

La gestion intégrée des produits résiduaux organiques de la micro- région Ouest de la Réunion

une démarche d'écologie territoriale
mobilisant co-construction et modélisation

T. Wassenaar, J. Queste, J.M. Paillat, H. Saint Macary

Séminaire du RMT Fertilisation et Environnement

« Gestion territoriale des éléments minéraux utilisés en agriculture »

20 et 21 novembre 2012, Paris



Plan de l'exposé

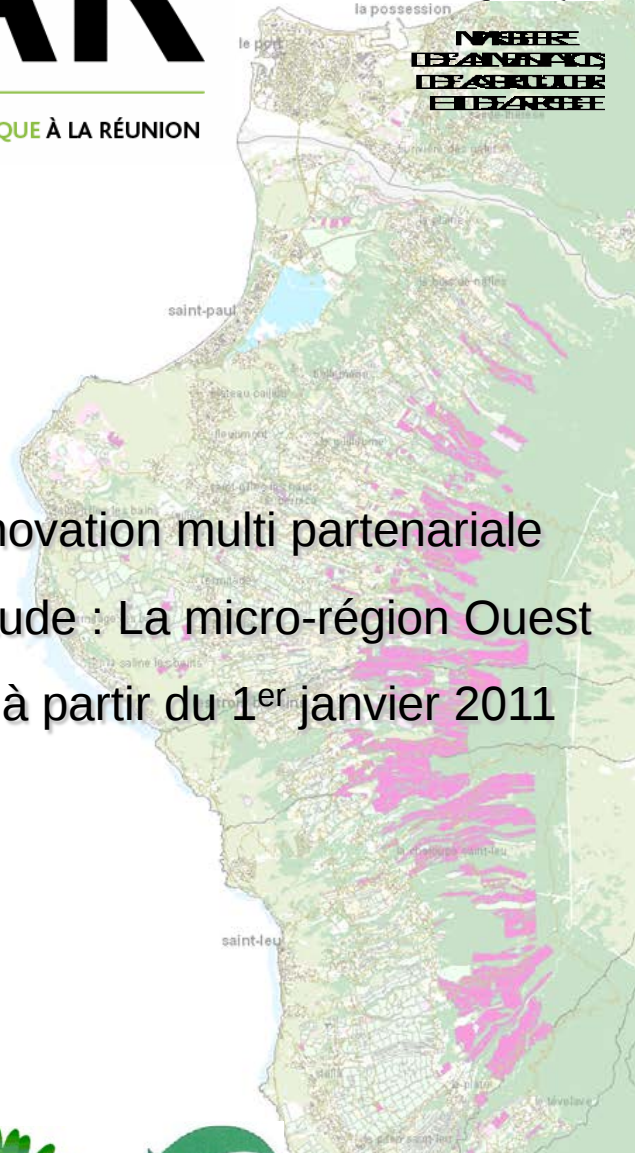
- Le projet GIROVAR : présentation rapide
- Phases 1 et 2 : Les informations et connaissances acquises (incl. identification de lacunes...)
- Phase 3 : la co-construction du scénario
- Phase 4 : représentation et évaluation du scénario
- Conclusions et perspectives après 2 ans de travaux

GIR^{OV}AR

GESTION INTÉGRÉE DES RÉSIDUS ORGANIQUES PAR LA VALORISATION AGRONOMIQUE À LA RÉUNION

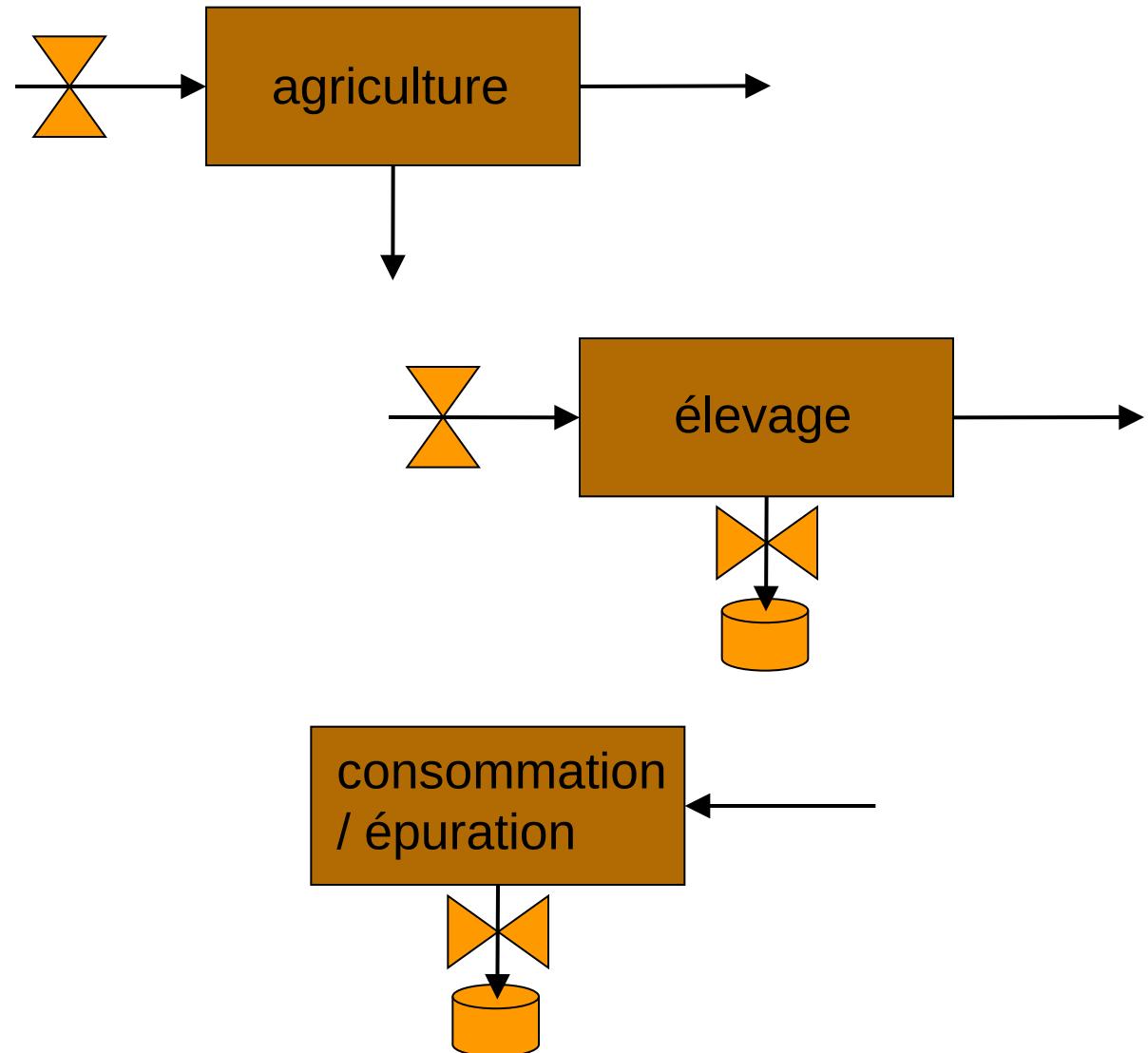
Gestion Intégrée des Résidus Organiques par la Valorisation Agronomique à la Réunion

