traditionnel réunionnais élaboré à partir de poitrine de porc. 4 700 tonnes sont produites par an et consommées strictement au niveau local, dont 900 tonnes provenant de la fabrication artisanale (photo 1). Le procédé artisanal traditionnel (Photo 2), issu du savoir-faire ancestral, consiste en une succession d'opérations unitaires conduites de manière quasi simultanée.

A un salage de surface très rapide, succède une opération de fumage à chaud permettant simultanément de sécher, cuire et fumer la poitrine de porc.

Il en résulte un produit stable à l'air ambiant, possédant des caractéristiques colorimétriques et aromatiques spécifiques, fort appréciées du consommateur réunionnais. Le procédé induit toutefois un faible rendement et conduit de surcroît à des produits de qualité sanitaire très médiocre (présence de composés toxiques).

Un travail de recherche a été mené avec comme objectif de mieux cerner et d'améliorer le procédé artisanal. Il a été rendu délicat en raison du caractère empirique du procédé et de la simultanéité des opérations unitaires qu'il engendre (fumage, cuisson, séchage). Aussi, une étude spécifique a été réalisée pour évaluer l'impact des transferts de matières (perte en eau, gain en sel, en sirop de glucose et en phénols) sur le développement des mécanismes réactionnels (couleur, arômes) qui expliquent en grande partie les modifications qualitatives constatées sur le produit fini. Les opérations unitaires de salage, séchage, cuisson et fumage appliquées à la poitrine de porc ont été transcrites à l'échelle du laboratoire.

Les résultats obtenus permettent de comprendre les transferts influents sur les développements colorimétrique et aromatique du boucané.

Le procédé innovant de Déshydratation-Imprégnation par Immersion (DII) a été testé pour l'élaboration du porc boucané, dans un souci d'amélioration du procédé et de la qualité sanitaire du produit.

Le procédé consiste à immerger la poitrine de porc découpée en morceaux dans une solution complexe fortement concentrée en sel (NaCl), en sucre de forte masse molaire (DE21) et en arômes liquides naturels de fumée. C'est la différence de concentration en solutés entre la viande et la solution qui induit des transferts de matière croisés et simultanés (perte en eau et gains en solutés du produit). Le produit est ainsi salé, séché et aromatisé en une seule étape.

Un modèle prédictif a été élaboré afin de relier les variables de commande du procédé (température, concentration en sucres et en arôme liquide de fumée de la solution et temps de traitement) aux caractéristiques du produit (Figure 3).

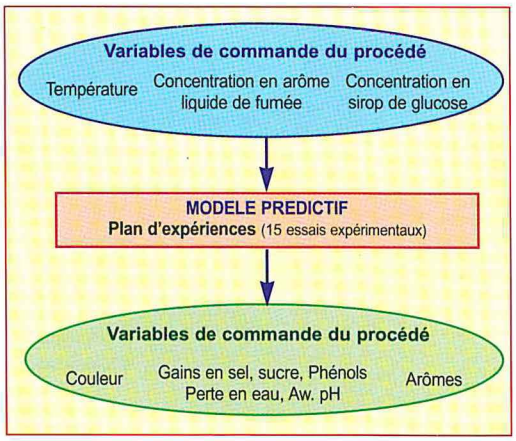


Figure 3 - *Présentation du modèle de prédiction du comportement d'une pièce de porc au boucanage.*

Photo 4 - *Séchage des saucissons secs de volaille.*
(Photo : F. Deumier, Crête d'Or Entreprise)

Photo 5. *Gamme de produits de charcuterie de volaille.*
(Photo : N. Bénart, Crête d'Or Entreprise)

Il va permettre de trouver de nouvelles conditions de transformation et de déterminer les conditions de traitement par DII permettant d'obtenir un boucané proche du produit artisanal.

I. Poligné

Amélioration des procédés de transformation de la viande de volaille

La viande de volaille est la viande la plus consommée à la Réunion (34 kg/an/habitant contre 23,5 kg/an/habitant en Métropole), du fait notamment de l'existence d'interdits religieux concernant le porc et le bœuf. La production locale est cependant concurrencée par des importations de cuisses congelées de bas de gamme en provenance de la CEE, qui représentent 35 % de la volaille consommée aujourd'hui à la Réunion. Cette concurrence a poussé la filière avicole à proposer des produits pays de qualité. D'autre part, la demande locale s'oriente de plus en plus vers des produits élaborés, notamment de charcuterie. Aussi, la filière avicole est-elle très demandeuse en termes d'innovations. C'est pourquoi le CIRAD a initié une collaboration avec la société Crête d'Or en juin 2000, afin de mener conjointement un travail de recherche et développement dans le domaine de la transformation de viande de volaille.

