

La co-construction de filières de recyclage de résidus organiques à la Réunion

Wassenaar T.¹, Queste J.², Paillat J.-M.¹, Saint Macary H.³

¹ CIRAD, UPR Recyclage et risque, F-97743 Saint Denis, Réunion, France

² CIRAD, UPR GREEN, Antananarivo, Madagascar

³ CIRAD, département PERSYST, F-34398 Montpellier, France

Correspondance : tom.wassenaar@cirad.fr

Résumé

La Réunion importe de grandes quantités de nutriments, que ce soit pour l'alimentation de la population ou pour l'élevage. L'excédent structurel de nutriments y est important et croissant avec l'augmentation de la population. Par ailleurs le secteur agricole reste fortement dépendant d'importations d'engrais. C'est dans ce contexte que les acteurs concernés par cette problématique dans l'ouest de la Réunion ont adhéré à un projet participatif pour co-construire et évaluer des solutions acceptables de recyclage des déchets organiques d'origine aussi bien agricole qu'urbaine ou agro-industrielle. Le projet a été organisé de manière à favoriser un apprentissage collectif. L'aboutissement de ce processus a pris la forme de scénarios prospectifs. Un scénario « minimal » vise la production d'un co-compost à base d'effluents d'élevage et de déchets verts. Un scénario « optimal » prolonge le premier scénario par l'émergence d'une seconde filière produisant des engrais organiques et organo-minéraux. L'utilisation de fertilisants concentrés, imposée par les nombreuses contraintes du territoire, limite le potentiel de bénéfices agro-écologiques in situ. Mais la réalisation du scénario optimal devrait à terme permettre de réduire de moitié ou plus l'utilisation d'engrais importés sur le territoire d'étude.

Mots-clés : Compost, engrais, co-compostage, symbiose industrielle, concertation

Abstract: Co-designing organic residue recycling chains in Réunion

Réunion imports large amounts of nutrients, be it to feed its population or its livestock. In the absence of significant nutrient exports the structural excess is large and increases with its growing population. This hampers the island's development, while its agricultural sector remains largely dependent upon fertilizer imports. The situation has motivated affected actors of western Réunion to join a participatory project aiming at the codesign and assessment of solutions to recycle agricultural, urban and agro-industrial organic residues. The project setup sought to favor collective learning through participatory design exercises. Prospective scenarios constitute the outcome of that process. A "minimal" scenario proposes to produce a bulk fertilizer by co-composting livestock manure and green waste. An "optimal" scenario then proposes to extend the former through the industrial production of concentrated organic and organo-mineral fertilizer based on several co-composts. Due to various constraints, mainly related to topography and equipment, the demand from agriculture focuses on high nutrient content fertilizer. As a result local agro-ecological benefits one can expect to result from organic residue recycling are limited. But implementation of the optimal scenario should result in the substitution of a large share of imported fertilizer in western Réunion.

Keywords: Compost, fertilizer, co-composting, industrial symbiosis, consultation

Introduction

L'intérêt actuel pour le bouclage des cycles biogéochimiques trouve son origine dans une population croissante dont le régime alimentaire change avec le niveau de développement et une ségrégation croissante des lieux de production et de consommation. Ces mutations devenaient très marquées en Occident au milieu du XIX^e siècle, ce qui en ce début de la deuxième révolution agricole amenait Marx, à dénoncer, déjà, la rupture « métabolique » entre l'homme et le sol (Foster, 1999). La préoccupation environnementale majeure était alors la diminution de la fertilité du sol. Si l'arrivée de l'engrais artificiel, notamment la synthèse d'engrais azoté, a fait oublier cette préoccupation, la rupture des cycles n'a cependant pas cessé de s'exacerber depuis, par la mondialisation, l'urbanisation, les changements alimentaires et la spécialisation des secteurs agricoles. Le retour récent de la préoccupation du bouclage de cycles comme une dimension de l'agroécologie peut donc être vu comme le constat d'échec des pratiques « modernes » à combler le fossé métabolique de Marx : le maintien de la fertilité des sols demande plus que l'apport d'engrais artificiels, et le bouclage des cycles dépasse le seul secteur agricole.

Dans un contexte de raréfaction généralisée, l'écologie industrielle se propose d'exploiter localement des gains d'efficacité matériel et énergétique par une approche intersectorielle visant à établir des connexions entre activités, appelée *symbiose industrielle* (au sens large : toute production due au travail de l'homme) et popularisé sous le terme d'*économie circulaire*. La recherche d'une telle symbiose intersectorielle autour des résidus organiques, qui constituent les principales « pertes » des cycles biogéochimiques, semble pertinente dans de nombreux territoires.

On peut distinguer deux types de territoires à fort potentiel pour un tel recyclage intégré de résidus organiques (Wassenaar et al., 2014) : les mégapoles à forte croissance fonctionnant avec leurs élevages périurbains intensifs, comme puits d'un hinterland agricole aux sols qui s'appauvrissent progressivement ; et les territoires confinés et isolés à forte croissance démographique. Le potentiel y est fort, non seulement en termes de bénéfices agroécologiques, mais aussi en termes d'atténuation de problèmes environnementaux. L'existence d'un tel potentiel est essentielle car il prédispose *a priori* les acteurs à s'engager dans une symbiose industrielle.

La Réunion représente un exemple du second type de territoire à fort potentiel avec des importations d'engrais pour un secteur agricole (avec une SAU qui représente 17% de la surface totale, et dont seul 22% présentent des pentes inférieures à 10%) qui reste fortement dépendant de cette entrée externe, et des importations de fortes quantités de nutriments, que ce soit pour l'alimentation de la population ou pour l'élevage. La canne à sucre, clé de voûte de l'agriculture réunionnaise, occupe près de 60% de la SAU et la prairie près de 30% (Figure 1), mais l'agriculture se diversifie : les fruits et légumes locaux approvisionnent 70% du marché du frais et les exploitations cannières consacrent globalement 10% de leur SAU à des cultures de diversification (DAAF 2014). Les flux économiques d'exportation étant très faibles, en termes de nutriments, l'excédent structurel y est important et croît avec l'augmentation de la population (actuellement 850 000 habitants, la population réunionnaise continue d'augmenter d'environ 10 000 personnes par an. Source : INSEE 2014). L'impact sur la pression foncière de cette croissance démographique contraint encore davantage le développement de l'activité agricole qui, dans le cadre réglementaire national et européen, éprouve déjà de grandes difficultés dans la réalisation de son ambition d'augmenter la part de la production locale dans le marché local (produits maraîchers et d'élevage). Dans le même temps, les résidus organiques produits par les activités urbaines et agro-industrielles ne sont plus acceptés dans des centres d'enfouissement devenus saturés. Le souhait de valoriser ces nouveaux résidus en agriculture a fait naître une compétition autour de surfaces d'épandage réglementaires.