- Un projet d'innovation multi partenariale
- Périmètre d'étude : La micro-région Ouest
- Durée : 3 ans à partir du 1^{er} janvier 2011



Situation actuelle

...à développement 'contraint' (cycle industriel ouvert) difficile :

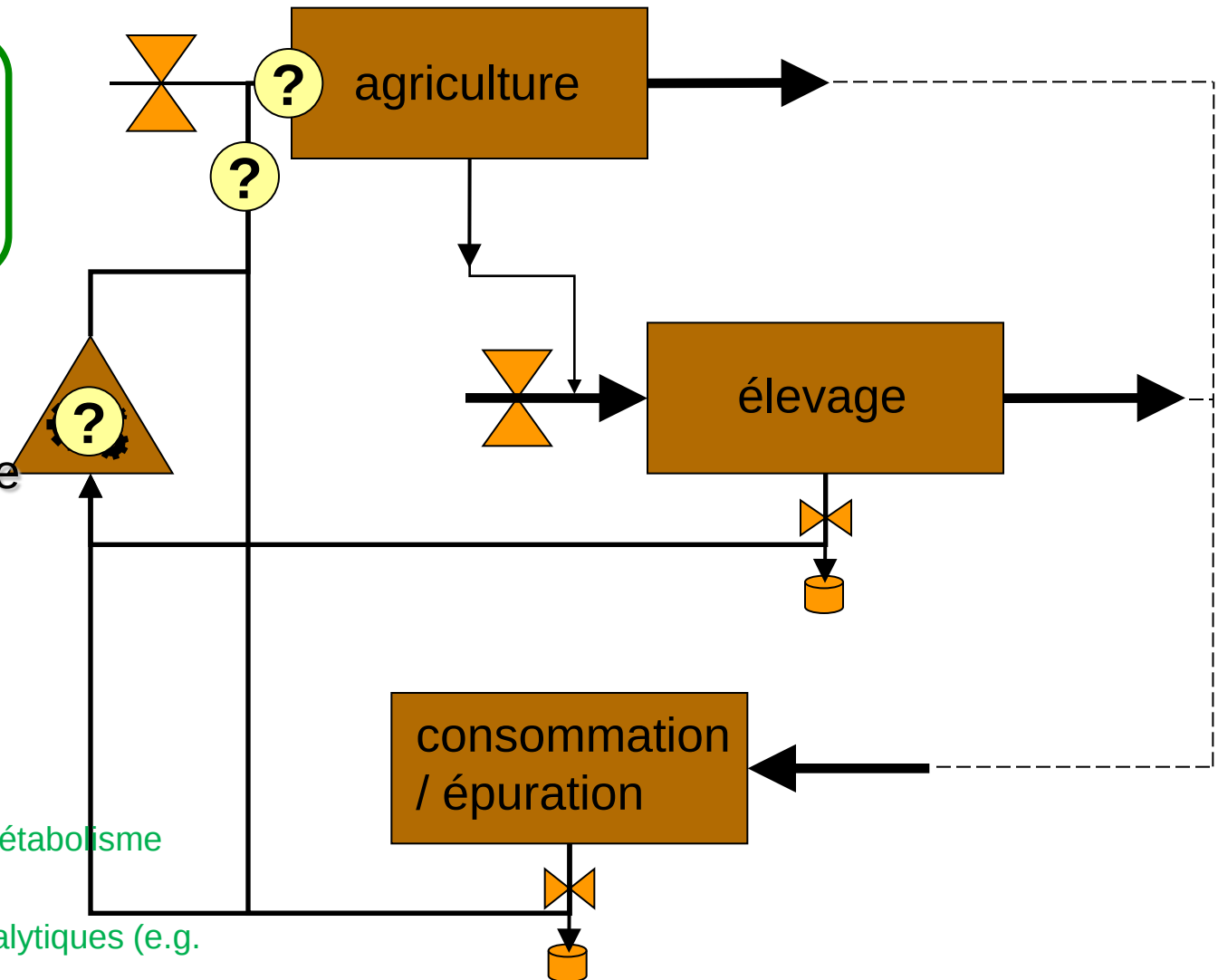


Finalité : une gestion intégrée des co produits permettant un développement plus durable