Les premiers travaux réalisés ont permis d'optimiser la formulation et le procédé de fabrication d'un produit original, le saucisson sec 100 % volaille (Photo 4). Les modifications proposées garantissent ainsi une meilleure sécurité pour le consommateur, des caractéristiques organoleptiques améliorées (texture, couleur et flaveur) et une meilleure exploitation du produit et du procédé par l'industriel (augmentation du rendement, diminution de la durée du séchage).

Cependant, la fabrication de produits de charcuterie "100 % volaille" (Photo 5) pose un certain nombre de problèmes technologiques.

Le plus délicat d'entre eux est le caractère huileux et suintant des produits obtenus. Ce défaut est directement lié à la faible température de fusion des matières grasses de volaille. Par exemple, pour la confection d'un saucisson sec, il est
recommandé d'utiliser des gras présentant une température de fusion élevée, donc une faible teneur en acides gras poly-insaturés et un faible indice d'iode (inférieur à 65) ainsi qu'une capacité de résistance à l'oxydation et une dureté importante. Le suintement observé sur un produit comme le saucisson sec de volaille est lié à la faible température de fusion des lipides très insaturés de la volaille, dont l'indice d'iode vaut 73.
Une solution consiste à éliminer les lipides à basse température de fusion responsables du suintement, par cristallisation à sec de la graisse de volaille.
Comme le schématise la figure 6, ce procédé de fractionnement des lipides repose sur un chauffage initial de la graisse, qui permet d'éliminer tous les cristaux de gras déjà formés dans la matière grasse initiale, suivi d'un refroidissement lent sous agitation modérée. La conséquence de ce refroidissement est une cristallisation des lipides à haute température de fusion. La taille et la "pureté" de ces cristaux sont d'autant plus grandes que les vitesses de refroidissement et d'agitation sont faibles.

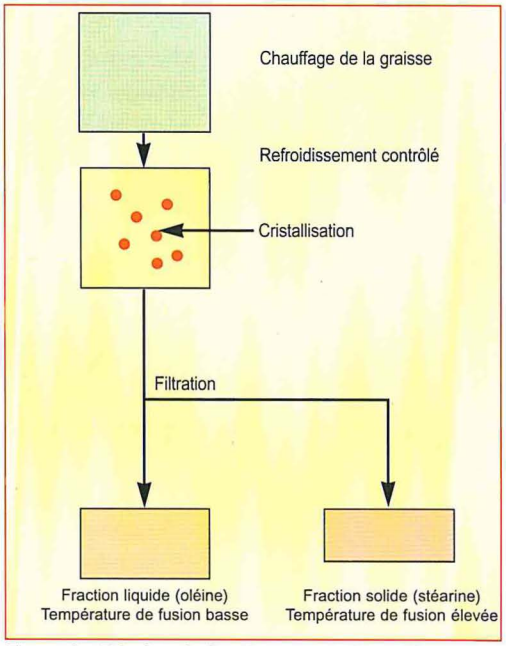


Figure 6 - *Principe du fractionnement de matière grasse*

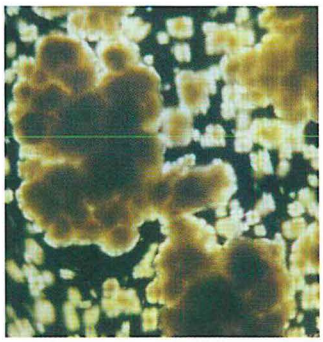


Photo 7 - *Vue microscopique des cristaux de stéarine dans l'oléine liquide à 10 °C après fractionnement de la graisse de volaille.*
(Photo V. Gibon)

Photo 8 - *Tranche de poisson salé-séché-fumé à froid.*
(Photo F.L. Athenas)

Photo 9 - *Tilapia entier salé-séché-fumé.*
(Photo F.L.Athenas)

Des cristaux "purs", de grande taille et de forme ß' conduisent à des stéarines plus fermes et plus saturées. Enfin, une filtration est utilisée afin de séparer la phase cristallisée (stéarine) de la phase liquide (oléine).

