

# **Modélisation des flux de biomasse et des transferts de fertilité à l'échelle d'un territoire**

**Cas de la gestion individuelle et collective  
des effluents d'élevage à l'île de la Réunion**

**Jean-Marie Paillat**

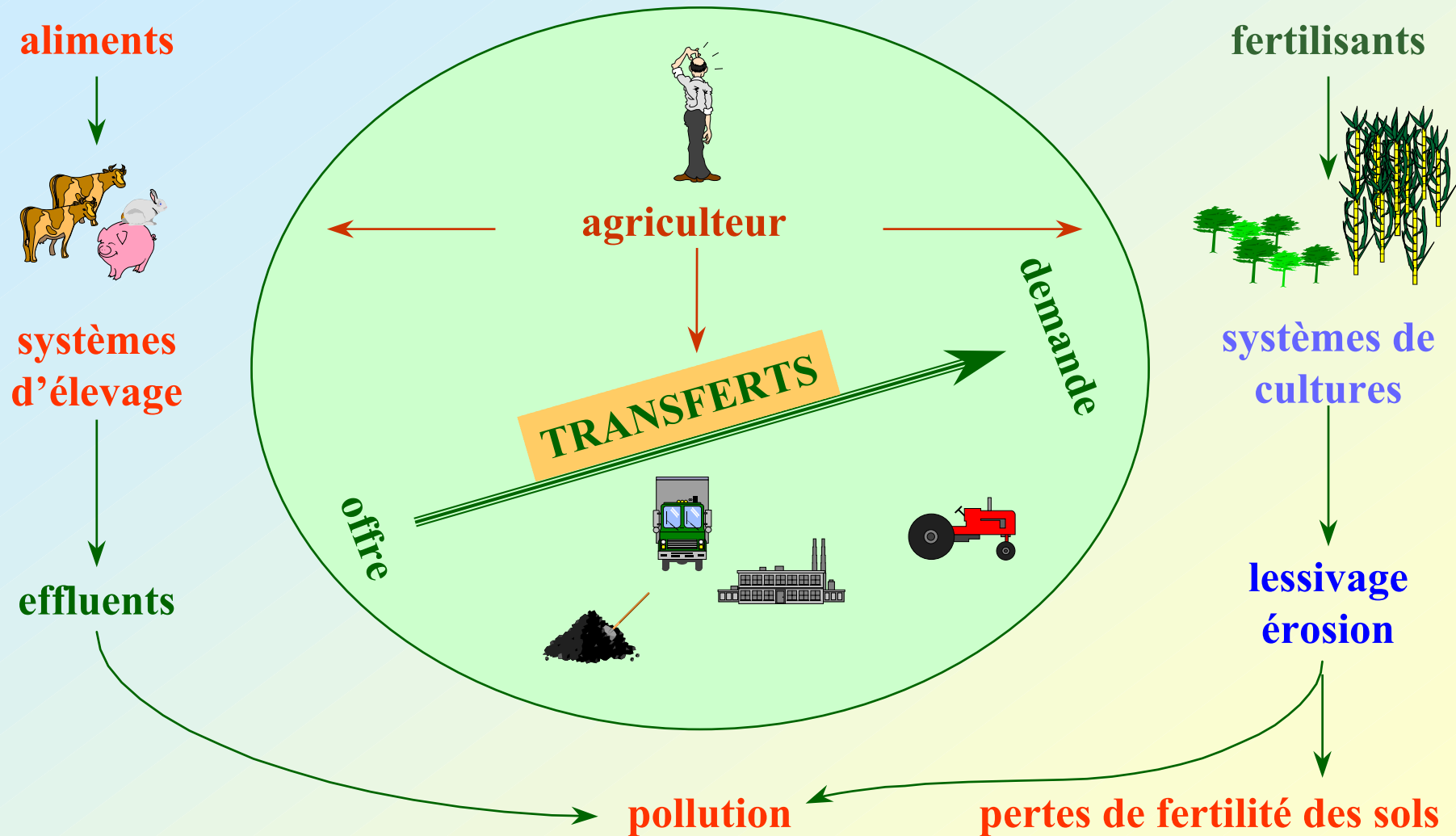
*Cirad-Tera/Inra-EA, UMR SAS, Rennes*

**François Guerrin**

*Inra-BIA/Cirad-Tera, équipe Gdor, Réunion*



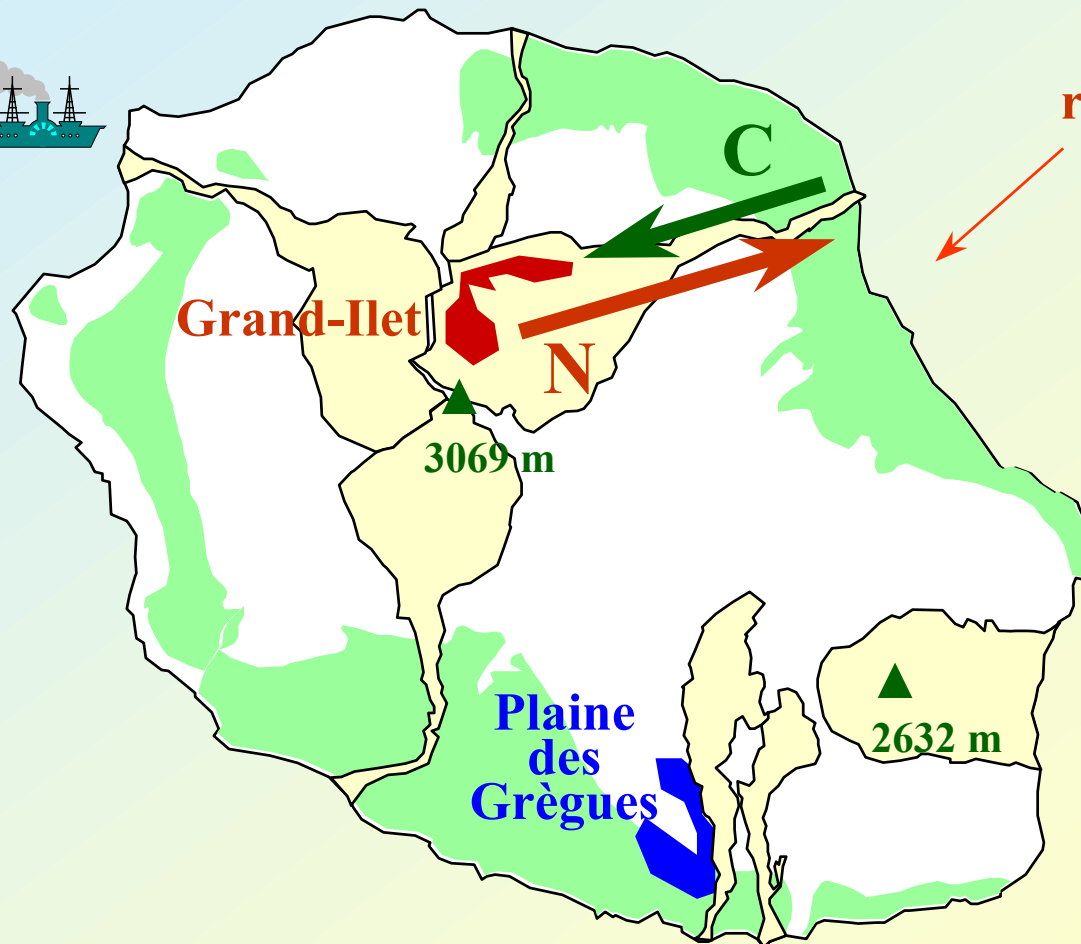
# Problématique



# Problématique

## Transferts de biomasse à la Réunion

beaucoup  
d'intrants :  
aliments,  
engrais



réglementation



J.-M. Paillat  
UMR SAS



# Problématique

Effluents d'élevage : 3/4 N des déchets organiques produits à la Réunion

Production excédentaire dans certaines zones :

- intensification de l'élevage
- SAU épardable limitée



Pollution dans les zones excédentaires

Forte demande en MO adaptées dans d'autres zones :

- maintien de la fertilité des sols tropicaux
- besoins spécifiques (maraîchage)



Perte de fertilité dans les zones déficitaires



## Nécessité d'organisation de transferts de MO

Niveau individuel :

- au sein de l'exploitation agricole

Niveau collectif :

- entre exploitations distinctes
- approvisionnement d'unités de transformation collective



