

DGER/SDI/BIPI

Années : 2011-2014 N° du projet : 10004

Titre du projet :



MINISTÈRE
DE L'ALIMENTATION,
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA PÊCHE

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

GIR OVAR

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

COMPTE RENDU FINAL DU PROJET

Organisme chef de file : CIRAD

Nom et organisme du chef de projet : Tom Wassenaar, UR Recyclage & risque, CIRAD

Organismes partenaires :

- La Communauté d'agglomération du Territoire de la Côte Ouest (TCO)
- La Chambre d'Agriculture de la Réunion
- L'Établissement Public Local d'Enseignement et de Formation Professionnelle Agricole de Saint Paul
- La régie autonome de la ville de Saint-Paul « La Créole »
- La Fédération Régionale des Coopératives Agricoles de la Réunion (FRCA)
- la société ACES

Un projet labellisé par :



Table des matières

Note synthétique	2
Compte rendu technique	4
I – Les modalités d’organisation.....	4
Conventions avec les partenaires recevant des financements du CAS DAR	4
Modalités de pilotage	4
II - Les partenariats.....	6
III - Le déroulement du projet	8
Action 1 : Evaluation de la demande agricole	8
Action 2 : Inventaire et caractérisation des sources, des acteurs et des procédés de transformation des PRO.....	15
Action 3 : Co-construction d’une représentation et de scénarios de gestion.....	22
Action 4 : Evaluation des scénarios	39
IV - Les scénarios consolidés produits par le projet	54
Le scénario « Minimal »	55
Le scénario « Optimal ».....	56
Le scénario « Optimal Plus »	59
Conclusions	60
V - Les modalités de valorisation du projet.....	63
Restitution aux porteurs d'enjeu	63
Valorisation scientifique et dans les réseaux techniques	63
Valorisation éducative.....	63
Les transferts prévus.....	64
VI – Les perspectives	66
Les points forts et les points faibles du projet	66
Les difficultés rencontrées	68
Les suites envisagées	69

Note synthétique

Le projet GIROVAR démontre l'intérêt agronomique, socio-économique et environnemental de la gestion intégrée de l'ensemble des sources de résidus organiques d'un territoire, à travers une démarche participative réunissant l'ensemble des acteurs concernés. Ce territoire se situe sur l'île de la Réunion où l'agriculture est pénalisée à la fois par un coût élevé des intrants – en grande partie importés – et des transports ainsi que par une fragmentation et une pression foncières fortes et croissantes du fait d'une importante urbanisation. Il s'agit d'un type de territoire dont le nombre sur la planète augmente rapidement. Les enjeux et dynamiques liées à la gestion des résidus organiques y sont importants. Du fait des importations pour y nourrir l'homme, ses animaux et ses cultures, l'île constitue un important puits à nutriments, d'autant plus que ses principales exportations (sucre et rhum) en sont dépourvues. Les résidus organiques constituent le dernier stade de la gestion avant que ces nutriments ne se « perdent » dans l'environnement. Tandis que certains effluents d'élevage sont déjà difficilement éliminés, l'urbanisation, l'amélioration de l'assainissement collectif et de la collecte de déchets s'accompagnent d'une production accrue de résidus ne pouvant être accueillis dans les centres d'enfouissement saturés.

Cette situation a favorisé l'adhésion de l'ensemble des porteurs d'enjeu à la démarche. Ces derniers ont vu dans le recyclage l'opportunité de réduire la dépendance aux intrants importés tout en débloquent un potentiel de développement pour l'ensemble des filières à sous-produits organiques. Ce projet pilote, mis en œuvre sur la microrégion de la communauté d'agglomération du Territoire de la Côte Ouest (TCO) dans l'ouest réunionnais s'est tout d'abord attaché à faire émerger la demande du secteur agricole face à des offres de résidus déjà concrètes et bien identifiées. Ces dernières ont fait l'objet d'inventaires quantitatifs, qualitatifs et spatio-temporels détaillés. Mais c'est le raisonnement agronomique et agricole de la fertilisation qui est au cœur du sujet. Sur le plan agricole, l'étude révèle un intérêt marqué dans l'ensemble des filières pour une fertilisation au moins partiellement organique, mais accompagnée de conditions imposées par un ensemble de contraintes pratiques (e.g. relatif à l'équipement et à la topographie). Si cette situation entraîne une focalisation plus particulière sur la fourniture d'engrais, l'intérêt relativement faible pour l'amendement organique – relatif aussi par rapport aux contraintes agronomiques des sols – est également imputable à la faible capacité de raisonnement agronomique quantifié de ces effets. De manière générale le projet met en évidence un besoin aigu de références techniques de fertilisation organique dans les conditions locales.

Une première ambition de la démarche GIROVAR a été de prendre en considération les intérêts, perceptions et savoirs empiriques des différents groupes d'acteurs directement concernés par la valorisation agronomique des matières organiques lors des différentes étapes de la conception des scénarios depuis le diagnostic initial, la validation des choix successifs réalisés en cours de conception jusqu'à l'évaluation des solutions retenues. Cette prise en considération des avis issus d'acteurs opérationnels – dont une démarche collective a conduit à identifier 12 groupes cibles – était importante pour garantir non seulement la crédibilité des solutions mais également l'adéquation avec l'intérêt public et les attentes de la société civile. L'approche retenue au cours du projet a privilégié une entrée par les enjeux du territoire et des acteurs sans présupposer de la nature des solutions. De ce fait, l'organisation progressivement mise en place diffère notablement de celle initialement prévue. Elle se caractérise par un nombre et une diversité de « séquences » participatives bien supérieures aux prévisions initiales. Du fait du niveau de technicité engagé dans la conception des scénarios et la charge importante de travail requise, certaines étapes relevaient du travail individuel ou de réunions techniques en petits groupes. De manière complémentaire, une relation étroite avec les acteurs institutionnels du territoire (État, Intercommunalité, acteurs économiques principaux, chambres consulaires, etc.) assurée au travers du comité de pilotage était importante pour assurer la compatibilité entre les choix réalisés, les solutions retenues et les scénarios envisagés d'une part, les contraintes, stratégies et orientations institutionnelles d'autre part.

La démarche a permis d'identifier 3 produits fertilisants, normés, à la fois pertinents pour les besoins de l'agriculture réunionnaise, réalisables à partir de produits résiduels organiques disponibles sur la zone d'étude et par le biais de procédés techniques réalistes et potentiellement rentables. Ces trois produits sont les suivants : un amendement organique, un fertilisant organique issu de co-compostage permettant de subvenir aux besoins nutritionnels principalement du maraîchage, et un engrais organique en granules adapté à l'application manuelle. Des circuits permettant leur production ont ensuite été élaborés en détail. Leur complexité et leurs interdépendances ont entraîné la réalisation d'un modèle informatique permettant de vérifier par simulation le bon fonctionnement de l'ensemble. Trois scénarios proposant la mise en place de tout ou partie de ces circuits – plus un scénario dit « tendanciel » – ont été évalués.

Deux scénarios ont été retenus comme pertinents pour une réalisation à court terme, ne rencontrant aucune opposition réglementaire ou sociale : un qui verrait un circuit de fabrication de fertilisant organique à base de co-compost s'ajouter aux circuits « amendement » existants, et un second scénario où une part de ce co-compost constituerait une « base organique » – i.e. la matière première pour une usine d'engrais – parmi d'autres. L'évaluation en détail de la rentabilité économique du second scénario – moins évidente à atteindre – a entraîné une réduction de la complémentation (minérale) et donc des teneurs obtenus dans les engrais « péi ». Si un portage privé est pressenti, cette rentabilité est influencée par des aspects du montage qui ne pourront être arrêtés que dans une phase préparatoire de la mise en œuvre. L'élargissement du bassin d'approvisionnement et de chalandise au-delà du TCO affectera cette rentabilité de manière positive et constitue donc une priorité parmi les perspectives du projet. Du fait des coûts de fonctionnement de ces circuits, leurs fournisseurs et clients ne connaîtront pas de bénéfice financier direct par rapport à leur situation actuelle. Mais la garantie d'écoulement/fourniture et la perspective de développement qu'ils apportent semblent suffire à l'adhésion de la part escomptée de ces partis. Côté environnemental, la mise en place des scénarios affecterait un ensemble très divers de phénomènes estimés d'intérêt. Pour plusieurs les processus qui les affectent ont des effets contraires, entraînant un bilan proche de la neutralité ou faiblement positif. Si les bénéfices agro-environnementaux seront faibles – mais probables – l'absence de contre-indications environnementales est à souligner.

Dans le cas d'une réalisation du second scénario une part très importante des gisements captables serait effectivement valorisée. La quantité de déchets ultimes qui resterait à gérer serait donc très nettement réduite, ce dont découlerait un certain nombre d'avantages économiques, sociétaux et environnementaux. D'autre part la production de fertilisants envisagée permettrait une substitution très considérable de l'engrais chimique, ce qui fut l'objectif collectif lors de la co-construction de ces solutions, sans risque de saturation du marché. Une mise en œuvre séquentielle des scénarios, qui peuvent être vus comme des étapes liées, permettrait une mise à l'épreuve des premiers éléments.

Compte rendu technique

I - Les modalités d'organisation

Conventions avec les partenaires recevant des financements du CAS DAR

En tant qu'organisme chef de file, le Cirad a établie depuis la fin 2010 des conventions partenariales avec les cinq partenaires du projet destinataires d'une aide Cas DAR : La Chambre d'Agriculture, la FRCA, l'EPLEFPA, la SIER et La Créole. A sa demande, la convention initiale avec la FRCA était limitée à une durée d'un an (2011). Courant 2013 une nouvelle convention a pu être établie, couvrant la période 2012-2013. La convention du partenaire SIER, liquidé par ses actionnaires à la fin de l'année 2011, a été remplacée par une nouvelle convention avec la société ACES. Celle-ci n'a pu être signée qu'au deuxième semestre 2012. Cette modification a reçu l'accord de la BIPI-DGER en charge de la gestion du CASDAR et a fait l'objet d'un avenant au contrat.

Modalités de pilotage

La gestion des résidus organique est non seulement un objet d'étude complexe, mais constitue également et de manière croissante un important problème dans le développement de l'île de la Réunion. Le projet Girovar a bénéficié de ce fait, ainsi que du fait de sa démarche novatrice, de l'attention et de l'intérêt des acteurs locaux et cela jusqu'au plus haut niveau de responsabilité. Afin de renforcer la légitimité du projet, la composition du comité de pilotage devait refléter ce large intérêt. Au-delà des responsables des sept organismes partenaires ont ainsi été invité à siéger au sein de ce comité :

- Des représentants de la société civile, avec un représentant par pilier du développement durable (économique, environnemental, social), sélectionné par l'équipe projet :
 - Economie : le pôle de compétitivité Qualitropic (ayant par ailleurs labellisé le projet) ;
 - Environnement : l'association Ecologie Réunion ;
 - Sociale : l'association AD2R ;
- Des représentants des administrations : le Conseil Général (compétence agriculture et gestion de déchets non-dangereux), le Conseil Régional et les services d'Etat (DAAF, DEAL notamment) ;
- Des représentants de la recherche : le RMT Fertilisation & Environnement

Ce comité était co-présidé par le président de l'intercommunalité du TCO et par le sous-préfet de St. Paul, l'arrondissement qui correspond à la zone d'étude du projet. Une telle présidence renforce la légitimité du projet à s'approprier des enjeux d'intérêt général. Une première réunion de ce comité de pilotage, faisant office de réunion de lancement officiel, a été tenue le 2 Mai 2011 (29 participants provenant de 12 organismes). Le comité relevait dans sa conclusion que le projet lui paraît très novateur et remarquable du fait de l'absence de parti pris pour les solutions finales, du fait de sa grande ouverture à la base et de sa caractéristique consistant à aborder le problème de valorisation des matières organiques en partant de la demande en produits fertilisants. Il estimait que le challenge du projet se situait plus au niveau de l'acceptabilité sociale que sur le plan agronomique et rappelait des points de vigilance que sont les aspects de coûts et de praticité.

Il n'a pas été possible de réunir le comité de pilotage en 2012. Une seconde réunion du comité de pilotage a pu avoir lieu au mois de juin 2013 (le 28/06/2013, 26 participants dont la nouvelle sous-préfète, 11 organismes). Suite à la présentation des avancées, des points de discussions et des perspectives (cf. document de présentation en annexe), avec au cœur les scénarios de valorisation consolidés sur le plan technique et logistique, la discussion s'est largement focalisé sur l'acceptabilité de l'utilisation de boues de station d'épuration en agriculture. Ladite discussion n'a néanmoins pas entraîné de remise en question des orientations du projet ni de la pertinence à considérer le scénario mobilisant une part de boues de station d'épuration dans la phase d'évaluation.

Plusieurs réunions d'un comité technique (de composition semblable au comité de pilotage, mais d'un niveau hiérarchique inférieur, présidé par le directeur des services technique du TCO) ont été organisées, soit en préparation d'une réunion du comité de pilotage, soit en substitution de celle-ci (comme e.g. à la fin 2011). L'ensemble de ces réunions constituant une partie intégrante de la démarche participative du projet elles sont

présentées davantage sous la section III, action 3 : La conduite d'un projet adaptatif nous impose de prendre en compte des résultats de chaque étape du projet dans l'organisation de la suite du processus, au travers de concertations de niveau ad hoc.

N'ayant pas de représentant local (hormis le Cirad lui-même qui y a adhéré en cours d'année 2011), le RMT « Fertilisation & Environnement » a été tenu au courant des évolutions tout au long du projet, notamment par la participation d'un membre de l'unité Recyclage & Risque en métropole à l'assemblée générale du RMT.

La clôture officielle du projet a eu lieu le 29 août 2014, à l'occasion de la troisième réunion du comité de pilotage.

II - Les partenariats

Le CIRAD Réunion revendique une quinzaine d'années d'expérience dans le domaine de la gestion des résidus organiques. Ce projet a mobilisé deux programmes de son pôle *Risque environnemental, agriculture et gestion intégrée des ressources* : les programmes GERT (*Aide à la gestion concertée des ressources et des territoires en milieu rural*) et PILMO (*Pilotage des apports organiques et impacts environnementaux*). Au travers de ces programmes ce sont respectivement les unités de recherche GREEN et Recyclage & risque qui ont ensemble coordonné ce projet et qui y ont apporté des compétences complémentaires. Le premier a mis en œuvre la démarche participative, le second a mis à disposition de ce projet intégrateur ses acquis dans les domaines distincts de la modélisation des flux de matières organiques, leur caractérisation, et du pilotage de systèmes de culture ;

La Chambre d'Agriculture de la Réunion (CA) travaille depuis 1996 sur la thématique de la valorisation agronomique des matières organiques. Elle a réalisé un nombre important de travaux sur la caractérisation des matières organiques sur l'île. Elle réalise des études et essais sur le compostage et elle a mené une série d'essai de fertilisation organique de cultures chez des agriculteurs. Elle dispense des formations aux agriculteurs et à des étudiants en agriculture. Elle gère deux réseaux de fermes de référence en élevage et en canne à sucre, sur lesquels le projet s'appuiera pour la diffusion des résultats du projet. Ses principales contributions au projet ont été la production d'inventaires (cartographiques) détaillés de l'agriculture du territoire d'étude, l'estimation des besoins nutritionnels des cultures présentes, la mise en relation de l'équipe de recherche avec les agriculteurs maraîchers, une participation à l'ensemble de phases de co-construction du projet, et la conduite d'actions de communication et de diffusion des résultats du projet ;

L'EPLEFPA Saint-Paul est un établissement public local d'enseignement et de formation professionnelle agricole. Il dispose de terrains d'expérimentation mis à disposition du projet pour les suivis agronomiques et d'une expertise reconnue dans la conduite de tels essais. De nombreux stagiaires du lycée (notamment la licence professionnel Agriculture et Développement Durable, ADD) ont contribué à la réalisation des enquêtes de terrain et de l'expérimentation. Le lycée entretient un réseau d'anciens élèves ayant repris des exploitations agricoles sur la zone d'étude, mis à contribution au cours des enquêtes. Enfin, de par son activité de formation, le lycée est un acteur incontournable pour la diffusion des résultats du projet. Il a également participé à l'ensemble de phases de co-construction du projet ;

Le Territoire de la Côte Ouest (TCO) est une communauté d'agglomération regroupant les municipalités de Saint Paul, du Port, de Trois Bassins, de Saint Leu et de la Possession. Ces dernières lui délèguent notamment les compétences de collecte et de traitement des déchets et mutualisent par son intermédiaire les études prospectives concernant la valorisation des boues de station d'épuration. Il a de ce fait la responsabilité de la collecte et du traitement d'une quantité importante de déchets verts valorisés actuellement sous la forme de compost. Dans le cadre du projet, le TCO a pris part aux tâches de caractérisation des sources de PRO et d'évaluation des scénarios. Il a mis à disposition des locaux sur le territoire pour l'ensemble des événements participatifs et a fourni des déchets verts pour les essais de transformation. Enfin, ses compétences en terme d'aménagement du territoire permettent de faire le lien entre études prospectives et mise en œuvre opérationnelle de solutions industrielles ;

La régie autonome de la ville de Saint-Paul « La Créole » est le gestionnaire de la station d'épuration de l'Ermitage et de Saint Paul. Elle produit de ce fait des boues de station d'épuration (STEP) et se doit d'assurer leur élimination. Dans le cadre de ce projet, la Créole a réalisé une caractérisation détaillée des boues de STEP produites sur le territoire du TCO et leur évolution. La Créole a apporté son aide sur le volet réglementaire lié à l'utilisation des boues de STEP. Elle a participé aux ateliers de co-construction de scénarios et à la préparation de ces ateliers par la mise à disposition des données qui la concernent ;

La Fédération Régionale des Coopératives Agricoles (FRCA) a pour mission de défendre les intérêts des coopératives agricoles de la région Réunion. Elle a déjà fortement contribué à l'identification et la structuration de circuits de valorisation des PRO à la Réunion, en travaillant notamment sur les effluents d'élevage ; elle possède des compétences techniques et des connaissances réglementaires intéressantes et une connaissance fine des sources de PRO d'origine agricole et des procédés de transformation en milieu tropical. Elle a coordonné l'inventaire et la caractérisation de l'ensemble de sources et des procédés de transformation. Elle a été associée à la caractérisation des freins et moteurs à l'utilisation des PRO et elle a dans ce cadre facilité l'accès aux agriculteurs et éleveurs ainsi que leur participation aux événements de co-construction. Elle a

également réalisé des inventaires spatialisés concernant le bilan nutritionnel des pâturages et les contraintes topographiques à l'épandage, requis pour la modélisation dynamique des scénarios co-construits ;

La Société Industrielle des Engrais de la Réunion (SIER) était une filiale des deux principales coopératives agricoles réunionnaises proposant du matériel agricole et des intrants aux planteurs : la CANE et la Coopérative des Avirons. Elle était le principal importateur d'engrais minéraux et produisait localement des mélanges adaptés aux différentes cultures. Elle possédait de ce fait une expertise incontournable du marché local de la fertilisation et une capacité industrielle de production d'engrais. Suite à sa liquidation à la fin 2011, la SIER a été remplacé en 2012 par **la société ACES**, société de conseil dans ce même domaine créée par l'ancien directeur de la SIER. Elle a été impliquée dans caractérisation de la demande et elle a élaboré expérimentalement les produits théoriques identifiés au travers de la co-construction. Son expertise technique et économique a été précieuse tout au long du projet.

III - Le déroulement du projet

Action 1 : Evaluation de la demande agricole

Rappel des objectifs

Il s'agit ici à la fois d'analyser la perception des demandeurs potentiels et d'approfondir la connaissance du potentiel agro-environnemental du recyclage pour le territoire donné, ceci en :

- évaluant les besoins et les rôles des PRO en fonction de la culture, du climat et du type de sol (ces deux derniers variant fortement, même à l'échelle de la zone d'étude proposée). Cela englobe pour chacun de ces triplets la contribution potentielle en termes d'intensification agricole durable, e.g. d'approvisionnement en nutriments et d'amélioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol ;
- estimant pour chaque triplet les quantités, les formes et le calendrier des apports à respecter ;
- rendant compte des pratiques existantes de fertilisation, des connaissances et modes de fonctionnement des agriculteurs et de l'organisation des circuits de distribution des amendements et fertilisants.