Les premiers essais réalisés sur de la graisse de volaille (Photo 7) montrent que préalablement à toute optimisation, le fractionnement à sec de graisse de volaille permet d'obtenir une matière grasse technologiquement intéressante. En effet, les stéarines présentent une couleur plutôt blanche, donc appétissante, les pigments jaunes typiques de la graisse de volaille semblant s'être concentrés dans l'oléine. D'autre part, ces stéarines sont solides à température ambiante, beaucoup plus saturées que les matières grasses initiales et présentent un indice d'iode égal à 56, ce qui montre leur bon potentiel pour la fabrication de produits de charcuterie.
Le procédé pourrait être optimisé avec comme objectif l'augmentation du rendement en stéarine (égal à 25 % pour ce premier essai) jusqu'à obtention d'une stéarine présentant un indice d'iode égal à celui du gras de porc (62).

F. Deumier

Validation d'une unité artisanale de salage-séchage-fumage à froid de poissons

Une petite unité innovante de salage-séchage-fumage à froid de produits carnés a été conçue et réalisée en 99. Elle a été implantée dans la halle de technologie du CRITT agro-alimentaire de la Réunion et mise en situation de petite production.

Le Tilapia, fourni par la société Aquacoop, a servi de support aux essais d'optimisation et de validation du matériel testé qui ont été réalisés au début de l'année 2000.

Les résultats obtenus montrent que le procédé est techniquement et économiquement viable au niveau artisanal et en milieu tropical. L'équipement autorise une production de poisson fumé de 50 kg/jour, l'investissement est limité par rapport à un matériel conventionnel (250000 F HT environ) et les coûts de fonctionnement sont faibles.
Le procédé a été appliqué au traitement du tilapia en filet (Photo 8) ou entier (Photo 9). Les bonnes qualités organoleptique et sanitaire obtenues en font des produits haut de gamme. La coopérative d'aquaculture (Aquacoop) pourrait, si elle démarre une activité de transformation, utiliser ce procédé.

Une réflexion est actuellement menée pour appliquer cette technique à la valorisation d'autres produits carnés (volaille par exemple).

Développement de collaborations au niveau régional sur la transformation des produits animaux

Projet Régional FICU

Un projet FICU (financement de l'AUPELF) d'une durée de 2 ans a débuté cette année. Il porte sur l'amélioration des techniques de conservation des produits carnés en milieu tropical. L'objectif de ce projet est de contribuer au renforcement des capacités scientifiques, techniques et d'enseignement de trois universités de l'océan indien (Madagascar, Maurice, Réunion) dans le domaine de la conservation des produits animaux en engageant une collaboration étroite entre ces universités, le CIRAD (Réunion et Montpellier) et l'ENSIA (Ecole Nationale Supérieure des Industries Alimentaires).

Pour cela un groupe de travail composé de 9 personnes s'est réuni durant une semaine en décembre 2000 à St-Denis. Il a permis de mettre en place un module de formation sur la transformation des produits animaux qui a été dispensé à l'IUP agro-alimentaire de l'Université de la Réunion. D'autre part, un atelier de réflexion a été mené dans le but d'améliorer ce module de formation ainsi que de réfléchir aux collaborations possibles entre les

Photo 10 - *Coronille*
(Photo P. Rivière)

différents partenaires dans le domaine de la conservation des produits animaux en milieu tropical.
Une deuxième atelier de formation sera organisé en octobre 2001 à Madagascar.

Montage d'un doctorat avec Maurice
Un dossier de demande de bourse de doctorat avait été déposé à l'ambassade de France à Maurice pour mener une opération de recherche sur la transformation du cerf Rusa. Il n'a pas été retenu. La candidate, qui est actuellement assistante à l'Université de Maurice, reste intéressée par une formation par la recherche au pôle agro-alimentaire du Cirad. Aussi, cette demande sera réitérée en donnant une dimension régionale plus marquée au sujet.

A. Collignan

Valorisation des productions végétales

Caractérisation et aptitude à la conservation de la coronille

Les caractéristiques de la coronille (*Psidium friedrichsthalianum* – Photo 10), fruit nouvellement implanté à la Réunion, ont été évaluées en 1999.