# Objectifs de l'ATP 99/60

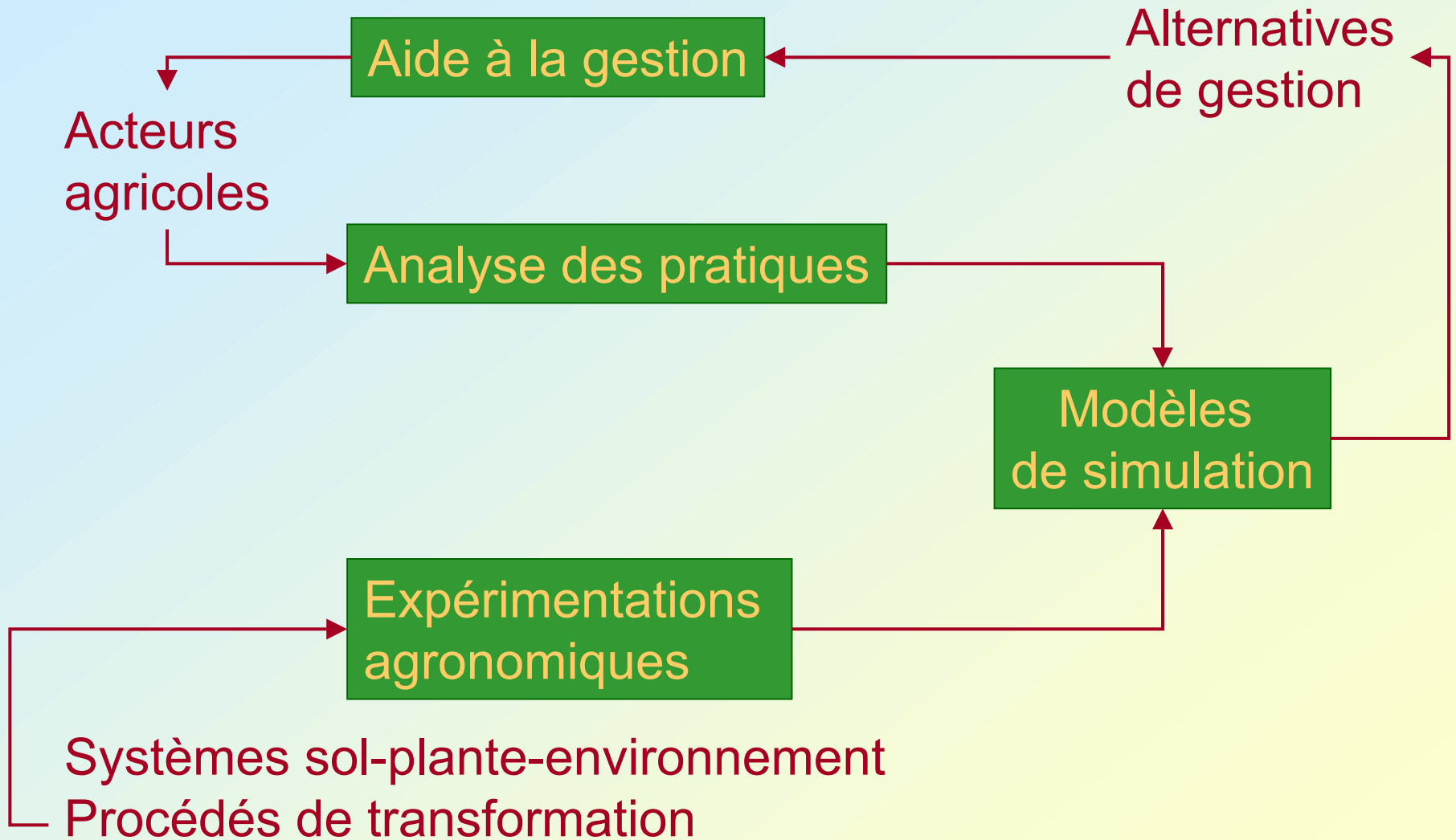
---

**Problème complexe :**    **contraintes contradictoires**  
                                  **nombreux acteurs**  
                                  **multiplicité des niveaux d'organisation**  
                                  **multiplicité d'échelles spatiales et temporelles**

1. Construction de modèles de gestion des MO & transferts de fertilité :
  - au niveau individuel
  - au niveau collectif
2. Evaluation & test de stratégies de gestion des flux de MO à ces 2 niveaux :
  - pris séparément
  - couplés (interaction individuel/collectif)
3. Evaluation des impacts agronomiques & environnementaux
  - synthèse et acquisition de données
  - couplage modèles de gestion/modèles biophysiques



# Approche suivie



# Organisation / collaborations

## Thème 1 : Niveau individuel

C. Aubry (Inra-Sad, Tananarive)  
R. Martin-Clouaire, J.P. Rellier (Inra-BIA, Toulouse)  
F. Guerrin, J.M. Médoc, J.M. Paillat (Gdor)

## Thème 2 : Niveau collectif

R. Courdier (Univ. Run-Iremia), S. Ferrari (Univ. Run-Ceresur)  
C. Le Page, S. Farolfi, P. Bommel (Cirad-Tera, Montpellier)  
M. Tidball (Inra-ESR, Montpellier)  
J.P. Steyer (Inra-EA, Narbonne), P. Lopez (CNRS-Laas, Toulouse)  
F. Guerrin, A. Hélias, J.M. Paillat (Gdor)

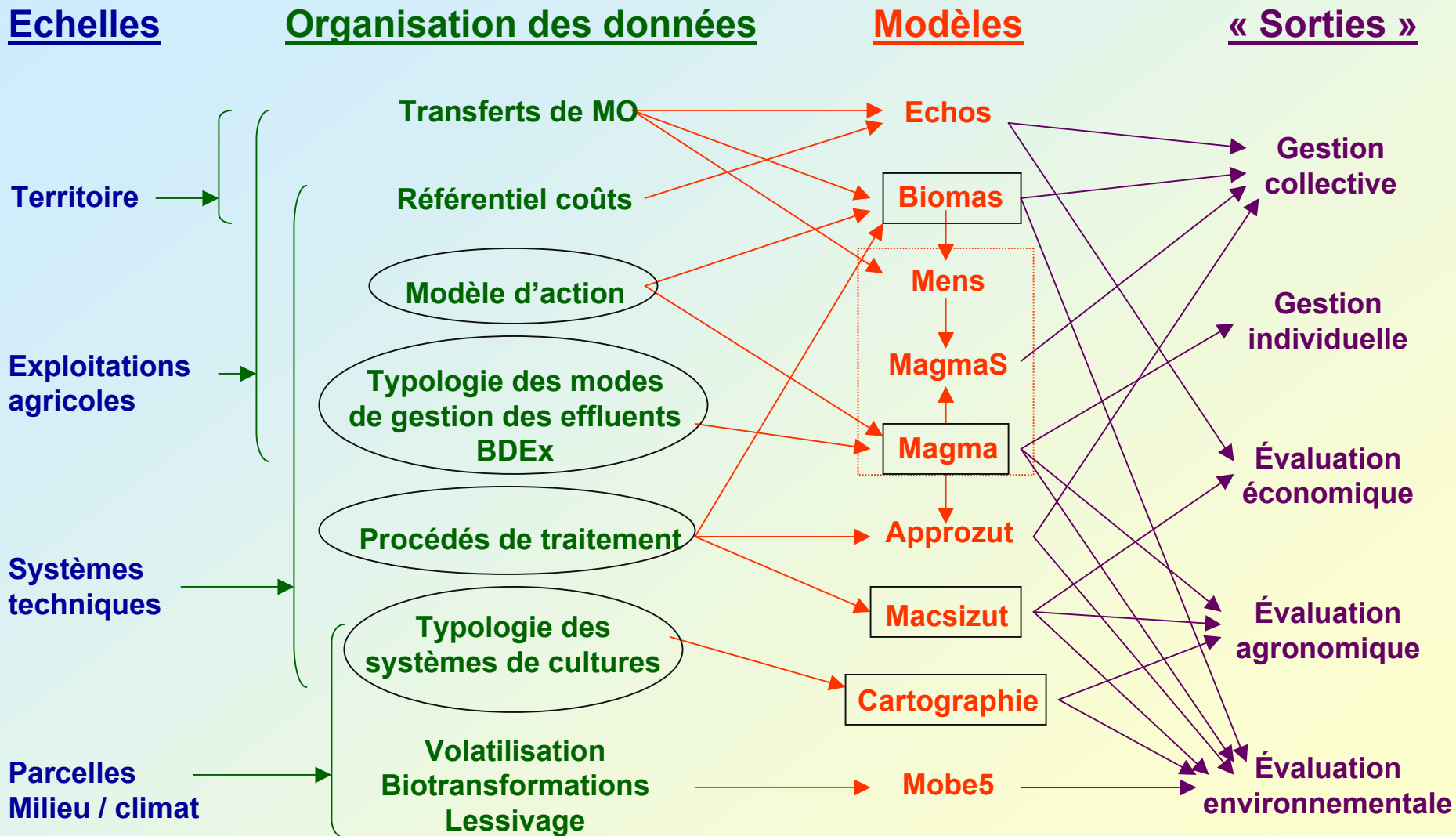
## Thème 3 : Valorisation agronomique et évaluation du risque environnemental

P. Leterme, T. Morvan, L. Ruiz (Ensar / Inra-EA, Rennes)  
D. Flura, S. Génermont (Inra-EA, Grignon)  
J.L. Farinet (Cirad-CA, Montpellier), Y. Hurvois (Agence de l'Eau LB)  
P.F. Chabalier, F. Guerrin, J.M. Médoc, J.M. Paillat, H. Saint Macary (Gdor)