Organisation mise en place

Ce travail a été organisé en trois sous actions, coordonnées par la Chambre d'Agriculture de La Réunion (CA) :

- 1a. *Définition des triplets climat-sol-plante de référence pour le projet (CA)* : Pour réduire la complexité de la demande agronomique, une première étape a consisté à définir un nombre limité de situations types, représentatives des situations concrètes d'occupation agricole du sol rencontrées sur les quelques 8 200 ha de SAU du TCO, discriminées sur la base de trois dimensions: le climat, le type de sol et le type de culture présente. Les informations concernant le climat et le sol ont été produites par le CIRAD (res. T. Wassenaar et F. Feder) de mars à mai 2011. La CA a embauché une chargée d'études dont une des principales tâches était de produire une information actualisée et détaillée sur les cultures, un travail réalisé entre fin février et juin 2011 ;
- 1b. *Évaluation des besoins agronomiques (Cirad)* : notre ambition était d'estimer, pour chaque triplet sol-climat-culture du territoire, les besoins en nutriments (en termes de quantités et de distribution temporelle) et le besoin d'améliorer les propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol. Ce travail a fait l'objet d'un stage de fin d'étude d'une étudiante de l'ENSA Toulouse, réalisé d'avril à septembre 2011 avec un fort appui de la part de trois chercheurs Cirad (J.M. Paillat, F. Feder et T. Wassenaar). Ce travail comprenait une tentative de traduire les besoins identifiés en caractéristiques d'une fertilisation organique afin d'aboutir à la conception théorique d'une fertilisation organique adaptée par triplet. Ce travail partiel a été complété ensuite en l'intégrant dans l'action 3 (voir « Résultats obtenus » ci-dessous) ;
- 1c. *Caractérisation socio-économique de la demande en fertilisation organique (CA)* : Le Cirad s'est chargé de la caractérisation des agriculteurs. Sur la base d'information préliminaires ce travail a été scindé en trois dimensions : un travail focalisant sur les planteurs de canne à sucre, situés principalement à mi-pente et en basse altitude ; un travail sur les agriculteurs en diversification, principalement maraîchers de moyenne à haute altitude, des producteurs de petite taille mais nombreux ; complétés en 2013 par un travail sur les éleveurs de bovins allaitant des hauts, gestionnaires de la grande zone de prairie. Un stage a été réalisé sur chacune de ces dimensions (de février à juillet 2011, 2013 pour le dernier, encadré par J. Queste). La chargée d'étude de la CA a conduit une étude de marché des produits fertilisants, un travail qui a été complété par le partenaire SIER/ACES.

Méthodes et résultats obtenus

1a. Définition des triplets climat-sol-plante

- Le travail sur l’inventaire des cultures a consisté en l’assemblage et l’actualisation de bases de données SIG existantes. L’actualisation s’est fait par divers moyens, dont la consultation d’experts du terrain (conseillers de la CA) et l’étude d’ortho-photos récentes. Ce travail a donné lieu à quatre livrables (rapport + base de données) séparés concernant 1) la canne à sucre (~3 800 ha) ; 2) les prairies (~3 400 ha) ; 3) la production fruitière (~370 ha) ; 4) le maraîchage (~260 ha). Au-delà d’informations concernant les surfaces et leur localisation (Figure 1), ces livrables informent sur les rendements et la nature exacte des cultures ;
- La caractérisation des sols du territoire a bénéficié de l’existence au Cirad d’une cartographie récente et d’une très importante base de données spatialisées d’analyses de sol. La première a pu être reclassée en cinq « méta-unités » pertinentes d’un point de vu agronomique, dont quatre cultivées, validées et renseignées par la suite avec une caractérisation des propriétés chimiques extraite de la base d’analyses :
 - les Andosols des hautes planèzes bosselées (800-1000 < HPB < 1600 m) ;
 - les Cambisols et Umbrisolsandiques des moyennes planèzes à topographie ondulée (400 à 600 < MPO < 800 à 1000 m) ;
 - les Cambisols et Phaeozems peu profonds ainsi que les Vertisols des extrémités des planèzes à topographie ondulée (0 < EPO < 400 à 600 m) ;
 - les Fluvisols, Arenosols, Gleysols et Leptosols non développés sur une roche mère volcanique en place (alluvions), appelée « autres unités ».

Ce travail a produit deux livrables : un document descriptif et une cartographie ;

- L’information climatique a été produite à partir de séries temporelles (1990 – 2010) de données des stations météorologiques (appartenant au Cirad et à MétéoFrance). Les caractérisations climatiques par stations ont pu être interpolées et ensuite extrapolées grâce à une corrélation très forte avec l’altitude au sein de la zone. Un livrable a été produit sous forme de tableur ;
- Les trois catégories d’information ci-dessus ont été assemblées et croisées au sein d’un SIG. Cette analyse a donné lieu à la définition de cinq situations/triplets d’intérêt principale pour le projet : les prairies sur haute planèze bosselée ; canne à sucre sur moyenne planèze ondulée ; canne à sucre sur extrémité de planèze ; maraîchage sur moyenne planèze ; maraîchage sur extrémités de planèze et zones alluviales. Cela englobe la grande majorité des soles les plus grands ou les intensément fertilisés que sont la canne à sucre, la prairie et le maraîchage. La production fruitière, bien que significative en surface, est très fortement dominée par la mangue ; une culture qui (cf. les experts de ce fruit au Cirad) est une très faible consommatrice de fertilisants. Bien qu’écarté en tant que groupe, cela n’empêche des cultures spécifiques telles l’ananas d’être considérées ultérieurement.

1b. Évaluation des besoins agronomiques

Le raisonnement des besoins s’est focalisé sur les cinq situations d’intérêt. L’état de l’art en termes de techniques de raisonnement a été mobilisé. Là où des manques d’informations empêchaient de les mettre en œuvre le travail a été complété de façon pragmatique en mobilisant les outils de conseils développés par les organismes professionnels locaux (filière canne à sucre, chambre d’agriculture et association du pastoralisme). L’interprétation agronomique des propriétés physico-chimiques des sols et leur distribution (au travers de la base de données spatialisées d’analyses de sol, sous action 1a) a mis en évidence que les paramètres d’intérêt agronomique connaissent une évolution régulière avec l’altitude. Si cette relation est positive pour la profondeur du sol, la teneur en carbone organique et en azote total, elle est négative pour le pH, la capacité d’échange cationique (CEC) et le taux de saturation en bases. Si de ce fait les sols de moyenne altitude (MPO) présentent le moins de contraintes agronomiques marquées, il existe clairement un rôle amendement potentiel pour les fertilisants organiques pour l’ensemble de la zone. Si l’observation empirique confirme cela (e.g. la base de données d’analyse démontre la présence d’une CEC notablement plus élevée dans la zone maraîchère

de Dos d'Ane, située en zone de HPB, mais caractérisée par une forte utilisation de litières de volaille de

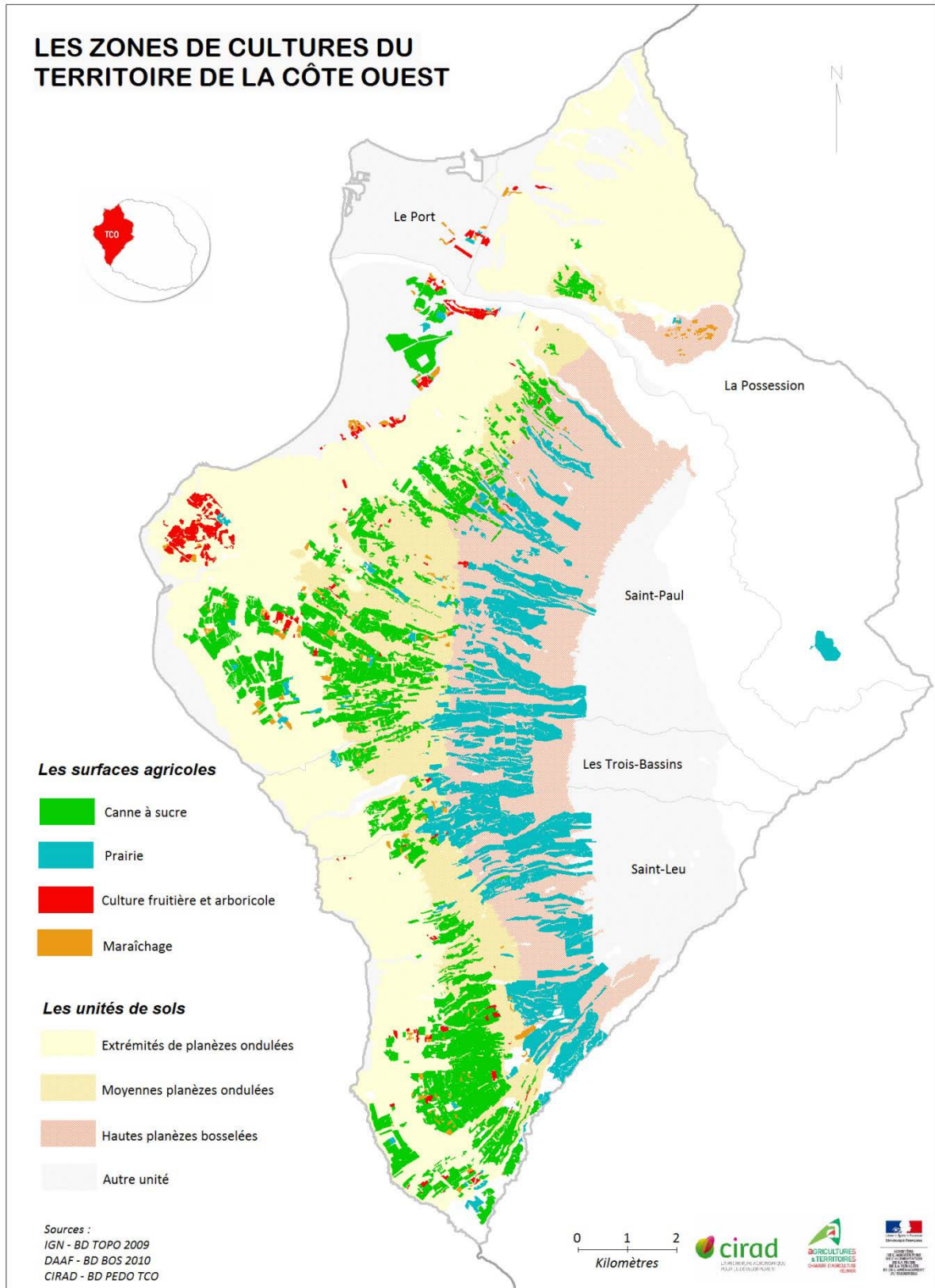


Figure 1 Les principaux cultures et sols du Territoire de la Côte Ouest

longue date), aucune méthode ou modèle permet à l'heure actuelle de raisonner l'apport d'un amendement caractérisé dans le but d'obtenir une modification caractérisée de ces paramètres. Cette capacité de raisonnement se limite au bilan humique à l'aide par exemple du modèle AMG, mais dont les paramètres sont

spécifiques aux matières et sols de la zone (et demandent de ce fait d'être établis empiriquement par des essais assez longs) et dont les projections ne renseignent de toute façon pas sur l'évolution des paramètres d'intérêt du sol.

Le raisonnement des besoins s'est de ce fait focalisé sur la nutrition des cultures, i.e. le volet « engrais ». Les résultats sont rapportés dans deux livrables : un rapport de fin d'étude d'ingénieur agronome (A. Glachant) et un tableur de calcul des besoins de fertilisation par culture en fonction du résidu organique brut.

Ces résultats, obtenus en 2011, ont été complétés en 2012 sur deux points :

- *Appréciation des besoins des prairies* : au vu de l'importance de la SAU en prairie au sein de la zone il convenait de mobiliser les informations existantes pour mieux évaluer les besoins agronomiques des prairies. La FRCA a ainsi estimé pour l'ensemble des îlots du territoire la consommation et les rejets des animaux en pâturage à l'aide des normes CORPEN et sur la base des informations en sa possession portant sur les troupeaux et leur gestion. L'estimation des exportations a été affinée grâce à l'obtention d'une base de données d'analyses agronomiques de la graminée prépondérante de la zone (Kikuyu). Conjointement ces informations ont débouché sur une estimation quantitative 'besoins minimaux' par îlot ;
- *Considération de la contrainte topographique à l'épandage* : l'élaboration des circuits de valorisation au début 2012 montrait que les fertilisants organiques envisagés seraient pour grande partie bien moins concentrés en nutriments que les engrais minéraux, et que pour certains les doses d'apports allaient rendre l'épandage mécanisé obligatoire. Au vu du parcellaire très morcelé et des pentes très généralement fortes une évaluation et une cartographie de l'épandabilité technique des parcelles a été réalisée, conjointement par le Cirad et la FRCA (Figure 2).

Ce travail est allé au-delà des besoins sensu stricto car il s'est avéré pertinent voire nécessaire de faire le lien avec les matières pouvant satisfaire ces besoins. Mais cela sans aller jusqu'à la conception théorique d'une fertilisation organique adaptée par triplet : d'une part les résultats obtenus ne permettaient pas de raisonner quantitativement toutes les dimensions de la fertilisation, d'autre part les résultats de la sous action 1c démontraient qu'il était (au stade initial du projet que ce travail se réalisait) prématuré de se placer dans un contexte de produits caractérisés et commercialisables. Il s'est ainsi avéré comme le plus pertinent d'intégrer l'activité de définition de plans de fertilisation dans l'action 3 de co-construction et de la baser sur un compromis entre chercheurs, experts et conseillers agricoles.

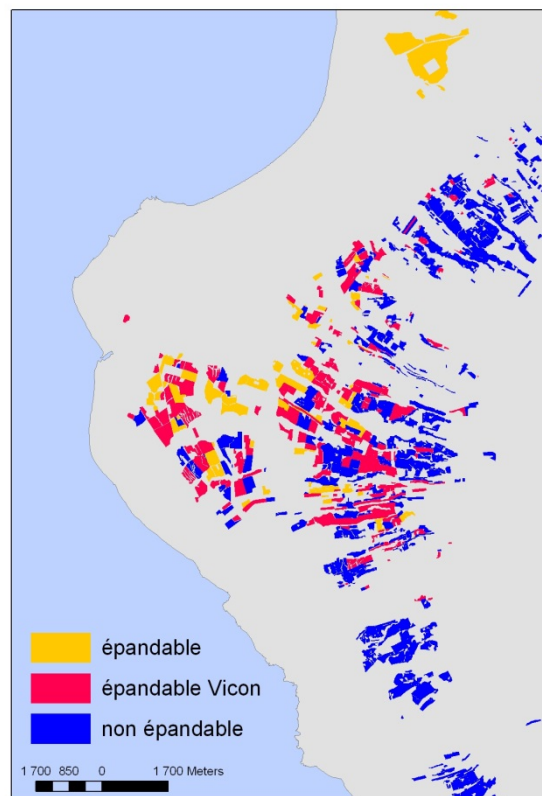


Figure 2 Extrait de la carte d'épandabilité de la sole cannière du TCO

C'est également dans ce cadre de l'action 3 que l'épineuse question de l'efficacité des engrais (en termes de fourniture d'éléments nutritifs à la culture en fonction de ces besoins dans le temps) a été abordée. Généralement considérée au travers d'un « coefficient d'équivalence » avec l'engrais minéral, de tels coefficients ne pouvaient être considérés dans l'action 1 du fait (1) que cela nécessite d'avoir établi et caractérisé le fertilisant à élaborer, objectif de l'action 3 ; (2) qu'il devront être établis empiriquement au travers d'essais qui dépassent le projet en termes de moyens et de temps requis. Pour le raisonnement agronomique (action 1b) il semblait dans cette situation raisonnable, dans un premier temps, de considérer un

coefficient de l'ordre de 1 étant donné que (1) on se projette pour ce raisonnement dans une situation à long terme caractérisée par une pratique stable (cela intègre un éventuel arrière-effet ou minéralisation d'humus dans l'apport annuel) ; (2) les caractéristiques minéralogiques d'une grande partie des sols réunionnais induisent une faible efficacité (indiquée par un faible Coefficient Apparent d'Utilisation) du phosphore des engrais minéraux, ce qui induit à son tour inévitablement une révision à la hausse (par rapport aux valeurs métropolitaines) du coefficient d'équivalence du phosphore contenu dans les résidus organiques ; (3) cela est compatible avec les quelques observations expertes réalisées par le passé au Cirad. Ces observations suggèrent l'absence d'un « arrière-effet » l'année suivant l'apport de résidus pour lesquels un tel effet est observé en métropole, ce qui signifierait nécessairement une efficacité plus élevée. Sans trancher ces points 2 et 3, la projection dans une situation stable à long terme ferait tendre ce coefficient vers 1 (ou plus) pour un apport annuel donné.

Si lors de l'élaboration de scénarios au cours de l'action 3 de tels coefficients d'équivalence ont toutefois été considérés c'est parce que nous y avons été emmenés à nous intéresser à la situation de « conversion » à court terme et des pratiques instables à long terme avec une utilisation de fertilisants organiques ou organo-minéraux qui pourrait être occasionnelle : il a été jugé primordial pour la « pénétration » du marché par ces nouveaux produits d'assurer une efficacité totale à court terme, dès la première application. Une réunion d'experts a permis de retenir provisoirement des coefficients d'équivalence quelque peu supérieurs aux valeurs métropolitaines moyennes, induisant de ce fait la recherche de produits aux concentrations supérieures. Il est à noter dans ce cadre que si les quelques essais réalisés jusqu'alors sur l'île n'ont pas permis d'établir ces coefficients, Ercane, le centre de recherche de la filière canne à sucre, crée actuellement une série d'essais dans ce but. La fertilisation à l'aide de diverses matières premières sera étudiée sur canne dans un ensemble de situations différentes sur une durée longue.

1c. Caractérisation socio-économique de la demande en fertilisation organique

Un premier cadrage des consommateurs potentiels de fertilisants organiques s'est appuyé sur les travaux antérieurs réalisés sur la zone, dont le recensement général agricole de 2010 qui met en évidence des situations contrastées sur la zone d'étude. Trois grands bassins canniers (Grand Pourpier, Tamarins et Stella) fournissent une activité de culture de la canne à sucre assez standardisée, autour de laquelle des activités de diversification (maraîchage et élevage) permettent une consolidation du revenu (76 % de diversification). Dans les zones trop hautes pour permettre la culture de la canne, des agriculteurs précaires ont développé des systèmes de polyculture instables, alternant cultures pérennes (café, géranium), maraîchage et prairie. Cette activité reste très faiblement structurée, largement informelle et peu encadrée. Enfin, le climat sec dans les Bas de la zone est propice à l'exploitation de vergers fruitiers. La zone de Grandfond, notamment, abrite l'essentiel de la production de mangues de l'île.

Sur cette base, une série d'enquêtes menées de 2011 à 2013 visait à préciser les pratiques de fertilisation et construire des typologies des pratiques de fertilisation organique des exploitants de canne à sucre, culture qui représente 49% de la SAU de la zone, de maraîchage, culture fortement consommatrice en fertilisants et d'élevage bovin dont les pâturages couvrent 43% de la SAU et sont réputés sous-fertilisés. Ces 3 études nous fournissent plusieurs résultats pertinents pour appréhender les conditions d'acceptabilité de la fertilisation organique par cette population. Les résultats de ces travaux sont consignés dans deux rapports de stage de licence ADD et un rapport de stage de fin d'étude d'ingénieur agronome.

1. L'enquête menée auprès des planteurs de canne confirme une remarquable homogénéité des itinéraires techniques sur canne à sucre qui ne dépend ni de l'appartenance à un bassin cannier, ni à l'âge, ni au niveau de formation. La diversification des cultures est en revanche plus importante que prévu. Seuls 24% des exploitants enquêtés ne se consacrent qu'à la canne à sucre, les autres se diversifient en petit élevage ou maraîchage. L'appréhension de la matière organique discrimine cette population en trois groupes :
 - Les exploitants « Minéraux exclusifs », 40 % de l'échantillon, utilisent quasiment exclusivement des engrais chimiques pour la fertilisation de la canne à Sucre. Cette typologie est sur-représentée au sein des exploitants diversifiés en maraîchage, ce qui laisse à penser qu'une priorité laissée aux cultures maraîchères « prive » la canne de fertilisants organiques ;
 - Les exploitants « Mixte Ressource », 47 % de l'échantillon, mobilisent de l'écume de sucrerie, des litières de volaille et/ou du lisier de porc au sein de leur itinéraire technique sur canne à sucre. Ces

matières restent cependant considérées comme des « bonus » et ne se substituent que partiellement à l'apport d'engrais chimique ;

- Les exploitants « Mixte déchets », 13%, épandent sur leurs parcelles des litières de volaille, de l'écume de sucre et des fumiers de cabris et de bœuf mais sans considérer leur apport dans leur raisonnement de fertilisation. Leur perception de ces matières est celle d'un déchet dont l'épandage permet de se débarrasser à moindre frais.

L'analyse statistique permet de mettre en évidence des facteurs favorisant le « bon » usage de fertilisants organiques : Plus que le prix de vente, les facteurs limitant l'usage de la fertilisation organiques sont :

- l'accès insuffisant à du matériel d'épandage et à des prestataires ;
- l'absence de connaissances précises sur les effets agronomiques de matières à la qualité variable, incertaine ;
- la perception de ces matières comme déchets.