Les résultats ont permis d'identifier les voies technologiques appropriées à la valorisation de ce fruit qui présente des atouts majeurs en terme de qualités aromatiques et nutritionnelles (teneur en vitamine C jusqu'à dix fois supérieure à l'orange). La confection de mousses et de sorbets est une voie de valorisation qui intéresse d'ores et déjà les pâtissiers. Par contre, le cuisson entraîne une dénaturation des arômes et de la couleur du produit.
Aussi, une étude particulière a été réalisée afin d'identifier les mécanismes impliqués dans la dégradation des arômes et de la couleur du fruit. Des réactions de brunissement non-enzymatique, liées à la dégradation de la vitamine C et du fructose, provoquent l'apparition de furfural et un assombrissement de la pulpe. Au cours de ces réactions, les notes "fruitées" et "senteur verte" disparaissent suite à la dégradation de certains composés aromatiques.

Un modèle prédictif de comportement de la coronille au traitement thermique a été élaboré. Il doit permettre d'établir des recommandations sur les conditions de cuisson de la pulpe de ce fruit.
Un travail complémentaire visant à améliorer le procédé de fabrication de confiture de la société Ledenon doit être mené en relation avec le Critt agro-alimentaire.

F. Normand
A.Collignan

Publications en 2000

Revues et communications

• *POLIGNÉ I., COLLIGNAN A., 2000. Quick marination of anchovies (Egraulis enchrasicolus) using acetic and gluconic acids. Quality and stability of the end product. Lebens. -Wiss. u. Technol, 33(3), 202-209.*

• *BOHUON P., COLLIGNAN A., DEUMIER F., GOUNELLE D., MAROUZÉ C., MÉOT JM, 2000. Procédé et dispositif d'imprégnation par immersion sous pression variable de produits poreux d'origine animale ou végétale. Brevet Français n°00/05257 déposé le 25-04-00.*

• *POLIGNÉ I., COLLIGNAN A., PIERIBATTESTI J.P., TRYSTRAM G., 2000. Traditional techniques for processing boucané, a salted/dried/smoked meat product from Réunion. A paraître dans Tropical Science.*

• *COLLIGNAN A., BOHUON P., DEUMIER F., POLIGNÉ I., 2000. Fish and Meat processing by Osmotic Treatment. A paraître dans Journal of Food Engineering.*

• *MAROUZÉ C., GIROUX F., COLLIGNAN A., RIVIER M., 2000. Equipment design for osmotic treatment. A paraître dans Journal of Food Engineering.*

• *POLIGNÉ I., COLLIGNAN A., TRYSTRAM G., 2000. Etude d'un procédé traditionnel de salage/séchage/fumage de viande en milieu tropical et proposition d'innovations. In : Douzième Rencontres Scientifiques et Technologiques des Industries Alimentaires Agoral. 22-23 Mars, Montpellier, France, 245-252.*

• *POLIGNÉ I., COLLIGNAN A., TRYSTRAM G., 2000. Salting, drying and smoking of pork meat. Interactions effects due to simultaneous units operations. In : Congrès ICEF6, 10-12 April, Mexico, sous presse.*

• *DEUMIER F., COLLIGNAN A., BOHUON P., 2000 Utilization of glucose syrup for drying and salting meat products. Effects on mass transfers. In : Congrès ICEF6, 10-12 April, Mexico, sous presse.*

• *DEUMIER F., COLLIGNAN A., TRYSTRAM G., BOHUON P., 2000 Comparison of mass transfers of turkey meat immersed in brine at atmospheric pressure and under partial pulsed vacuum. In : Congrès ICEF6, 10-12 April, Mexico, sous presse.*

• *POLIGNÉ I., COLLIGNAN A., TRYSTRAM G., 2000. Caracterization of traditional processing of pork meat into boucané. A paraître dans Meat Science.*

• *COLLIGNAN A., RIVIER M., DEUMIER F., LACOMBE A., 2000. Improvement of salting, drying and cold smoking of fish fillets using Dehydration and Impregnation Drenching process (DID). Soumis à Innovative Food Science and Emerging Technologies.*