J.-M. Paillat  
UMR SAS

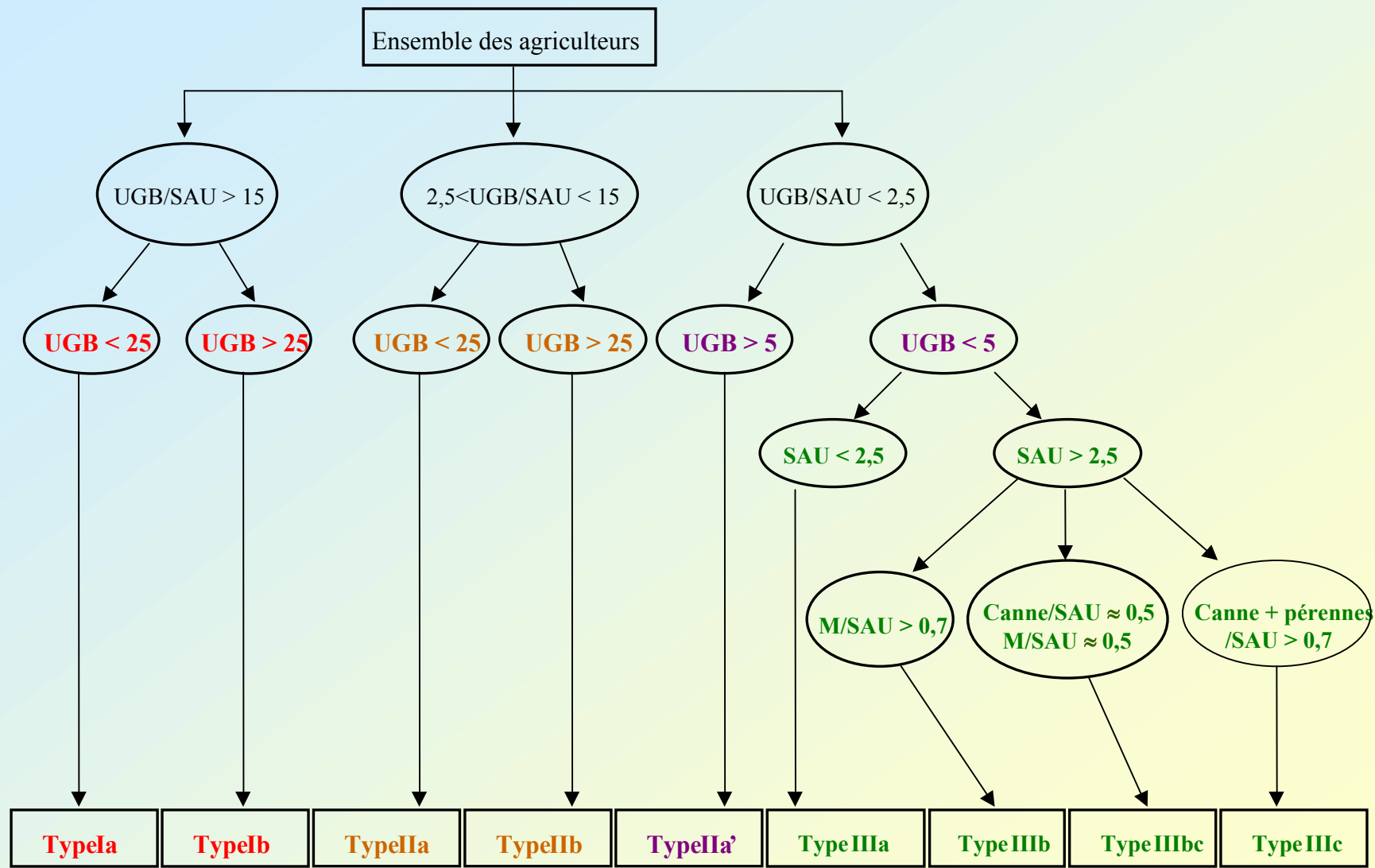


# Résultats

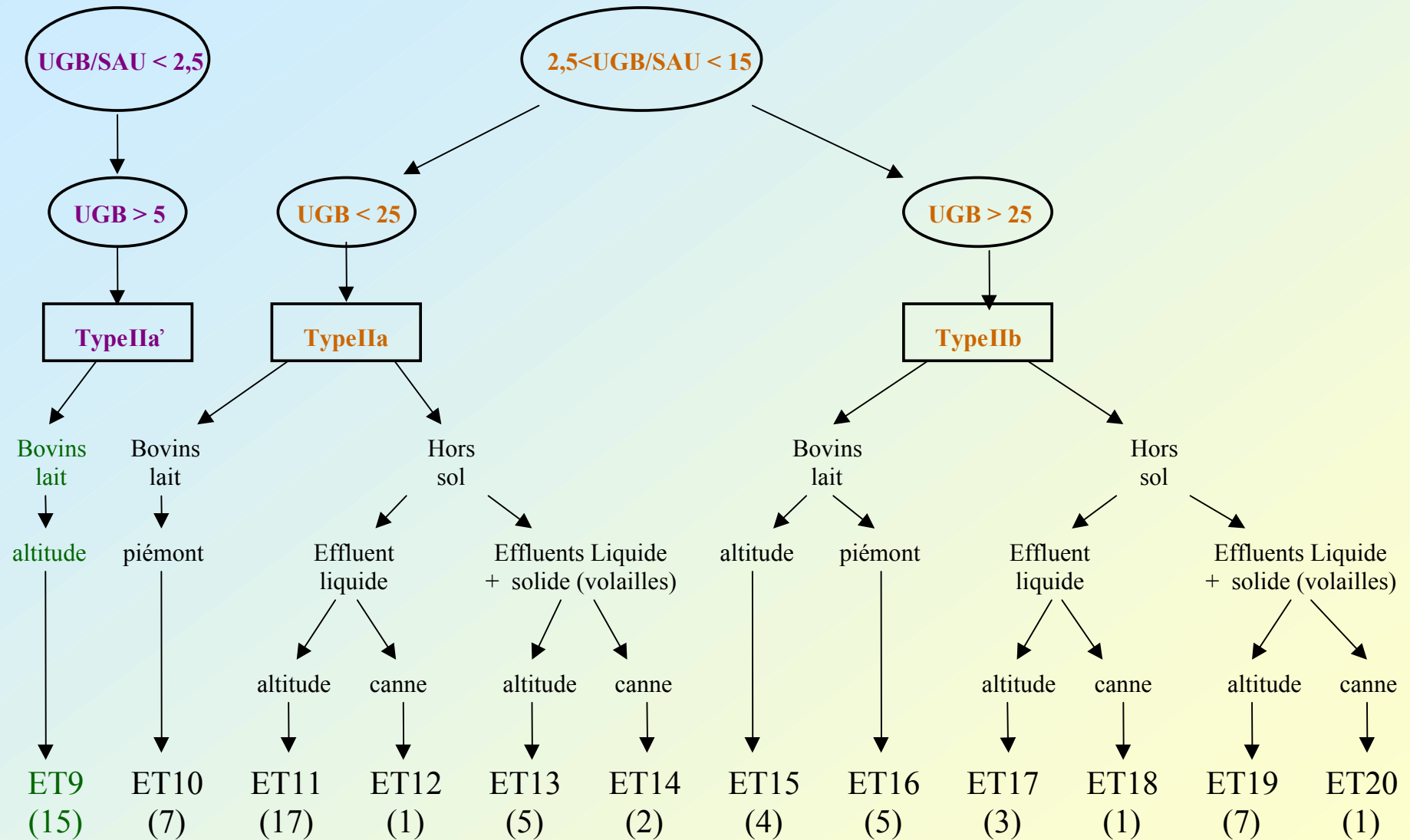




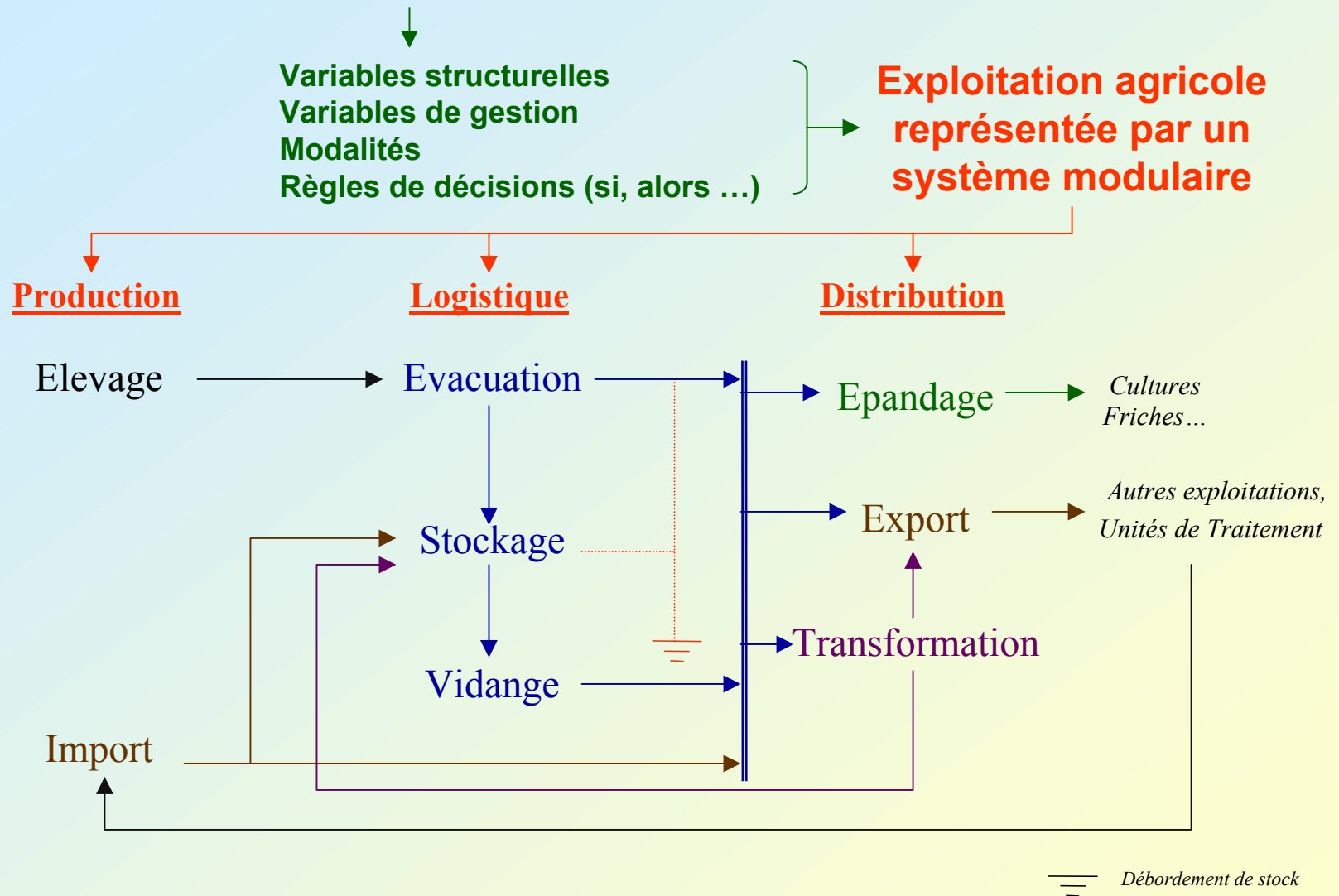
# Résultats Typologie des modes de gestion des effluents