C'est dans ce contexte que les acteurs concernés par cette problématique sur une sous-partie de l'île, l'ouest de la Réunion, ont été amenés à adhérer à un projet participatif pour co-construire et évaluer des solutions acceptables de recyclage des déchets organiques d'origine aussi bien agricole qu'urbaine

ou agro-industrielle. Ainsi, cet article présente le projet Girovar « Gestion intégrée des résidus organiques par la valorisation agronomique à la Réunion », financé par le Ministère de l'agriculture dans le cadre du programme CasDar, et qui a cherché à susciter la symbiose industrielle évoquée précédemment.

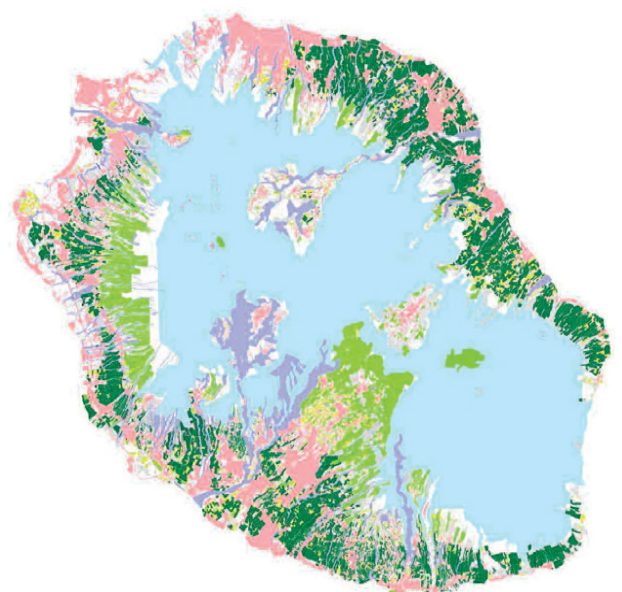


Figure 1 : Occupation du sol de la Réunion
(source : DAAF La Réunion/SISE/SIG/2012)

Surfaces agricoles	Zones non mobilisables
■ Canne à sucre	■ En raison du contexte naturel
■ Élevage	■ Du fait de l'urbanisation
■ Fruits, légumes, autres	■ Parc National

1. Les caractéristiques de la situation réunionnaise

1.1 Une diversité de résidus

Dans l'Ouest de la Réunion on trouve toute la diversité de résidus organiques que produit une île sous les tropiques humides avec de multiples filières agricoles et une forte population culturellement diversifiée. Beaucoup de ces résidus représentent de faibles quantités (e.g. des petites filières d'élevage ou agro-alimentaires) et, fait important, parmi ceux d'ampleur significative, plusieurs ne sont pas ou peu mobilisables pour une gestion « intégrée » et centralisée. C'est notamment le cas des déjections bovines restituées directement aux prairies des Hauts de l'île, de la bagasse (utilisée pour la production d'énergie) et de la paille de canne à sucre (laissée au champ ou mobilisée pour l'élevage bovin).

Les résidus disponibles en quantités importantes présentent toutefois une grande diversité, tant sur le plan physicochimique que spatial ou temporel. Les effluents des élevages de monogastriques ont des compositions variables (riche en azote, mais à très faible teneur en matière sèche, pour le lisier de porc ; riches en phosphore pour les litières de volaille de chair et les fientes de poules pondeuses par exemple). Ils ont en commun une production relativement continue au cours de l'année, réalisée par un ensemble spatialement diffus d'exploitations de taille moyenne (sauf dans le cas des fientes de poules pondeuses). Ceci contraste avec des gisements industriels localisés de broyat ou de compost de déchets verts (centralisés après collecte), de boues de station d'épuration, ou de farines de sang et de plumes d'abattoir, bien que leur production soit aussi relativement continue dans le temps. Les résidus de la filière sucre (écumes de sucrerie, vinasse de distillerie) connaissent quant à eux une forte périodicité annuelle mais leur production est spatialement concentrée dans deux ou trois installations de

l'île. Souvent comparées entre elles dans un cadre réglementaire focalisé sur l'azote, toutes ces matières ont des propriétés physicochimiques qui diffèrent fortement, que ce soit en composition nutritive, en caractéristiques physiques ou en biodégradabilité. Au-delà d'une compétition d'élimination réglementaire de déchets, il y a donc là surtout une complémentarité potentielle.

1.2 Une diversité d'acteurs

L'Ouest de la Réunion connaît une ségrégation spatiale nette en zones culturelles distinctes. Il n'en va pas ainsi de ses agriculteurs : principalement maraîcher, « planteur » de canne à sucre ou éleveur de bovins (exploitant des prairies), une grande partie exploite deux ateliers ou plus. Entre ces métiers, les niveaux d'organisation varient : l'activité maraîchère est très faiblement organisée et pour partie informelle. L'élevage se situe à l'autre extrême : la plupart des ateliers ont été créés dans le cadre de filières très intégrées dont les adhérents opèrent selon un cahier des charges proposé par la coopérative. Situés entre ces deux extrêmes, les planteurs de canne sont suivis et conseillés par l'industrie sucrière qui constitue leur client unique et face à qui ils sont représentés par la Chambre d'Agriculture.

Le choix de représentants agricoles et leur participation à la démarche de co-construction ont donc parfois posé question. L'entreprise sucrière et la Chambre d'Agriculture ont été structurellement représentées au cours de la démarche. Il en va de même pour l'agglomération de communes le Territoire de la Côte Ouest (TCO), concernée à plusieurs titres par la démarche, la Fédération Régionale des Coopératives Agricoles, et la régie de la commune de Saint Paul La Créole qui est l'un des deux producteurs de boues de station d'épuration. En plus des producteurs de résidus et des agriculteurs pressentis comme consommateurs de matières fertilisantes, un ensemble d'acteurs « intermédiaires » – effectifs et potentiels – ont participé à la démarche. Cela comprenait des acteurs de la collecte et du compostage de résidus, des associations de développement, de potentiels fabricants et d'actuels distributeurs d'engrais. Au-delà du TCO, plusieurs collectivités sont à divers titres concernées par, et ont été impliquées dans, la démarche : le Conseil Général, le Conseil Régional et les Services déconcentrés de l'Etat.

1.3 Une situation très contrainte

1.3.1 Les contraintes pratiques de l'agriculture réunionnaise

Les sols cultivés que l'on trouve le long de l'important gradient topographique du territoire d'étude présentent des contraintes de fertilité qui pourraient au moins pour partie être levées par des apports appropriés de matière organique. En altitude, il s'agit plutôt de contraintes chimiques (e.g. une faible capacité d'échange et une acidité élevée), alors que les sols des bas connaissent d'importantes contraintes physiques (e.g. des faibles profondeurs et réserves utiles). Mais de nombreux obstacles pratiques empêchent d'atteindre leur potentiel, en particulier les fortes pentes des parcelles empêchent souvent une mécanisation. Les quantités pouvant être apportées sont donc limitées, le matériel d'épandage et de possibles prestataires liés sont très clairsemés et enfin le coût de transport et l'accessibilité limitent les possibilités de collecte de résidus et de livraison de fertilisants.