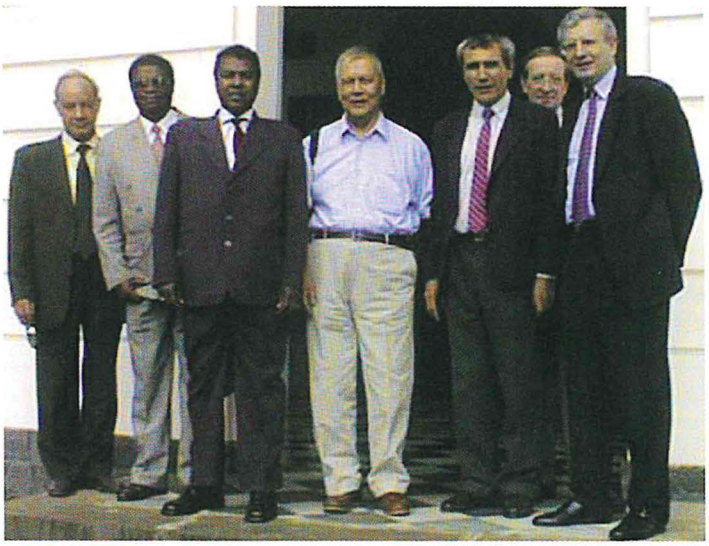
Rapports

• *BERNARD E., 2000. Validation technico-économique d'un équipement artisanal de salage-séchage-fumage à la Réunion. Projet de fin d'étude UTC Génie Biologique. Rapport Cirad-Amis n°08. 59p.*

• *CASTELAIN C., 2000. Amélioration du procédé de fabrication de porc boucané. Utilisation de la Déshydratation-Imprégnation par Immersion (DII). Projet de fin d'étude UTC Génie Chimique. Rapport Cirad-Amis n°43. 43 p.*

• *DECAGNY G., 2000. Caractérisation et amélioration des conditions de transformation de la coronille. Projet de fin d'étude UTC Génie Chimique. 48p.*

Valorisation Régionale



Visite à la Réunion du Ministre Malgache de la recherche scientifique.

L'année 2000 a été marquée par la création, en concertation avec le Conseil Régional, d'une cellule de valorisation régionale à La Réunion. L'objectif est d'apporter un appui à la promotion et à la valorisation économique des résultats obtenus par le dispositif de recherche-développement réunionnais dans le cadre d'une coopération régionale.
Cette structure permettra en outre d'aider les institutions et les professionnels réunionnais à établir des relations scientifiques, techniques ou économiques par un appui au montage de projets bilatéraux ou régionaux.

Pour l'année 2000 les activités de cette cellule se sont essentiellement concentrées autour de trois axes principaux : structurer et promouvoir l'offre des pôles de compétences du Cirad à La Réunion, mieux connaître l'offre des partenaires professionnels réunionnais et, enfin, à prendre contact avec les représentants, les organisations professionnelles ou les structures de coopération des pays voisins de façon à mieux percevoir la demande et à recueillir les éléments nécessaires à l'élaboration de projets de coopération.

Des plaquettes de présentation en français et en anglais ont été élaborées pour chacun des pôles de compétence du Cirad à la Réunion. Elles décrivent de façon claire le contexte et les enjeux économiques et sociaux de l'activité concernée, les principaux champs d'action, l'offre en termes de compétences, de savoir faire, d'équipements ou d'outils, la capacité d'accueil et de formation et enfin les différents partenariats scientifiques, techniques et institutionnels réunionnais avec lesquels des collaborations sont établies. Ces documents constituent un véritable outil de communication à l'usage des chercheurs mais également pour les services de l'Etat et les collectivités locales pour lesquels le dispositif de recherche-développement du Cirad peut constituer un véritable instrument de coopération régionale. A ce titre, les dispositions contenues dans la nouvelle loi d'orientation pour l'outre-mer vont donner de plus fortes prérogatives aux collectivités locales en matière d'action internationale et de coopération régionale, ce qui rend d'autant plus urgent une structuration et une rationalisation de l'offre réunionnaise.