# Résultats Typologie des modes de gestion des effluents



# Résultats Modèle d'action



—=—=—= Débordement de stock

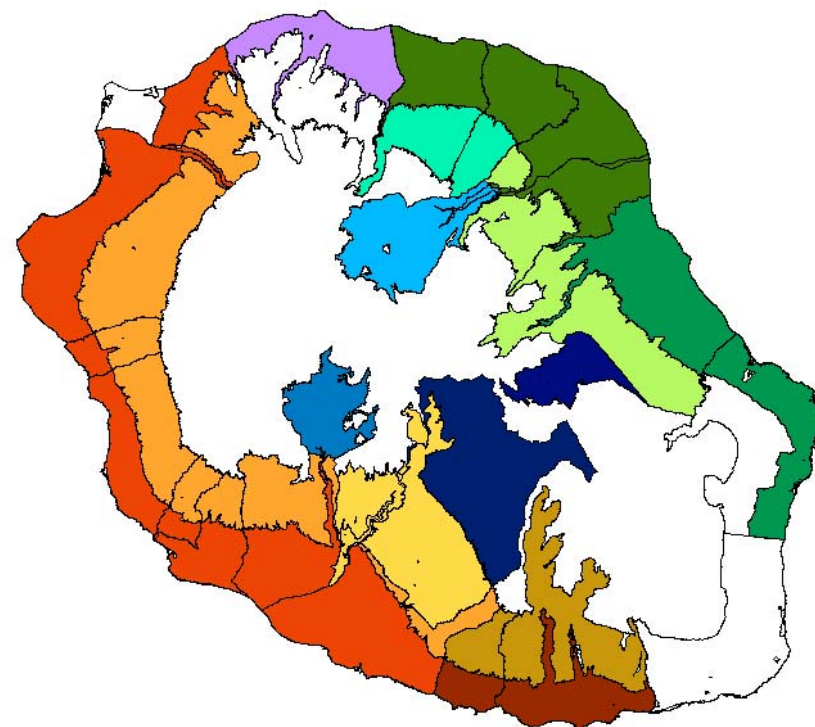


# Résultats

## Typologie des systèmes de cultures

Zone	Type dominant	Critère de détermination		
		Pluvio. (mm)	Altitude	Irrigué
A	Canne pluviale et ananas majoritaire	1500 – 3000	< 400m	Non
B	Canne pluviale, litchi et banane majoritaire	3000 – 5000	< 400m	Non
C	Canne pluviale d'altitude, maraîchage humide	2000 – 3000	> 400m	Non
D	Canne pluviale d'altitude, fruitiers humides	3000 – 4000	> 400m	Non
E	Maraîchage et ananas	1500	< 400m	Non
F	Maraîchage et fruits tempérés	3500		Non
G	Maraîchage et cucurbitacées	2000		Non
H	Canne pluviale d'altitude, pâturages et maraîchage	1500 – 2000	> 400m	Non
I	Pâturages et maraîchage d'altitude	2000 – 4000		Non
J	Canne pluviale, fruitiers et maraîchage	1500 – 3000	< 400m	Non
K	Canne pluviale d'altitude, fruitiers et maraîchage	1500 – 2000		Non
L	Canne pluviale ou irriguée, fruitiers et maraîchage secs	< 1000	< 400m	Oui
M	Canne pluviale d'altitude, fruitiers secs et élevage	1000 – 1500	> 400m	Non

Carte des régions agricoles de la Réunion.



Typologie des systèmes de cultures.  
Proposition de zonage

0 10 kilomètres

- A. Canne pluviale et ananas majoritaire
- B. Canne pluviale, litchis et banane majoritaire
- C. Canne pluviale d'altitude, maraîchage humide
- D. Canne pluviale d'altitude, fruitiers humides
- E. Maraîchage et ananas
- F. Maraîchage et fruits tempérés
- G. Maraîchage et cucurbitacées
- H. Canne pluviale d'altitude, pâturages et maraîchages
- I. Pâturages et maraîchage d'altitude
- J. Canne pluviale, fruitiers et maraîchage
- K. Canne pluviale d'altitude, fruitiers et maraîchage
- L. Canne pluviale ou irriguée, fruitiers et maraîchage secs
- M. Canne pluviale d'altitude, fruitiers secs et élevage
- Zone non retenue pour l'étude\*



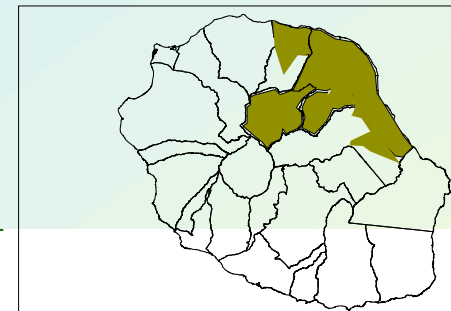
\* Ces zones comprennent les régions urbaines ou d'altitude supérieure à 1200 mètres (à l'exception de la commune du Tampon) et celles dont les données ne sont pas disponibles.

Sources : BD TOPO IGN 1997, CIRAD.

Mai 2002.

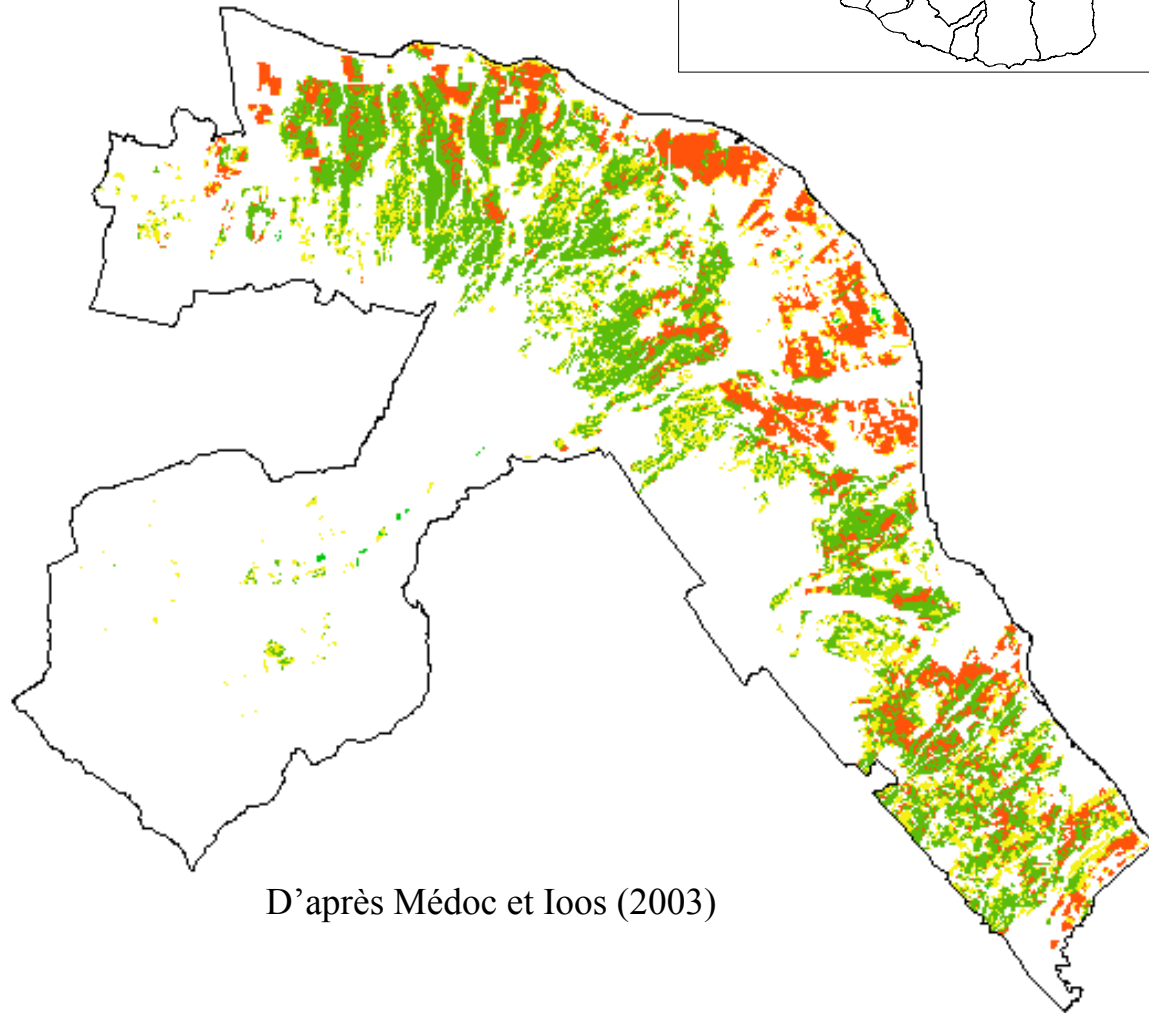
# Résultats

## Identification des bassins de consommation potentiels des matières organiques produites à Grand Ilet



Cartographie des zones potentiellement épanposables pour la zone côtière Nord-Est de la Réunion. Les critères utilisés pour l'élimination des surfaces sont les critères de la réglementation sur l'épandage. Le critère de pente interdisant l'épandage de matières liquides a été fixé à 7%.

Cette zone représente 46 290 ha avec 12 400 ha de SAU :  
**3197 ha peuvent recevoir de la MO liquide et solide (rouge),**  
**7076 ha peuvent recevoir uniquement de la MO solide (vert),**  
**36017 ha ne sont pas aptes à l'épandage dont 2119 ha de SAU (jaune).**



D'après Médoc et Ioos (2003)