Enfin, deux corrélations sont mise en évidence avec la pratique de l'usage de matières organiques : Les exploitants la pratiquant sont également ceux qui anticipent le plus l'approvisionnement en fertilisants et ceux qui appartiennent à des réseaux interprofessionnels (Chambre d'agriculture, associations de producteurs, etc.) ;

2. L'étude des pratiques de fertilisation des maraîchers s'appuie sur une enquête menée auprès 23 petits agriculteurs des Hauts. La faiblesse de l'échantillon et la très grande hétérogénéité des exploitations n'a pas permis la construction d'une typologie. Dans les Hauts, ces matières sont très prisées, notamment pour le maraîchage à cycle court. 7 des 23 exploitants enquêtés pratiquent une fertilisation exclusivement organique, 10 une fertilisation mixte. Les matières préférées sont les fumiers d'élevage appréciés pour leur concentration en éléments nutritifs. Les effets attendus de ces matières organiques sur la structure du sol et sur les plantes sont observés empiriquement. Ces matières sont apportées en bande ou au trou lors des plantations et enfouies. Le dosage est établi de manière empirique (essais de nouvelles matières sur l'exploitation). La mesure des quantités apportées s'appuie sur le matériel agricole disponible : Nombre de brouettes, de seaux, de poignées par trou, par bande. Les matières sont échangées dans le cadre de l'entraide entre camarades : Les transactions sont informelles, peu monétarisées et souvent incomplètes, réalisées entre voisins, membres d'une même famille ou de réseaux sociaux existants. Il n'existe pas à proprement parler de « marché » du fumier ni d'ailleurs de contrôle réglementaire. L'offre est déficitaire et la disponibilité d'une matière est le premier critère de choix : « On prend ce qu'on trouve » ;
3. L'étude des pratiques de gestion d'effluents et de fertilisation des éleveurs bovins est conduite en 2013 et s'appuie sur une enquête menée auprès de 47 éleveurs bovin (allaitant). Ces éleveurs bovins sont à la fois producteurs d'effluents et consommateurs de fertilisants pour l'aménagement et l'entretien des parcelles de pâture et de fourrage. Moins de la moitié de l'échantillon mobilise des effluents d'élevage pour fertiliser leurs prairies, les autres se contentant d'une fertilisation chimique. L'étude établit 4 types d'éleveurs qualifiés de « productivistes », « en attente de transmission », « en difficulté » et « sans objectifs ». L'usage de matières organiques relève essentiellement des productivistes. Cet usage est apprécié pour des raisons agronomiques et non environnementales. On constate notamment que l'épandage de fumier ou de lisier conduit à une réduction importante de la consommation d'engrais chimique.

De ces études, nous retenons d'abord une certaine hétérogénéité d'appréhension de l'usage des matières organiques par les agriculteurs qui va d'une fertilisation exclusivement organique par certains maraîchers à une fertilisation exclusivement chimique de la part de 40% des canniers. Sans grande surprise, si le marché potentiel le plus important est celui de la canne à sucre, celui du maraîchage semble plus accessible. Lorsqu'elle est utilisée, la matière organique est d'abord appréciée du fait de ses effets de structuration du sol et, à quelques exceptions près, peu envisagent une substitution complète de l'engrais chimique. Les matières organiques utilisées sont pour l'essentiel réglementairement des déchets : effluents d'élevage et écume de sucrerie, matières non stabilisées dont la composition varie. Dans chaque catégorie, les difficultés techniques d'épandage et la topographie des parcelles restreignent leur usage. La méconnaissance des matières, l'instabilité de leur composition physico-chimique (notamment des effluents d'élevage) et les incertitudes liées à l'approvisionnement préviennent l'utilisation de plans de fertilisation.

Il importe de noter la « compatibilité » de cette situation d'utilisation restreinte et contrainte de résidus bruts dans une optique plutôt d'amendement avec les capacités de raisonnement agronomiques correspondantes (action 1b.) : une nette amélioration desdites capacités serait peu susceptible de favoriser l'utilisation d'amendements.

L'étude de marché des produits fertilisants, conduite par la CA et consignée dans un rapport, quantifie la dépendance quasi-totale des engrais minéraux importés (près de 26 mille tonne par an, principalement des engrais composés, importé directement par les distributeurs). Les enquêtes auprès des distributeurs de l'Ouest montrent l'existence d'un intérêt marqué de la filière pour l'émergence d'engrais organiques réunionnais, mais souligne l'importance du conseil à l'agriculteur accompagnant de tels produits.

Indicateurs de réalisation

1a*	3 rapports d'inventaire par grand type de culture, chacun accompagné d'une base de données spatialisées
1b	une cartographie numérique des méta-unités pédologiques, accompagné d'un rapport présentant les propriétés physico-chimiques quantifiées de ces entités et leur variabilité
1c	un tableur présentant les équations permettant d'estimer la pluviométrie, l'ensoleillement et la température mensuels par régression avec l'altitude
1d	une cartographie numérique des 5 triplets retenus
1^e	un rapport de stage de fin d'étude d'ingénieur agronome (A. Glachant) et un tableur de calcul des besoins de fertilisation par culture en fonction du résidu organique brut
1f	un rapport sur les calendriers des pratiques de fertilisation
1g	une cartographie numérique des besoins nutritionnels des prairies pâturées
1h	une cartographie numérique de l'aptitude à l'épandage mécanisé du parcellaire canne à sucre et prairie
1i	2 rapports de stage de licence ADD sur les pratiques de fertilisation des agriculteurs (P. Dulioust et E. Guidotty)
1j	1 rapport de stage de fin d'étude d'ingénieur agronome sur les types de fertilisation organique sur canne à sucre (N. Maurette)
1k	un rapport sur le marché de l'engrais à la Réunion

* Code du dossier en ligne contenant les documents

Action 2 : Inventaire et caractérisation des sources, des acteurs et des procédés de transformation des PRO

Rappel des objectifs

Cette action cherche à renseigner la réflexion participative avec des informations aussi précises et exactes que possible sur les résidus organiques du territoire, i.e. les matières premières pouvant être mobilisées dans un scénario de recyclage. Les résidus organiques bruts disponibles sur le territoire et leurs producteurs sont identifiés et caractérisés géographiquement, qualitativement et quantitativement. S'y ajoutent, si les volumes le justifient, les résidus organiques produits par l'industrie agro-alimentaire au sein et à proximité du territoire.

L'action s'intéresse également aux procédés de transformations qui pourraient être pertinent à mobiliser dans le contexte spécifique du territoire et sur les caractéristiques des produits qui en sortiraient. Les caractéristiques de l'ensemble des produits (PRO et autres, tel l'énergie) issus des divers procédés de transformation (conjointe ou pas) des résidus bruts sont analysées (pour les procédés en place) ou estimées. Les caractéristiques pratiques de ces procédés sont décrites (e.g. temps, coût, flexibilité).

Organisation mise en place

Ce travail a été organisé en deux sous actions, coordonnées par la FRCA :

- 2a. *Caractérisation des sources* : les partenaires du projet qui sont producteurs de résidus organiques ont été chargés de fournir au projet une information exhaustive sur le(s) gisement(s) qu'ils représentent. C'est le cas du TCO (déchets verts), de La Créole (boues de STEP), de la FRCA (effluents d'élevage et résidus agro-alimentaires) et de la CA (résidus de cultures). Ces activités ont été réalisées entre mars et septembre 2011. Ce travail a été complété par le Cirad en termes de caractérisation chimiques des résidus, sur la base d'informations produites dans d'autres cadres (e.g. projet CasDAR Effluents) et des échantillonnages et des analyses nouvelles. Le Cirad et la FRCA ont également caractérisés les gisements d'importance de l'industrie agro-alimentaire située en dehors du territoire, mais dont les (co-)produits sont au moins pour partie élaborés à partir de productions agricoles de l'Ouest. Il s'agit notamment des écumes de sucrerie, des vinasses de distillerie et des farines animales d'abattoir. Les producteurs respectifs ont été contactés et invités à plusieurs reprises au cours du projet. Trois autres gisements au sein du territoire avaient été identifiés comme "d'intérêt potentiel", mais ont été écartés suite à une première prise de renseignement, en raison notamment de volumes peu significatifs (les résidus de stockage d'aliments pour bétail de l'URCOOPA/PROVAL à Cambaie ; ceux d'Ovocoop du Port ; les boues industrielles de Danone au Port) ;
- 2b. *Description de procédés de transformation* : Le travail technique d'identification de variantes techniques pertinentes de procédés de transformation et de l'estimation des caractéristiques des produits sortants a été sous-traité par le partenaire TCO. Malheureusement la définition du marché, défini conjointement par le TCO, le Cirad et la FRCA, et surtout la procédure de l'appel d'offre publique ont entraîné des retards conséquents. Un consortium de bureaux d'études (Artélia-Cyathéa) a finalement pu être sélectionné au mois d'août 2011. Les activités n'ont démarré qu'à la fin du mois de septembre. Les échanges entre ce consortium et le Cirad, chef de file et principal partenaire concerné, ont été nombreux. L'ensemble du projet, i.e. les 5 phases prévues par le cahier des charges, n'a été finalisé qu'à la fin de premier semestre 2012. Au cours de cette période les livrables intermédiaires ont toutefois permis à ce travail de renseigner le processus de co-construction de scénarios qui avançait en parallèle. Le consortium a notamment produit un outil de calcul ouvert, sous forme de base de données relationnelle, permettant d'estimer les quantités et qualités des produits sortant de procédés à variante technique prédéterminée en fonction de proportions de matières premières entrantes librement modifiables. Il l'a présenté aux participants et l'outil a ensuite été mobilisé au cours d'un atelier de co-construction.

Méthodes et résultats obtenus

2a. Caractérisation des sources

I. *Les effluents d'élevage* : L'élevage représente un secteur d'importance sur le TCO, composé en majorité de filières très structurées. La FRCA, très présente sur le terrain dans ce secteur, dispose d'une connaissance fine et des informations détaillées du secteur, de sa production d'effluents et de leur devenir, que ce soit au travers des plans d'épandage qu'elle gère (la quasi-totalité de ces plans réglementaires), au travers de ses coopératives ou au travers de sa connaissance de terrain. Sur la base de ces informations, qui comprennent la composition du troupeau et sa productivité pour les bovins et les porcins, elle a ainsi pu estimer par exploitation les quantités annuelles d'effluents produits, les rejets de matière sèche et de N, P et K que cela représente ainsi que leur disponibilité (e.g. un lisier de porc en zone cannière et relativement urbanisée peut être très « disponible », contrairement au même lisier produit en altitude, difficile d'accès, au milieu de prairies (appartenant souvent à la même exploitation) où l'épandage représente une valorisation appréciée et libre de contraintes temporelles). L'évolution des rejets de monogastriques est influencée par le programme de subvention DEFI qui vise à augmenter la part de la production locale sur le marché de produits frais de l'île. La FRCA, qui a défini ce plan, était en mesure d'intégrer ses conséquences sur la production d'effluents à l'horizon 2020. En quantités d'effluent brut on s'attend à cet horizon à :

- une production de quelques 35 000 m³ de lisier de porc, provenant de 19 élevages en activité, et dont seulement autour de 14 000 m³ est estimé aisément « captable » ;
- une production de l'ordre de 5 400 t de litière de volaille, provenant de 22 élevages de poulet blanc et dinde, dont la majorité (quelques quatre mille tonnes) serait sous condition « captable » ;
- une production de quelques 1 500 t de fiente de pondeuses, provenant d'une seule exploitation, intéressée par l'émergence d'une filière qui lui reprendrait cette matière.

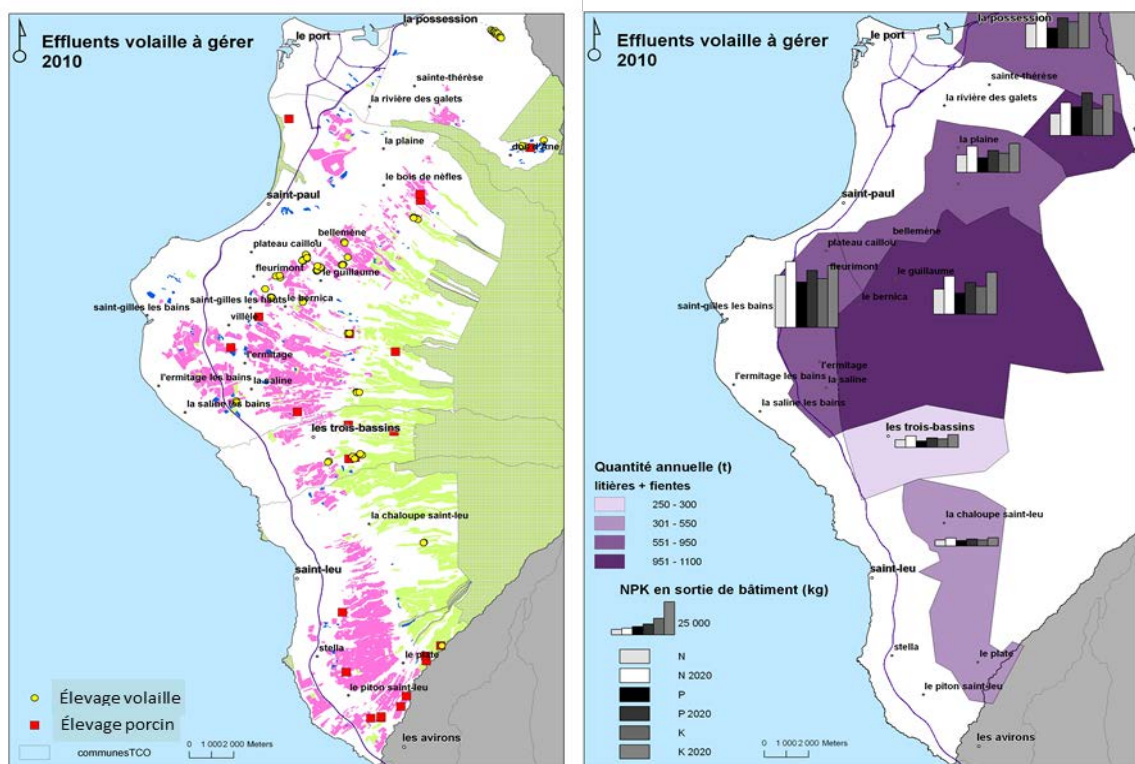


Figure 3 Bâtiments d'élevage de monogastriques et production de litière de volaille par secteur

Ces gisements ont des caractéristiques temporelles distinctes : si le lisier, pouvant s'accumuler pendant trois à six mois dans une fosse, peut être considéré comme disponible à la demande, la litière de volaille est produite par « lot » (bâtiment) à un intervalle très régulier (8 semaines). Indisponible entre ces échéances, elle doit faire l'objet d'une évacuation dans les jours suivant le vidage du bâtiment. La fiente de pondeuse, sortie de manière continue mais avec une faible capacité de stockage se caractérise par une évacuation hebdomadaire de l'exploitation.

La Figure 3 illustre la distribution des gisements lisier et litière par secteur au sein de la zone d'étude. A côté de ces gisements « à gérer » les rejets très majoritairement « diffus » (bovin lait, bovin allaitants et bovins à l'engraissement) ont été quantifiés pour l'estimation du bilan des prairies. Seule la partie des effluents produite sur fumier par les bovins à l'engraissement (~4400 t en 2020) est « disponible ». Valorisé dans d'autres ateliers au sein de l'exploitation ou cédé à un bon prix pour une utilisation en maraîchage à proximité, ce gisement n'est néanmoins pas captable par un circuit de gestion intégrée.

Bien que présente, la filière cunicole n'est pas considérée du fait de la faiblesse des volumes produits. Beaucoup plus importante en termes de production (donc d'effluents également), comme en témoigne le recensement agricole, la filière caprine a également été écartée : non organisée, elle s'articule en général autour de petits ateliers au sein d'exploitations dédiées à d'autres filières. Il s'agit donc d'un gisement de fumier « diffus », très éclaté, non seulement logistiquement difficilement mobilisable, mais également en général déjà valorisé directement sur l'exploitation.

L'ensemble des informations concernant la production d'effluents d'élevage est consigné dans un ensemble de livrables de la FRCA, un rapport de fin d'étude de Mastère (C. Laborde). Certaines de ces informations ont toutefois pu évoluer quelque peu au cours du projet. Le Cirad dispose d'une importante base de données d'analyses agronomiques sur ces matrices, acquises notamment dans le cadre du projet CasDAR « Effluents ». Ce sont les caractéristiques moyennes estimés à partir de cette base qui ont été fournis au consortium contracté par le TCO pour la réalisation de la sous action 2b (voir les livrables respectifs). Dans le cadre conjoint des actions 2 et 4 et au vu des préoccupations sociétales les concernant, les contaminants traces organiques (CTO) des lisiers de porc (3 échantillons prélevés au sein du territoire) ont été dosées par un laboratoire spécialisé à Bordeaux. La présence de résidus d'antibiotiques a été observée dans ces échantillons, à des teneurs variables mais comparables en ordre de grandeur (voir livrables action 4) ;

- II. *La paille de canne* : unique sous-classe étudiée de la classe *résidus de culture*, la CA a mené une étude pour apprécier cette ressource en termes quantitatif et spatial. Elle a mobilisé à cette fin un grand nombre d'informations disponible (distribution des variétés de canne, de leur rendement et de leur mode de coupe, etc.), complété par des informations d'expert de ses techniciens-conseillers. L'étude montre que seul 11% de la sole cannière faisait l'objet d'une coupe mécanique en 2010. Sur les parcelles où la canne à sucre est coupée à la main, l'ensemble de la paille de canne issue de la coupe est laissée au champ. Sur un total de pas loin de 30 000 tonnes MS de paille, moins de 5 000 tonnes étaient issues d'une coupe mécanique, dont quelque 3 000 tonnes étaient exportés hors des parcelles (et majoritairement hors du TCO). Bien que le gisement puisse donc paraître significatif, le rapport de l'étude souligne que cette paille contribue à la fertilisation des parcelles (d'ailleurs considéré dans les estimations des besoins de la sous action 1b). Sa mobilisation éventuelle ne peut donc être que partielle et sera sujet à compensation, sans oublier sa « disponibilité » saisonnière (et donc l'important besoin de stockage qu'induirait un besoin annuellement continu) ;
- III. *Les boues de STEP* : La régie de l'eau et de l'assainissement de la commune de Saint Paul, La Créole, a réalisé un inventaire concernant la production de boues dans l'ensemble des quatre stations d'épuration(STEP) du territoire, s'entendant pour cela avec les fermiers de la STEP du Port et de Saint Leu. Ladite étude décrit les quantités actuelles et futures produites ainsi que les procédés dont elles sont/seront issues. La production de boues est en effet en forte évolution, avec une STEP nouvelle ayant démarré peu avant le lancement du projet (Le Port), une autre remplacée par une nouvelle au cours du projet (Cambaie remplaçant Saint Paul), une troisième toujours « en cours de remplacement » (Saint Leu, avec séchage solaire dans la nouvelle), les boues de l'ensemble de la commune de Saint Paul (incluant la STEP de l'Ermitage) faisant depuis 2013 l'objet d'un post-traitement par séchage sous serre, et la commune de Trois-Bassins dont le réseau d'assainissement, en cours de réalisation, sera raccordé à la STEP de Cambaie. Cela emmène à une estimation d'une production totale aux alentours de 3 800 tonnes de matière sèche en 2020, contre 2 300 tonnes en 2010. Il est à noter que ce gisement n'est pas disponible en totalité pour d'éventuelles nouvelles filières de gestion étant donné qu'une part substantielle (e.g. autour de 700 t MS pour Le Port) est actuellement déjà co-composté par un entrepreneur privé produisant un amendement à bas coût exporté en grande partie du TCO. Au-delà des analyses réglementaires fournies par La Créole, des échantillons ont été prélevés à deux reprises dans les trois STEP aux normes et actives. Les analyses

agronomiques et d'éléments trace métalliques font état de propriétés homogènes et stables. Dans le cadre conjoint des actions 2 et 4 et au vu des préoccupations sociétales les concernant, les contaminants traces organiques (CTO) des boues de STEP (1 échantillon de chacune des trois STEP du territoire) ont été dosés (par un laboratoire spécialisé en Catalogne). La présence de résidus médicamenteux (notamment antibiotiques et anti-inflammatoires) ainsi que d'autres contaminants a été observée dans les échantillons, avec pour partie des teneurs comparables (avec celles des antibiotiques du lisier également) ;