Une démarche
**d'Écologie
Territoriale***

**difficulté
importante :**

- entente/confiance entre acteurs
- comportements coopératifs

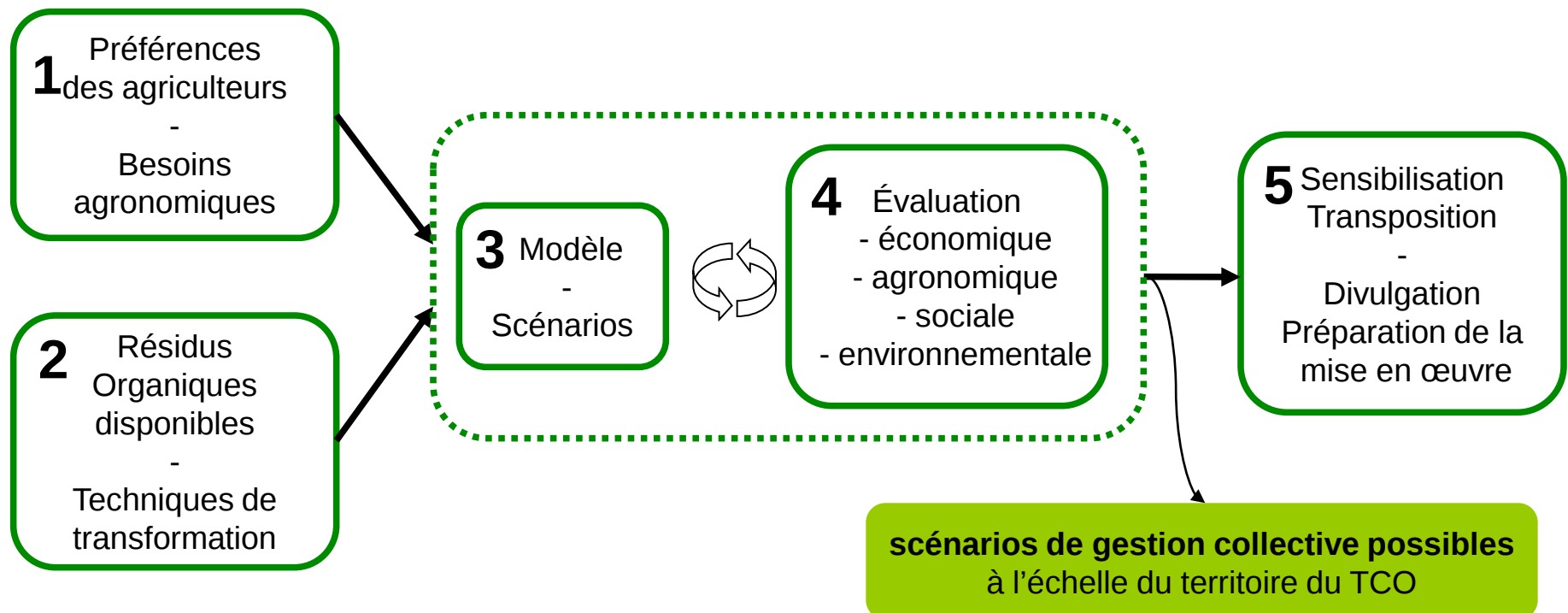


* métaphore (analogie avec métabolisme biologique)

* concept à la base d'outils analytiques (e.g. material flow analysis)

Le projet GIR_{OV}AR

- Répondre à une **demande** agronomique et agricole
- **Impliquer** les parties prenantes
- Co-construire une représentation et des **scénarios**
- **Consolider** itérativement des scénarios par évaluation



Peu de temps... et beaucoup d'incertitudes :

1 Incertitudes liées au manque d'information

- . Valeur et besoins agronomiques
- . Impact environnemental
- . Coût de transformation
- . Règlementation

2 Incertitudes liées à l'imprédictabilité du système

- . Quelle agriculture dans 5 ans ?
- . Quantités de PRO disponibles ?
 - . Acceptabilité sociale ?
 - . Règlementation

3 Incertitudes liées aux divergences de point de vue

- . Qu'est-ce qu'une « bonne solution » ?
 - . Comment qualifier un produit ?
 - . Quel circuit d'échange ?