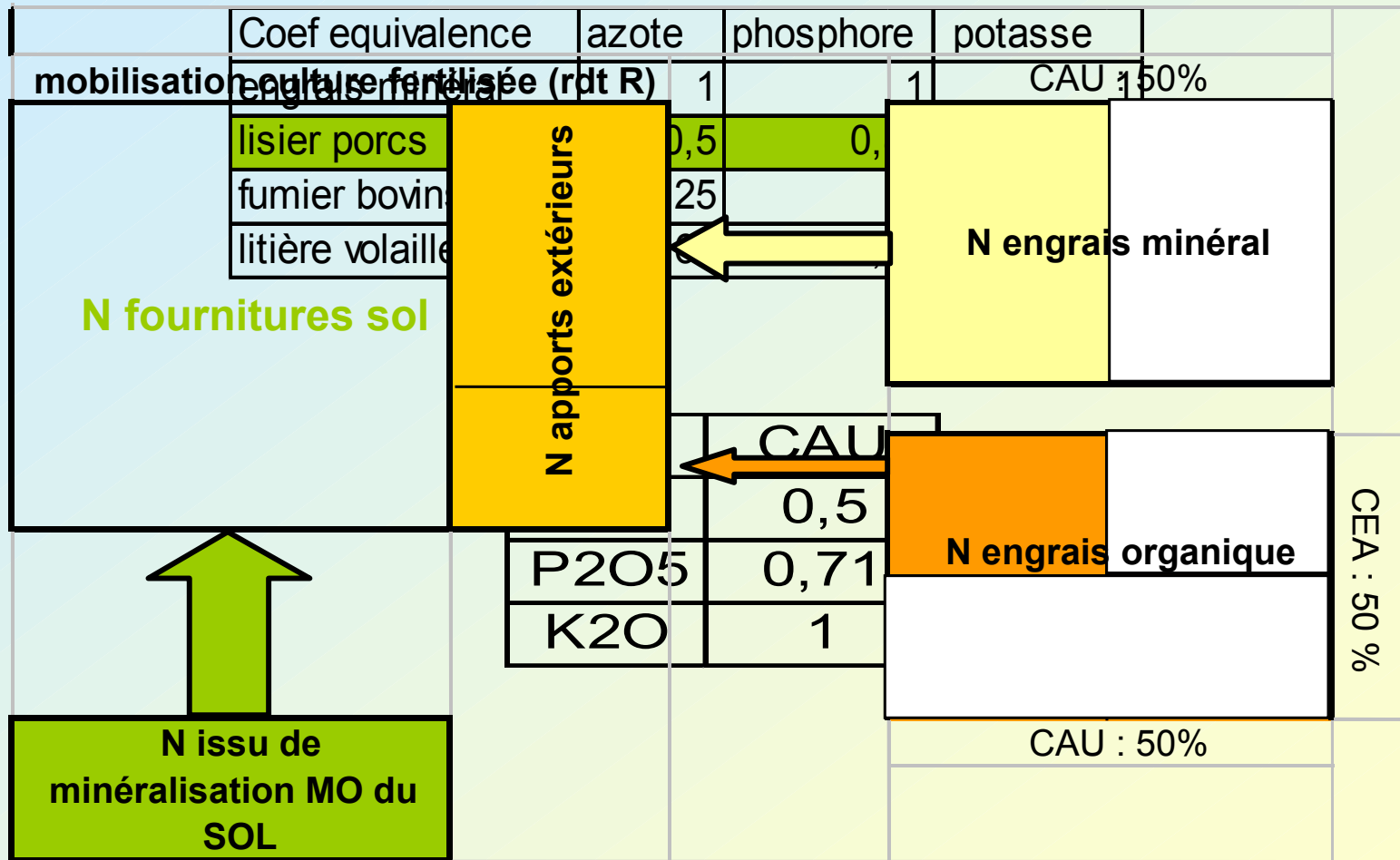
J.-M. Paillat  
UMR SAS



# Résultats

## Identification des bassins de consommation potentiels des matières organiques produites à Grand Ilet

Exemple de la canne en repousse - cas de l'azote



# Résultats

## Identification des bassins de consommation potentiels des matières organiques produites à Grand Ilet

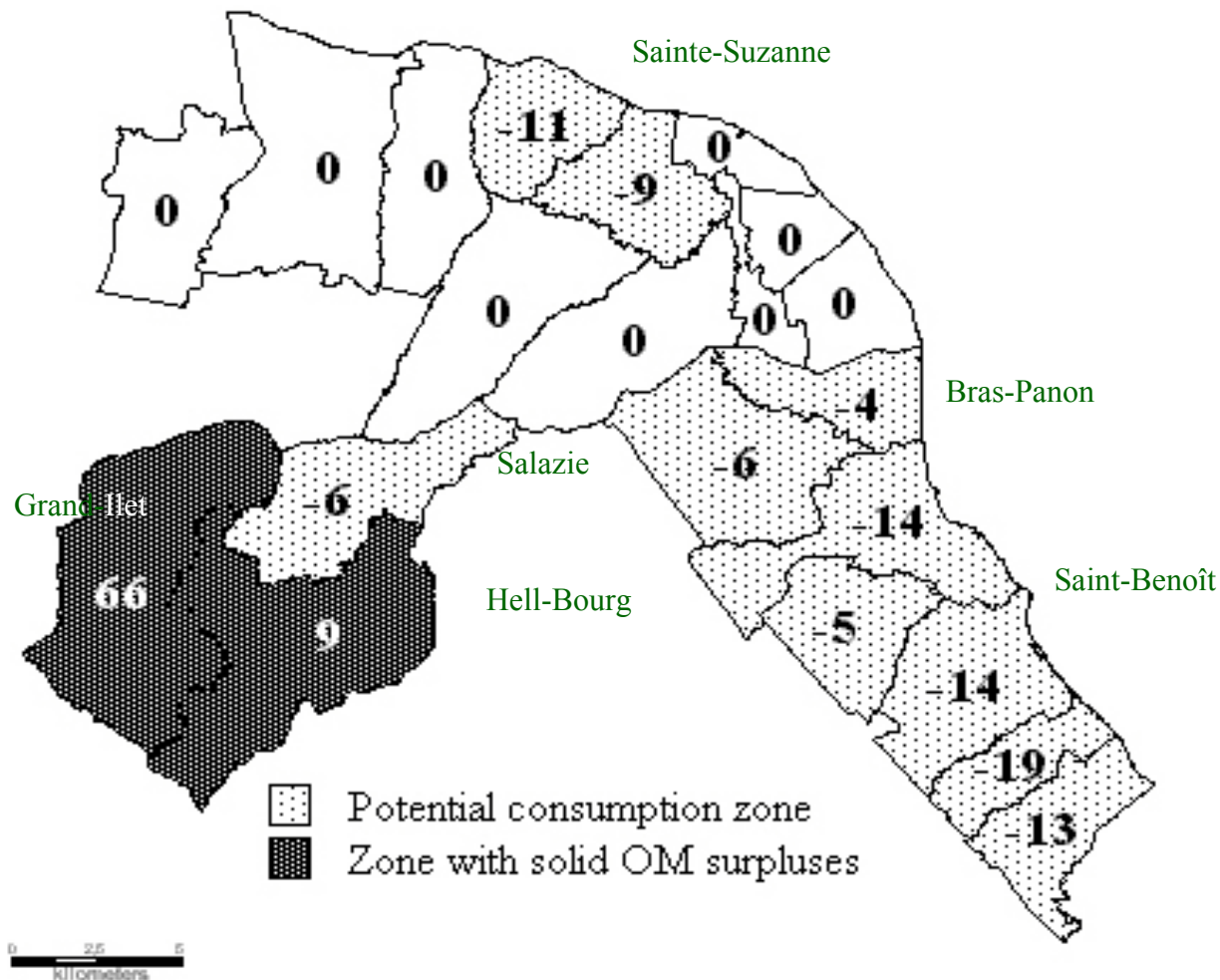
**Bilan d'azote pour les MO solides en tonnes par sous-commune agricole et par an (d'après Médoc et al., 2004).**

1- Excédent en effluents liquides pour toutes les sous-communes de cette zone.

L'exportation des lisiers bruts de Grand-Ilet vers la zone littorale n'est pas faisable.

2- Déficit en produits organiques solides tels que fumiers ou composts.

⇒ transformation de l'effluent nécessaire



# Résultats **Macsizut : traitement des lisiers de porcs**

*Classification des techniques et procédés de traitement (d'après Farinet et al., 2003).*

Nb. CP exportés	Nb. CP à gérer	Nature et mode de gestion des CP	Destructif sur N	Conservateur sur N
1	0			(Imprégnation/compostage)
2	0			<i>Sirven, Kaltenbach-Thuring</i>
0	1	Liquide à épandre (LT)	NDN	
		Liquide concentré à traiter		<i>Lisikit, Sefipur,</i>
1	1	Liquide à épandre (LT)	<i>Agrifiltre®, Amolis-B</i>	<i>Balcopure, Ecoliz®</i>
0	2	Liquide (LT) + 1 CP à épandre/traiter	NDN-SP, <i>Smelox, EuroBiosor</i>	<i>Agri-Protech, centrifugation</i>
1	2	Liquide (LT) + 1 CP à épandre/traiter		<i>AVDA</i>
0	3	Liquide (LT) + 2 CP à épandre/traiter	NDN-S	

*CP : co-produits ; LT : lisier traité ; NDN : nitrification-dénitrification ; SP : séparation de phase poussée ; S : séparation de phase*



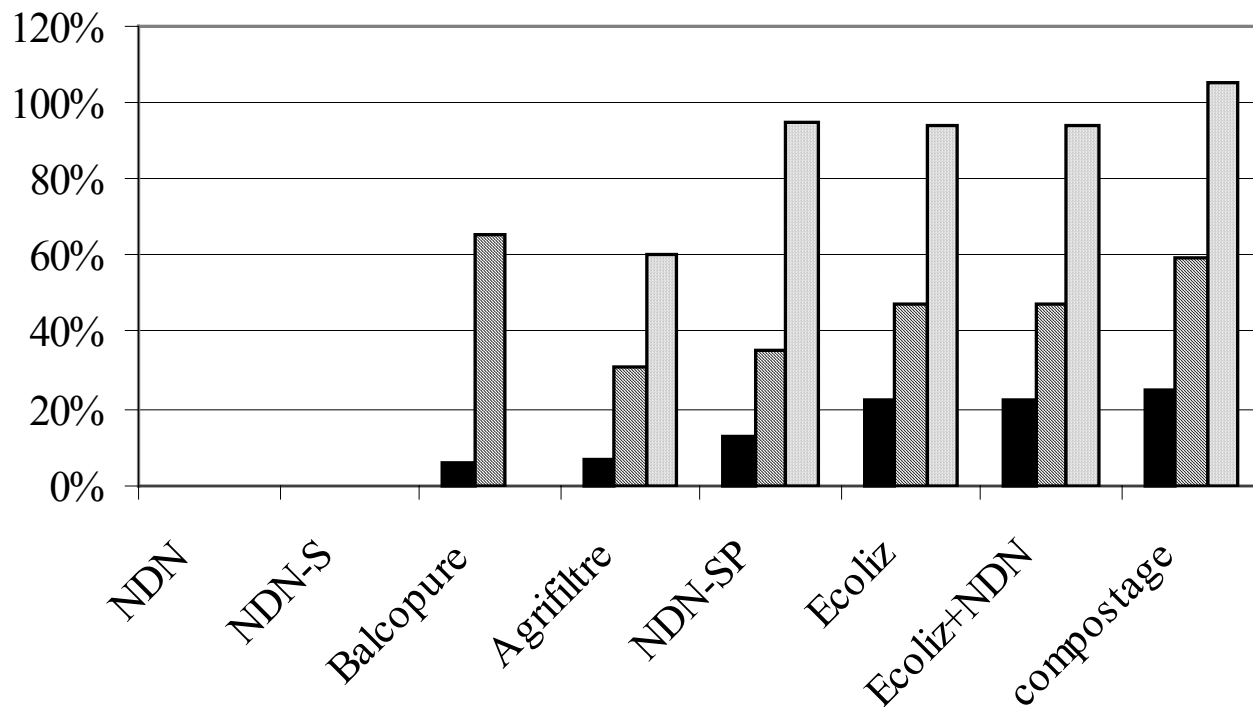


# Résultats **Macszut : traitement des lisiers de porcs**

*Quantités de co-produits, d'azote et de phosphore générées par différentes filières de traitement du lisier en % de la charge de lisier à traiter (d'après Farinet et al., 2003).*