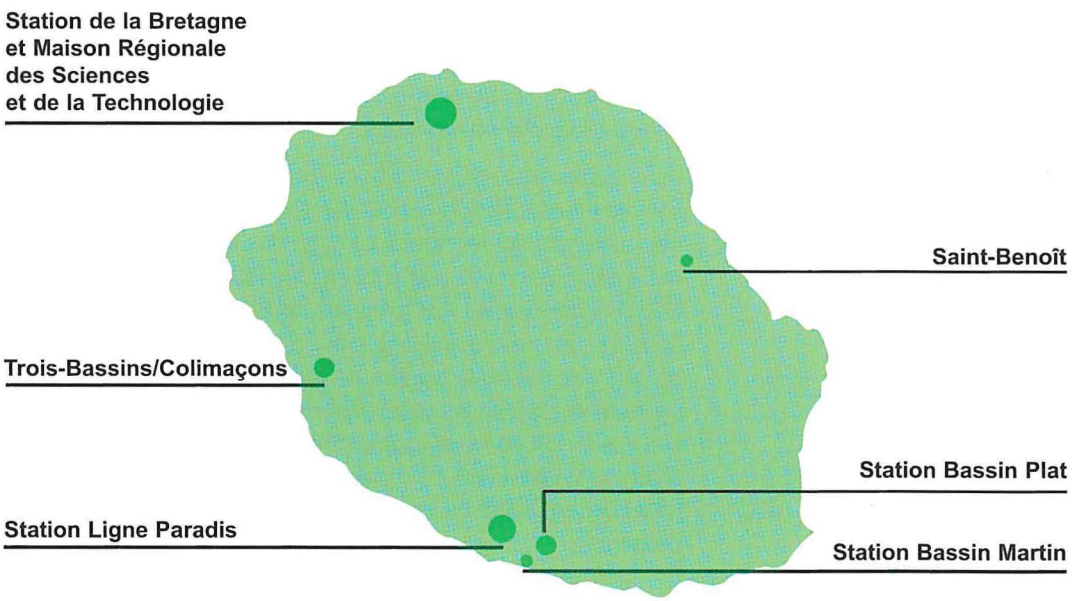
Au cours de l'année 2000, de nombreux échanges, missions et accueils, en association le plus souvent avec d'autres institutions et professionnels réunionnais, ont été réalisés avec les pays voisins (Madagascar, Maurice, Comores), avec l'Afrique Australe (Afrique du Sud, Tanzanie, Zimbabwe) et avec l'Asie (Vietnam). Ceux-ci ont permis de dégager des axes prometteurs de coopération qui sont généralement en phase avec les thématiques scientifiques des pôles du Cirad à La Réunion : l'agriculture durable et non polluante, la protection de l'environnement et des plantes, la valorisation agroalimentaire des produits agricoles et d'élevage, l'amélioration de la productivité et de la qualité des filières végétales et animales.

Délégation du Cirad Réunion fin 2000

MICHEL TRÉBEL : délégué régional
DIDIER GOUT : responsable du service administratif et financier

Pôles de compétences	Responsables
Canne à sucre	**B. Siegmund**
Fruits, légumes et plantes aromatiques	**M. Jannoyer**
Agriculture durable, environnement et forêt	**M. Piraux**
Elevage	**P. Grimaud**
Protection des plantes	**B. Reynaud**
Agroalimentaire	**A. Collignan**