+ forts enjeux sociaux

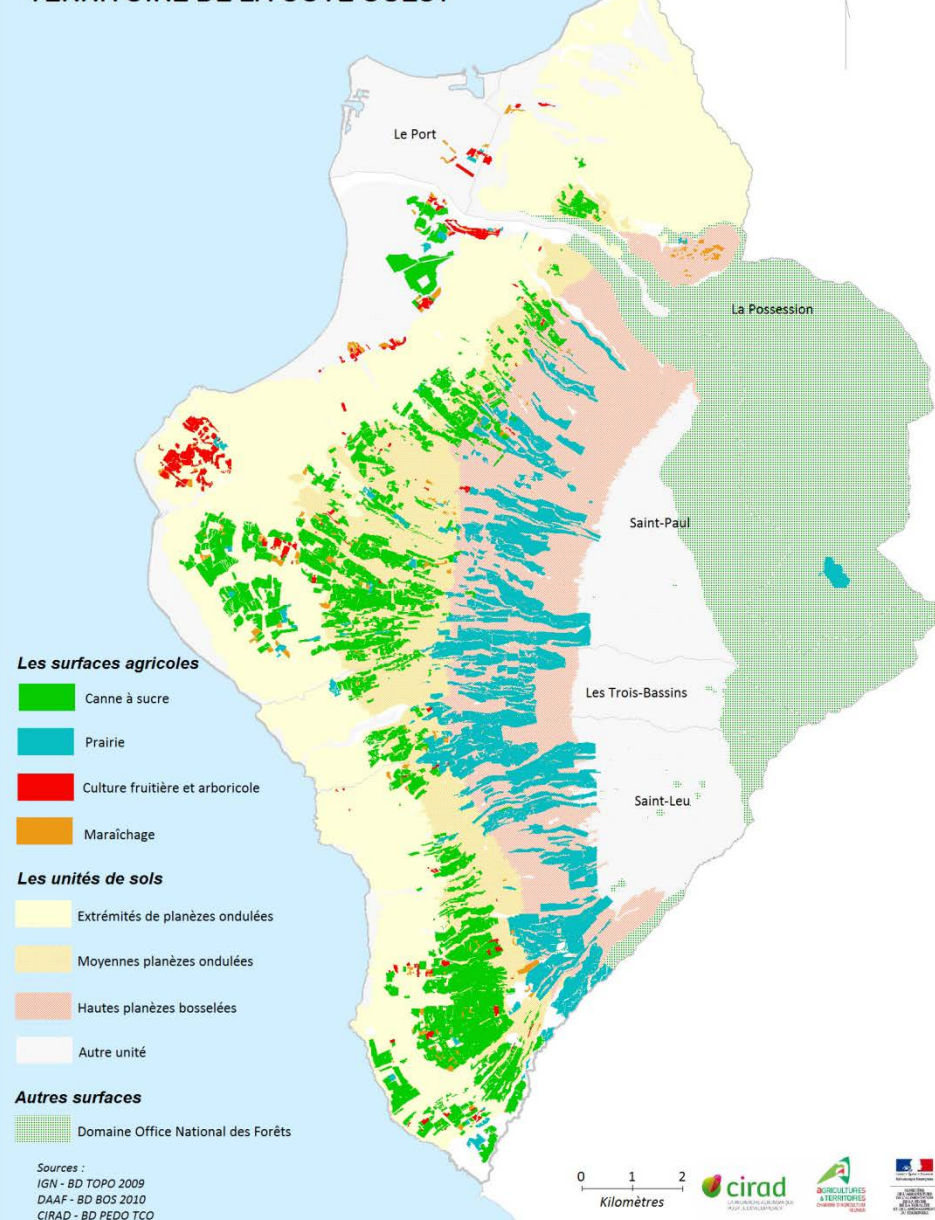
2011: acquisition d'informations

sur la **demande** (action 1) et **l'offre** (action 2) pour réduire les incertitudes de type 1

1.a	Inventaire climat-sol-plante et définition de triplets
1.b	Évaluation des besoins agronomiques par triplet
1.c	Conception théorique d'une fertilisation organique par triplet
1.d	Caractérisation socio-économique de la demande en fertilisation organique
2.a	Caractérisation (qualitative, quantitative, spatiale, temporelle) des sources
2.b	Description des procédés de transformation 'pertinents' et estimation des produits sortants

Quelques exemples de résultats...

LES CULTURES DU TERRITOIRE DE LA CÔTE OUEST



Un paysage segmenté par trois filières agricoles

Des champs de canne à sucre localisés dans les mi-pentes (400 à 800 m d'altitude). Une augmentation de 4 % de la SAU canne entre 2000 et 2009.

Une activité d'élevage localisée dans les hauteurs (plus de 800 m d'altitude) qui tend à progresser (+ 18 % de SAU en 10 ans).

Une filière fruitière spécialisée (mangue = 250 ha), concentrée en basse altitude (moins de 200 m d'altitude). Perte de 18 % de SAU entre 2000 et 2011.

Une filière maraîchère dispersée, qui tend à diminuer (- 5 % de SAU entre 2000 et 2011).

3 domaines morpho-pédologiques = 3 méta-unités agropédologiques

- les Hautes Planèzes Bosselées
(800-1000 < **HPB** < 1600 m, **andosols**)
- les Moyennes Planèzes à topographie Ondulée
(400 à 600 < **MPO** < 800 à 1000 m, **sols bruns andiques**)
- les Extrémités des Planèzes à topographie Ondulée
(0 < **EPO** < 400 à 600 m, **cambisol / leptosol**)

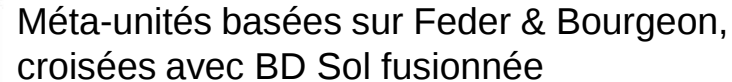
Dans ces trois méta-unités, 6 grands types de sols observés sont développés directement sur des roches mères volcaniques *en place*.

Quatre autres types de sols indépendants de l'altitude et des morphologies sont rencontrés en zone alluviale.

+ importante base de données d'analyses de sol agricole localisées

et 3 climats :

- HPB = frais, faible ensoleillement, humidité constante
- MPO = intermédiaire
- EPO = chaud, très fort ensoleillement, saison sèche marquée



La plupart des paramètres chimiques d'intérêt agronomique présentent une **évolution régulière avec l'altitude** :

- **pH, CEC et taux de saturation en bases**
- + **carbone organique et azote total**

5 triplets retenus :

- Prairie en kikuyu pâturée sur andosols des HPB
- Canne à sucre sur MPO
- Canne à sucre sur EPO
- Maraîchage sur MPO
- Maraîchage sur EPO

Une ambition initiale de raisonnement « fin » des besoins agronomiques des triplets

Résultats :

- Meilleur raisonnement de fertilisation possible dans nos conditions

Triplet	Fertilisation azotée	Fertilisation phospho-potassique	Chaulage	Amendement Organique
Canne à sucre sur EPO -plantation -repousses	Bilan Fournitures-Exportation -Rendement	Teneurs seuils sol -Rendement	Besoins en bases: -densité sol -pH -teneur en Ca -CEC	Bilan humique -densité -teneur en MO -K1, K2 -apports MO -résidus culture
Canne à sucre sur MPO -plantation -repousses	-Résidus Pailles -Sols: teneurs, minéralisation, densité -Climat	-Résidus Pailles -Sols: pouvoir fixateur, CEC		
Prairie pâturées de kikuyu sur HPB	Bilan avec CAU -Rendement -Chargement en UGB -Sols: teneurs, minéralisation, densité	Fertirun -Rendement -Chargement en UGB		

- Un outil permettant d'estimer les apports en fonction des PRO et rendements

Même le raisonnement de la ferti NPK reste approximative :

- Non prise en compte des **arrières-effets** des MO
- Des CE engrais mal connus
- Seul essai long durée local pas assez bien conduit
- Des complexes adsorbants du sol difficiles à appréhender

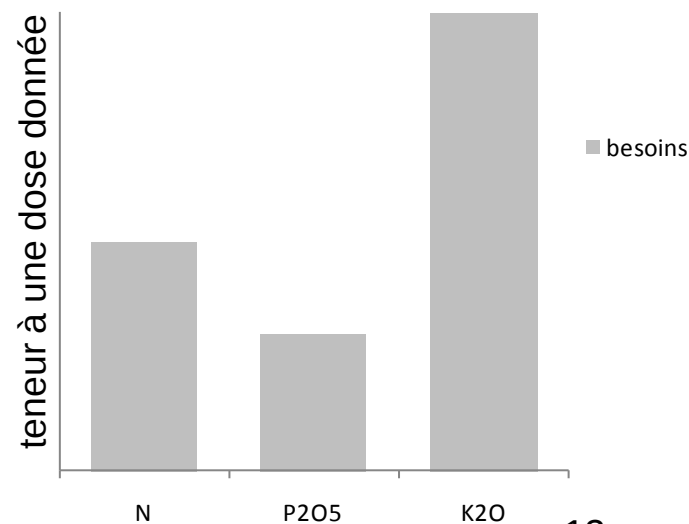
Quelles teneurs « adaptées aux besoins » des engrais ?