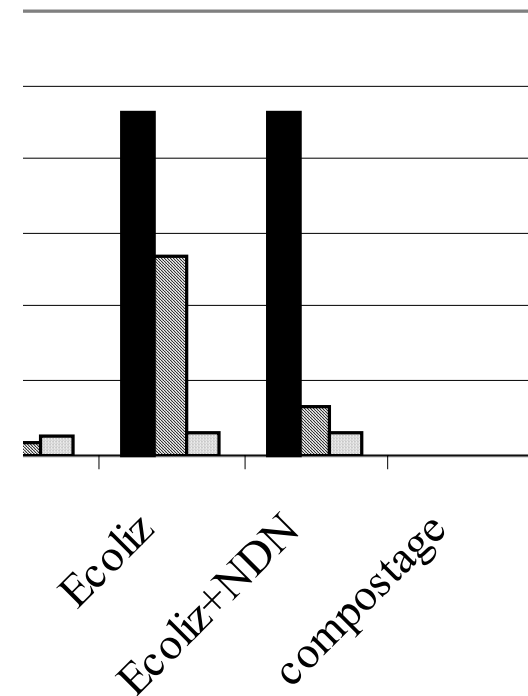
## Co-produits exportés

■ Q   ■ N   ■ P



## érier

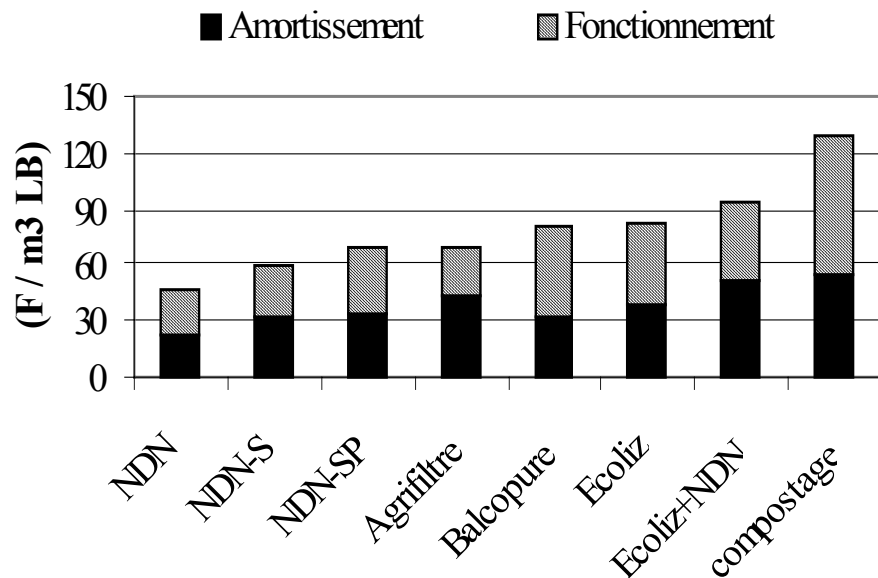
1P



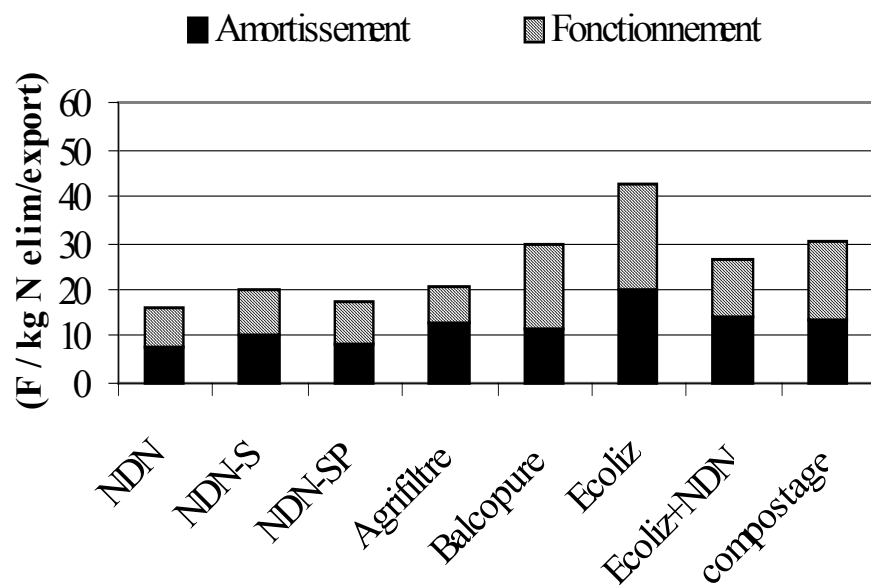
# Résultats **Macsizut : traitement des lisiers de porcs**

*Coûts totaux de traitement du lisier et de l'azote pour un débit à traiter de 16 m<sup>3</sup>/j  
(d'après Farinet et al., 2003).*

### Coût de traitement du lisier



### Coût de traitement de l'azote



# Résultats

## Transport de paille en élevage bovin laitier et compostage

Gestion de C et N par la complémentarité entre filières et entre territoires

### Filière canne à sucre

- 1- Ramassage et pressage des pailles de canne au champ
- 2- Récupération, séchage et pressage des pailles à l'usine

BAS

### Filière animales (bovins, porcs)

- 1- Alimentation (bovins)
- 2- Constitution de litière
- 3- Fabrication de fumiers

HAUTS

Compostage

BAS - PIEMONTS

### Filière maraîchage

- 1- amendement et fertilisation
- 2- support de culture

Plaine des cafres : retournement d'andain de compost de fumier de bovins sur paille de canne (photo J. Lepetit)

J.-M. Paillat  
UMR SAS



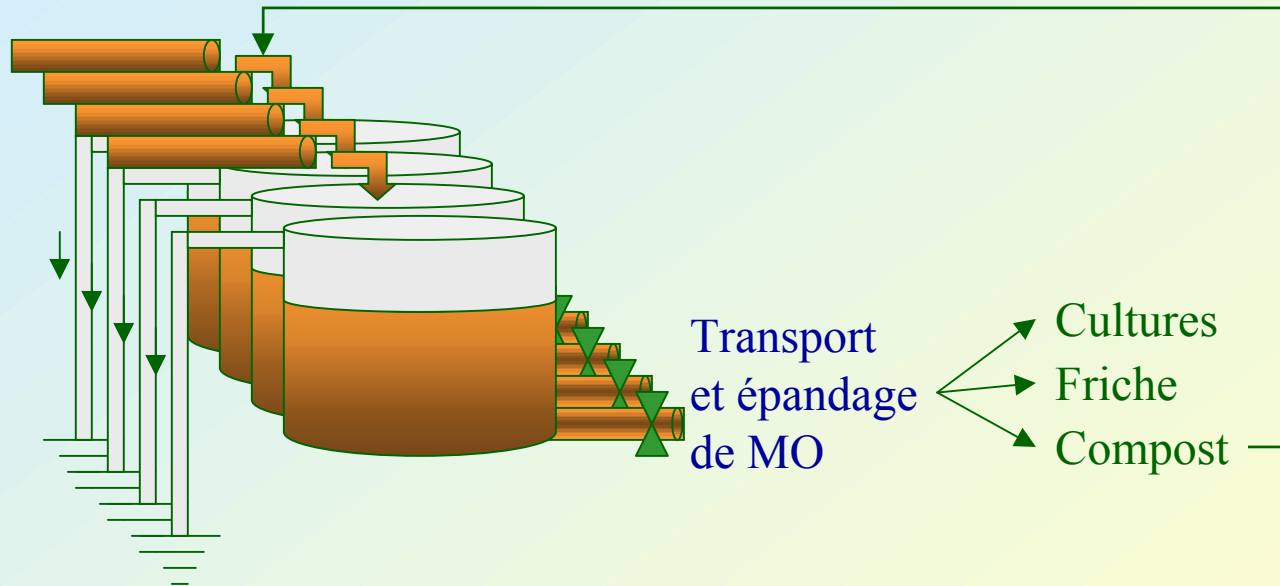
# Résultats Magma (système dynamique hybride - Vensim)