En raison de la topographie, mais aussi pour des raisons historiques, le foncier agricole est par ailleurs très morcelé avec des formes et des tailles de parcelles souvent peu propices à la mécanisation. En termes de pratiques agricoles, les prairies dans les hauts sont très peu retournées et l'autre sole principale, la canne à sucre, se caractérise par un taux de replantation très faible (une fois tous les dix à quinze ans). Ces deux situations laissent peu de place à des apports « de fond ».

1.3.2 Des contraintes économiques et réglementaires

Au-delà des contraintes réglementaires déjà indiquées dans le cas de leur apport sous un statut réglementaire de déchet (les « plans d'épandage » précisant de nombreuses règles, mais dont la principale contrainte résultante est la faible surface agricole potentiellement épandable), d'autres

contraintes interviennent dès lors que l'on imagine des changements dans la situation actuelle. C'est le cas notamment des normes nationales qui, dès lors que l'on souhaite utiliser des matières fertilisantes de manière plus libre que sous le statut de déchet, définissent de manière uniforme un ensemble de critères que ces « produits » doivent satisfaire (NFU 42-001, NFU 44-051, NFU 44-095). Bien que garants d'une qualité stable et caractérisée, certains de ces seuils génériques peuvent se révéler inadaptés dans des situations précises et de ce fait localement gêner des projets de valorisation. C'est le cas à la Réunion avec les seuils de teneurs en éléments trace métallique (ETM), définis par rapport à un fond pédogéochimique métropolitain « moyen », correspondant à des teneurs très faibles par rapport à celles des sols réunionnais (Doelsch et al., 2006a ; Doelsch et al., 2006b). Comme plusieurs résidus organiques y dépassent ces seuils réglementaires de teneurs en ETM, qui plus est, le plus souvent d'origine pédogénétique, une demande de dérogation préfectorale est en cours d'instruction. Un autre point important est que ces normes définissent des listes « positives » de matières autorisées pour fabriquer ces produits. Ces listes sont basées sur des situations et des états de connaissance qui deviennent progressivement « historiques » ; aussi leur actualisation est fastidieuse car elle nécessite un accord au niveau national voire européen, et cela en l'absence d'une procédure explicite. Ce problème se pose par exemple pour les projets français de valorisation agricole de digestats de méthanisation (Coop de France et FNCUMA 2011).

L'élaboration de tout système faisant appel à des procédés de transformation (de résidus en produits) est également encadrée par la législation relative aux « installations classées pour la protection de l'environnement » (ICPE). En fonction du régime ICPE, des répercussions plus ou moins importantes sont constatées sur la liberté de localisation, de combinaison d'activités sur un site, et en termes d'équipement d'une installation, avec par conséquent des répercussions économiques pouvant être très significatives. Dans le cas du territoire étudié, cela a constitué un des facteurs qui ont amené à l'abandon d'un scénario de méthanisation, relevant d'un régime ICPE très contraignant.

Ce tableau est complété par des caractéristiques de la Réunion qui conditionnent sur le plan économique les velléités de changement systémique présentant des coûts d'investissement et de fonctionnement importants. En effet, si la situation ultrapériphérique et la possibilité de définition d'instruments financiers publics adaptés sont *a priori* favorables à la valorisation de ressources locales, la situation de trésorerie des agriculteurs les empêche souvent d'investir sur le long terme et la petitesse du marché intérieur peut devenir une contrainte à la rentabilité d'installations industrielles ambitieuses.

2. Le développement d'une méthode de co-construction de solutions

2.1 Rôle et positionnement de la recherche

Le projet Girovar se positionnait dans la continuité de travaux déjà réalisés par le Cirad sur le territoire. A son démarrage, la caractérisation physico-chimique des matières organiques de l'île et de leur intérêt agronomique venaient d'aboutir à un ouvrage de vulgarisation (Chabalier et al., 2006). Les équipes de recherche s'étaient investies, d'une part dans les études de faisabilité d'une unité de traitement d'effluents d'élevage dans une autre région de l'île (Guerrin et Paillat, 2003), ce qui a été l'occasion de développer des liens avec les principaux experts locaux des déchets et, d'autre part, dans la modélisation d'accompagnement des dynamiques foncières en appui à la définition du Schéma d'Aménagement Régional. La longue histoire de l'implication du Cirad dans le développement agricole de l'île confère à cet établissement de recherche une légitimité à se saisir de questions d'intérêt agricole. L'établissement et ses partenaires n'avaient cependant pas alors une grande légitimité à aborder les questions de société que sont la gestion des déchets ménagers et des eaux usées des collectivités.

Les chercheurs à l'initiative du projet ont fédéré un premier cercle de partenaires en leur proposant d'associer un large collectif de représentants des parties prenantes à une démarche scientifique d'exploration des hypothèses suivantes :

- La gestion des matières organiques gagnerait à être organisée à l'échelle de l'intercommunalité ;
- Les matières organiques « brutes » ne sont pas bien adaptées aux besoins des cultures et aux contraintes des agriculteurs ;
- La production et la commercialisation de produits fertilisants organiques normés, adaptés aux besoins des plantes et aux contraintes des agriculteurs, à partir des matières organiques présentes sur le territoire, permettraient de résoudre partiellement mais durablement les problèmes environnementaux et de réduire les importations d'engrais de synthèse.

Ce faisant, le projet adoptait un paradigme post-normal (Funtowicz et Ravetz 1993). D'une part, les incertitudes inhérentes au socio-écosystème sont trop importantes pour être résolues par une simple application de recherches antérieures menées en d'autres temps, en d'autres lieux et sous d'autres conditions. D'autre part, les enjeux liés à la valorisation des matières organiques sont trop importants pour que soient envisagées des solutions approximatives ou expérimentales. L'adoption de ce paradigme a conduit les porteurs du projet à associer experts et « parties prenantes » à l'ensemble du processus d'exploration des hypothèses : de l'étape du diagnostic à l'évaluation des solutions co-construites en passant par les choix d'orientations intermédiaires.

La démarche adoptée s'inspire de plusieurs propositions méthodologiques. Douthwaite et al. (2002) et leur démarche de « Follow the Technology » (FTT) proposaient ainsi d'associer les acteurs à l'évaluation *in situ* de solutions technologiques « plausibles ». Le chercheur se fait alors accompagnateur de l'innovation paysanne. La Modélisation d'Accompagnement (Commod) (Etienne, 2011) se base sur le même principe d'accompagnement des acteurs pour l'exploration d'innovations organisationnelles, mais en mobilisant des étapes de modélisation (conceptuelle, jeux de rôles, simulation multi-agents) pour explorer les conditions et les conséquences de scénarios sans nécessairement de mise en œuvre concrète. La méthodologie adoptée dans le cadre du projet Girovar s'inspire de ces deux méthodes en mettant en œuvre un accompagnement de représentants des parties prenantes dans l'exploration des conditions et des conséquences de la mise en œuvre d'une technologie jugée plausible. Des expérimentations au champ, initialement prévues pour susciter des innovations paysannes, n'ont malheureusement pas pu être mises en œuvre dans le temps imparti au projet.