- IV. *Les déchets verts* : La collecte et le traitement des déchets verts relèvent de la compétence de la communauté d'agglomération TCO, qui a donc fourni des informations détaillées au projet quant à ce gisement et à la filière de traitement en place. Un nombre important de camions de ses prestataires de collecte sillonnent le territoire par secteurs, dits « calendriers de collecte ». Cette collecte est exécutée en porte à porte sur toutes les voies publiques ou privées ouvertes à la circulation. Elle s'effectue au grappin et les prestataires sont rémunérés à la tonne collectée. Le volume total de déchets verts collecté annuellement sur le territoire varie de 35 à 40 mille tonne de matière brute, avec une légère oscillation au cours de l'année induite par les saisons (modélisée sur la base de données fournies par le TCO). Des politiques récemment mis en place visent à stabiliser, voire à quelque peu réduire ce volume. L'estimation du volume totale de déchets verts collecté à l'horizon 2020 est de ce fait de l'ordre de 35 000t, donnant quelques 30 000t de broyat. L'ensemble descend vers deux plateformes situées au bord du littoral sur les communes du Port et de Saint-Leu, où une vérification sommaire de qualité est effectuée avant broyage. Si la station de Saint-Leu « redistribue » ce broyat aux agriculteurs, celle du Port, plus grande (plus de $\frac{3}{4}$ du volume collecté) composte ce broyat selon un procès de fermentation et de maturation en andains retournés mécaniquement, crible le produit final avant son évacuation. Au démarrage du projet Girovar, la station de compostage du Port connaît des problèmes importants de saturation ainsi que de non-conformité à la norme du compost produit, du fait de teneurs en éléments métalliques trop élevées. Le compost produit ne trouve pas acheteur et doit être évacué à grand frais. Les volumes collectés, en forte augmentation, notamment lors de passages de cyclones dépassent largement les capacités de la plateforme. Le Cirad a réalisé une enquête sociotechnique afin de mieux appréhender le système en place qui met en évidence des enjeux de dégradation de la qualité des matières collectées lors de plusieurs étapes du procédé et une inadéquation du produit aux attentes des consommateurs. Le TCO s'est appuyé sur la dynamique du projet Girovar pour effectuer un travail de fond sur l'organisation de ses activités de traitement de déchets verts : Renforcement des équipes, durcissement du contrôle de l'activité de collecte en porte-à-porte, mise en place progressive d'une démarche qualité, doublement de la capacité de la plateforme de compostage, création d'une nouvelle plateforme « tampon », développement d'un suivi de clientèle notamment. Le Cirad et le TCO ont procédé à des analyses, complétant une base de données déjà disponible au Cirad. Les propriétés physico-chimique considérées plus en avant au cours du projet sont une estimation des propriétés qui résulteraient d'une filière « améliorée » ;
- V. *Les écumes de sucrerie* : l'épandage d'écumes de sucrerie est une pratique courante. L'écume est produite au sein des sucreries situées en dehors de notre zone d'étude mais pour partie à partir de cannes récoltées sur cette zone. De ce fait, elle est considérée comme un résidu de l'agriculture du territoire. Le retour à la terre de l'écume, parfois mélangé à la cendre issue de l'incinération de la bagasse, fait déjà l'objet d'une filière en évolution rapide (voir rapport de stage C. Laborde). L'écume de sucre est un amendement apprécié et utilisé pour tout type de culture depuis longtemps. L'organisation de cette filière a récemment été reprise en main par les ingénieurs de l'usine sucrière pour reprendre le contrôle d'une matière dont l'écoulement chaotique leur échappait, afin de privilégier une utilisation sur canne à sucre et d'assurer une traçabilité de la gestion d'une matière encore réglementairement considérée comme un déchet. Le principe de base de cette filière est que l'écume est la propriété du planteur ayant fourni la canne à sucre dont elle provient. Ce principe singulier ouvre ainsi à chaque planteur le droit de disposer de l'écume correspondant à sa récolte, soit environ 5% de la masse brute de canne livrée. Pour favoriser le retour de l'écume sur des parcelles de canne à sucre au détriment du maraîchage, les sucriers ont obtenu d'affecter la moitié des quotas spécifiquement aux parcelles de canne en replantation. L'organisation logistique de la remontée d'écume sur les parcelles de canne du TCO a évolué radicalement pendant le temps du projet. En 2011, l'écume est mise à disposition des planteurs directement sur les « balances » où ils livrent leurs

cannes. A compter de 2013, la remontée s'effectue exclusivement par le biais de prestataires sous contrat, en flux tendu directement depuis l'usine de sucre. La facturation et le règlement du service de livraison est intégré au processus administratif de l'usine de sucre. Au vu de la quantité de canne livrée et en l'absence d'éléments précis, le « retour » réel au territoire est estimé équivalent à la part d'écume attribuable à la production de canne TCO. L'écume connaît une disponibilité saisonnière allant en gros d'août à janvier, i.e. la saison de la « coupe » (de la canne) avec un décalage de quelques semaines. Les sucriers producteurs d'écume ont participé activement au projet mais n'envisagent pas de rendre disponible ce co-produit pour une filière intégrée. Leur option préférentielle consiste à obtenir une modification de la norme permettant de faire sortir l'écume de son statut « déchet » tout en optimisant leur circuit de remontée ;

- VI. *La vinasse de distillerie* : considérant les écumes plus ou moins bien « valorisées », la vinasse, issue de la distillation de la mélasse, est l'unique résidu organique ultime de l'industrie sucrière. Au même titre que l'écume, elle peut être considérée comme étant pour partie un résidu organique du territoire. Elle est également d'une disponibilité saisonnière. Mais ce possible handicap se retrouve aggravé par (1) sa nature liquide, peu concentré (autour de 10% de MS) ; (2) son instabilité ; (3) son éloignement géographique. Deux distilleries des trois présentes sur l'île, situées les moins loin, ont toutefois participé aux phases participatives du projet. S'agissant d'une ressource d'intérêt agronomique marqué du fait de sa richesse en potasse, ces industriels sont (ou sont devenu au cours du projet) des porteurs de projets de concentration de vinasse. Il s'agit donc à nouveau d'un gisement en évolution. Les propriétés de cette vinasse concentrée ont été estimées pour sa considération dans le projet ;
- VII. *farines de sang et de plumes* : ce sous-produit d'abattoir de catégorie 3, donc sans problèmes sanitaires, produit de manière continue constitue un dernier gisement de résidus organiques d'intérêt, notamment du fait de sa richesse en azote. Une société à proximité du territoire produit de l'ordre d'un millier de tonne par an, antérieurement incinéré, mais depuis quelques années de plus en plus prisé par les agriculteurs. La pertinence de sa considération dans ce projet a longtemps été obscurcie par des rumeurs de velléités de valorisation agro-industrielle. L'usine de petfood qui a fini par voir le jour ne fait finalement qu'appeler aux farines issues de résidus carnés. Le Cirad dispose d'informations analytiques sur les propriétés du sous-produit à base de sang et de plumes.

2b. Description de procédés de transformation

Afin de posséder une bonne connaissance des procédés de traitement des matières brutes auxquels les économies d'échelle pourraient donner accès et qui pourraient avoir des intérêts agronomiques (e.g. disponibilité des éléments nutritifs), logistiques (e.g. réductions de volumes), environnementaux (e.g. hygiénisation) et/ou économiques (e.g. coproduits), les informations suivantes ont été demandées au sous-traitant (voir le Cahier de Clauses Particulières du TCO) :

- Une description technique et économique du procédé, notamment en termes de sensibilité/stabilité de la performance, de contraintes au dimensionnement, et de flexibilité du pilotage du bilan entre coproduits, coût du traitement, nuisances (olfactives, sonores,...) ;
- Par combinaison de matières (brutes et/ou transformées¹) en entrée, une description des propriétés physico-chimiques ainsi qu'une estimation quantitative du produit obtenu à la sortie ;
- Par combinaison de matières (brutes et/ou transformées) en entrée, une estimation qualitative et quantitative d'éventuels coproduits obtenus (ex. énergie).

Ces informations ont été estimées à partir des données fournies par le projet, de la littérature, des connaissances acquises en milieux voisins et des modèles existants. Une réflexion préalable conjointe entre le Cirad, le TCO et la FRCA a débouché sur une liste d'une soixantaine de couples combinaison de matières – procédé à considérer a minima (voir CCP). Les quatre groupes de procédés étudiés sont la méthanisation, le (co-)compostage, le lombricompostage et la pyrolyse/pyrogazéification. L'étude comportait les étapes suivantes, avec un rapport par étape (voir le mémoire technique du consortium et les livrables) :

¹suite à un premier procédé de traitement dans le cas d'une combinaison de procédés

- 1) Description de différentes variantes techniques envisagées par procédé de transformation ;
- 2) Inventaire et présélection des différentes combinaisons possibles des intrants en fonction des ressources disponibles sur le territoire étudié et association logique aux procédés ;
- 3) Sélection et validation des combinaisons intrants/procédés ;
- 4) Analyse des combinaisons intrants/procédés retenues ;
- 5) Comparaison des combinaisons et élaboration d'un outil d'aide à la décision sur la base d'une grille multicritères.

Figure 4 Une vue de l'outil base de données

La phase 2, qui n'a été finalisée qu'à la fin du mois de novembre 2011, a permis de sélectionner 37 combinaisons jugées techniquement pertinentes, et de proposer des proportions jugées adéquates pour les matières entrantes. Dans la phase 3 un outil d'aide à la décision sous forme de base de données relationnelle a été créé qui permet d'estimer la production en termes qualitatifs et quantitatifs (illustré dans la Figure 4). A l'issue de cette phase, lors de laquelle une confrontation avec les résultats de l'action 1 et du début de l'action 3 a eu lieu, 31 combinaisons ont été retenues comme pertinentes sur les plan technique et agronomique (composé de 10 combinaisons de compostage, 3 combinaisons de lombricompostage, 7 combinaisons de méthanisation liquide, 6 combinaisons de méthanisation sèche, 2 combinaisons de pyrolyse lente et 3 combinaisons de pyrolyse rapide). Considérant davantage de critères (économiques, réglementaires, environnementaux) lors de la phase 4 et en réalisant un pré-dimensionnement (technique et économique) pour les combinaisons retenues (entre temps revues à la hausse, 34, mais avec 14 d'entre-elles ciblées comme « prioritaire »), celles-ci ont été classées sur la base d'une notation d'expert.

Retombée positive du retard accumulé, la phase 4 a pu considérer les orientations et informations produites en parallèle par la démarche de co-construction : l'étude focalise ainsi sur des combinaisons qui permettent de se rapprocher au mieux des caractéristiques des produit recherchés. Inversement, la co-construction qui reprenait ces résultats a influé sur le choix des combinaisons à approfondir d'avantage lors des dernières phases de cette étude. La base de données relationnelle permettant d'estimer les productions (et leur propriétés) en sortie de transformation en fonction des entrées choisies a constitué un livrable très utile au processus d'élaboration de circuits au premier semestre 2012 (voir action 3).

Indicateurs de réalisation

2a*	ensemble de livrables « effluents d'élevage » et résidus IAA de la FRCA
2b	1 rapport de stage de Mastère en économie sur les circuits de valorisation informelle et l'analyse coût-bénéfice de changements (Laborde)
2c	rapport, base de données spatialisée et sa notice concernant la gestion de la paille de canne au TCO
2d	rapport de La Créole sur la production et le traitement des boues de STEP
2e	rapport du TCO sur la collecte et le traitement des déchets verts ; analyses TCO / How Chong
2f	caractérisation analytique des PRO
2g	3 monographies décrivant la remontée d'écume, la collecte de déchets verts et l'enlèvement des litières de volaille
2h	Cahier des Clauses Particulières de marché public du TCO, mémoire technique et livrables du consortium concernant les procédés de traitement et les matières sortantes

* Code du dossier en ligne contenant les documents

Action 3 : Co-construction d'une représentation et de scénarios de gestion

Rappel des Objectifs

La valorisation agronomique des matières organiques est généralement abordée à partir d'un gisement unique, bien caractérisé. La problématique se réduit alors aux enjeux liés à son transport, sa transformation éventuelle et son utilisation sur un ensemble le plus restreint possible de parcelles agricoles. Notre approche, à la fois territoriale et pilotée par la demande présente le défi majeur d'augmenter significativement le nombre de paramètres en jeu. Sur le territoire considéré, l'action 1 a abouti à une caractérisation agronomique de situations type et des techniques de fertilisation associées, ainsi qu'à la caractérisation des moteurs et freins socio-économiques à la mise en œuvre de nouveaux circuits de valorisation. L'action 2 a recensé et caractérisé les gisements d'intérêt et les procédés de transformations techniquement pertinents. Ces recensement des combinaisons de matières, de procédés de transformations et de débouchés a abouti à une très large ouverture du champ des possibles. L'objectif de l'action 3 était de réduire la complexité du système étudié en choisissant un nombre restreint de combinaisons de paramètres sous la forme de scénarios pouvant alors donner lieu à une évaluation plus approfondie.

Il s'agit ici d'une démarche de modélisation d'accompagnement impliquant des représentants des porteurs d'enjeu concernés par l'amélioration des circuits de valorisation agronomique des résidus sur le territoire du TCO. Le principe de base consiste à animer différents groupes de travail pour co-construire une représentation partagée du problème (i.e. un modèle), de ses limites, des enjeux, des solutions possibles. Le modèle obtenu sert ensuite à explorer collectivement et à faire évoluer des scénarios d'amélioration à l'aide de simulations informatiques et de jeux de rôles. Le recours à une telle démarche participative visait deux objectifs. D'une part, la participation de parties prenantes permettait de justifier les choix réalisés lors de la co-construction des scénarios. Ces derniers en viennent à être validés comme

- des futurs possibles car validés par des experts techniques et des études complémentaires ;
- des futurs souhaitables car validés par des décideurs politiques ;
- des futurs plausibles car validés par des professionnels en activités.

D'autre part, les ateliers mis en œuvre étaient conçus pour favoriser l'explicitation réciproque et la confrontation des points de vue entre individus évoluant dans des contextes d'activité différents : fonctionnaires territoriaux, planteurs, éleveurs, chercheurs entre autres. Ces étapes d'échanges, complétés par des plages de socialisation « en off » ont été particulièrement appréciées et ont contribué à un apprentissage collectif des enjeux de la valorisation agronomique des matières organiques, des intérêts de chacun mais aussi de points de dimensions techniques du système. Cette association d'un grand nombre de représentants des parties prenantes à cette démarche participative devait également contribuer à un processus d'apprentissage social et à la constitution et l'évolution d'un collectif légitime pour appréhender la question de la valorisation des matières organiques.

Organisation et méthode

L'organisation d'une démarche participative à l'échelle d'un territoire de la taille du TCO (plus de 200 000 habitants et plus de 450 000 kilomètres carrés), et la mise en œuvre d'un exercice de co-construction de scénarios de valorisation d'un ensemble de matières organiques très diverses est une opération complexe à plusieurs égards. Elle impose notamment de prendre en compte les intérêts, les connaissances et les choix de groupes d'acteurs conséquents ne pouvant pas tous être consultés. Un dispositif participatif a du être mis en place pour assurer la prise en compte de ces différents groupes.

1 – L'implication d'acteurs « opérationnels »

Une première ambition de notre démarche était de prendre en considération les intérêts, perceptions et savoirs empiriques des différents groupes d'acteurs directement concernés par la valorisation agronomique des matières organiques lors des différentes étapes de la conception des scénarios : Au cours du diagnostic initial, de la validation des choix successifs réalisés en cours de conception et de l'évaluation des solutions retenues. Cette ambition impliquait d'organiser des étapes de concertation au cours desquelles des membres de ces différents groupes d'acteurs se verraient offrir la possibilité d'influer sur les travaux réalisés, d'orienter les solutions et de privilégier certaines options. Cette prise en considération des avis issus d'acteurs

opérationnels est importante pour garantir la crédibilité des solutions et pour garantir que les résultats sont bien en phases avec l'intérêt public et les attentes de la société civile.

Une démarche collective a été conduite afin d'identifier, de caractériser les différents groupes cibles potentiellement concernés par la mise en œuvre de circuits de valorisation agronomique des matières organiques. Pour chaque groupe, une analyse stratégique a été menée au sein de l'équipe projet pour préciser les intérêts, risques et contraintes potentiels de chaque groupe vis à vis du projet. Sur la base de ces 12 groupes, un second travail a été conduit d'identification d'individus membres de ces groupes (des planteurs, des éleveurs, des jardiniers plutôt que des techniciens d'encadrement) susceptibles de représenter chaque groupe au sein du collectif à constituer. Les critères de sélection retenus sont au nombre de trois : la capacité à innover (on privilégie des individus susceptibles d'adopter de nouvelles pratiques), un effet d'entraînement avéré (des individus écoutés et influents) et la capacité à participer à des débats (savoir écouter, savoir parler en public, être disponible). Sur la base de ces critères, l'identification des représentants a été organisée de manière à développer et renforcer à la fois de liens interinstitutionnels et interpersonnels : Dans la mesure du possible, chaque représentant devait être proposé par une institution membre du partenariat et être contacté personnellement par un membre de l'équipe projet.

L'organisation d'ateliers de concertation avec des acteurs du (des) monde(s) agricole(s), du monde des déchets et de leur traitement nous a contraint à produire des supports de communication et des modalités d'interaction adaptés aux publics visés. Les ateliers ont été délocalisés vers une salle polyvalente dans les Hauts de l'île, les horaires adaptés aux contraintes des exploitants agricoles, les éléments techniques vulgarisés. Pour les étapes de co-construction, nous avons mobilisé des techniques de modélisation participative privilégiant les aspects graphiques (Arbre à problème, modélisation ARDI, zonage à dire d'acteur et diagrammes d'activité UML) mises en œuvre par des facilitateurs sur la base de consignes formalisées. Le jeu de rôle Fetaferti a été mis au point pour permettre une mise en situation des éleveurs et planteurs et mettre en discussion un scénario d'implantation d'une station de traitement d'effluents d'élevage.

2 – La recherche d'une légitimité institutionnelle

De manière complémentaire, une relation étroite avec les acteurs institutionnels du territoire (État, Intercommunalité, acteurs économiques principaux, chambres consulaires, etc.) est importante pour assurer la compatibilité entre les choix réalisés, les solutions retenues et les scénarios envisagés d'une part, les contraintes, stratégies et orientations institutionnelles d'autre part. Un niveau institutionnel regroupant des acteurs décisionnaires au sein d'une arène de décision, le comité de pilotage, co-présidé par le sous-préfet de Saint-Paul et le président du TCO devait répondre à ce besoin. Les participants à ce comité de pilotage sont retenus en tant que représentants de leur institution d'origine et s'y expriment au nom de cette institution. La composition de ce comité devait nécessairement refléter la diversité de secteurs et de domaines de compétence concernés par le projet, ce qui nous a amené à y convier des représentants de la société civile.

L'implication de représentants institutionnels impose elle aussi le respect de codes, de règles et de contraintes organisationnelles. Les contraintes d'agendas et de protocole y sont importantes, le format des présentations est adapté au public avec un effort de synthèse mettant l'accent sur les enjeux requérant un arbitrage de niveau politique. Dans la mesure du possible, chaque comité de pilotage fait l'objet, au sein de chaque institution, d'une réunion préparatoire au cours de laquelle le représentant prend connaissance du dossier et des enjeux qui vont être mis à l'ordre du jour. L'essentiel des décisions entérinées à l'occasion de ces comités sont prises au cours de cette phase de préparation.

3 – La co-construction par des experts

Enfin, le niveau de technicité engagé dans la conception des scénarios et la charge importante de travail requise n'ont pas permis d'impliquer l'ensemble des participants aux ateliers à l'ensemble des étapes de co-construction. Certaines étapes de calcul, de calibration de modèles, de traitement et de combinaison de données relèvent du travail individuel ou de réunions techniques en petits groupes. Ce fût le cas pour la définition des produits fertilisants d'intérêt et pour la conception détaillée des circuits de production de ces fertilisants (voir Figure 5). Pour chacune de ces phases, des groupes de travail ont été constitués en conviant à la réflexion collective un nombre restreint d'individus sélectionnés sur la base de leurs connaissances scientifiques, de leur connaissance du terrain et/ou des acteurs. A ce niveau, la difficulté a consisté d'une part à identifier au fur et à mesure les compétences et connaissances manquantes (par exemple sur l'organisation

d'une filière spécifique, sur un procédé de transformation, sur une réglementation en cours ou sur le calcul des charges d'exploitation) et d'autre part de gérer la tension entre les connaissances fournies par un expert et les intérêts dont il est porteur. Parmi les principes de la modélisation d'accompagnement qui ont conduit la conception de ce dispositif participatif figure une hypothèse de partialité des acteurs. Les différents experts ne sont pas supposés neutres vis-à-vis des données, connaissances et expertises partagées mais porteurs de représentations, de préférences et d'intérêts. Nous n'avons pas à ce niveau fait l'hypothèse que les experts – scientifiques et porteurs de la démarche y compris – étaient objectifs mais au contraire nous sommes efforcés d'explicitier et de prendre en considération les intérêts, préférences et représentations de chacun.