## VUE CONCEPTUELLE

Flux production

Stocks

Flux consommation



Débordement

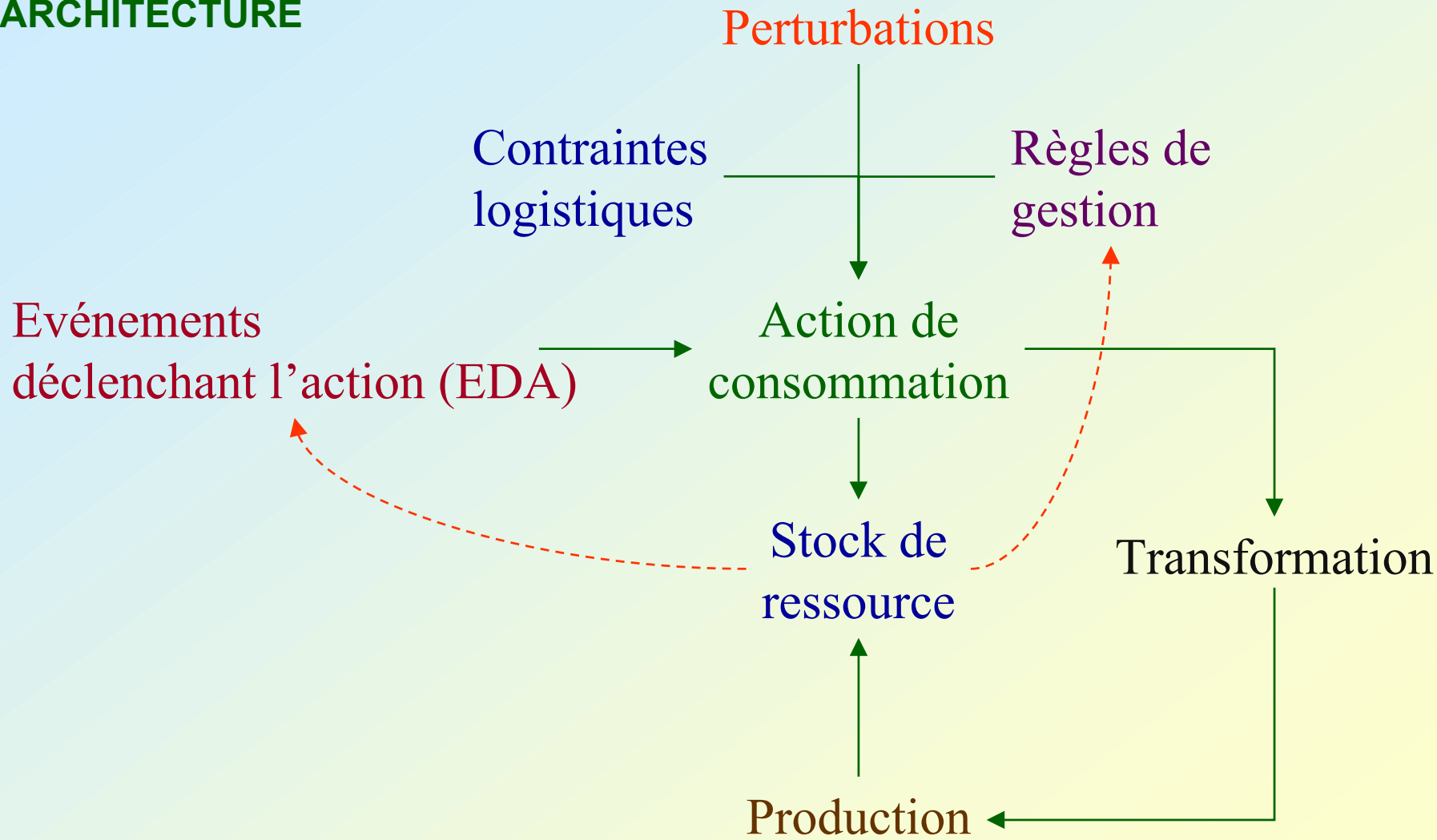
Temps et organisation  
du travail

Surfertilisation  
Epannage sur friche



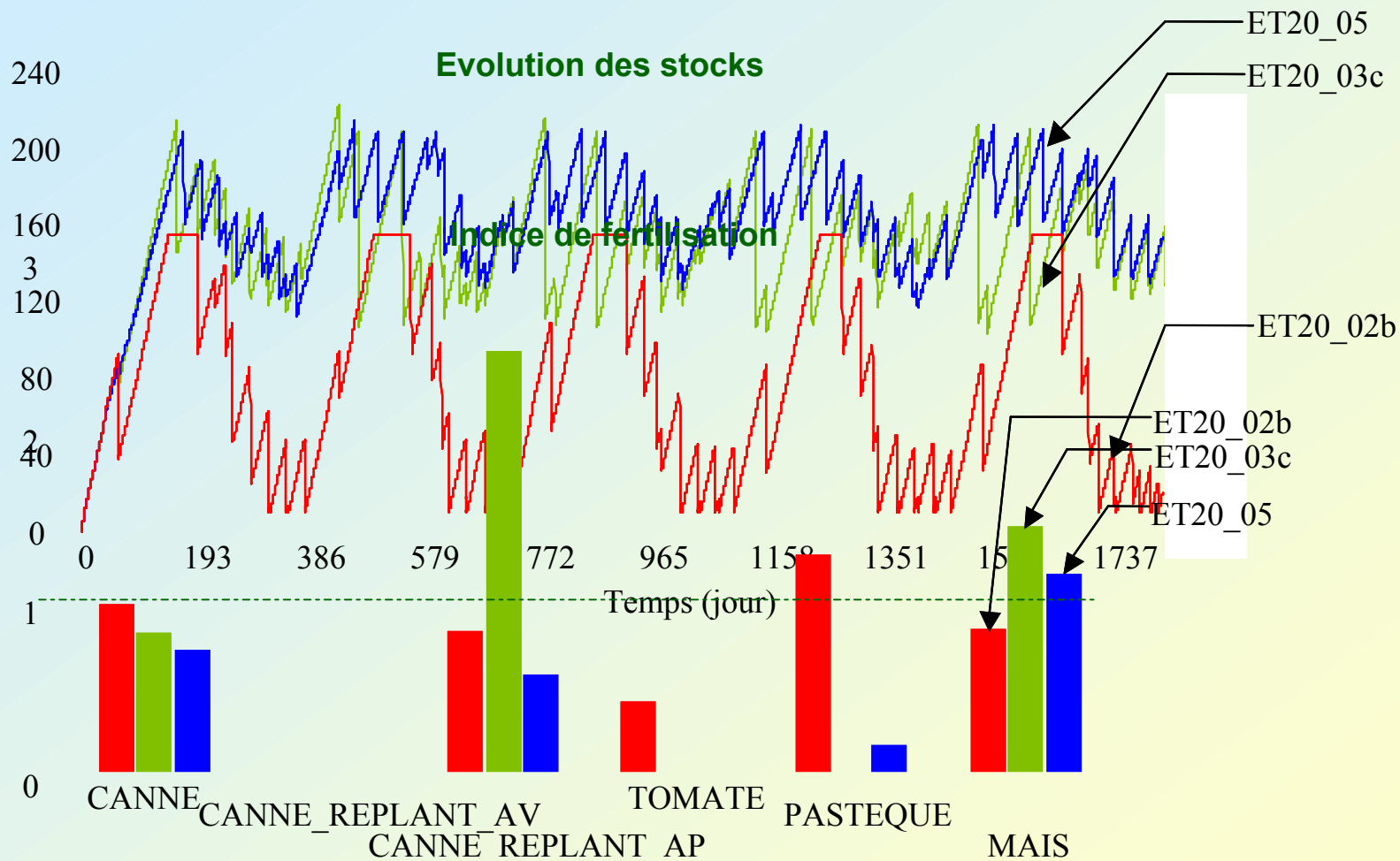
# Résultats Magma

## ARCHITECTURE

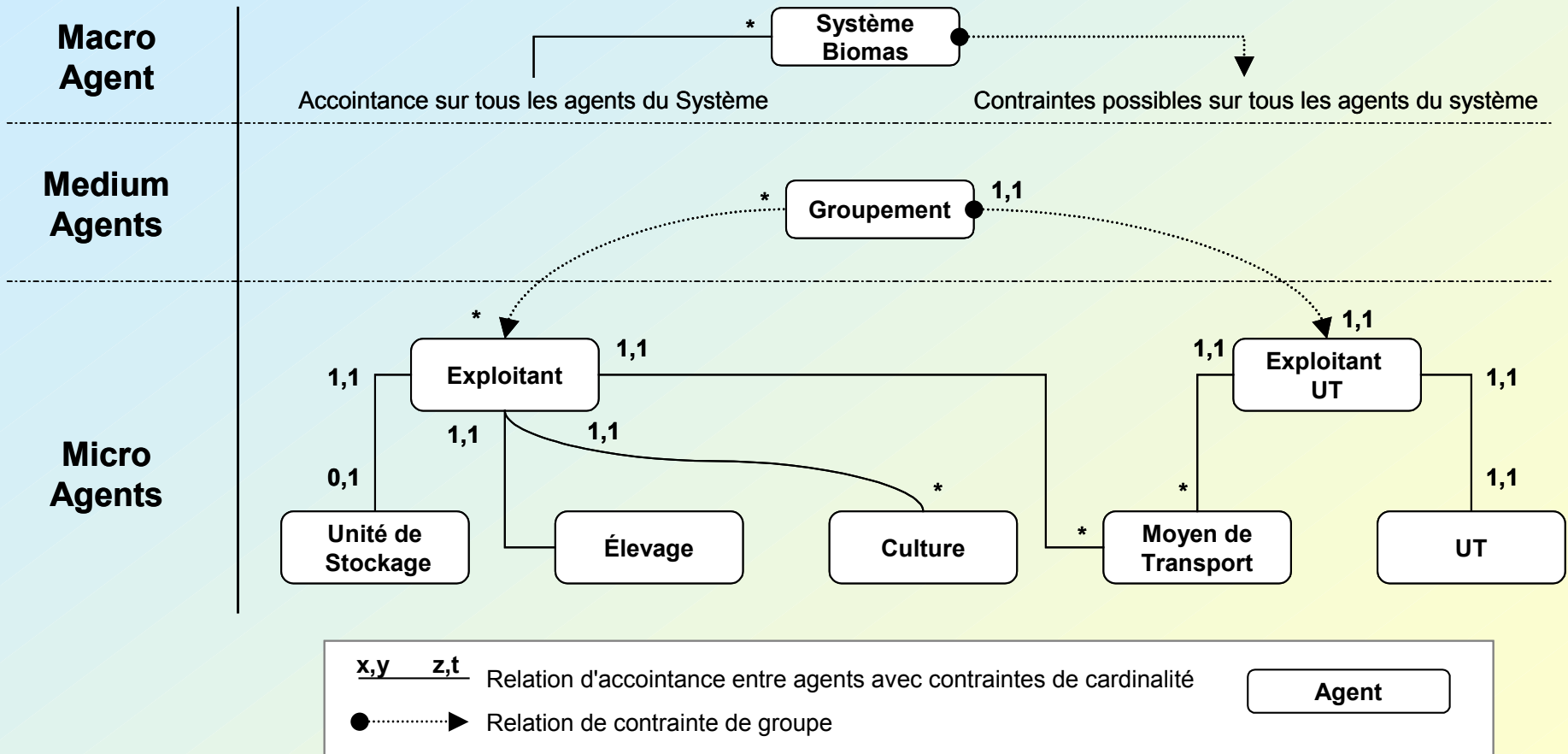


# Résultats Magma

## VISUALISATION DES RESULTATS DE SIMULATION



# Résultats Biomass (système multi-agents - GEAMAS / Java)



The screenshot shows a simulation software interface with several panels and labels:

- Agent**: Points to the 'eleveur' object in the central map.
- Lien d'acoointance**: Points to the green line connecting 'eleveur' and 'cultivateur'.
- Indicateur d'état**: Points to the 'cultivateur' object.
- Indicateur de volume d'échanges**: Points to the 'culture\_1' object.
- Grapheur**: Points to the 'culture\_1 propriétés' graph.
- Contrôleur de silulation**: Points to the simulation control bar at the bottom left.
- Objet situé**: Points to the 'exploitant\_2 propriétés' panel.
- Inspecteur d'agent**: Points to the 'exploitant\_1 propriétés' panel.