2.2 Une approche territoriale intersectorielle ambitieuse

Lors de l'élaboration du projet, le choix a été fait d'appréhender l'échelle de l'intercommunalité « Territoire de la Côte Ouest » (TCO), partenaire du projet, soit un bassin de vie de 180.000 habitants, dans un contexte institutionnel et réglementaire complexe et dense. Les limites du système considéré sont des limites administratives, ce qui a simplifié la mise en œuvre opérationnelle – il n'y avait pas de conflit entre intercommunalités à gérer – et l'appréhension des flux de matières organiques gérées par les collectivités : eaux usées et déchets verts. Elle introduisait en revanche un biais dans l'identification des matières organiques agricoles : si les parcelles de destination étaient facilement identifiées, la question se posait des flux entrants et sortants du système considéré. Les écumes de sucre et les farines animales sont produites par des usines situées en dehors du territoire mais à partir de produits agricoles (canne à sucre, poulets) produits, pour partie, à l'intérieur de celui-ci.

L'échelle retenue correspondait enfin à des niveaux d'organisation qui imposaient de prendre en considération les acteurs institutionnels correspondants. Dès lors, un système de délégation et de représentativité devait être mis en place pour garantir l'expression des acteurs directs (éleveurs, planteurs, gestionnaires de station) et des acteurs institutionnels susceptibles d'agir au niveau

intercommunautaire (Chambre d'Agriculture, intercommunalité, représentants des organisations professionnelles et des services déconcentrés de l'Etat).

Enfin, le parti pris d'aborder l'ensemble des matières organiques disponibles sur le territoire et l'ensemble des « marchés » potentiels a conduit les porteurs du projet à inclure dans la réflexion des secteurs d'activités hétérogènes. Il s'agissait ici de forcer la rencontre entre plusieurs mondes :

- Le monde agricole, composé pour l'essentiel d'agriculteurs familiaux indépendants, plus ou moins organisés en réseaux d'entraide informelle ou en syndicats professionnels, parfois encadrés par des techniciens de la chambre consulaire ;
- Le monde des collectivités territoriales, composé de fonctionnaires territoriaux salariés, d'élus municipaux, vivant au rythme des élections ;
- Le monde des industriels de l'environnement, composé d'ingénieurs, de techniciens, d'ouvriers spécialisés, de conducteurs d'engins, à la cadence rythmée par les fréquences de collecte et les marchés publics.

A chaque monde correspond un régime juridique et des instruments d'action publique (Lascoumes et Le Galès, 2005) distincts, mais aussi et surtout des valeurs, des principes, des mythes et des cadres de références singuliers.

2.3 Une démarche de concertation à trois arènes

L'objectif affiché du projet était d'aboutir à la co-construction de « promesses plausibles ». La question se posait de savoir quels individus étaient légitimes à contribuer à cette co-construction. Le dispositif de concertation mis en œuvre s'est alors efforcé d'accompagner la réflexion au sein de trois arènes fondées sur des légitimités différentes :

- **Au niveau institutionnel**, un comité de pilotage a rassemblé des représentants mandatés par leur institution (administrations, sociétés, chambre consulaire, etc.) pour émettre un avis sur les orientations du projet. Les comités de pilotage ont fourni au projet et aux solutions étudiées une légitimité institutionnelle : les réflexions menées dans le cadre du projet l'étaient au nom de ces différentes organisations.

- **Au niveau technique**, des groupes de travail *ad hoc* ont été constitués selon un principe de cooptation. Ils ont rassemblé des individus identifiés par les membres de l'équipe projet comme disposant de connaissances, de savoir-faire, d'expérience ou d'expertise pertinentes au regard des réflexions en cours. Il pouvait ainsi s'agir de chercheurs, d'ingénieurs, d'agents des services de l'Etat, de techniciens connaissant bien la zone d'étude. Ces groupes ont contribué à l'élaboration technique des solutions. La participation de ces experts a fourni aux solutions co-construites dans le cadre du projet une légitimité technique : parce que les principaux experts du domaine ont contribué à leur élaboration, ces solutions avaient plus de chance d'être techniquement viables.

- **Au niveau pratique**, des ateliers participatifs ont été organisés une à deux fois par an. Ces ateliers ont rassemblé des individus retenus du fait de leur appartenance à un des 12 groupes-cible directement concernés par le problème de valorisation agronomique des matières organiques (éleveurs, services des espaces verts, planteurs, etc.). Les individus représentant ces groupes cibles ont été sélectionnés par des membres de l'équipe projet. Le profil recherché pour un représentant était un innovateur en mesure de diffuser les résultats au sein de son réseau social. Ces ateliers ont été mobilisés à chaque grande étape de la co-construction. Les participants ont été consultés sur les résultats obtenus et associés au choix des orientations techniques. La participation de ces représentants des groupes cibles a fourni au projet une double légitimité. D'une part, il pouvait revendiquer – dans une certaine mesure – la prise en compte des intérêts des acteurs, et d'autre part la consultation régulière de ces acteurs sur les solutions élaborées renforçait leur acceptabilité sociale.

2.4 Les étapes de la co-construction

A partir d'un diagnostic initial réalisé au cours d'un atelier participatif, les étapes du processus participatif ont été calquées sur le travail de co-construction de solutions plausibles de valorisation agronomique des matières organiques (Figure 2) : (i) définition des profils de produits idéaux, (ii) élaboration de circuits permettant de produire ces produits, (iii) combinaison de ces circuits au sein de scénarios puis (iv) évaluation des scénarios. A chacune de ces étapes, un aller-retour entre les différentes arènes de concertation a été organisé pour maintenir les trois formes de légitimité des solutions en cours de conception.