De **l'incertitude** dans les estimations et de la **variabilité** dans les besoins, mais...

Pour un dose de 2 t/ha (engrais « manuel ») :

- Maraîchage : tomate – laitue – oignon – piment ; rendement $\geq$ moyenne
 - NPK bas = 5 – 4 – 9 %
 - NPK haut = 7 – 5 – 12 %
- Canne repousse : MPO et EPO, avec et sans retour paille, rendement = 100 t/ha
 - NPK bas = 5 – 3 – 10 %
 - NPK haut = 6 – 4 – 18 %

 **Une formule unique**



Caractérisation des pratiques de fertilisation de la canne à sucre et de leurs déterminants

Une typologie de pratiques de fertilisation :

- les minéraux exclusifs
- les mixtes « ressource »
- les mixtes « déchet »

~60% en mixte

des freins à l'utilisation de MO

Une typologie d'exploitations :

- les irrigués des bas des Tamarins
- les non-irrigués des hauts de Grand Pourpier
- les propriétaires double actif
- les anciens de Stella

Les PRO sont plutôt considérés comme un « bonus » :

- moins de la moitié des utilisateurs de MO réduisent les doses d'engrais minéral
- peu de considération pour l'effet amendement
- la disponibilité de la matière (temps + espace) régit le processus de décision

Idem en maraîchage / agriculture diversifiée

Conclusion :

Une « demande » pas très forte et orientée 'engrais'

Nécessité d'une démarche prudente, s'appuyant sur des éléments que les agriculteurs savent raisonner : souvent pas de « gestion patrimoniale », mais logique de profit court terme et opportuniste (surtout planteurs)

Inventaire et caractérisation des sources et des procédés

Caractérisation quantitative, qualitative et spatio-temporelle des gisements de résidus organiques du TCO et leur évolution

Focalisé sur ceux *disponibles*
pour une gestion intégrée :

Effluents d'élevage : lisier de porc + litière de volaille

Résidus urbains : déchets verts + boues de STEP

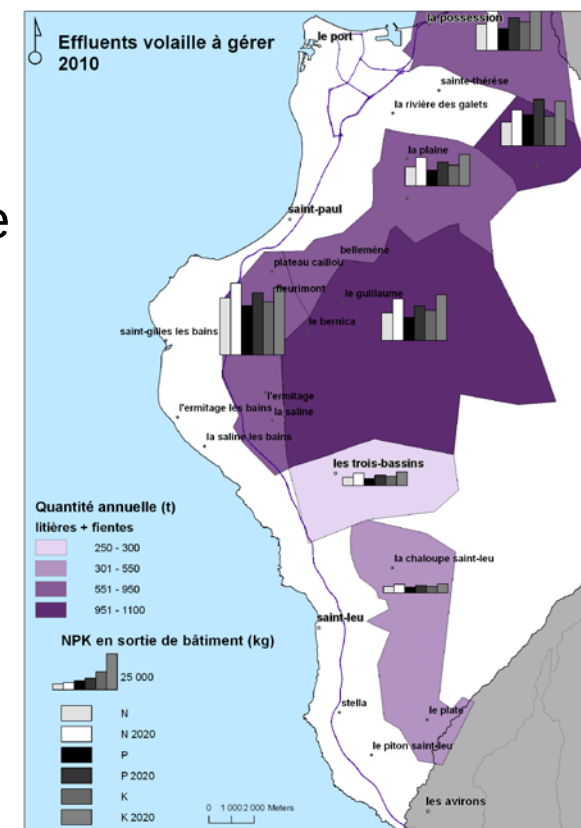
Résidus agricoles : paille de canne

Résidus agro-alimentaires : écumes de sucrerie,

Vinasses de distillerie

+ quelques résidus minoritaires

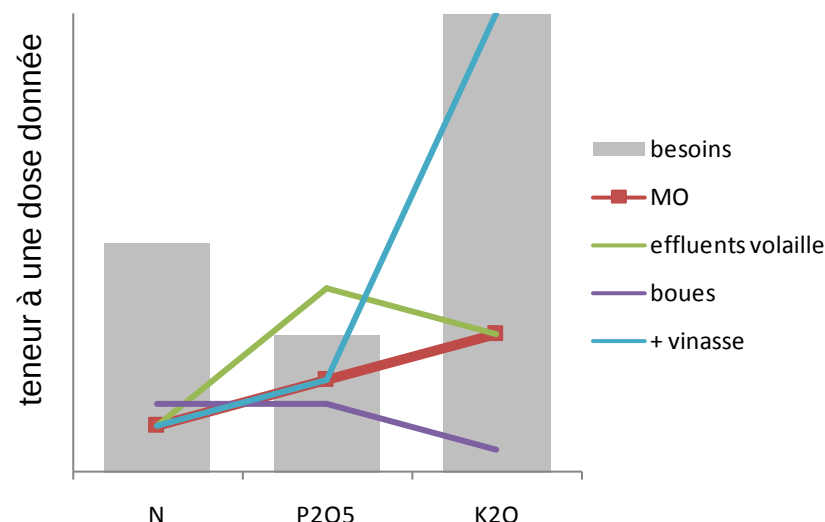
Exemple de résultat
de l'inventaire



Gisements et Procédés pour satisfaire les besoins

Les Matières (Organiques) Premières :

- des teneurs faibles (et variables),
- mais surtout **mal réparties** entre N-P-K
 - o Engrais organique : effluents volaille atteint teneur P, mais pas N, K...
 - o Boues de STEP seules à relever N dispo par rapport à P, mais K chute...
 - o Même à 80% de MS les teneurs en N dispo et K sont insuffisantes. Pour K la vinasse constitue un adjuvant d'intérêt...