The interface includes a menu bar (Fichier, Options, Aide), a toolbar, and several panels:

- Infos**: A log window showing messages like "(Exp0) eleveur n'est pas", "(culture\_1.1) <16/11/99", and "(exploitant\_1.5) <25/11/99".
- Vues**: A central map showing objects like 'eleveur', 'cultivateur', 'transporteur', 'elevage\_1', 'Batiment', 'Vehicule', and 'Route' connected by lines.
- culture\_1 propriétés**: A graph showing 'quantitevirtuelleexpandable' (green line) and 'quantiteexpandable' (red line) over time.
- elevage\_1 propriétés**: A graph showing 'capacitestockmax' (green line) and 'stockvirtuelleffluent' (red line) over time.
- exploitant\_3 propriétés**: A message log for 'exploitant\_3'.
- exploitant\_2 propriétés**: A message log for 'exploitant\_2'.
- exploitant\_1 propriétés**: A message log for 'exploitant\_1'.

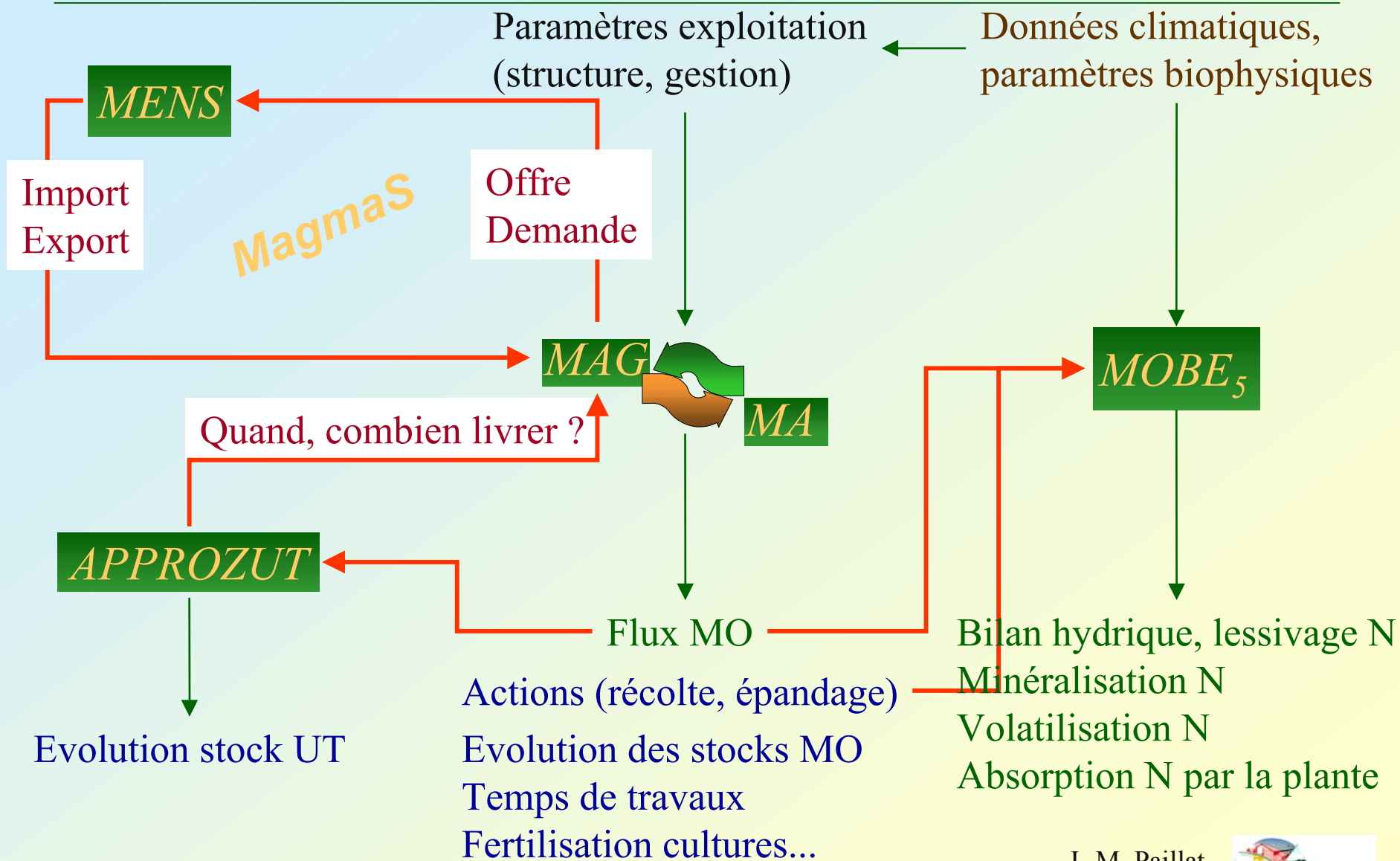
**Contrôleur de silulation**

**Objet situé**

**Inspecteur d'agent**

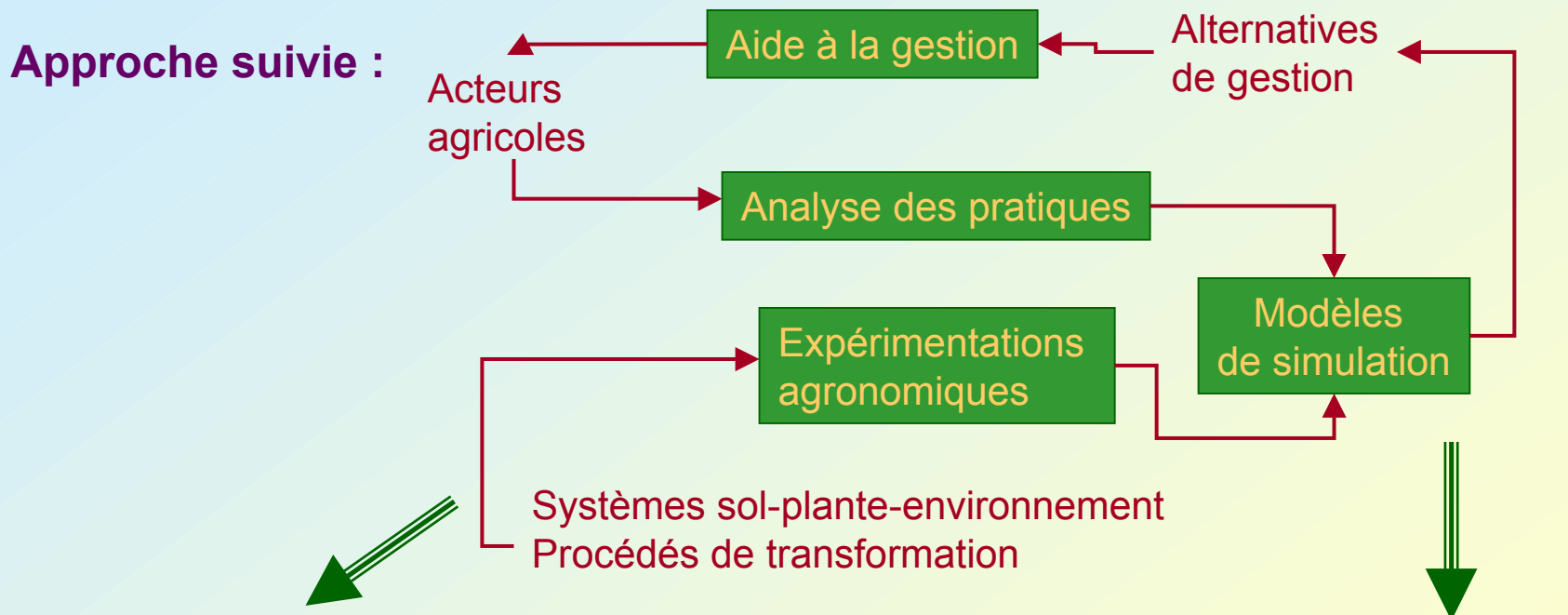


# Résultats Couplage de modèles



# Perspectives

## Publications soumises ou en cours, CD Rom



**Acquisition de connaissances sur les systèmes biophysiques / modélisation**

*équipe Cirad Regard, collaboration Field*

**Action du programme « Porcherie Verte »**

*équipe Cirad Gdor, collaboration Field*



# Bibliographie

---

- AGRESTE, 2003. Mémento agricole 2003, La Réunion, résultats 2002. Direction de l'agriculture et de la forêt, novembre 2003.
- CHASTEL J.-M., 1995. Le rôle des institutions dans l'évolution de la filière canne à sucre à Réunion. Thèse de doctorat, Ensa, Montpellier.
- COURDIER R., GUERRIN F., ANDRIAMASINORO F.H., PAILLAT J.-M., 2002. Agent-bases simulation of complex systems : application to collective management of animal wastes. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* : 5 (3) p.30-56.
- GUERRIN F., 2001. Magma: A model to help manage animal wastes at the farm level. *Computers and Electronics in Agriculture*, 33(1): 35-54.
- GUERRIN F., PAILLAT J.-M., 2003. Modélisation des flux de biomasse et des transferts de fertilité - cas de la gestion des effluents d'élevage à l'île de la Réunion. Restitution des travaux de l'ATP 99/60. Actes du séminaire, 19-20 juin 2002, Montpellier, Cirad Montpellier : cd rom.
- [http://pigtrop.cirad.fr/fr/vie\\_scientifique/environnement.htm](http://pigtrop.cirad.fr/fr/vie_scientifique/environnement.htm)
- MANDRET G., BLANFORT V., HASSOUN Ph., PAILLAT J.M., TILLARD E., 2000. Elevage bovin à la Réunion : synthèse de 15 ans de recherche. G. Mandret coord., Coll. Repères, Cirad., Montpellier, 391 p.
- PAILLAT-JAROUSSEAU H., 2001. Une terre pour cultiver et habiter. Anthropologie d'une localité de l'Ile de La Réunion. Paris: l'Harmattan.
- RAUNET M., 1991. Le milieu physique et les ols de l'île de la Réunion. Conséquences pour la mise en valeur agricole. CIRAD Ed, 2001, cd-rom.
- VAYSSIERES J., GUERRRRIN F., PAILLLAT J.-M., MARTIN-CLOUAIRE R., RELIER J.-P., LECOMTE P., 2004. Modélisation conceptuelle des flux d'azote en exploitation d'élevage bovin laitier à la Réunion. Rapport Cirad-Tera N°15/04, Padef, La Réunion, 34 p.

J.-M. Paillat  
UMR SAS