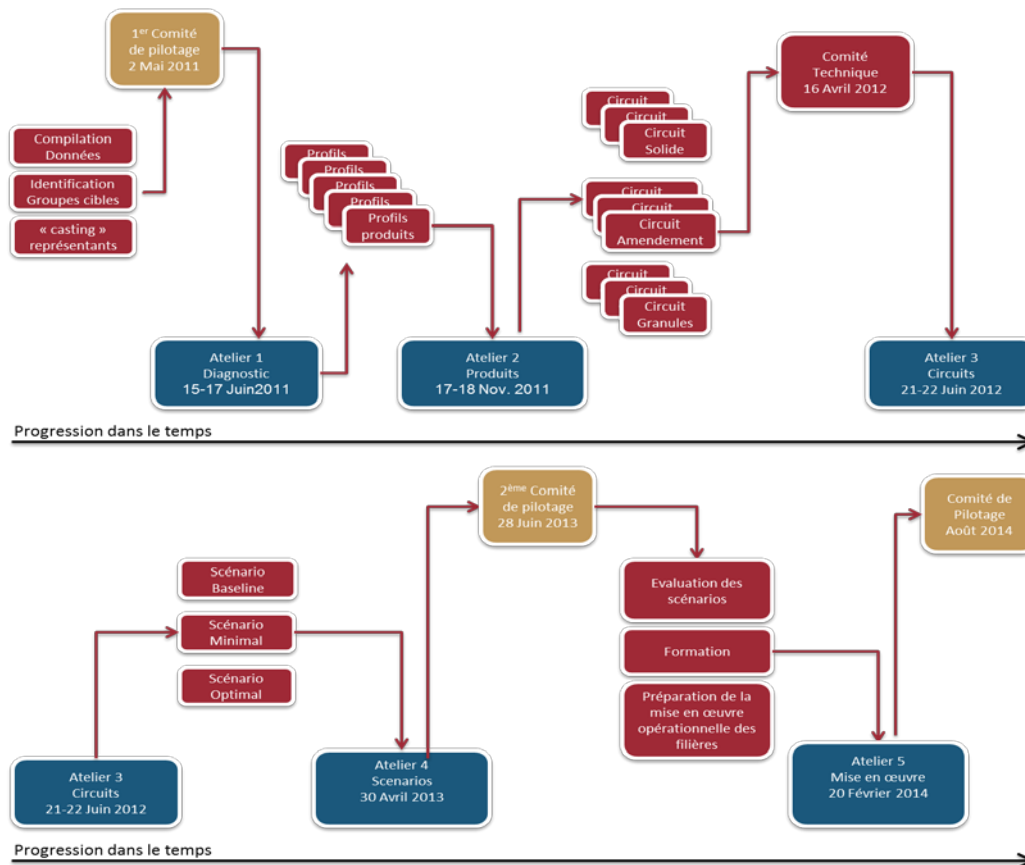


Figure 2 : Étapes de co-construction, mettant en évidence les interactions entre les niveaux de concertation institutionnel (beige), technique (rouge) et pratique (bleu).

Le lien entre les différentes arènes a été assuré par l'équipe projet. Le passage d'une arène à une autre s'est accompagné d'une traduction des scénarios pour ne mettre en discussion que les aspects intéressants pour chaque collectif : les orientations stratégiques et l'intérêt général au niveau institutionnel, les options techniques et les aspects physico-chimiques au niveau technique, les conséquences pratiques et les coûts au niveau pratique. Les supports de communication ont également été adaptés aux différents publics : ont ainsi été produits des représentations schématiques graphiques, des jeux de rôle et des supports matériels pour les représentants des groupes cibles, des présentations powerpoint soigneusement reçues et des « éléments de langage » pour le niveau institutionnel, des rapports d'études, tableurs et autres documents techniques pour le niveau technique.

2.5 La double exploration technique et sociale

L'animation du processus de concertation n'a rien d'un long fleuve tranquille. A chaque étape, les orientations de la réflexion sont remises en débat au sein de chaque arène. Des controverses surgissent comme l'acceptabilité sociale des boues de station d'épuration, le statut légal des unités de

transformation ou le positionnement par rapport à d'autres filières de traitement des déchets. Au sein de ce dispositif, les chercheurs ont un double rôle ce qui s'est traduit en pratique par une animation qui mettait en scène un binôme :

- Un chercheur spécialiste des matières organiques qui assure l'exploration technique des promesses plausibles en alimentant le processus d'exploration des « promesses plausibles » en connaissances scientifiques : modèles, données de référence, études de cas.
- Un chercheur spécialiste de la concertation qui accompagne l'évolution des différents collectifs et s'assure de la qualité du processus d'exploration des « promesses plausibles », exploration qui, comme le suggèrent Callon et al. (2001) porte à la fois sur le contenu technique des scénarios de valorisation de matière organique et sur les contours et les propriétés des collectifs qui y sont associés.

3. Les scénarios consolidés de gestion territoriale élaborés

Le projet a été organisé de manière à favoriser un apprentissage collectif en multipliant les exercices collectifs de co-construction. L'aboutissement de ce processus a pris la forme de deux scénarios prospectifs. Ces scénarios sont conçus comme des alternatives à un scénario « tendanciel » qui correspond à une situation où aucune nouvelle installation de traitement ne serait mise en œuvre. Les effluents d'élevage continueraient d'être écoulés dans le cadre de plans d'épandage. Les seuls changements pris en compte dans ce scénario concerneraient une évolution de la norme légalisant la pratique existante du retour de l'écume de sucrerie sur la sole cannière et quelques améliorations techniques des installations de compostage de déchets verts existantes. Dans ce scénario de référence, la production de compost resterait supérieure à la demande agricole et une concurrence féroce se développerait pour la contractualisation de plans d'épandage. Parallèlement, les parcelles non mécaniquement épandables ne pourraient pas bénéficier d'apports de matière organique.

3.1 Le scénario « minimal »

Dans ce scénario une filière de production et de distribution d'un produit fertilisant nouveau serait introduite. Une station mettrait en œuvre un procédé de co-compostage d'un mélange de broyat de déchets verts, de litière de volaille et de lisier de porc. Le produit sortant respecterait la norme amendement organique NFU 44-051. Ce produit intéresserait les maraîchers pour qui ce compost peut constituer un fertilisant « complet », utilisé une fois sur deux ou trois cycles de cultures. Il pourrait également être utilisé comme fertilisant unique sur canne à sucre et prairie, mais par le biais d'un épandage mécanisé, ce qui limite fortement la portion de la sole « éligible ». Sur les prairies, plus éloignées et difficiles d'accès, le coût de transport deviendra par ailleurs vite prohibitif. Le reste des matières organiques resterait géré de la même façon qu'aujourd'hui, mais en quantité moindre pour les effluents d'élevage concernés (litière de volaille et lisier de porc) et le compost de déchets verts.

La station de co-compostage serait installée sur la commune de Saint Paul, entre 500 et 700 m d'altitude, à proximité des maraîchers et d'une part importante des éleveurs de monogastriques (porcs et volailles) de la zone, permettrait l'adhésion de 14 des 22 éleveurs de poulets de chair et de 5 des 19 éleveurs de porcs les plus proches, ce qui correspondrait au besoin identifié du mélange de matières. La détermination de ce mélange, présenté dans le Tableau 1, constitue un délicat compromis entre la maximisation de la richesse en nutriments du produit et le maintien de caractéristiques physiques du mélange convenant au procédé biologique.