4 - Procédure adaptative et pilotage

Dans le cadre du projet Girovar, le parti a été pris d'organiser des étapes de concertation très en amont de la réflexion, dès les phases de diagnostic et de construction d'un plan d'action. Ce choix favorise l'adhésion des participants, renforce la légitimité des actions menées et rend plus facile la traduction des intérêts de chacun. En revanche, elle introduit des incertitudes dans la conduite du projet, le principe de prise de décisions collective étant par définition antinomique de la notion de planification : La conduite d'un projet adaptatif nous impose de prendre en compte les résultats de chaque étape du projet dans l'organisation de la suite du processus. Cela est d'autant plus important que les décisions prises au cours des ateliers sont contraignantes car les options non retenues ne seront pas évaluées au cours de l'action 4. A l'issue de chaque « séquence » participative, une réunion de l'équipe projet est ainsi organisée pour statuer de l'organisation de la prochaine phase. Cette organisation s'appuie sur un compromis parfois délicat entre contraintes institutionnelles du projet (financement, planning, durée), contraintes opérationnelles (disponibilité des individus, des compétences, des équipements) et nouvelles orientations adoptées. La pratique de cette gestion adaptative n'est cependant pas à considérer comme une contrainte car cet exercice contribue à développer une capacité d'analyse, de délibération et gestion collective au sein du dispositif mis en place. Cet apprentissage social est un des objectifs de la démarche.

Il est à noter ici le caractère holistique et transdisciplinaire de l'approche retenue au cours du projet qui privilégie une entrée par les enjeux du territoire et des acteurs sans présupposer de la nature des solutions (techniques, organisationnelles, réglementaires, financières) ou des disciplines scientifiques mobilisées (sciences physiques, chimie, agronomie, génie des procédés, pédologie, économie, sciences humaines et sociales, sciences politiques).

De ce fait, l'organisation progressivement mise en place diffère notablement de celle initialement prévue (trois ateliers, d'une durée de trois jours chacun). Cette organisation qui a *in fine* permis d'atteindre l'objectif visé (l'élaboration de trois scénarios) est caractérisée par un nombre et une diversité de « séquences » participatives bien supérieurs aux prévisions initiales. Illustrées par la Figure 5, les principales séquences ont été les suivantes :

1. Une phase d'initialisation du dispositif participatif (1^{er} semestre 2011) : Organisation et tenue du 1^{er} comité de pilotage, identification et caractérisation des groupes cibles, organisation et tenue de l'atelier 1 « diagnostic » ;
2. Une phase de co-construction d'une liste des produits fertilisants organiques d'intérêt agronomique sur la zone du TCO par des experts de août à septembre 2011, discutée au cours de l'atelier 2 « produits » les 17 et 18 Novembre 2011 ;
3. Une séquence de co-construction de circuits (ou filières) de production de 3 produits fertilisants retenus. Cette séquence débute par des exercices de co-construction menés par des représentants des groupes cibles lors de l'atelier 2. Chaque circuit de production a fait l'objet d'une série de 3 réunions de travail. Les participants à ces ateliers ont été retenus sur la base de leur expertise du domaine, tout en veillant à conserver une représentation des différents secteurs d'activité concernés par chaque circuit. Les 3 réunions ont successivement abordé le procédé de transformation et la « recette » à mettre en place, l'organisation logistique de collecte et de distribution puis le modèle économique et la gouvernance des circuits. La restitution de ce travail a pris la forme d'un atelier participatif ouvert aux représentants des parties prenantes les 20 et 21 Juin 2012. Un jeu de rôle, « Fetaferti », reproduisant les principaux enjeux de la mise en place d'une unité de traitement correspondant au

circuit 2 « engrais solide » a été développé pour communiquer sur les résultats obtenus et susciter la réflexion sur les conséquences d'une nouvelle organisation ;

4. Une séquence de modélisation des scénarios, de août 2012 à avril 2013 au cours de laquelle les interactions avec les différents niveaux participatifs se réduit. A l'issue de ce travail d'élaboration de circuits réalisé les 6 premiers mois de l'année 2012, les résultats des 3 groupes « circuits » ont été compilés au sein de l'équipe projet pour aboutir à 4 scénarios. Un scénario est une situation future du territoire, à une date fixée à 2020. Ces scénarios ont été restitués le 17 Novembre 2012 au cours d'un comité technique réunissant les représentants des services de l'Etat (DEAL, DAAF) et des services généraux des différents partenaires. Un important effort de modélisation (conceptuel, puis informatique) a ensuite été entrepris afin d'affiner ces scénarios (e.g. dimensionner les installations) et de vérifier leur bon fonctionnement par simulation (permettant de les rendre convaincant). Au lieu d'adapter des modèles de simulation existants au Cirad, le choix s'est finalement porté sur le développement d'un nouveau modèle sur une plateforme informatique de pointe. Bien que réalisé par le Cirad, plusieurs partenaires ont fourni des connaissances et des données permettant d'élaborer une base de données aussi détaillée et proche de la réalité que possible. Les simulations réalisées avec cet outil étaient également censé renseigner les évaluations économique et environnementale. Un modèle d'ingénierie de compostage élaboré au Cirad, CompoModel, a été mobilisé pour affiner les proportions des « recettes » de transformation et le dimensionnement des installations, intégrés ensuite dans le modèle de simulation. Ces travaux sont restitués et mis en débat au cours de l'atelier 4 « scénarios », le 30 avril 2013 au niveau « acteurs » puis remontées au niveau politique lors du 2^{ème} comité de pilotage, le 28 juin 2013.
5. Une séquence d'évaluation des scénarios, de Juin 2013 à Juin 2014 débute alors sur la base des scénarios présentés et amendés au cours de cet atelier 4. Cette évaluation s'appuie sur le modèle logistique développé, sur des enquêtes complémentaires d'acceptabilité sociale et sur le travail d'évaluation économique confiée au bureau d'études GIRUS. Une partie de ces travaux, notamment les résultats de l'évaluation économique sont présentés au cours de l'atelier 5 « mis en œuvre », le 20 février 2014. Au cours de cet atelier, un travail en sous-groupe est organisé sur la base du modèle économique développé par GIRUS pour explorer les conditions de rentabilité des différents scénarios. Ce travail est réalisé par un groupe mélangeant techniciens et acteurs de terrain. Il est enfin restitué au niveau politique lors du dernier comité de pilotage à la fin du mois d'août 2014.

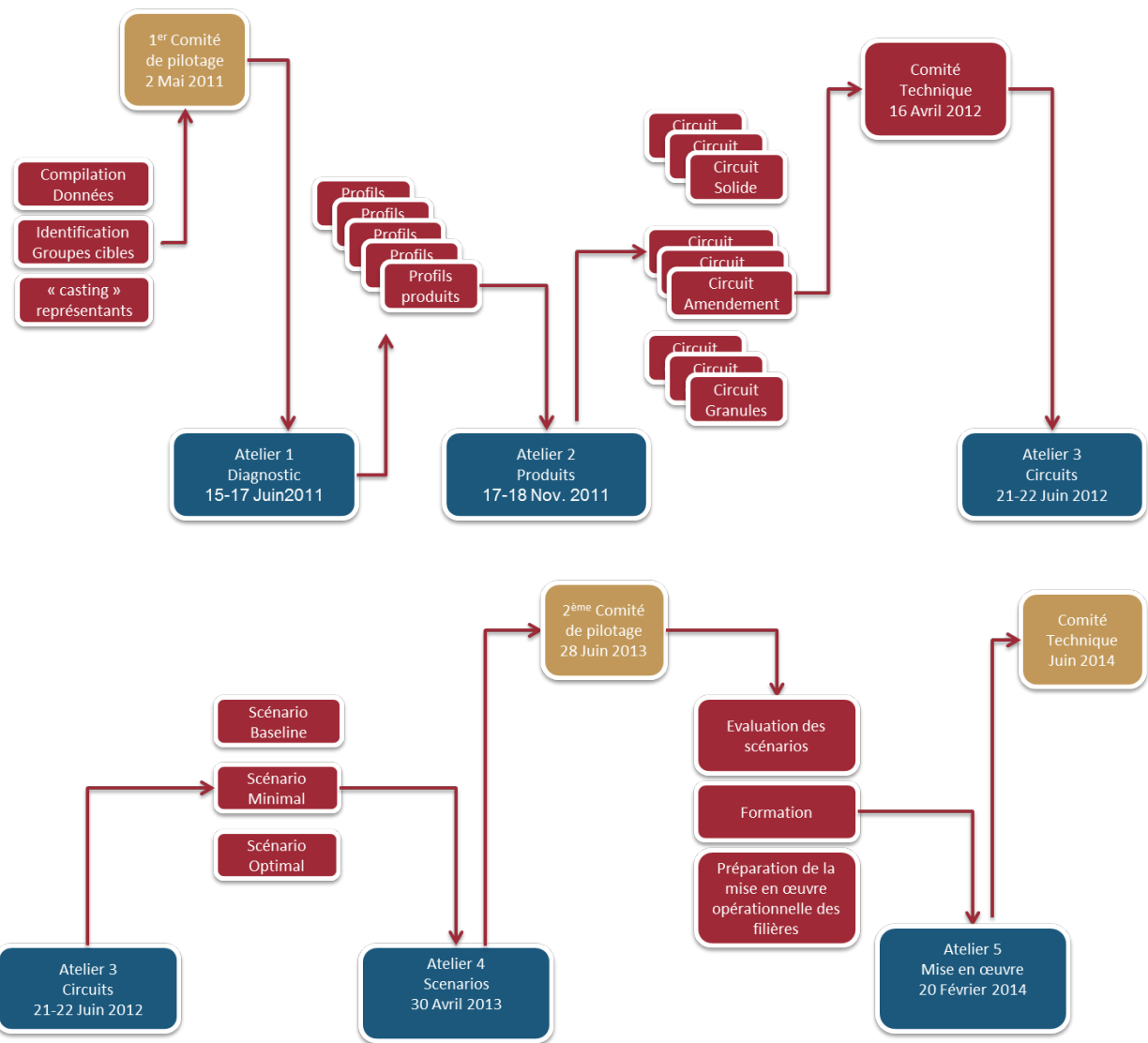


Figure 5 Les phases de l'action 5

0 - 1^{er} comité de pilotage, le 2 mai 2011

Ce premier comité de pilotage tient lieu d'évènement de lancement du projet et fournit au projet Girovar une certaine légitimité institutionnelle importante pour la mise en œuvre d'une dynamique collective. La co-présidence de ce comité par le président du TCO, M Langenier et le sous-préfet de Saint-Paul, M Campeaux facilite l'assiduité de responsables des différentes institutions partenaires. La tenue d'un point presse à l'issue du comité abonde en ce sens. Ce comité est également l'occasion pour les représentants institutionnels d'exprimer la nature des intérêts de leur institution vis-à-vis du projet : gestion de différents déchets, réduction des charges de fertilisants, amélioration de la performance du territoire.

Parallèlement, le travail réalisé sur la construction d'une charte graphique, d'un logo et la mise en ligne d'un site internet renforcent cette légitimité institutionnelle.

1 - Diagnostic participatif

Ce premier atelier de diagnostic, soigneusement préparé et déroulé sur 3 jours rassemblait des représentants de 12 groupes cibles identifiés par l'équipe projet (voir CR.) Ces représentants avaient été sélectionnés pour leur capacité à innover et à servir de relais au sein de leurs groupes cibles. Les 12 groupes cibles ont été correctement représentés à l'exception des maraîchers, un groupe faiblement structuré et marginalisé. Les échanges réalisés ont été de qualité et ont permis d'ébaucher une problématisation partagée de la situation, de ses causes et de ses conséquences.

Les différentes activités de modélisation d'accompagnement mises en œuvre en sous-groupes incluaient la production d'arbres à problèmes, de modèles ARDI suivi d'une identification des freins et leviers à la résolution des problèmes précités. Le problème central reformulé par les participants est « la sous-valorisation des matières organiques en agriculture », formulation qui permet d'intégrer à la fois des aspects quantitatifs (pas assez de fertilisation organique) et qualitatifs (inadéquation des matières, enjeux environnementaux et réglementaires) et met en avant le déficit de gestion de cette activité. En termes de modélisation, les travaux en sous-groupes ont permis une confrontation de points de vue entre professionnels de secteurs peu amenés à se rencontrer particulièrement appréciée des participants. Les différents schémas résultants (Figure 6) ont ensuite été exploités pour le développement du modèle logistique UPUTUC et du jeu de rôles Fetaferti

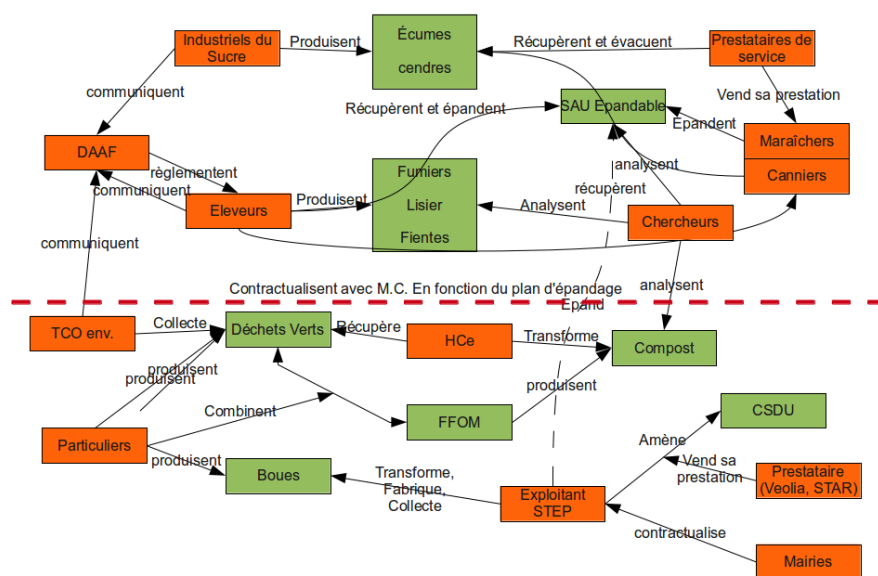


Figure 6 Exemple de schéma élaboré lors du premier atelier, un diagramme ARDI (Acteurs-Ressources-Dynamiques-Interaction).

Cet atelier, s'il a abouti à la production d'un plan d'action consensuel, n'a pas atteint son objectif initial de co-construction de scénarios à évaluer. A défaut, l'équipe projet s'est vu confier la mission d'animer un processus de co-construction de ces scénarios. La mise en œuvre de ce processus nous a amené à « muscler » cette étape de co-construction, notamment deux ateliers participatifs et une longue séquence de 20 réunions de groupes techniques.

2 - Produits

Dix utilisations potentielles distinctes d'un fertilisant organique sur la zone d'étude ont d'abord été listées (e.g. fertilisation de la canne à sucre à la plantation, l'engrais pour maraîchage à cycle court, l'amendement pour prairie lors d'aménagement, support de culture, etc.). Pour chacune d'entre elles un groupe d'experts ad hoc a ensuite été chargé de renseigner, après discussion et description de l'itinéraire technique, un tableau composé de 11 critères. Les similitudes entre ces « portraits robot » ont ensuite été analysées au sein de l'équipe projet.

L'atelier 2 de Novembre 2011 a permis d'identifier 3 produits fertilisants à la fois pertinents pour les besoins de l'agriculture réunionnaise, réalisables à partir de produits résiduaux organiques disponibles sur la zone d'étude et – selon les premières études préalables – par le biais de procédés techniques réalistes et potentiellement rentables. Ces 3 produits sont :

- Un amendement organique non enrichi, normé NFU 44-051, produit par le biais d'opérations de compostage et de mélange à partir de broyat de déchets verts issus de plusieurs sources (déchetteries, collecte en porte à porte, sociétés d'entretien et d'élagage), d'écume de sucrerie remontée depuis l'usine du Gol et de cendres de bagasses remontées depuis la centrale thermique du Gol. Cet amendement a pour marchés principaux les exploitations maraîchères, les parcelles de canne à sucre en replantation et les opérations d'aménagement d'espace vert communales ou privées. La question du compostage de l'écume et de la cendre se pose car ces deux matières sont également valorisables directement. Une étape de compostage peut être justifiée par des contraintes réglementaires mais ne se justifie pas d'un point de vue agronomique ou logistique ;

- Un amendement organique enrichi, dit « engrais solide » répondant lui aussi à la norme NFU 44-051 mais avec des concentrations en nutriments plus importantes. Il est réalisable via des opérations de co-compostage à partir de mélanges de broyat de déchets verts (même sources), d'effluents d'élevage (fientes de poules pondeuses, litières de volaille, lisier de porc), de co-produits industriels (vinasse de distillerie) et potentiellement de boues de stations d'épuration. Son marché principal sont les exploitations maraîchères en substitution des fumiers (bœuf, volaille, cabri) actuellement utilisés. L'utilisation de ce produit pour la fertilisation de la canne à sucre en repousse est théoriquement possible mais uniquement sur des parcelles mécanisables. Cet usage pose notamment le problème de la compatibilité avec les pratiques de paillage et celui de l'efficacité du produit non enfoui ;
- Un engrais « granule » ou « manuel » répondant à la norme NFU 42-001 engrais organique ou engrais organo-minéral. Sa production impose deux phases de transformation : Une première transformation similaire à celle de l'engrais « solide », co-compostage ou autre. Une seconde transformation, à réaliser sur un site industriel propre consiste à sécher, mélanger et conditionner cet engrais sous forme de bouchons. En entrée de cette seconde transformation, on retrouve les co-composts « engrais solides » ainsi que d'autres matières organiques déjà transformées : L'engrais organique produit sur la station de Camp Pierrot, des vinasses de distillerie, des farines animales provenant des abattoirs du Sud de l'île, des boues issues des stations d'épuration ainsi que des compléments minéraux. Le mélange et la complémentarité permettent de proposer un engrais organo-minéral « haut de gamme » dont la formulation et la présentation en bouchons permettent une utilisation manuelle sur canne à sucre en « repousse » et sur prairie en substitution directe des engrais chimiques importés.

Un quatrième produit proposé, l'engrais liquide, a été abandonné par les participants à l'atelier. Ce produit, facilement utilisable sur canne en repousse et sur prairie pouvait être obtenu à partir de lisiers de porc, de vinasses de distillerie et de digestats de méthanisation. Les participants ont anticipé des charges de transport trop élevées, des problèmes de stockage et des risques de pollution olfactive trop importants pour donner suite.

La présence de boues de STEP au sein de ces produits a suscité de violentes et récurrentes controverses qui posent la question de l'acceptabilité sociale de ces matières. Sur le territoire du TCO, une station de valorisation réalise déjà un amendement organique enrichi similaire à l'engrais solide décrit ici. La norme visée est la NFU 44095. L'existence de cette station et le refus de son exploitant à adhérer à la démarche participative nous a conduit à ne pas considérer ce produit dans les étapes de co-construction de circuits puisque le circuit existait déjà. Ce produit est cependant bien présent dans les scénarios.

3 – Circuits

De Novembre 2011 à Juin 2012, le travail des groupes d'experts a consisté à donner corps aux propositions formulées au cours de l'atelier 2. Contrairement au schéma de travail initial qui séparait co-construction et évaluation, l'intervention d'individus à la fois experts et porteurs d'enjeu a conduit à une évaluation « au fil de l'eau » de la faisabilité et de l'intérêt des circuits en cours de conception. Notez que ci-dessous les intitulés de ces groupes de travail reflètent les objectifs initiaux, ce qui pour certains diffère quelque peu des résultats produits.

Circuit de production d'amendement organique

Le travail d'affinage de ce circuit fait intervenir trois agents du TCO et de leur prestataire HCe, responsables de la collecte et du traitement des déchets verts, quatre employés de la société Tereos, responsables de la remontée d'écume et un thésard du Cirad spécialiste du compostage. Ce groupe disposait de connaissances précises sur les circuits existants mais présentait un déficit de connaissance sur l'utilisation des amendements en maraichage et sur les circuits de commercialisation des matières fertilisantes.

L'approvisionnement des agriculteurs en amendements organiques pouvait s'appuyer sur quatre sources de matières organiques : Les déchets verts collectés dans le cadre des missions de collecte de déchets par le TCO, la paille de canne coupée au cours de la coupe et laissée au champ et les co-produits de la transformation de la canne à sucre en sucre d'abord par la société Tereos puis en énergie par la société Albioma à Saint-Louis. Assez consensuellement, la paille de canne a été considérée comme non mobilisable. Les bonnes conditions agro-environnementales recommandent de l'utiliser en tant que paillage des

parcelles. Une autre valorisation possible en litière animale ou alimentation bovine sont également plus rentables, mais priveraient le sol des parcelles cultivées en canne à sucre de matières minérales nutritives restituées par les pailles de canne.