Il faut

- **mélanger** un minimum de matières premières pour une répartition correcte
- **Concentrer** les nutriments (par des procédés ?)
- **sécher**, par maturation à l'aire, voire par voie thermique
- ajouter des **adjuvants**

pour engrais « manuel » concentré

Étude des procédés de transformation d'intérêt

- I *Choix et description de variantes* techniquement et économiquement adaptées
- II *Estimation des produits sortants* (MO + énergie) pour un ensemble de combinaisons de matières entrantes
- III *Étude approfondie* de combinaisons procédé-matière retenues

Travail sous-traité à un Bureau d'étude

Familles de procédés étudiées [et leurs technologies adaptées] :

- méthanisation liquide et sèche [CSTR ; batch]
- compostage [lent ; ventilation forcée]
- lombricompostage [andain statique ; enclos]
- pyrogazéification [pyrolyse lente ; rapide par four à billes]

- ~35 sur 60 **combinaisons matières-procédé validées** sur les plans agronomique et technique
- Un **outil base de données** permettant de modifier les paramètres et qui considère les gisements disponibles

Conclusions phases 1 et 2

- Une **connaissance fine** du système territorial est obtenue
 - comprenant toute information disponible
 - permettant sa représentation et celle du scénario à construire

- Un intérêt agro-environnemental avéré de la **fonction amendante** de la matière organique, mais :
 - L'impossibilité de la raisonner quantitativement
 - L'absence d'une demande de la part des agriculteurs

- Un raisonnement de l'apport **d'engrais organique** encore très difficile :
 - Comme ailleurs, du fait de la complexité du système sol-plante
 - Par absence de références locales (mais des ambitions pour y remédier)
 - Questions de compatibilité avec les itinéraires techniques (la canne et son mulch)
 - Des incertitudes sur la composition des produits issus de la transformation

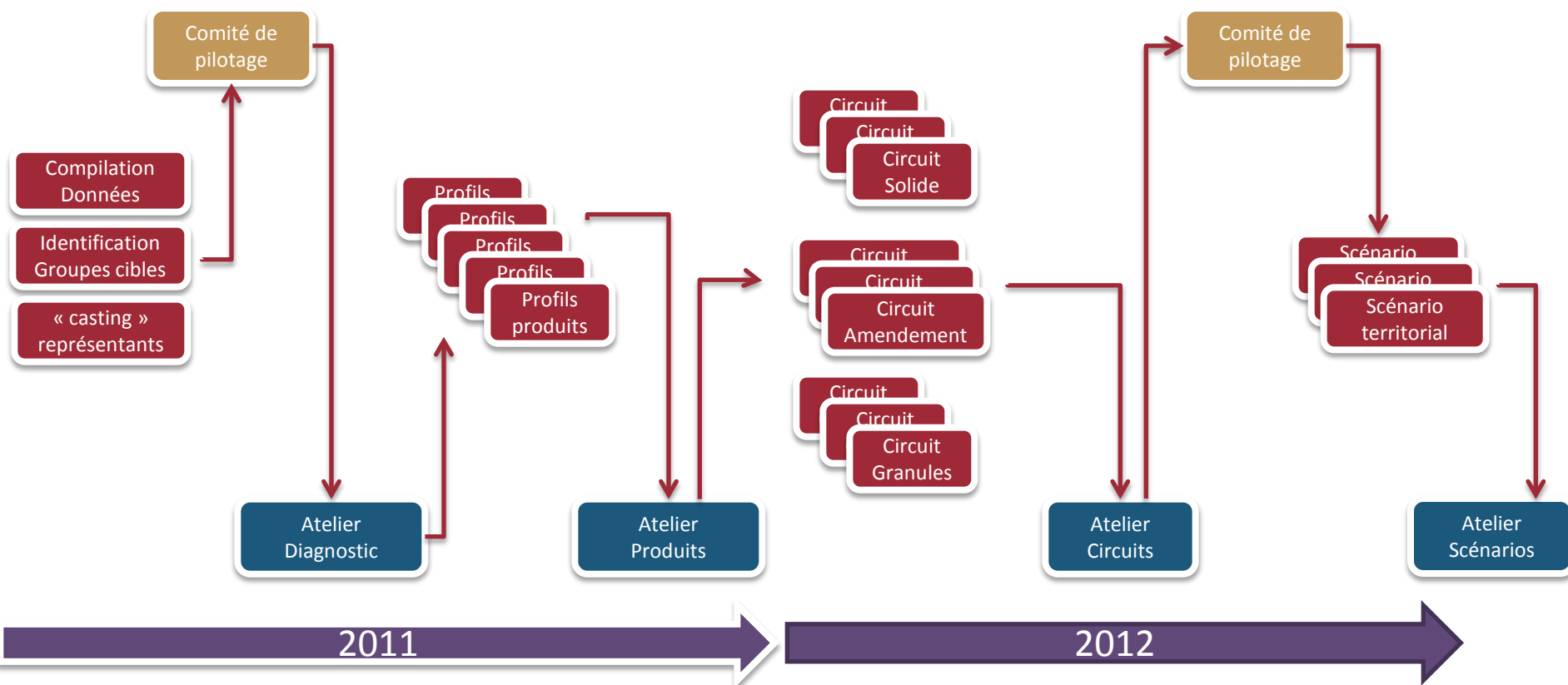
- De multiples intérêts techniques à une **gestion intégrée** et une **transformation** :
 - Des compositions complémentaires des matières premières (physiquement et chimiquement)
 - Stabilisation, hygiénisation, concentration, disponibilité, ...

Action 3 : comment co-construire un scénario ?