L'installation a été dimensionnée, que ce soit en termes de besoin surfacique, d'équipement ou de main d'œuvre (Tableau 1). Suite à l'évaluation économique il s'agirait finalement d'un compostage à l'air libre avec une maturation en tas à l'abri. L'approvisionnement de la station en effluents d'élevage serait assuré par un service de collecte payant prenant en compte les contraintes opérationnelles des éleveurs (évacuation des litières dans les 48 h suivant l'enlèvement des animaux). Ce principe de la

collecte d'effluents permet d'assurer un approvisionnement de la station en matières aussi fraîches que possible). Les déchets verts remonteraient de la plateforme du Port une fois collectés, triés et broyés via les camions de collecte de déchets verts.

		Matières en entrée	Procédé	Matières en sortie
scénario minimal	CC-LLB : co-compost de lisier de porc, litière de volaille et de broyat de déchets verts	47% de broyat de déchets verts, soit 8 400 t MB/an 20% de litière de volaille, soit 3 600 t MB/an, hypothèse : 14/22 élevages 33% de lisier de porc, soit 6 000 t MB/an, hypothèse : 5/19 élevages	co-compostage en casiers avec retournement besoin surfacique : 8 000 m ² besoin d'équipement : 1 tractopelle et 1 mélangeur mobile besoin de manutention : 4 jh/semaine	Co-compost normalisé NFU 44 051 teneurs N-P ₂ O ₅ -K ₂ O 1,6 - 1,6 - 2,1 % 6 000 t/an + 2 000 t/an de refus Siccité 70%
	CC-FVB : co-compost de fientes de poules pondeuses, de vinasse concentrée et de broyat de déchets verts	52% de broyat de déchets verts, soit 2300 t MB/an 34% de fiente de poules pondeuse, soit 1 500 t MB/an, hypothèse : 1/1 élevage 14% de vinasse concentrée, soit 600 t MB/an, hypothèse : projet de concentration réalisé	co-compostage en casiers avec retournement besoin surfacique : 2 800 m ² besoin d'équipement : 1 tractopelle et 1 mélangeur mobile besoin de manutention : 1 jh/semaine	Co-compost normalisé NFU 44 051 teneurs N-P ₂ O ₅ -K ₂ O 1,6 - 1,4 - 3,5 % 1 900 t/an + 500 t/an de refus Siccité 70%
scénario optimal	EOM-LLB : engrais organo-minéral à base de CC-LLB	~5000 t MB/an de CC-LLB complément d'engrais minéral	une chaîne industrielle de mélange une chaîne de compression (à froid) et de granulation 3-5 t/h : 8-12000 t/an besoin surfacique : minimum 6 200 m ²	~6 000 t/an d'engrais organo-minéral, en granules teneurs N-P ₂ O ₅ -K ₂ O 5 - 4 - 8 % NFU 42 001
	EO-FVB : engrais organique à base de CC-FVB	1900 t MB/an de CC-FVB 340 t MB/an de farines animales (plumes et sang)		1 900 t/an d'engrais organique, en granules teneurs N-P ₂ O ₅ -K ₂ O 4 - 2 - 4 % NFU 42 001

Tableau 1 : Principales caractéristiques techniques des procédés de transformation des circuits de valorisation.

L'évaluation logistique et économique de ce scénario s'appuie sur un modèle informatique multidisciplinaire conçu pour le projet. Elle suggère que l'utilisation du produit par les agriculteurs ne représenterait qu'une faible part de la production, du fait des charges de transport et des contraintes de mécanisation. L'utilisation simulée concernerait très majoritairement le maraîchage. Cette première évaluation du scénario aboutit donc aux recommandations suivantes :

- une évolution de cette demande à la hausse,
- l'émergence d'une filière en aval (voir le scénario Optimal),
- un dimensionnement des installations revu à la baisse.

3.2 Le scénario « optimal »

Ce scénario prolonge le premier scénario par l'émergence d'une seconde filière produisant cette fois des engrais organiques (EO) et organo-minéraux (EOM), répondant aux exigences du principal marché d'engrais identifié, la fertilisation manuelle sur canne à sucre en repousse. Le défi est ici de produire à partir de matière organique un engrais satisfaisant les besoins annuels de la canne à sucre sans dépasser la dose maximale acceptable pour une application manuelle estimée à 2 t/ha.

Cette filière serait composée de plusieurs petites stations de co-compostage dont les productions constituent des « bases organiques ». Ces matières premières seraient dans un second temps acheminées à une usine de complémentation et de granulation qui élaborerait deux produits normalisés NFU 42-001. Cette usine serait implantée sur la rive gauche de l'embouchure de la rivière des galets, proche du Port. Une conception industrielle en « tranches » lui permettrait de monter graduellement en puissance, suivant ainsi la croissance du marché. Les gisements du TCO permettent de rendre une première tranche viable. L'approvisionnement de cette usine – dans sa première tranche – 8 à 12 000 t/an – serait assuré par deux stations de co-compostage. La première est celle décrite dans le scénario minimal. La seconde produirait un compost, non-équilibré par rapport au besoin des cultures, anticipant la complémentation et cédé en totalité à l'usine. Cette deuxième station valoriserait les fientes de poules pondeuses et la vinasse de distillerie (par ailleurs concentrée, et donc stabilisée, par un porteur de projet identifié), toujours en utilisant du broyat de déchets verts comme structurant. Elle produirait près de 2 000 t/an de co-compost criblé (Tableau 1). Les deux stations partageraient, sur un même site, équipements et main d'œuvre.

Ce second co-compost serait complété en azote organique dans l'usine d'engrais, par ajout de farine de sang et de plumes provenant d'un gestionnaire de déchets d'abattoir situé à proximité du TCO. Cela permettrait de produire 1 900 t/an d'engrais organique aux teneurs N-P₂O₅-K₂O en sortie de 4-2-4 %. Le premier co-compost ne pourrait être enrichi en potasse par voie organique à ce stade. Il recevrait de l'azote et de la potasse sous forme minérale, débouchant en sortie sur un engrais organo-minéral. Les teneurs en N-P₂O₅-K₂O finalement retenues pour cet EOM sont de 5-4-8 %. Elles résultent de la combinaison des critères de viabilité économique, de teneur d'azote sous forme organique requise pour atteindre la norme engrais organo-minéral, de la possibilité d'utiliser ce produit en fertilisation manuelle sur la canne et de l'efficacité agronomique estimée du produit. Ce dernier point reste entouré d'une forte incertitude. L'évaluation économique de ce scénario met en évidence une forte sensibilité de l'équilibre économique à l'efficacité agronomique du produit. Or en l'absence de références locales, il subsiste une forte incertitude sur les coefficients d'équivalence de produits et résidus organiques. Ces derniers sont estimés de manière conservatrice sur la base de références métropolitaines portant sur des résidus bruts et des composts. Mais comme l'EOM contiendrait moins de 30% de l'azote originaire du co-compost, ce coefficient d'équivalence est susceptible de monter au point qu'il semble raisonnable de maintenir pour ces teneurs le conseil d'une dose de deux tonnes par hectare, i.e. la dose limite pour un apport manuel. Mais encore plus que pour les autres produits et matières, la réalisation d'essais agronomiques (ou, au minimum, des tests comparatifs par incubation sous conditions contrôlées) pour vérifier l'efficacité de ce produit s'impose.

