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.

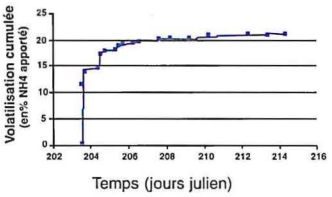


Figure 4 : *Flux cumulé de volatilisation ammoniacale mesuré à la Plaine des Cafres après épandage de lisier de bovins. On constate que le flux, très intense au cours des premières heures qui suivent l'épandage tend à s'estomper après une dizaine de jours.*

### 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

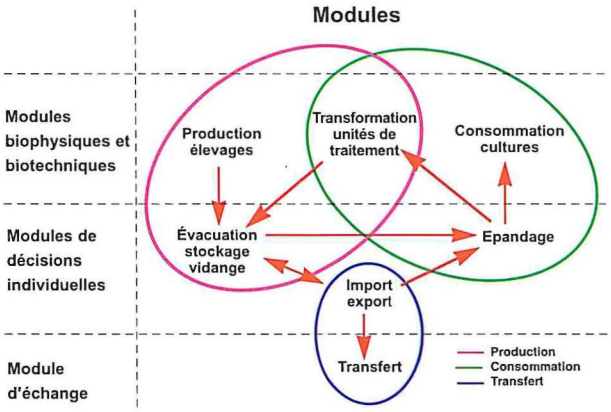


Figure 5 : *Schématisation des modules représentant les pratiques de gestion des matières organiques au sein d'une exploitation*

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,...).

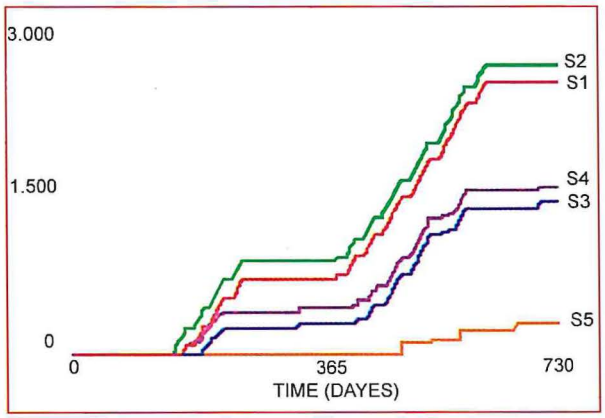


Figure 6 - *Cumul des quantités d'Azote (tonnes N) déversées dans l'environnement selon 5 stratégies de gestion des effluents d'élevage dans un même exploitation. S1, S2 : épandages non fractionnés ; S3, S4 : épandage fractionnés ; S5 épandages fractionnés et compostage à la ferme.*

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.

### 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).

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)*

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.

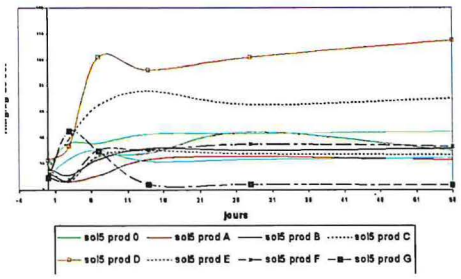


Figure 8 - *Cinétiques de minéralisation de l'azote de différents produits organiques en sol brun à 20° C.*

### 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*