Un travail adaptatif, par nature et par son application à un grand territoire complexe

Plus grande difficulté : la représentation et la mobilisation des **acteurs à la base**

→ Modalité adoptée : *élaboration de propositions* avec des niveaux supérieurs (techniciens, experts), puis *consultation* de 'la base'



Mode de fonctionnement des « ateliers » : exemple des « produits »

Sélection par experts des usages pour lesquels la définition de produit semble pertinent :

- Fertilisant canne MPO + EPO à la plantation
- Engrais canne à la repousse
- Engrais prairie
- Fertilisant maraîchage
- Apport « aménagement » (mise en culture + espaces verts)
- Support horticole



Définition par panels d'experts de « portraits robot » de produits correspondants (définition des itinéraires techniques, puis déduction des propriétés adaptées)



Présentation des profils « produit » aux groupes cibles



Prise de décision collective des pistes « produit » à élaborer en circuits

3 produits génériques retenus :

- 1. Engrais « manuel », granulé, concentré, normé**
- 2. Engrais solide en vrac, normé amendement**
- 3. Amendement normé, de type compost**

Élaboration participative en 3 'circuits' :

3 groupes de travail en 3 étapes :

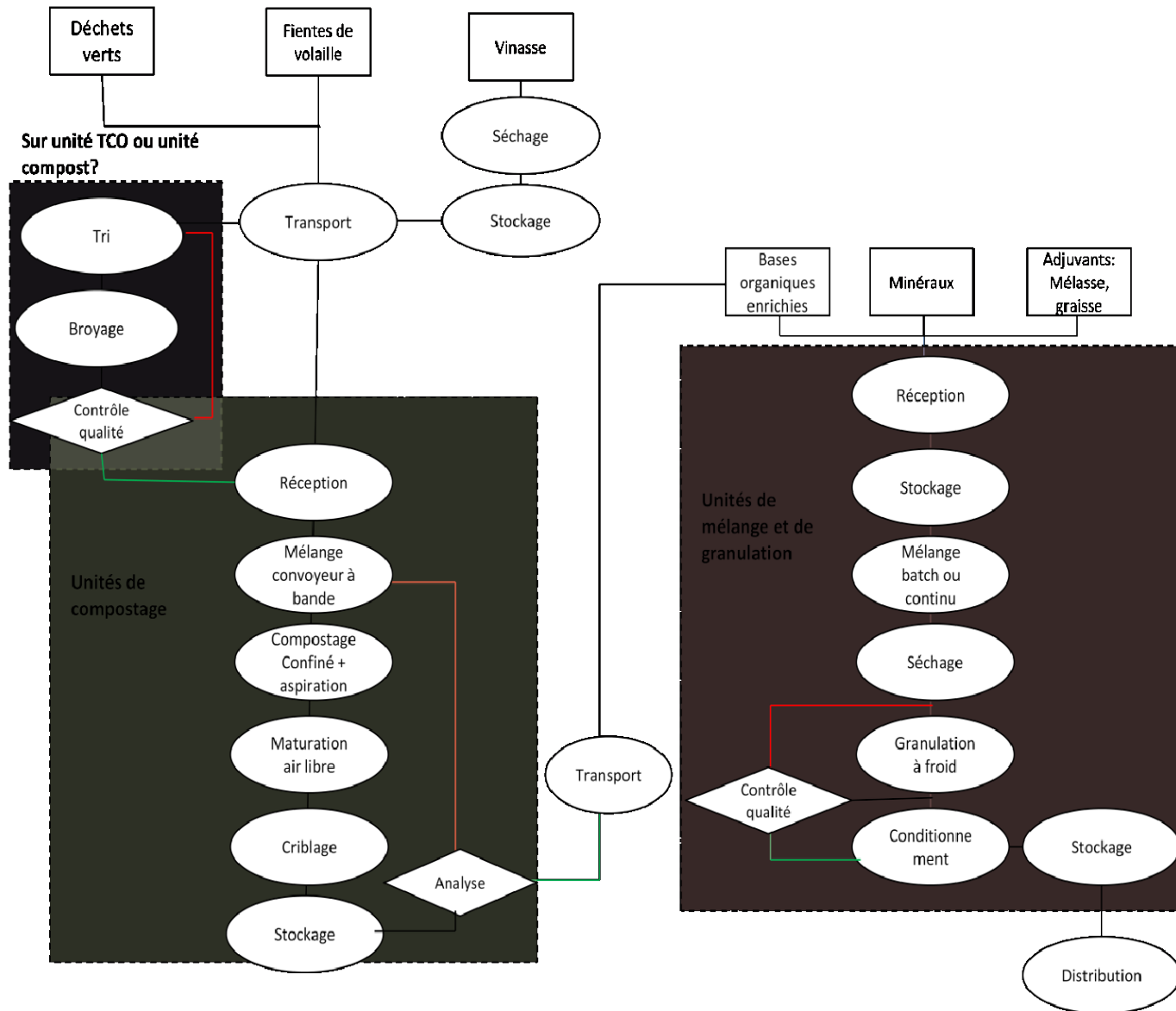
- définition de la « recette »
- organisation
- gouvernance

Exemple de résultat 1 : le circuit « engrais solide »

Procédé / matières / production / marché / gouvernance ...