3.3 Les principaux enseignements de l'évaluation des scénarios

Une part très importante des gisements « captables » (ce qui par exemple dans le cas du lisier de porc reste nettement inférieur au total) serait effectivement valorisée. Pour les effluents d'élevage cette part varierait de 40% pour le lisier de porc à 100% pour la fiente de poules pondeuses, en passant par 90% pour le fumier de volaille de chair. Le besoin en broyat de déchets verts des installations de co-compostage correspond à la moitié du gisement et ne mettrait donc pas en péril la satisfaction des besoins des utilisateurs de compost de déchets verts, dont notamment les services communaux d'entretien des espaces verts. La quantité de déchets ultimes qui resterait à gérer serait réduite, ce dont découlerait un certain nombre d'avantages économiques, sociétaux et environnementaux. D'autre part

la production de fertilisants envisagée permettrait une substitution importante de l'engrais chimique, de l'ordre de 1 850 tonnes d'engrais, un enjeu important identifié collectivement en début de projet. Si l'ensemble des trois nouveaux produits étaient utilisés sur le territoire du TCO cela permettrait de satisfaire entre la moitié et les trois quarts des besoins « hors prairie » (maraîchage et canne à sucre). La SAU sous plan d'épandage d'effluents y serait en même temps nettement réduite, passant par exemple pour la canne à sucre de 704 à 223 ha.

L'évaluation économique fait l'hypothèse d'un appui public à l'investissement (e.g. un taux de subvention à l'investissement de 75%) et d'un accompagnement financier du changement de pratique des agriculteurs pour faciliter la pénétration du marché de la fertilisation sur canne. Elle suggère que la rentabilité d'une station de co-compostage du scénario minimal serait facilement atteignable. L'équilibre économique de l'usine d'engrais dans le scénario optimal est plus délicat. Les hypothèses permettant d'équilibrer les comptes de la station aboutissent à des solutions de fertilisation d'un coût de production très proche du prix de seuil d'acceptation par les agriculteurs, de l'ordre de 600€/ha rendu bord de champ dans les conditions actuelles. Ces résultats nous amènent à recommander un élargissement du bassin d'approvisionnement et de chalandise pour l'usine d'engrais qui permettrait de réduire les charges fixes et de baisser les coûts de production. Trois bassins de production présentant un potentiel de co-compostage des gisements de résidus en dehors de la zone de l'étude ont été identifiés en ce sens : Saint André / Bras Panon au nord-est, la Plaine de Cafres au centre Saint Pierre / saint Louis au sud-ouest.

Une méthode novatrice d'évaluation environnementale (Dumoulin et Wassenaar, 2014 ; Dumoulin et al., 2013) a permis d'identifier un ensemble de phénomènes qui revêtent un intérêt pour les acteurs du territoire, concernant soit l'environnement des habitants du territoire (diverses nuisances par exemple), soit l'environnement productif de ses acteurs économiques (la fertilité du sol notamment), soit des phénomènes environnementaux dépassant ce territoire (la contribution nette au changement climatique par exemple). Pour l'ensemble des phénomènes, l'ampleur des effets nets attendus par la mise en place des scénarios est positive ou nulle par rapport à la situation tendancielle. Aucune contre-indication à leur mise en place, en termes de risques environnementaux, n'a été relevée. Dans le cas des contaminants trace organiques, il s'agirait même d'une réduction substantielle du niveau de risque actuel (Wassenaar et al., 2015).

Deux de ces phénomènes concernent l'agroécologie : le changement dans la mobilisation de ressources non-renouvelables et l'évolution de la fertilité du sol. Dans le scénario optimal, le recyclage est susceptible de réduire très significativement l'importation de phosphore et de potasse d'origine minière (l'ampleur de cette réduction dépendant de la dimension de la filière d'engrais local à l'échelle de l'île). Ce bilan est moins nettement positif pour l'énergie fossile : la consommation d'énergie que représente le scénario (dont notamment la concentration de vinasse) pourrait pour partie annuler l'économie que représente la substitution d'engrais azoté minéral importé. Dans les deux scénarios, une amélioration de la fertilité du sol est attendue à moyen terme sous maraîchage adoptant l'utilisation régulière et fréquente de co-compost là où le maraîcher n'a actuellement pas toujours accès à un fertilisant organique. A long terme cela peut induire une augmentation sensible d'ETM dans le sol (tout comme cela se produit chez ceux utilisant du fumier brut), mais qui n'est pas de nature à affecter la fertilité (Oustrière et al., 2013). L'utilisation d'EO et d'EOM ne constitue pas un apport d'une ampleur susceptible de modifier les propriétés du sol. Il en va de même pour l'utilisation sur canne à sucre et prairie des autres produits organiques du fait des doses d'apport insuffisantes pour produire de tels effets.

4. Conclusions : Principaux enseignements et suites à donner

4.1 Une démarche pertinente mais perfectible

La démarche a permis d'identifier et de caractériser des filières plausibles permettant de substituer des fertilisants organiques normés adaptés à l'agriculture réunionnaise, produits à partir de déchets organiques locaux, aux engrais chimiques et aux matières organiques « brutes ». La création de ces filières représenterait une mise en pratique du principe d'économie circulaire par (i) la création d'activité économique sur l'île ; (ii) la réduction des volumes de déchets ultimes à gérer et des surfaces sous plan d'épandage ; (iii) la création de liens d'interdépendance entre les acteurs économiques ; (iv) une plus grande indépendance vis-à-vis des importations ; (v) un meilleur contrôle des flux de nutriments (optimisation de la fertilisation, réduction des pertes). Les agriculteurs ont un intérêt marqué pour l'émergence de ces filières. Les gisements de « matières premières » sont durables et des appuis politiques à l'agriculture et à l'économie circulaire favorisent cette émergence.

Des freins substantiels à la mise en œuvre des solutions recommandées par Girovar subsistent cependant : (i) les intérêts sectoriels limitent l'action collective ; (ii) la coordination dans la durée entre les acteurs d'une filière reste à mettre en place ; (iii) le marché contraint et la volatilité du prix de l'engrais chimique limitent rentabilité et retour rapide sur investissement ; (iv) l'image des fertilisants organiques reste vulnérable à l'impact de pratiques non recommandables qui peuvent exister ailleurs ; (v) l'absence de certaines références techniques, et l'impossibilité de les produire dans le temps imparti, requises pour prédire les effets agronomiques des produits imaginés et leur valeur fertilisante rend difficile la sensibilisation des acteurs du territoire à l'intérêt de la fertilisation organique et, surtout, constitue un frein pour les investisseurs potentiels.