L'exploration de procédés de transformation alternatifs comme la méthanisation sèche, le compostage en andains à aération forcée, la valorisation directe des broyats sans compostage, le compostage d'un mélange déchets verts/écume et la pyrolyse n'ont pas été concluants. Un travail exploratoire important a été mené sur le contrôle de la qualité des déchets verts (présence d'indésirables et de plomb) qui reste le principal point bloquant de son utilisation en agriculture. Le TCO a conduit une étude de faisabilité d'une chaîne de tri en entrée de la station, mais n'a pas donné suite à ce projet. A la place un meilleur contrôle qualité en entrée de station et quelques modifications dans la pratique de collecte ont été décidées. Depuis 2013, le TCO produit un compost de déchets verts respectant la norme NF U 44-051 sur le critère de la teneur en plomb. Un système de suivi et de gestion de la pollution au plomb a été mis en place. Concernant l'écume, une action a été initiée par Téréos OI pour lever le verrou réglementaire excluant l'écume de la liste des matières pouvant entrer dans la composition d'amendements normés (NFU 44-051).

En ce qui concerne les teneurs maximales en chrome et en nickel exigées par la norme NFU 44-051, les composts de déchets verts et l'écume de sucrerie n'arrivent pas à les respecter. En effet, une fraction de terre entre dans les deux process (compostage et usine sucrière), et cette terre présente naturellement des teneurs élevées en ces deux éléments. La Chambre d'agriculture, le Cirad, Téréos et le Conseil général ont donc initié en 2012, au niveau national (DGAL), une démarche de prise en compte de cette spécificité locale qui a abouti au second semestre 2014.

Au final, le circuit d'approvisionnement en amendement organique proposé ressemble fort aux circuits existants : Des filières séparées pour le compost de déchets verts d'une part commercialisé par la société HCe au Port, l'écume et la cendre de bagasse commercialisés par la société Tereos à Saint-Louis d'autre part. Les réflexions collectives n'ont pas abouti à une organisation commune mais ont amené les deux partenaires à améliorer de manière significative les circuits qu'ils contrôlent.

Produit	Compost de déchets verts	Ecume
Matières en entrée	30.000t/an déchets verts	11.000t écume/an
Transformation envisagée	Tri, crible, broyage et compostage en andain retourné	Aucune transformation
Production maximale	15.000t/an	Non transformé
Composition NPK	C/N correct	C/N correct
Doses recommandées	Pratiques en vigueur : 40t/ha/an (maraîchage)	Pratiques en vigueur : 60t/ha (canne replantation)
Marché potentiel	Maraîchage : 10.000t/an sur 246ha Aménagement de prairies (faible surface)	22800t/an sur 280ha
Prix de vente estimé	Actuellement (2012) vendu 10€/t rendu station du Port	Actuellement (2012) facturé 10 à 20€/t rendu bord de champ
Installations envisagées	Amélioration des stations existantes	Passage en livraison en flux tendu depuis l'usine du Gol
Commercialisation envisagée	Vente en vrac sur la station du Port Distribution gratuite pour les particuliers dans les déchetteries Livraison par prestataire sur commande	Livraison par prestataire sur commande auprès des pôles canne

Tableau 1 Principales caractéristiques du circuit "amendement" tel qu'élaboré par le groupe de travail correspondant (ayant pu faire l'objet de modification lors des phases ultérieures du projet)

Circuit de production d'un fertilisant désigné comme « engrais solide »

Le travail d'affinage de ce circuit fait intervenir deux techniciens des coopératives d'élevage, deux agents du TCO responsables de la gestion des déchets verts, trois techniciens spécialisés en maraichage et en agriculture raisonnée (CA, FARRE), et un thésard du Cirad spécialisé en compostage. Deux agents de la DAAF et un éleveur de porc sont également intervenus. Ce groupe disposait de connaissances conséquentes sur les différentes matières entrant dans la composition du produit, dans sa transformation et dans son utilisation en maraichage. En revanche, aucun spécialiste de la fertilisation de la canne n'a assisté aux réunions.

Le principe de base de ce circuit consiste à combiner les trois principales sources de matière organique disponibles pour produire un fertilisant « générique » non conditionné. D'un point de vue logistique, les mipentes de Saint-Paul concentrent à la fois des élevages intensifs de volaille et une activité maraîchère diffuse et informelle. Une unité de traitement localisée aux alentours de Bellemène ou Bois de Nèfles permettrait de réduire les charges de transport à la fois pour la collecte des effluents et pour la livraison de produit.

Les réunions entre experts ont rapidement abouti au choix du procédé de compostage. La rentabilité économique potentielle de la station oriente vers l'option d'un compostage en andain retournés en caissons bâchées, malgré le risque de nuisances olfactives ponctuelles. La formule optimale a fait l'objet de nombreuses discussions et calculs pour se stabiliser autour des valeurs (en MB) 47% de broyat de déchets verts, 20% de litière de volaille et 33% de lisier de porc qui devrait permettre la production d'un co-compost normalisé NF U 44-051 de concentration en N, P et K de l'ordre de 1,6 – 1,6 – 2,1. Les efforts de définition de la composition « idéale » de ce fertilisant mettent en évidence un déficit de données de référence sur les effets agronomiques des matières organiques. D'une part les calculs de fertilisation basés sur la satisfaction des besoins théoriques en éléments nutritifs des plantes nécessitent d'établir les coefficients d'équivalence engrais (K_{eq}) de ces matières, ce qui nécessite la mise en place d'essais agronomiques en situation tropicale sur le temps long. D'autre part, le paradigme conventionnel de satisfaction des besoins de la plante lui-même est remis en question par le principe de fertilisation organique. Les calculs de fertilisation doivent alors être réalisés sur plusieurs cycles et intégrer les quantités de nutriments fournis par le sol, ce qui requiert l'estimation d'autres paramètres requis par les modèles correspondants. Des coefficients d'équivalence engrais ont cependant été estimés (à des niveaux plutôt conservateurs) à dire d'experts (par les partenaires agronomiques du projet) et ont été utilisés dans les calculs de fertilisation.

L'approvisionnement envisagé de la station diffère selon les matières et est détaillé plus bas. En termes de contractualisation, les éleveurs devront contractualiser les apports à la station et assurer la traçabilité des transferts pour respecter la réglementation ICPE. La fourniture de broyat de déchets verts devra s'effectuer dans le cadre d'un marché public de traitement des déchets verts de la collectivité qui devra être rédigé pour l'occasion. Les estimations de matières disponibles résultent des données mesurées, une estimation de l'augmentation de ces volumes à l'horizon 2020 et une extrapolation des proportions de ces matières captables. A titre d'illustration, les fumiers de bovins et caprins ont été considérés comme non captables car déjà valorisés.

D'un point de vue économique, la rentabilité de la station s'appuie sur les revenus de la commercialisation des produits d'une part, sur les redevances de traitement des déchets d'autre part. Les calculs réalisés s'appuient notamment sur l'hypothèse d'un transfert des redevances de compostage actuellement payées par le TCO pour le compostage de déchets verts de la station du Port vers celle de co-compostage. Les enquêtes réalisées auprès des éleveurs mettent en avant les raisons qui pourraient conduire les éleveurs à adhérer à ce circuit :

- Le traitement des effluents se substitue à la contractualisation d'un plan d'épandage qui représente pour certains éleveurs une menace réglementaire et un frein à l'expansion de leur activité
- Le traitement des effluents libère les éleveurs de la responsabilité en cas de problèmes, par exemple sanitaires, liés aux matières
- En contrepartie de la fourniture des effluents, les éleveurs souhaitent obtenir une contrepartie sous forme d'engrais solide ou d'intéressement aux bénéfices.

En terme de commercialisation, les experts estiment que l'activité maraîchère du TCO ne permettrait d'écouler qu'environ 3.500t de ce produit chaque année, ce qui représente la moitié de la production potentielle. Pour fonctionner à pleine charge, une station de co-compostage devrait soit commercialiser ce produit en dehors du TCO, ce qui générerait des charges logistiques importantes, soit accéder au marché plus important de la fertilisation de la canne en repousse. En dépit de nombreuses discussions, la question de la faisabilité de l'épandage de ce produit sur canne en repousse reste posée.

Produit	Co-compost LLB
Matières en entrée (maximum captable d'ici 2020)	8.400t/an de broyat de déchets verts 3.600t/an de litières de volaille 6.000m ³ /an de lisier de porc
Transformation envisagée	Mélange, et co-compostage en andain retourné
Production maximale	6.000t/an + 200t/an de refus
Composition NPK	1,6 – 1,6 – 2,1
Doses recommandées	Pratiques en vigueur : 40t/an (maraîchage) Si épandage possible : 16t/an (canne repousse)
Marché potentiel	Maraîchage : 3.500t/an sur 246ha Canne repousse et replantation : 13.000t/an sur 810ha mécanisables
Prix de vente estimé	Estimé à 25€/t rendu station
Installations envisagées	Construction d'une station de co-compostage
Commercialisation envisagée	Vente en vrac sur la station de compostage Livraison par prestataire sur commande Intéressement des éleveurs aux ventes

Tableau 2 Principales caractéristiques du circuit de fertilisant désigné comme "engrais solide" tel qu'élaboré par le groupe de travail correspondant (ayant pu faire l'objet de modification lors des phases ultérieures du projet)

Circuit de production d'engrais dit « manuel »

Le travail d'affinage de ce circuit fait intervenir cinq chercheurs Cirad dont deux spécialisés dans les procédés de transformation de matière, deux techniciens des coopératives d'élevage, l'ancien directeur de la SIER, deux techniciens de la Chambre d'Agriculture (maraîchage et matières organiques) et deux chefs d'exploitation, l'un d'une distillerie susceptible de fournir des vinasses, l'autre produisant des fientes de poules pondeuses. Ce groupe disposait de connaissances conséquentes sur les différentes matières entrant dans la composition du produit, dans sa transformation et dans son utilisation sur canne et maraîchage.

Ce circuit vise à produire des engrais organiques normés NFU 42-001 susceptibles de se substituer aux engrais chimiques pour la fertilisation de la canne à sucre en repousse. Ce marché ciblé représente l'essentiel des importations d'engrais. La pratique dominante sur le TCO est la fertilisation manuelle d'une dose se situant autour de 800kg d'engrais en poudre par hectare. Des discussions avec des planteurs, représentant l'essentiel de ce marché, il ressort qu'un épandage manuel peut être envisagé jusqu'à 2t/ha. Au-delà, l'épandage requiert une mécanisation, soit via un épandeur porté de type Vicon, soit pour des quantités plus importantes un épandeur tracté.

Le procédé retenu consiste en une succession de deux étapes : Les effluents d'élevage doivent subir une transformation pour sortir du statut déchet. Une fois hygiénisées et stabilisées, ils sont transférées à une seconde unité qui réalise le mélange des différentes matières, leur séchage, leur granulation puis leur conditionnement. Le procédé choisi pour la première transformation est le co-compostage. Trois co-composts sont envisagés. Le premier est celui défini par le groupe « engrais solide ». Le second est une formule de 52% de broyat de déchets verts, 34% de fientes de poule pondeuse et de 14% de vinasses de distillerie concentrées. Les autres matières, farines animales, vinasses de distillerie et compost produit par la station de Camp Pierrot rejoignent directement la station de granulation où le mélange, séchage, complémentation et granulation des différentes matières permet de produire un engrais organo-minéral concentré.

Les travaux réalisés dans le cadre du projet Girovar sont menés à l'échelle du TCO. A cette échelle, les réunions de travail aboutissent au constat que les matières disponibles ne permettraient pas d'atteindre le seuil de rentabilité d'une unité de transformation estimé autour de 20.000t/an. Une telle unité ne peut se concevoir qu'à l'échelle de l'île de la Réunion tout entière. Cette analyse est renforcée par le constat que des gisements de matière organiques d'intérêt, les vinasses et les farines animales notamment, ne sont pas produites sur le territoire.

Un autre problème identifié est la trop faible concentration en nutriments des « bases organiques » produites qui ne permet pas d'envisager la production d'un engrais organique suffisamment concentré pour une fertilisation manuelle (et donc un apport de faible dose). La complémentarité chimique devient alors trop importante d'un point de vue réglementaire et financièrement non-rentable. En canne à sucre et en prairie le marché doit de ce fait se limiter aux surfaces épandables mécaniquement (Vicon), estimé pour canne à sucre autour de 810ha sur le TCO.

Enfin, en cours de projet, l'AFNOR a décliné la demande des producteurs de boues de STEP d'intégrer celles-ci dans la liste positive de la norme engrais organique (NF U 42-001), ne permettant donc pas l'entrée d'une base organique prometteuse et lucrative dans ce circuit. De plus, divers acteurs de la profession agricole à la Réunion se sont positionnés contre l'utilisation des boues d'épuration en agriculture.

Produit	Engrais Organique EOMLLB	Engrais Organo-minéral EOFVB
Matières en entrée (maximum captable d'ici 2020)	4100t/an de broyat de déchets verts 1800t/an de litières de volaille 4700m ³ /an de lisier de porc 3000t/an compost Camp Pierrot 340t/an de farines animales	2300t/an de broyat de déchets verts 1500t/an de fientes de poules 600t/an de vinasse concentrée
Transformation envisagée	Mélange, et co-compostage en andain retourné puis séchage et granulation	
Production maximale	6700t/an	1900t/an
Composition NPK	7-5-12	4-2-4
Doses recommandées	2t/an en canne repousse par application manuelle	4t/an en canne repousse par application mécanisée
Marché potentiel	Canne repousse : 7600t/an sur 3800ha ; prairie « intensive » et maraîchage	Canne repousse mécanisable : 3280t/an sur 810ha, prairie « intensive » et maraîchage
Prix de vente estimé	275 à 380€/t rendu station	125 à 220€/t rendu station
Installations envisagées	Construction d'une nouvelle station de co-compostage pour les deux co-composts et d'une unité de granulation	
Commercialisation envisagée	Vente en sac sur la station de granulation Livraison par prestataire sur commande	

Tableau 3 Principales caractéristiques du circuit "engrais manuel" tel qu'élaboré par le groupe de travail correspondant (ayant pu faire l'objet de modification lors des phases ultérieures du projet)

4 – Jeu de rôle Fetaferti

Les premières enquêtes d'acceptabilité pointent du doigt la réticence potentielle des éleveurs et planteurs à changer leurs pratiques d'élimination d'effluents. Actuellement, les litières de volaille sont l'objet de transactions informelles, incomplètes et peu monétarisées entre éleveurs et agriculteurs riverains qui obtiennent un peu de litière en échange de coups de main. Ces pratiques sont efficaces d'un point de vue économique mais présentent des problèmes potentiels : agronomiques (risque de sur- ou sous-fertilisation), environnementaux (risque de lessivage de nitrates), sanitaires (risques de contamination à la salmonelle et de résistance aux antibiotiques) et réglementaires (risque de non-respect des plans d'épandage).

Un jeu de rôle a été conçu pour mettre en situation des éleveurs, maraîchers et planteurs de canne et susciter une discussion sur les conditions sous lesquelles ces acteurs consentiraient à adhérer au circuit de production d'engrais solide, à savoir l'irruption d'une unité intermédiaire de transformation d'effluents et de déchets verts en engrais.

La conception de ce jeu s'est appuyée sur la modélisation ARDI des acteurs réalisés lors du premier atelier.

1. Les matières organiques sont représentées par des cartes de couleur, chaque carte représentant une dose permettant de fertiliser une parcelle : Ecume, litière de volaille, lisier de porc, compost de déchet vert et engrais solide. L'engrais chimique est représenté par un pion.
2. Chaque exploitant agricole dispose d'une exploitation agricole représentée par une boîte en carton. A chaque tour, les éleveurs de porc et de volaille se voient remettre plusieurs cartes « effluent » dont ils doivent se débarrasser. Les maraîchers et les planteurs de canne, eux, disposent de parcelles qu'ils doivent fertiliser.
3. Le revenu des planteurs et maraîchers dépend de la qualité de leur fertilisation selon des règles de calcul simplifié
4. Les éleveurs n'ont pas de revenu mais se voient distribuer des cartes « infraction » par l'animateur du jeu en cas de non-respect du plan d'épandage ou de contamination à la salmonelle.
5. Une succession d'événements pseudo-aléatoires permettent de simuler la volatilité des prix de l'engrais chimique et différents événements naturels.
6. Le pas de temps du jeu est de 6 mois, ce qui permet de simuler la différence de situation entre campagne sucrière et saison inter-campagne. Après quelques tours de jeu, une station de compostage permettant de transformer une combinaison de cartes « compost », « litière » et « lisier » en engrais organique est mise en place. Les joueurs doivent alors décider d'une règle de gestion de cette station et des tarifs pratiqués en entrée (redevance de traitement) et en sortie (prix de vente de l'engrais solide).



Figure 7 Agriculteurs en action lors du jeu FetaFerti

La session de jeu organisée en juin 2012 a rassemblé 4 éleveurs, 5 planteurs de canne et le responsable de la station de compostage du Port. Elle a mis en évidence une forte réticence des éleveurs à payer une redevance en dépit d'une amélioration sensible de leurs problèmes réglementaires. Notons au passage que les maraîchers sont les principaux gagnants de l'introduction de la station de co-compostage. Les planteurs de canne, eux, voient leurs revenus croître mais leurs charges de fertilisation également. Au final, l'essentiel des charges de la station sont couvertes par la revente des produits.

5 – Modèle UPUTUC

Les entités d'intérêt du territoire, impliqués dans les circuits co-construits ou pas, sont les agriculteurs et leurs parcelles agricoles (*Unités de Consommation : UC*), les producteurs de résidus organiques (*Unités de Production : UP*), les installations de transformation (*Unités de Transformation : UT*) et les transporteurs intervenant dans les relations entre ces entités. La Figure 8 illustre le modèle conceptuel élaboré. Les caractéristiques de chacune des classes d'entités et chacun des liens indiqués entre ces classes ont été renseignés. Un modèle informatique dynamique « pilote », basé sur un formalisme multi-agent et implémenté sur la plateforme commerciale AnyLogic a été développé sur cette base. Probante sur le plan scientifique et approuvé par les partenaires du projet au mois d'octobre 2012, un modèle complet intitulé UPUTUC a été développé à partir de ce pilote, décrit dans un document de conception détaillée et un document technique. Ce modèle fera l'objet d'un dépôt de logiciel.

Toutes les instances dans chacune des classes d'entité y sont individuellement représentées : tous les éleveurs de monogastriques du territoire, participants aux circuits de valorisation ou pas (la participation étant une variable de simulation) ; chacun des autres producteurs (dont 3 STEPs et 2 plateformes de broyages de déchets verts ; chacune des parcelles ou îlots (groupe de parcelles appartenant à un exploitant) agricoles ; et chacune des installations de transformation, existante ou imaginée. La modélisation du procédé de compostage au sein de ces dernières est conforme à celle employée dans l'outil base de données de la transformation (Action 2). L'ensemble des propriétés d'intérêt (incl. temporels) est renseigné par classe, ou par instance ou lien spécifique si l'information le permet (e.g. taille de parcelle, d'élevage, de la fosse de stockage, distance et temps de transport entre instances) ou si le modèle le requiert (e.g. variation de la date de fertilisation au sein de la fenêtre temporelle propre à une classe de parcelles/culture). Les données des actions 1 et 2 ont à cette fin été intégrées au sein du modèle. D'autres ont dû être élaborées, tel le temps de transport, à partir d'une analyse de réseau sous SIG. Les échanges de matière se réalisent au sein du modèle sur la base de demandes émises soit par un fournisseur soit par un récepteur, dont l'acceptation dépend de la disponibilité.

UPUTUC a été livré en octobre 2013. Son interface (Figure 9) permet son utilisation par les partenaires (à condition de le rendre indépendant de la plateforme AnyLogic). Les graphiques indiquent l'évolution d'une sélection de stocks au cours de la simulation. L'évolution de toute entité individuelle peut être suivie au cours de la simulation, au travers de la carte interactive par exemple. L'outil a permis de confirmer le bon fonctionnement tant de l'approvisionnement des UT que de l'écoulement de leur production sous certaines hypothèses, ainsi que l'absence de conflit avec les voies d'écoulement des résidus restant en dehors des circuits co-construits. Il a fourni des informations utiles à l'évaluation économique (temps et distances de transport notamment) et à l'évaluation environnementale (transport, volumes de matières compostées et épandues, la localisation de ces épandages, etc.).