Procédé de transformation	Compostage en caisson avec retournement mécanique et ventilation forcée
Matières entrantes et proportion (en % de MS)	85% de broyat de déchets verts 13% de litière de volaille 2% de lisier de porc
Siccité du produit sortant	70%
Teneurs (en %)	NPK : 1,2 – 1,2 – 1,5 ; MO : 29 % MB
Norme possible	44-051 amendement avec engrais organique
Quantité de produit en sortie	8 500 T/an
Emprise spatiale	~2 hectares
Adéquation avec la demande agricole potentielle	- Canne à la replantation: 8% soit 700 T - Maraîchage : 20% soit 2 000 T - Prairie : ? - Usine mélange/granulation : restant
Implantation et gouvernance	ICPE en milieu rural à mi-pente, St Paul, SEM TCO et coopératives

Exemple de résultat 2 : le circuit « engrais granules »



Un bilan approximatif des matières TCO

Quantité (t MB)	Fumier volaille	Fientes poules	Lisier porc	Boues STEP	Déchets verts*	Écumes sucrierie
total 2015	4 000	1 200	30 000	12 000	35 000	11 000
captable	~ 3 000	idem	~12 000	idem	idem	idem
Circuit 1, base 1**		1 200			2 500	
Circuit 1, base 2**				6 600	16 500	
Circuit 2 « solide »	2 000		6 300		16 000	
Circuit 3 « amende ment »					?	11 000
% capt. mobilisé	66	100	53	55	100	100

... et les encombrants déchets verts deviendraient limitants !
 Démontre qu'une approche bilan sources – puits n'a que peu d'intérêt

* condition broyat « propre »

** condition « vinasse »

Modélisation du scénario : UPUTUC v1

élevages

Élevage porcin
« fournisseur »

Élevage volaille
« fournisseur »

Élevage pondeuses
« fournisseur »

communes

STEP
« fournisseur »

Trie/broyage
déchets verts

sucrerie / distillerie

Écumes de sucrerie

Cendres de bagasse

Vinasses

Sica Aucre

Farines sang + plumes

Élevage porcin
« hors circuit »

Élevage volaille
« hors circuit »

UT 1
Co-compostage

UT 2
Co-compostage

UT 3
Co-compostage

UT 5
Usine

UT 4
Compostage

Sole agricole

UC prairie des hauts

UC aménagement prairie

UC maraîchage

UC canne repousse

UC canne replantation

Engrais de synthèse
distributeurs

Flux aux caractéristiques prédéterminées

Flux avec boucle retour multi-annuel

Flux à simuler de façon dynamique

Modélisation du scénario : UPUTUC v1

En cours d'implémentation avec un formalisme **SMA** sur la plateforme **AnyLogic** :

- Renseignement des relations entre agents avec les connaissances acquises et les hypothèses co-construites
- Ouvert à l'affinage par intégration des jeux de rôles sur base SMA
- Sur une base 'événementielle' : une représentation fine de la dynamique, informatiquement efficace
- Permettant le maintien du détail spatial (e.g. l'agent 'canne repousse' contenant > 1500 instances ; coûts et temps de transport basés sur le réseau routier réel), permettant d'éviter des problèmes de non-linéarité

Les simulations à réaliser avec cet outil :

1. permettront de vérifier le bon fonctionnement conjoint, dans le temps, des circuits
2. fourniront (toute ou une partie de) l'information requise par les **évaluations logistiques, environnementale et économique**.

Évaluation des scénarios

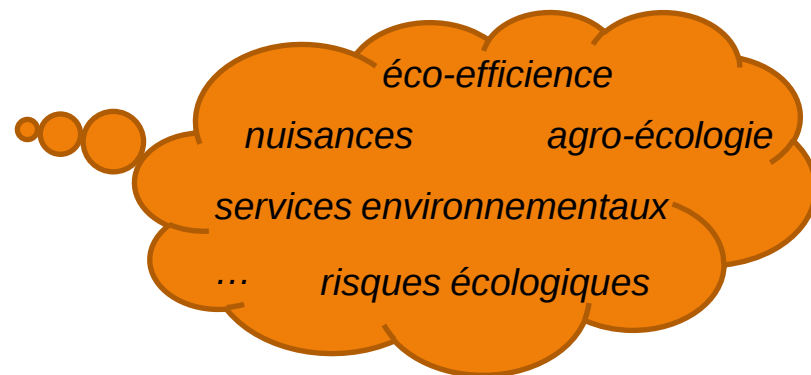
4.a	Évaluation logistique
4.b	Évaluation économique et règlementaire
4.c	Acceptabilité sociale
4.d	Évaluation environnementale
4.e	Essais transformation/production échantillon
4.f	Suivis agronomiques

En cours, avec l'accent sur la réalisation d'un **pré requis** :
La **représentation dynamique et spatialisée** de l'ensemble du système, à l'aide de la **modélisation** (conceptuelle, puis informatique)

2 mots sur l'**Evaluation Environnementale** en cours

Le plus complexe des évaluations car devant informer de multiples décideurs aux attentes variables

Recherche méthodologique en cours depuis 12/2011 à travers une thèse de doctorat :



Comment estimer et évaluer les impacts environnementaux que produirait un scénario territorial visant la valorisation agronomique de résidus organiques, représenté par une simulation dynamique et distribuée de flux ?

→ Une approche en cours de définition qui distingue 3 'environnements' :

L'environnement métabolique : les composantes biophysiques du territoire participant au métabolisme. ***Préserver la fonction métabolique.***

L'environnement de la population du territoire : les flux et composantes biophysiques du territoire qui affectent la qualité de vie des habitants. ***Eviter toute perte de qualité de vie.***

L'environnement global : des flux et composantes biophysiques en dehors du territoire affectés par le changement du métabolisme territorial. ***Minimiser (ou maximiser) les conséquences marginales***

Conclusions et perspectives 2013

Un projet fédérateur et « d'intérêt général » :

- Créant entente et confiance entre acteurs du territoire réunionnais
- Impliquant les décideurs locaux concernés

Impacts attendus :

- Accroissement de l'efficacité globale du territoire
- contribution au développement plus durable et harmonieux de l'ensemble des activités de production organique de ce territoire
- de possibles retombées économiques
- identification de besoins de recherche : de nombreuses incertitudes, dont celles concernant le raisonnement de la fertilisation organiques sont les plus gênantes

2013 :

- Après production expérimentale d'échantillons des produits, mis en œuvre de suivis agronomiques dès janvier 2013
- Générer, à l'issue d'un ensemble de simulations UPUTUC, une description fine et spatio-temporellement renseignée, du fonctionnement du scénario
- Sur cette base des premiers indicateurs environnementaux de type 'pression' devraient rapidement pouvoir être générés.
- L'évaluation environnementale déduira de ces pressions des indications portant sur les risques de dommage ainsi que son pendant, les chances de bénéfice environnemental