La démarche participative peut quant à elle se prévaloir d'une large mobilisation des acteurs allant au-delà des partenaires du projet. Le projet a contribué à l'émergence d'un collectif regroupant des agents clefs issus des principaux organismes concernés par la problématique, ainsi qu'à la reconnaissance au niveau des différentes arènes de décision de l'île de l'intérêt d'une production de fertilisants organiques normés à partir de produits résiduels organiques. La démarche a aussi permis de mettre en évidence certaines contraintes intersectorielles et d'explorer des solutions plausibles permettant de les lever.

Certains groupes cibles ont toutefois été faiblement représentés lors des temps forts collectifs. L'absence de porteurs de projets a notamment restreint les réflexions à des scénarios théoriques là où une ambition d'accompagnement de projets avait initialement été déclarée. Les maraîchers informels peu habitués à interagir avec des institutions publiques et les riverains de futures stations de traitement ont peu participé. D'autre part, le rythme des ateliers, ponctué de périodes de production de modèles, de compilation, de consolidation et de combinaisons de données au cours desquelles la participation est mise en suspend rend difficile la mobilisation d'acteurs de terrain dans la durée.

Mieux intégrer les porteurs de projet et mieux prendre en considération les échelles de temps des différents groupes cibles pour favoriser leur intérêt constitue donc un point d'attention particulier pour une nouvelle mise en œuvre d'une telle démarche participative de co-construction de filières de recyclage. Le raccourcissement des délais entre les ateliers au sein de la durée du projet pourrait être facilité par une étape préalable de préparation scientifique en amont du projet. Du fait de sa longue présence à la Réunion, le CIRAD disposait de nombreuses connaissances spécifiques du territoire au démarrage du projet. La réalisation de projets similaires sur des territoires moins bien connus demandera une phase d'inventaire plus longue en début de projet et qui décalera d'autant le démarrage de la phase de co-construction. L'expérience acquise et les méthodes et outils développés devraient ensuite permettre de mieux préparer cette phase-là, et donc aussi de réduire sa durée.

4.2 La suite en cours

Le pôle de compétitivité Qualitropic, regroupant les acteurs du monde industriel et agricole de la Réunion, s'est positionné pour porter le projet industriel de production de fertilisants organiques à la

suite du projet GIROVAR. La poursuite de la réflexion entérine un changement d'échelle, de l'intercommunalité à l'ensemble de l'île. Il sera dans ce cadre, en collaboration avec le Conseil Général, amené à transposer la réflexion sur la création de bases organiques, élaborés par des circuits similaires, aux « bassins » jugés d'intérêt. Le TCO pourrait initier un appel à projet pour la réalisation de l'installation de compostage identifiée. Les modalités de la coordination dans la durée entre l'ensemble de producteurs de résidus « fournisseurs » de la filière restent encore à définir. Si cela dépend pour partie du portage retenu, l'accompagnement par les administrations devrait garantir l'existence de cette coordination.

Le projet induit également un renouvellement des questions de recherche. Elles relèvent de domaines aussi divers que l'agronomie, la modélisation systémique et la sociologie des organisations. Comme indiqué précédemment, et souligné lors de la clôture du projet, le développement d'expérimentations locales de fertilisation organique est un facteur important pour la réalisation des scénarios et la production d'engrais adaptés. Ce sont surtout des expérimentations agronomiques de longue durée qui sont attendues.

Remerciements

Ce travail a été réalisé avec la contribution financière du compte d'affectation spéciale « Développement agricole et rural » du Ministère de l'alimentation, de l'agriculture et de la pêche.

Références bibliographiques

- Callon M., Lascoumes P., Barthe Y., 2001. Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique. Seuil, Paris.
- Chabalière P.F., Van de Kerchove V., Saint Macary H., 2006. Guide de la fertilisation organique à La Réunion. CIRAD, Saint Denis.
- Coop de France, FNCUMA, 2011. Réussir un projet de méthanisation territoriale (guide pratique). Coop de France, Paris, France.
- DAAF, 2014. Graph-Agri La Réunion. http://www.daafr974.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Note89-03-14_cle028c3d-1.pdf
- Doelsch E., Saint Macary H., Van De Kerchove V., 2006a. Sources of very high heavy metal content in soils of volcanic island (La Réunion). *Journal of Geochemical Exploration* 88, 194–197.
- Doelsch E., Van de Kerchove V., Saint Macary H., 2006b. Heavy metal content in soils of La Réunion (Indian Ocean). *Geoderma* 134, 119–134.
- Douthwaite B., de Haan N.C., Manyong V., Keatinge D., 2002. Blending “hard” and “soft” science: the “follow-the-technology” approach to catalyzing and evaluating technology change. *Conservation Ecology* 5(2), 13. [en ligne] URL: <http://www.consecol.org/vol5/iss2/art13/>
- Dumoulin F., Wassenaar T., 2014. Environment in Industrial Ecology, Grasping a Complex Notion for Enhancing Industrial Synergies at Territorial Scales. *Sustainability* 6, 6267–6277.
- Dumoulin F., Wassenaar T., Heijungs R., Paillat J.-M., 2013. Environmental consequences assessment: Towards a comprehensive appraisal. In: RAMIRAN 2013, 15th International Conference. INRA, Versailles.
- Etienne M., 2011. Companion modelling - a participatory approach to support sustainable development. Editions Quae, Versailles.
- Foster J.B., 1999. Marx's theory of metabolic rift: Classical foundations for environmental sociology. *American Journal of Sociology* 105, 366–405.
- Funtowicz S., Ravetz R., 1993. Science for the post-normal age. *Futures* 25, 739–755.

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 60/99. Actes du séminaire des 19-20 juin 2002. CIRAD, Montpellier.

INSEE, 2014.

<http://www.insee.fr/fr/regions/reunion/default.asp?page=faitsetchiffres/presentation/presentation.htm>

Lascoumes P., Le Galès P., 2005. L'action publique saisie par ses instruments. In: Lascoumes P., Le Galès P. (Eds). Gouverner Par Les Instruments. Presses de Science Po "Académique," Paris. pp. 12–44.

Oustrière N., Lahbib-Burchard T., Doelsch E., Feder F., Wassenaar T., Bravin M., 2013. Predictive modelling of the long-term accumulation of trace metals in tropical soils amended with organic wastes: field trial validation. In: RAMIRAN 2013, 15th International Conference. INRA, Versailles.

Wassenaar T., Bravin M.N., Dumoulin F., Doelsch E., 2015. Ex-ante fate assessment of trace organic contaminants for decision making: A post-normal estimation for sludge recycling in Reunion. *Journal of Environmental Management* 147, 140–151.

Wassenaar T., Doelsch E., Feder F., Guerrin F., Paillat J.-M., Thuriès L., Saint Macary H., 2014. Returning Organic Residues to Agricultural Land (RORAL) – Fuelling the Follow-the-Technology approach. *Agricultural Systems* 124, 60–69.