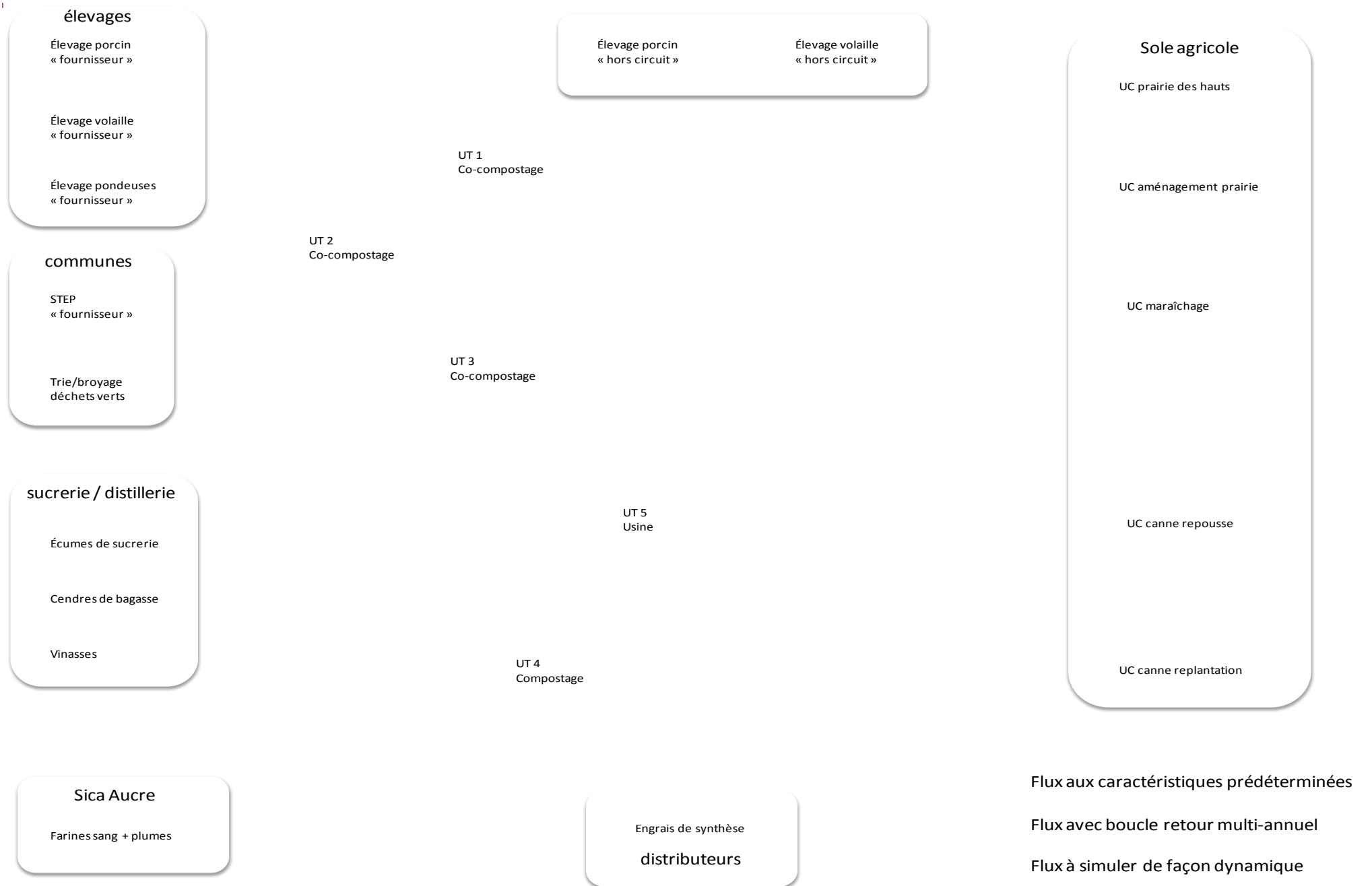


Figure 8 Les entités du modèle conceptuel

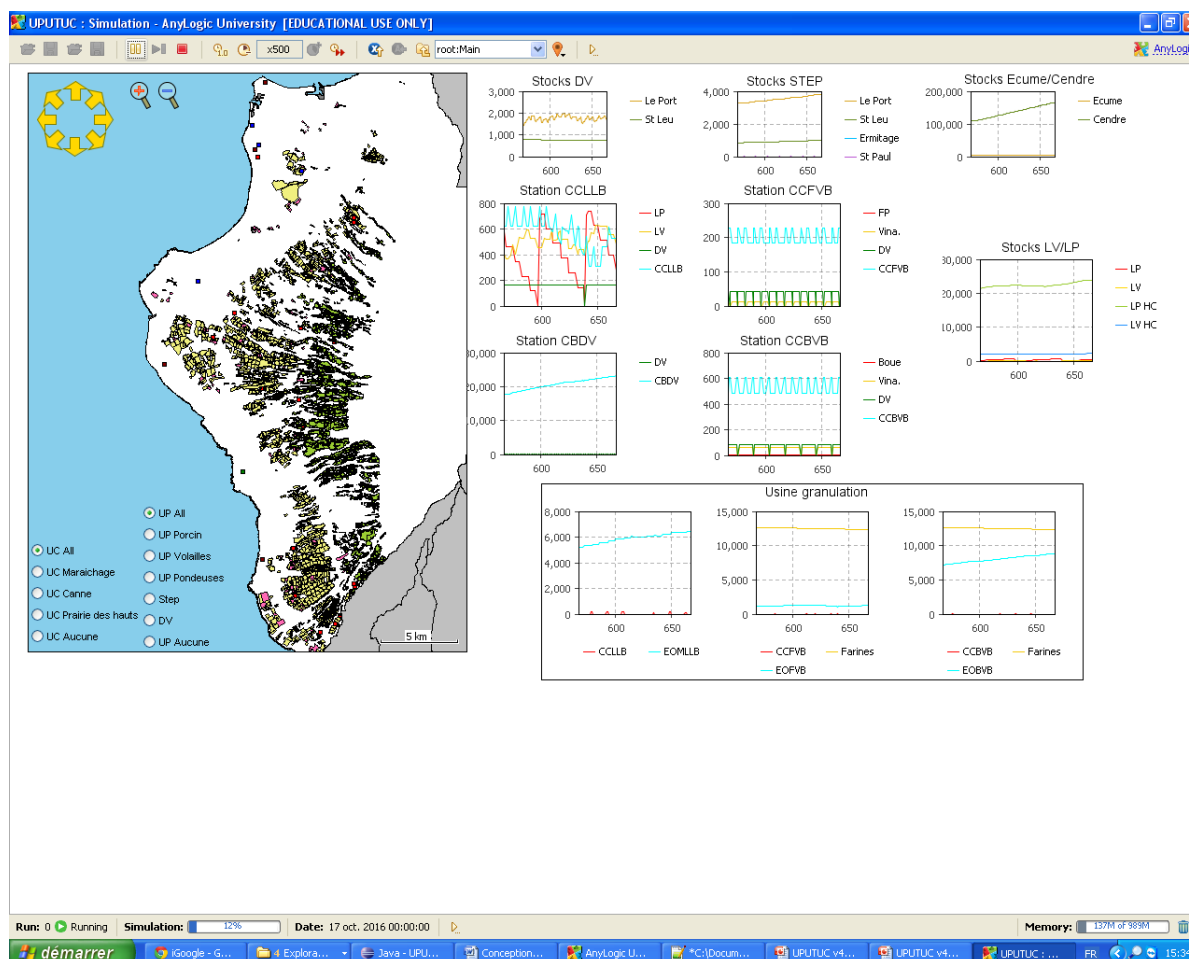


Figure 9 La fenêtre de suivi de simulation du modèle UPUTUC

6 – « Externalités » du dispositif participatif

Parallèlement au projet, plusieurs actions ont été conduites en marge du projet qui mettent en évidence des synergies entre les différents groupes cibles. Ces événements ne doivent en aucun cas être considérés comme des conséquences des activités initiées mais seulement comme des indicateurs qualitatifs de la capacité du système socio-écologique appréhendé à améliorer la gestion des matières organiques au niveau du territoire :

- En Mai 2011, une série de réunions à été menée pour améliorer le contrôle qualité de la collecte des déchets verts en porte à porte, identifiée comme un point bloquant. A compter de cette date, les agents du TCO ont significativement amélioré le process industriel de la station de compostage du Port ;
- En Septembre 2011, le TCO s'est entendu avec la société Tereos qui assure la coordination de la récolte de canne à sucre pour mettre à disposition sur ses infrastructures des quantités importantes de compost à destination des planteurs de canne. Cette opération – finalement pas maintenue dans la durée – a permis de désengorger la station de compostage mais a créé un comportement opportuniste de la part des planteurs ;
- En Février 2012, plusieurs acteurs institutionnels se concertent pour formuler une réponse à l'enquête d'opinion publique de la norme NFU 44-051. Des experts de la Chambre d'agriculture, du Conseil Général, du Cirad et de la société Tereos définissent une position commune vis à vis du problème des seuils réglementaires de Nickel et de Chrome de cette norme, identifiés comme un autre point bloquant. Cette initiative a abouti par l'acceptation de la modification proposée au second semestre 2014 ;
- En 2013, en vue de la préparation du prochain Plan de Développement Rural de la Réunion, deux agents de la DAAF incluent d'une part des propositions de Mesures Agri-Environnementales subventionnant

l'utilisation de produits fertilisants organiques normés – sur la base de requêtes formulées par des professionnels (Téréos, CA, ...) – d'autre part des mesures de subvention à l'investissement pour des installations collectives de traitement de déchets organiques ;

- En 2014, le pôle de compétitivité Qualitropic initie une réflexion stratégique autour de la production de « bio-fertilisants » qui reprend les grandes lignes du projet Girovar.

Indicateurs de réalisation

3a*	8 Comptes rendus détaillés des 5 ateliers participatifs et des 3 comités de pilotage/comités techniques
3b	10 fiches « portrait-robot » de produits
3c	1 rapport de stage de fin d'étude d'ingénieur agronome (Jouan) présentant la co-construction du circuit « engrais solide » ; document technique de ce circuit ; les comptes-rendu des réunions des groupes de travail
3d	Le Jeu de rôle « Fetaferti » permettant de simuler avec les acteurs réels le fonctionnement d'un circuit
3e	Le modèle informatique multi-agent UPUTUC, version 49 ; document de conception détaillé d'UPUTUC ; document technique d'UPUTUC

* Code du dossier en ligne contenant les documents

Action 4 : Evaluation des scénarios

Rappel des Objectifs

Cette action visait à produire une évaluation pertinente des scénarios co-construits au cours de l'action 3 (4 scénarios – dénommés « tendanciel », « minimal », « optimal » et « optimal plus » – présentés dans la section IV ci-après). L'idée n'était pas ici d'établir un classement des différents scénarios mais de mieux comprendre comment ces scénarios pourraient être mis en œuvre, quels freins, moteurs, enjeux et risques y sont associés.

Organisation mise en place

Pour atteindre ce résultat, le principe a consisté à conduire en parallèle des évaluations disciplinaires qui ont ensuite été intégrées au processus de co-construction, à l'occasion d'un ultime atelier participatif. Du fait des compétences des participants, importantes en nombre et en diversité, un grand nombre d'aspects dans l'ensemble de ces dimensions d'évaluation ont finalement été considérés directement au cours des étapes de co-construction de l'action 3. Cela a fortement influencé les choix au cours de ce processus dont le résultat, les scénarios, étaient donc déjà quelque peu consolidés. Il s'agissait dans cette action 4 de porter un regard aussi extérieur et indépendant que possible sur ces scénarios pour s'assurer de l'exhaustivité de ces considérations et d'apporter les compléments requis. Cela a porté sur les dimensions suivantes :

- 4a. Le fonctionnement logistique de la gestion des résidus au sein du territoire
- 4b. l'évaluation économique et réglementaire des circuits envisagés
- 4c. l'acceptabilité sociale
- 4d. l'évaluation environnementale
- 4e. la validation technique

Le compte rendu intermédiaire 2011 faisait état d'un décalage dans le démarrage des tâches d'évaluation de cette action (4a à 4d) dû au retard dans la réalisation de certaines tâches des actions 1 et 2 ainsi qu'à l'avancement très progressif dans la co-construction de scénarios. Une situation similaire a été observée en 2012. L'élaboration des circuits (voir action 3) ne s'est terminée qu'au bout du premier semestre et la représentation de scénarios (i.e. le fonctionnement conjoint des circuits au sein du territoire) s'est révélée d'une telle complexité qu'un effort plus important que prévu a été mis sur l'élaboration d'un modèle de simulation (voir Action 3). Une activité de recherche et d'adaptation de modèles de simulation avait bien démarrée en 2011, mais elle a débouché sur la conclusion que le développement d'un nouvel outil informatique était nécessaire. Réalisé par le Cirad, cette activité a démarré en milieu d'année 2012, accompagnée d'un important travail portant sur la base de données censée alimenter un tel modèle. La réalisation d'une version complète et opérationnelle a pris un an.

Les activités d'évaluation qui nécessitaient, à des degrés variables, des informations en provenance de cet outil informatique (4 a, b et d) ont été retardées par ce délai. L'étude 4b a été sous-traitée par le TCO. L'appel d'offre a été rédigé dès que possible (voir le Cahier de Clauses Particulières du TCO) et le marché a pu être attribué au mois de mai 2013. Cette étude de viabilité, i.e. l'information manquante la plus cruciale pour la consolidation des scénarios et leur réalisation future, a pu être terminée au tout début 2014 permettant ainsi la considération des résultats dans le dernier atelier. Si les autres dimensions étaient à ce stade suffisamment avancées pour s'exprimer de manière pertinente sur les principaux risques et/ou bénéfices que les scénarios pourraient induire, cette appréciation restait encore largement qualitative.

L'évaluation environnementale (4d) fait l'objet d'une thèse de doctorat co-financée par le Cirad et l'Ademe. Bien que cette thèse soit actuellement dans sa troisième année, elle n'a pas encore produit tous les résultats souhaités. Plus qu'au délai dans le développement du modèle cité ci-dessus, cela est imputable à la réalisation d'un important travail conceptuel en amont de l'évaluation proprement dite. Un tel travail s'est révélé nécessaire afin de s'assurer de produire des informations pertinentes dans le contexte participatif donné.

La mise en place des activités de validation technique a également connu un retard important. Le démarrage effectif des suivis agronomiques a d'abord été retardé par les nombreuses difficultés rencontrées dans l'action

4e, les essais de transformation. Au vu de cette situation le CIRAD a embauché sous contrat de professionnalisation, de novembre 2012 à août 2013, un stagiaire de l'EPLEFPA en licence, afin d'épauler les partenaires ACES et EPLEFPA dans la mise en place de ces activités respectives. L'essai de transformation finalement pu être mis en place qu'au mois de décembre 2012 et a été achevé au mois d'avril 2013. Un stage de niveau Mastère encadrée par le partenaire EPLEFPA a entretemps permis de préparer la mise en place des suivis agronomiques. S'il était au cours du projet apparu souhaitable de mettre en place des essais de suivi agronomiques auprès d'agriculteurs de la zone, cela a ensuite dû être abandonné pour un ensemble de raisons et malgré de considérables efforts de l'équipe projet. Nous nous sommes donc limités à des essais mis en place par le Cirad (août 2013) et l'exploitation de l'EPLEFPA (avril 2014). Ces essais ne sont actuellement pas encore terminés, mais ils seront menés à leur terme et des visites organisés depuis leur mis en place ont permis de contribuer à la restitution (voir section V). Les résultats quantitatifs ne pourront toutefois pas remplir la fonction de validation dans le cadre du processus de co-construction telle qu'initialement prévu.

Méthodes et résultats obtenus

4a. Evaluation logistique des scénarios de gestion territoriale

Le développement précédemment décrit du modèle UPUTUC à largement servi cette évaluation. La version complète et opérationnelle livrée en octobre 2013 démontre que l'ensemble des activités du projet avait à ce moment-là consolidé les scénarios à un point que l'approvisionnement des UT leur permette de correctement fonctionner sans qu'aucun producteur de résidus ne soit confronté à une accumulation inacceptable de ces stocks (hormis les boues de STEP, même sous le scénario « Optimal Plus » - voir section IV ; séchées sous serre, leur valorisation énergétique est à l'étude). Les plans d'épandage des effluents hors circuits sont respectés. Les écumes et même une part du compost de déchets verts restant seraient valorisés sur canne à sucre à la plantation. Sous des hypothèses jugées raisonnables de prix relatif et de préférence, les productions des UT des scénarios optimaux s'écouleraient quasi exclusivement sur maraîchage et canne à sucre. La production reste insuffisante pour honorer toutes les demandes et la substitution de l'engrais minéral n'est que partielle, pour des raisons de préférence et de l'offre. L'utilisation directe par les UC du co-compost Lisier de porc – Litière de volaille – Broyat de déchets verts (Lp-Lv-Bdv, i.e. le fertilisant initialement désigné par « engrais solide ») ne concernerait par contre qu'une faible part de la production de l'installation correspondante. Sans problème dans le scénario optimal (l'excédent étant acheminé comme « base organique » à l'usine de granulation), cela suppose une valorisation en dehors du TCO dans le cas du scénario minimal. Si cela semble réaliste à l'heure actuelle (e.g. la zone maraîchère de Saint Pierre pourrait être un marché cible), il est possible que l'émergence ailleurs de productions semblables de co-compost normé induise un problème d'écoulement. Le soutien, à l'échelle de l'île, de l'épandage mécanisé par des épandeurs dits « à fumier » sur canne à sucre semble en mesure de durablement « viabiliser » un scénario qui resterait minimal.

UPUTUC simule explicitement le service d'approvisionnement et de livraison de l'UT produisant le co-compost Lp-Lv-Bdv. Avec une flotte de 4 camions benne et un camion-citerne, ce service serait en mesure de respecter les contraintes des UP et de l'UT. L'appel à un service de livraison de la part des UC, faible dans le modèle, reste difficile à anticiper.

4b. Evaluation économique et réglementaire

L'évaluation économique et réglementaire réalisée entre mai 2013 et juin 2014 a porté sur les produits suivants :

1. fertilisant organique, initialement appelé « engrais solide » répondant à la norme NFU 44-051 (mais avec des concentrations en nutriments plus importantes que le compost de déchets verts et que l'écume de sucrerie) ;
2. les bases organiques pour l'usine d'engrais, à base de fiente de poules pondeuses, vinasse de distillerie et de broyat de déchets verts – FvVBdv, normé NFU 44-051 – et à base de boues de STEP, vinasse de distillerie et de broyat de déchets verts – BVBdv, normé NFU 44-095 ;
3. engrais « granule » ou « manuel » répondant à la norme NFU 42-001 engrais organique ou engrais organo-minéral ;
4. engrais organique utilisant des boues (hypothèse où la législation l'autoriserait).

Cette évaluation a consisté à déterminer :

- La conformité des orientations techniques et logistiques avec les réglementations ;
- Les possibilités et les impératifs juridiques en matière de portage ;
- Les investissements nécessaires et les conditions de rentabilité des différentes unités de transformation nécessaires à la production des produits susmentionnés selon le scénario retenu. La rentabilité des exploitations dépend fortement des hypothèses de prix de vente, de subvention et de redevance de traitement. Un simulateur a été développé par le bureau d'études Girus qui permet d'explorer les différentes combinaisons permettant cette rentabilité.

Concernant les orientations techniques et logistiques retenues, l'évaluation les valide dans l'ensemble. Aucune orientation n'est remise en cause.

Sur le plan réglementaire et pratique, il apparaît pertinent d'intéresser sous une forme ou sous une autre les producteurs de matières organiques aux résultats des UT pour sécuriser l'approvisionnement en matière des unités de transformation. Un GIE, une coopérative, une SEM, une SCIC ou une SCOP apparaissent comme des solutions plausibles.

Concernant le portage du projet, celui-ci doit être privé. La collectivité territoriale qu'est le TCO ne peut en l'état porter le projet car ses compétences statutaires ne s'étendent pas à la gestion de déchets privés. L'hypothèse d'une modification des statuts du TCO poserait la question de l'atteinte à la liberté de commerce et d'industrie. Néanmoins, la qualification de service « rattaché à la compétence traitement du TCO » pourrait être acquise pour le scénario optimal, qui fait apparaître un apport en tonnage du TCO supérieur à 50% dans le dimensionnement du projet.

Plusieurs montages sont dès lors envisageables selon la façon dont est considérée l'activité de la filière :

- Activité d'intérêt général sans qu'il y ait de prestation de service => convention d'objectif avec une association, un appel à projet est envisageable.
- Activité purement privée : le TCO peut mettre du foncier à disposition d'une entité propre avec convention d'occupation du domaine public sans mise en concurrence. L'organisation de producteurs serait signataire de la convention et aurait en charge la réalisation de l'ouvrage UT1, son exploitation et l'organisation du transport du producteur vers l'installation et de l'installation vers les UT2. Le traitement des déchets verts du TCO est possible si soumis à la mise en concurrence, excepté si le mode de traitement peut être considéré comme unique ou qu'aucune transaction financière n'est réalisée (mise à disposition des déchets).
- Activité rattachée au service public de traitement si carence de l'initiative privée : le(s) projet(s) d'installations pourront être pris en charge par le TCO.