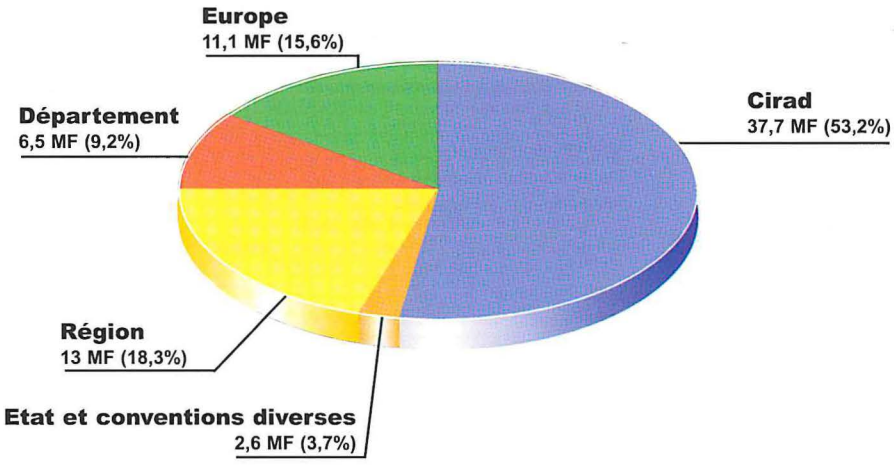
Les implantations du Cirad à la Réunion



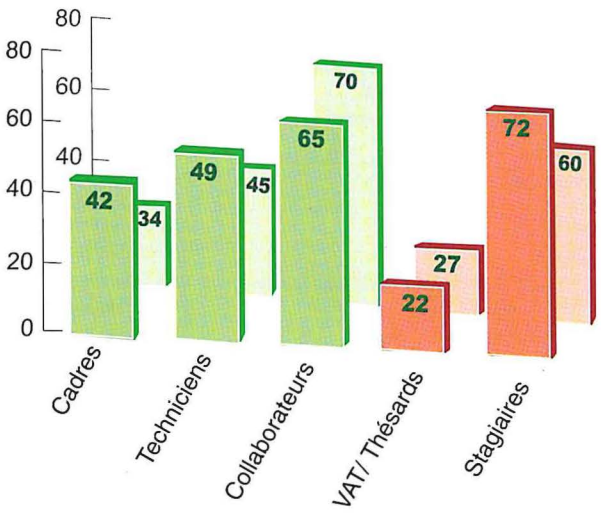
Répartition des financements

entre le Cirad et ses partenaires (Conseil Régional, Conseil Général, Europe et Etat)

Total ressources 2000 : 70,9 MF



Les effectifs du Cirad



Effectifs comparés au 31/12/99 et au 31/12/00	1999	2000
Permanents	149	156
VAT + Thésards	27	22
Autres**	2	2
Total	178	180
En outre le CIRAD reçoit des stagiaires	60	72

** *Contrat de qualification et d'apprentissage.*

Les équipes du Cirad

A Saint-Denis

DÉLÉGATION RÉGIONALE

Délégué Régional : Michel TREBEL
Administration et Finances : Didier GOUT
Secrétaire Direction : Nadège NANGUET
Secrétariat La Bretagne :
Catherine ANGO, Josie CARPANIN, Marie-Vivienne DIJOUX
Valorisation Régionale : Dominique POLTI
Démarche Qualité : Paul FALLAVIER
Gestion - Comptabilité :
Marie-Yvonne RAMAYE, Hélène RAYEPIN, Philippe SCHOETTEL, Tilda SITALAPRESSAD
Service du Personnel :
Véronique BOYER, Delphine CARANDANTE
Services Généraux :
Marie-Andrée DUMAY, Eric GAUVIN, Lilian GAUVIN, Jeannot GRONDIN, Alix JEANNETTE, Floris MOUNIAPIN, Vincent-Paul ORANGE

CANNE A SUCRE

Responsable du Pôle : Bernard SIEGMUND
Laboratoire d'analyses
Patrick LEGIER, Jean-Claude BILLAUD, Marie-Frède GAUVIN, Charles HOARAU, Jocelyn IDMOND, Jean-Dollin MOUNY-LATCHIMY
Modélisation
Jean-François MARTINE, Guillaume LECANU***, Richard de LARICHAUDY, Michel JEANNETTE
Agronomie
Denis POUZET, Aurélien VELLE, Benoît CAUMONT**
Mécanisation
Jean-Cyril DAGALLIER, Dany DEURVEILHER
Station Expérimentale La Mare
Hugues TELISMART, Michel HOAREAU, Iréné PROMI

PROTECTION DES PLANTES

Génétique
Louis-Marie RABOIN, Bernard OFFMANN**
Entomologie
Jacques ROCHAT, Léon BEGUE, Jean-Claude GAUVIN, Marie-Charlyne GAUVIN, Frédéric GOURDON, Emmanuel FERNANDEZ, Richard TIBERE
Phytopathologie
Laurent COSTET, Julien NOTAISE**, Ginot GAUVIN, Laurence RASSABY**, Hugues LOMBARD, Jean-Claude RIBOTTE

AGRO-ALIMENTAIRE

Responsable du Pôle : Antoine COLLIGNAN

Jacques JOAS, François DEUMIER, Aïdée LOMBARD, Isabelle POLIGNE**, Alexandre LACOMBE***

AGRICULTURE DURABLE, ENVIRONNEMENT ET FORET

Responsable du Pôle : Marc PIRAUX
Economie
Jean-Louis FUSILLIER, Anne DALPHIN***

Environnement
François GUERRIN, Pierre-François CHABALIER, Jean-Marie PAILLAT, Eric PIQUET***, Arnaud HELIAS**

Agriculture des Hauts dans l'Ouest
André CHABANNE, Just HOAREAU, Maxime LANGEVILLIER, Josian RIVIERE, Olivier SALMACIS, Patrick TECHER, Aristhènes TIBERE, Daniel TIBERE, Johnny BOYER

Agriculture des Hauts dans l'Est
Frédéric NORMAND

A Saint-Pierre

Infrastructures
Samuel LAURET

Secrétariat
Magalie AURICANE, Micheline BAPTISTE, Anne-Marie EVAN, Maryse HOAREAU, Gisèle MOREL, Chantal TERRENTROY

Services Généraux
Anyse MOREL, Jean-Louis HOAREAU

CANNE A SUCRE

Bioclimatologie
Jean-Louis CHOPART, Jean-Luc BROSSIER, Jean-Paul D'EXPORT, Lionel LE MEZO, Raymond NATIVEL, Bernard MOUNY-LATCHIMY,

ELEVAGE

Responsable du Pôle : Patrice GRIMAUD

Philippe HASSOUN, Olivia FONTAINE, Jean-Yves LATCHIMY, Serge NABENEZA, Expédit RIVIERE, Emmanuel TILLARD, Hélène GARES***, COIGNAC Olivier***

AGRICULTURE DURABLE, ENVIRONNEMENT ET FORET

Jacques TASSIN, Laurent SCHMITT, Jean-Noël RIVIERE, Yves DURAND***

PROTECTION DES PLANTES

Responsable du Pôle : Bernard REYNAUD

Thierry BREVAULT**, Françoise LECLERQ LE QUILLEC, Jacques LUISETTI, Olivier PRUVOST, Serge QUILICI, Jean-Jacques CHERON, Annie COUTEAU, Jérôme LAMBION, Antoine FRANCK, Claude RIVIERE, Frédéric FABRE, Christophe SIMIAN, Véronique GLORIES, André HOARAU, Stéphane POUSSIER**, Michel BOYER, Jacques DINTINGER, Dominique VERGER, Paul BOILLY, Maurice D'EXPORT, Martial GRONDIN, Philippe ROUMAGNAC**, Lilian GOUT***, Lionel GAGNEVIN, Frédéric CHIROLEU, Amandine CARMEILLE**, Isabelle MANDON-DALGER**, Karine FARREYROL**, René-Paul HOAREAU, Julien MAYEN, Jean-Michel LETT**, Jean-Claude MUSSARD, Carl QUEVENOT, Serge GLENAC, André-Walter GRONDIN, Christian HOAREAU, Philippe RICKEWAERT, Isabelle SOUSTRADE

FRUITS, LEGUMES ET PLANTES AROMATIQUES

Responsable du Pôle : Magalie JANNOYER

Filière Maraîchage
Serge SIMON, Jean-Sebastien COTTINEAU***

Filière Fruits
Christian LAVIGNE, Laurent URBAN, Philippe CABEU, Axel MUSSARD, Georget TULLUS, Mathieu LECHAUDEL**

Pépinière Plants d'élite - Diversification
Fabrice LE BELLEC, Jean-Patrice LEBLE, Eugène GAUDIRIS, Johnny ACAPANDIE, René-Claude JUDITH, Auguste TAILAMEE, Marie-Ludders MOUTOUSSAMY

Stations expérimentales fruitières et maraîchères
Philippe DE BOISVILLIERS, Bernard ABUFERA, Jean-Michel BAPTISTE, Alphonse CELESTE, Jean-Bernard DIJOUX, Joseph-Hugues DIJOUX, Rosinand FONTAINE, Julien HOAREAU, Aristide ITEMA, Sylvain JOANANY, Camille LAFFUTEUR, Raymond LAURET, Joseph-Gilles MAILLOT, Marco-Séraphin MOREL, Jean-Frédéric PAYET, Jean-Pierre RANGAYEN, Pierre SALAMA, Louis TOSSAM

** Étudiants en thèse au 31/12/2000 *** VAT : Volontaire à l'Aide Technique

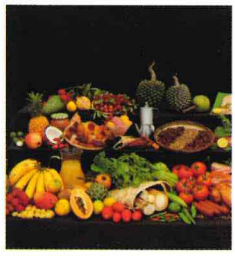


Photo de couverture

F. L. Athénas

Conception, coordination

RMC Communication

Impression

Imprimerie Ah-Sing

Juin 2001

Dépôt légal n° 929

RC 79 B 11

Centre
de coopération
internationale
en recherche
agronomique
pour le
développement

Délégation
de la Réunion
BP 20,
97408 Saint-Denis Messag.
Cedex 9
Téléphone :
0262 52 80 00
Télécopie :
0262 52 80 01
e-mail :
michel.trebel@cirad.fr

Produits réunionnais (Photo F. L. Athénas)