Sur le plan économique, suite à l'évaluation du bureau d'études l'équipe projet a retenu les bases de travail suivantes comme figées :

- Investissements subventionnés à hauteur de 50% (hors foncier et matériel roulant) et financés de la façon suivante
 - Foncier : 5% sur 30 ans (nul dans la modélisation retenue, mis à disposition)
 - Etudes : 5% sur 20 ans
 - VRD et bâtiment : 5% sur 20 ans
 - Process : 5% sur 10 ans
 - Matériel roulant : 5% sur 10 ans
- Coûts d'acquisition d'intrants (charges)
 - Urée (azote) : 500€/t
 - Phosphate Supertriple (phosphore) : 530€/t
 - Chlorure de potassium (potassium) : 480€/t
- Quantités produites et écoulées
 - Amendement organique (Ao) : 6000t produites et vendues par an ;
 - Engrais organique (Eo) : 1932t produites et vendues par an ;
 - Engrais organo-minéral (Eom) : 6766t produites et vendues par an ;
 - Engrais organique avec boues (EoBo) : 4647t produites et vendues par an ;

Tableau 4 Les unités de transformation et les investissements évalués

Unités de transformation	Investissements basique	Investissements avancés (variante)
UT1-LvLpBdv (Ao à partir de litière de volaille, de lisier de porc et de broyat de déchets verts)	3 033 894€	9 841 842€
UT1-FvBdv (Ao à partir de fientes de volailles et de broyat de déchets verts)	740 031€	2 846 875€
UT1-BoVBdv (Ao à partir de boues de STEP, de vinasses et de broyat de déchets verts), installation considérée comme existante		546 158€
UT2-Eom		6 882 150€
UT2-Eo		3 528 805€
UT2-EoBo		6 873 232€

Parallèlement à ces charges considérées comme fixes, l'atelier 5 « Mise en œuvre » a effectué un travail en deux sous-groupes visant à explorer le domaine de rentabilité des stations de transformation en faisant jouer les paramètres susceptibles d'évolution (e.g. prix de vente des produits et redevances de traitement et de transport). Les résultats de cet atelier ont ensuite fait l'objet d'une enquête complémentaire menée auprès d'un échantillon de 20 éleveurs de volaille et de 42 agriculteurs pour estimer leur acceptation des produits et hypothèses proposés :

- Prix de vente des produits (recettes) :
 - Amendement organique (Ao), 6000t produites et vendues par an
 - Engrais organique (Eo) 1932t produites et vendues par an
 - Engrais organo-minéral (Eom) 6766t produites et vendues par an
 - Engrais organique avec boues (EoBo) 4647t produites et vendues par an
- Redevances de traitement et de transport (recettes) :
 - Litières de volailles
 - Lisier de porc
 - Fientes de poules pondeuses
 - Broyat de déchets verts
 - Boues de STEP
 - Vinasse

A noter les détails des mesures FEDER et FEADER n'étant pas encore validés (mi-2014) par la Commission Européenne, des hypothèses sont formulées sur les taux de subvention potentiels de ces installations. Après concertation, le taux de subvention estimé est de 50% pour les unités de granulation et de 75% pour les unités de co-compostage.

L'acceptabilité des redevances de traitement par les producteurs de matière organiques est difficile à estimer. Pour les déchets verts et les boues de STEP, les hypothèses formulées sont celle d'un maintien des redevances payées actuellement, soit 20€/t pour les broyats de déchets verts et 150€/t pour les boues de STEP. Concernant les effluents d'élevage, les premières études font le constat d'une réticence à payer pour la transformation des effluents mais pas pour le service d'enlèvement et de transport. Une redevance « enlèvement et transport compris » apparaît comme recevable. L'enquête menée auprès des éleveurs volaille confirme l'acceptabilité d'une redevance de 14€/t, transport compris pour les éleveurs ayant actuellement des difficultés à évacuer leurs litières.

La construction d'un prix de vente des produits organiques peut s'effectuer selon deux logiques : Soit en calculant le prix minimal permettant la rentabilité des exploitations, soit en calculant le prix maximal permettant de concurrencer l'utilisation d'engrais chimique. Les calculs produits se sont basés sur la situation la plus documentée qui est aussi le plus gros marché, à savoir la fertilisation annuelle de la canne à sucre en repousse.

Tableau 5 Echelles de prix estimées

Redevances de traitement	
Litière de volaille	14€/t transport compris
Lisier de porc	16 à 21€/t transport compris
Fientes de volaille	15€/t transport compris
Broyat de déchet vert	20€/t, transport à la charge du TCO
Prix d'achat des vinasses concentrées	0 à 15€/t
Prix d'achat des farines animales	0€/t
Taux de subvention des unités :	
Unité de co-compostage	75%, pas de plafond
Unité de granulation	50 à 75%, pas de plafond
Prix de vente des produits	
Co-compost Litière-Lisier-Broyat	25€/t
Engrais organo-minéral 7-5-12	280 à 380€/t rendu usine
Engrais organique 3-2-5	125 à 220€/t rendu usine

Evaluation économique du scénario minimal

La rentabilité de la station de co-compostage du scénario minimal semble facilement atteignable. Selon les hypothèses adoptées lors de l'atelier 5 « mise en œuvre », et même en intégrant un objectif de résultat de 15%, le prix de revient de ce co-compost est de 15€/t. L'enquête menée auprès des agriculteurs fait, elle, état d'un prix de vente variant entre 25 et 55€/t, les maraîchers notamment étant particulièrement intéressés par ce produit. L'analyse des recettes de cette station permet d'expliquer cette robustesse : La station perçoit des revenus de deux sources : La vente des produits finis et la redevance de traitement des déchets en entrée. Le modèle se base notamment sur une redevance de traitement des broyats de déchets verts de 168k€/an correspondant au traitement de 8500t/an de broyats de déchets verts.

Attention toutefois, les discussions ont porté sur la mise en place d'une unité dite « de base », avec fermentation en casiers bâchés, retournement mécanique (chargeur) et maturation en andains bâchés à l'air libre. Cette option technologique implique des distances au bâti supérieures à cause d'un risque de nuisance olfactive ponctuel. La construction d'un bâtiment à atmosphère confinée pour les phases de réception et de fermentation entraînerait des surcoûts conséquents. D'autre part, ce scénario fait l'hypothèse d'une exportation d'une partie des produits hors TCO qui n'a pas été étudiée.

Evaluation économique du scénario optimal

La rentabilité de l'unité de granulation du scénario optimal est plus difficile à atteindre. Des hypothèses permettant d'équilibrer les comptes de la station aboutissent à des solutions de fertilisation de l'ordre de 900€/ha rendu bord de champ aux planteurs de canne. Le maintien strict de prix de fertilisation de l'ordre de 600€/ha rendu bord de champ génère, lui un déficit de 400k€/an, en dépit d'un taux de subvention à l'investissement de 75%. L'enquête menée auprès des agriculteurs confirme un effet de seuil très marqué concernant le prix du produit : Si la grande majorité des agriculteurs préfère un engrais organique produit localement à un produit chimique importé, le prix reste le premier critère de choix de l'engrais.

L'analyse des charges de cette station met en évidence le prix élevé de la complémentation chimique qui contribue à hauteur de 190€/t au coût de revient de l'engrais EOM. L'apport massif de compléments chimique est nécessaire pour produire des engrais organo-minéraux avec des teneurs de l'ordre de 7-5-12. Cette teneur permet d'envisager un plan de fertilisation basé sur l'épandage manuel sur canne à sucre en repousse de 2t/ha de cet engrais. La chaîne de production de l'engrais organique EO, elle, est proche de la rentabilité : Sa plus faible dépendance aux compléments chimiques permet d'envisager un équilibre financier à l'aide de subventions plausibles : 75% de subventions à l'investissement, un objectif de résultat de 5% et une aide à la surface de l'ordre de 120€/ha permettant d'abaisser le prix de vente de 30€/t.

Ce scénario doit donc être revu pour améliorer la rentabilité des unités de granulation :

1. L'abandon de la formule d'engrais organo-minéral concentré applicable à une dose de 2t/ha au profit de formules moins concentrées mais économiquement plus viable, à épandre mécaniquement ;
2. L'élargissement du bassin d'approvisionnement et de chalandise qui permettrait d'augmenter les volumes produits pour un même investissement, ce qui permet de réduire les charges fixes et de baisser les coûts de production ;
3. Des subventions à l'investissement et surtout à l'utilisation d'engrais organiques permettrait de rendre ces derniers plus compétitifs ;
4. Une hausse des engrais chimiques importés, qu'elle soit liée à une augmentation des cours mondiaux et/ou à une taxation écologique rendrait ces solutions plus attractives.

4c. Acceptabilité sociale

L'évaluation de l'acceptabilité sociale des scénarios produits dans le cadre du projet Girovar s'est concentrée sur deux groupes d'acteurs dont la participation est jugée critique : Les éleveurs de volaille et les agriculteurs. Il n'a pas été possible de produire une évaluation de l'acceptabilité sociale des riverains faute de localisation précise des installations. Enfin, il n'a pas été pertinent d'investir dans une étude à l'échelle de l'ensemble des habitants du TCO.

Au niveau des éleveurs de volaille, deux enquêtes menées en 2010 et 2014 après de la quasi-totalité de ces éleveurs sur les pratiques d'évacuation des litières de volaille nous permettent d'identifier les raisons qui pourraient inciter ces éleveurs à adhérer aux filières imaginées et les conditions nécessaires à cette adhésion. Les litières sont traditionnellement évacuées vers des agriculteurs riverains et utilisées principalement en maraichage. La valorisation directe des litières reste la solution préférentielle des éleveurs et 80% d'entre eux sont satisfaits de la situation actuelle. Toutefois, la contrainte administrative du plan d'épandage et des problèmes récurrents d'organisation amène certains éleveurs à préférer l'autonomie (45%) ou le recours à un prestataire (25%) pour l'évacuation des litières. Interrogés sur leurs craintes, 50% redoutent de perdre leur plan d'épandage et 40% redoutent un durcissement réglementaire. Le service proposé de collecte et de traitement des litières est donc d'abord perçu comme une solution de repli pour les éleveurs en difficulté et ne disposant pas de surfaces d'épandage propres. La dernière enquête estime que 30% des éleveurs (1500t/an) sont en attente d'une telle solution et pourraient être rejoints par 20% supplémentaires (1500t/an). L'autre moitié de l'échantillon regroupe des éleveurs ayant de faibles productions et des solutions d'évacuation d'effluents bien organisées et stables dans le temps (1000t/an). Une facturation de l'ordre de 15€/t semble acceptable pour les éleveurs intéressés.

Les conditions nécessaires pour garantir l'adhésion des éleveurs sont de deux ordres : (i) la prise en compte des contraintes de l'activité d'élevage par le service de collecte : L'enlèvement doit impérativement intervenir dans les 48h suivant le départ des volailles du bâtiment et respecter des normes sanitaires strictes et (ii) la reconnaissance de la valeur ajoutée à la litière par le passage dans le bâtiment d'élevage. Ils considèrent en effet que la transformation des copeaux, utilisés en litière, en fumier enrichit cette matière en éléments fertilisants. Cette valeur ajoutée par l'activité d'élevage à la ressource initiale doit être reconnue en dépit du statut réglementaire de l'effluent. S'ils sont prêts à payer une prestation de transport et – pour certains – des frais de traitements, ils souhaitent une contrepartie qui peut prendre plusieurs formes : une aide à l'achat des copeaux, une réduction sur le prix d'achat du produit final ou un droit à un quota de produit similaire au quota d'écume des planteurs de canne.

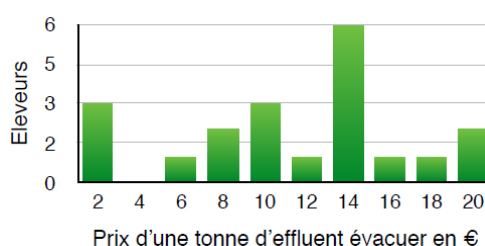


Figure 10 Consentement des éleveurs à payer

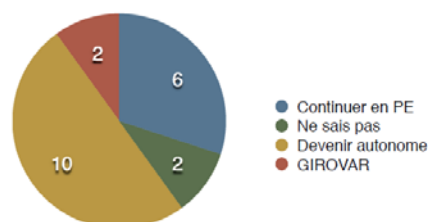


Figure 11 Perception de l'évacuation dans un avenir proche

Au niveau des agriculteurs, 4 enquêtes menées de 2011 à 2014 auprès de planteurs de canne, de maraîchers et d'éleveurs bovins (cultivant des prairies) permettent également d'identifier les raisons qui pourraient pousser

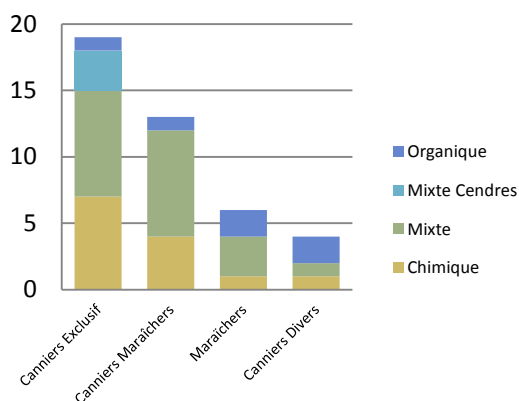


Figure 12 Pratiques de fertilisation en 2014

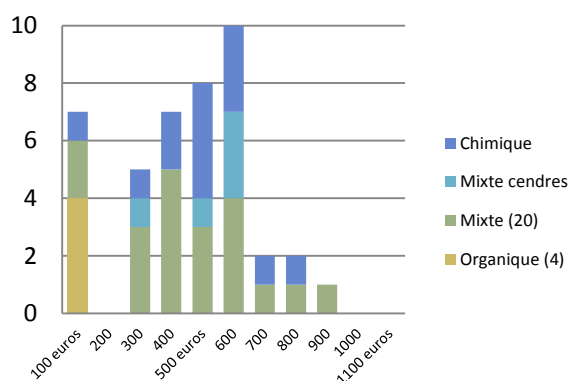


Figure 13 Dépenses de fertilisation déclarées en 2014 (/ha/an)

des professionnels à adopter l'utilisation de fertilisants organiques et les conditions nécessaires à cette adhésion. Au niveau des pratiques, la distinction entre canniers et maraîchers est ambiguë. Si les pratiques culturales sont très différentes, environ 50% des planteurs de canne déclarent une diversification à objectif rémunérateur et 25% déclarent pratiquer un maraichage vivrier. Sur cette population, seuls 30% des agriculteurs déclarent pratiquer une fertilisation exclusivement chimique, les autres ayant recours – surtout pour les ateliers maraichers – à diverses matières organiques : Ecume, compost, fumiers et lisiers.

Au sein de cette population, les avantages des fertilisants organiques sont appréciés. Ils amélioreraient le rendement (48 citations), seraient bénéfiques pour le sol (12) et préserveraient l'humidité (9) mais leur épandage est une contrainte importante (18 citations). L'usage de matières organique nécessite de l'eau (3), pose des problèmes d'odeur (7) et d'adventices (7) mais le principal frein à leur utilisation sont les difficultés d'approvisionnement (29 citations). Moins de la moitié des agriculteurs bénéficie d'un plan d'épandage, solution qui ne garantit pas un approvisionnement régulier, le respect de ces plans restant parfois aléatoire. Si aucun éleveur ne vend ses litières, 17% des agriculteurs achètent ces matières organiques et 12% les obtiennent dans le cadre d'un système d'entraide. Fait intéressant, 21% des agriculteurs suggère la mise en place d'une station de compostage de déchets verts dans les Hauts pour améliorer l'approvisionnement en amendement.

Interrogés sur la fertilisation idéale et leurs perspectives, aucun agriculteur ne considère une fertilisation 100% chimique comme étant idéale. 47% considèrent une fertilisation entièrement organique comme la situation idéale et 33% envisage de la mettre en œuvre progressivement à l'horizon 2020. Le principe de la fertilisation organique jouit donc d'une excellente acceptation auprès des agriculteurs du TCO enquêtés.

Au-delà du principe, deux conditions doivent être remplies pour que les agriculteurs adhèrent aux filières étudiées. Le prix de vente des produits est sans surprise le premier argument cité pour l'acceptation des engrais organiques en granule ou pellets. En dépit de leur intérêt, les agriculteurs ne se déclarent pas prêts à acheter un fertilisant plus cher que son équivalent chimique (prix rendu racine). 50% des agriculteurs sont prêts à utiliser des engrais organiques en granule à un prix de 150€/t, notamment si une MAE finance le surcoût. 45% seraient intéressés à un prix de 100€/t si des essais agronomiques démontraient l'efficacité du produit. Concernant le nouveau co-compost Lp-Lv-Bdv, le marché se caractérise par un net déficit d'offre. Le produit serait apprécié car normé (7 citations), pérenne (7 citations), et permettant un gain de temps car directement prêt à l'emploi (8 citations). En bref ce co-compost présenterait moins d'inconvénients que les résidus organiques bruts avec un prix d'achat recevable et une concentration intéressante, mais son utilisation dépend de son épandabilité (9 citation). Le prix suggéré de 25€/t (rendu station) est accepté par 70% de l'échantillon, 14% acceptant même un prix supérieur à 40€/t. Les résultats de cette enquête ont été extrapolés à l'ensemble de la surface du TCO sous l'hypothèse de représentativité de l'échantillon (Tableau 6 et Tableau 7).

Tableau 6 Extrapolation de la demande en fertilisant de type co-compost Lp-Lv-Bdv

Très intéressé	Moyennement	Pas intéressé	Total
----------------	-------------	---------------	-------

Estimation de surface en CAS sur le TCO	1648 ha (43%)	1815 ha (48%)	334 ha (9%)	3800ha
Estimation de surface en maraichage sur le TCO	171 ha (67%)	75 ha (29%)	11 ha (4%)	257ha
Estimation basse (replantation et maraichage uniquement, fertilisation mixte 50%)	2520t/an	1920t/an	-	4440t/an
Estimation haute (100% sur maraichage et replantation, mixte et en repousse)	16162t/an	19095t	-	35257t/an

Tableau 7 Extrapolation de la demande en engrais organique en granules (hors prairie)

	Très intéressé	Moyennement	Pas intéressé	total
Estimation de surface en CAS sur le TCO	1649ha (43%)	2051ha (54%)	99ha (3%)	3800ha
Estimation de surface en maraichage	150ha (59%)	91ha (35%)	16ha (6%)	257ha
Hypothèse basse (ferti mixte)	3598t/an	4284t/an		7882t/an
Hypothèse haute, (50% ferti org, 50% ferti mixte).	5397t/an	6426t/an		11832t/an

4d. Evaluation environnementale

Comme mentionné dans les rapports annuels, le développement d'une méthodologie d'évaluation environnementale fait l'objet d'une thèse de doctorat démarrée au mois de décembre 2011. Ce travail a débouché sur la définition d'un cadre conceptuel et une proposition méthodologique correspondante, s'appuyant pour partie sur l'outil de simulation UPUTUC précédemment mentionné. La conceptualisation de l'environnement et la méthodologie d'identification et d'appréciation de conséquences environnementales d'intérêt se veut générique pour tout type d'action territoriale coopérative (qui relève de ce qui s'appelle la « symbiose industrielle » dans le domaine de l'écologie industrielle). Ce travail a été valorisé par une communication internationale, un chapitre d'ouvrage et un article de revue à facteur d'impact.

Appliquée à GIROVAR, cette méthode a permis d'identifier des phénomènes d'intérêt dans trois types d'environnement. Les phénomènes d'intérêt qu'il convient d'apprécier pour les scénarios de ce projet dans l'environnement dit « métabolique » (concernant des composants de l'environnement qui constituent un facteur de production et dont la modification comporte donc le risque d'un effet retour sur l'économie) sont l'évolution de la fertilité du sol et le risque du transfert de contaminants sol-plante à conséquence commerciale (concernant dans ce cas en particulier le sucre). Les phénomènes d'intérêt retenus pour l'environnement dit « de la population » (affectant le bien-être de la population du territoire) sont l'exposition aux nuisances olfactives du compostage et de l'épandage, l'exposition au bruit d'engins et camions, la présence de polluants dans les aliments produits et consommés localement, la pollution de l'eau potable et les impacts visuels dans le paysage. Ceux de l'environnement dit « global » (concernant des impacts sur des réservoirs globaux et des effets indirects sur des territoires distants) sont la contribution au changement climatique et à l'épuisement des ressources non renouvelables. Bien que l'estimation d'indicateurs de ces effets est pour partie encore en cours, les indications dont nous disposons actuellement ont permis de réaliser une appréciation indicative, présentée dans le Tableau 8. L'évaluation de ces indications emmène au bilan qualitatif présenté dans le Tableau 9. On constate que pour plusieurs phénomènes les processus qui l'affectent ont des effets contraires, entraînant un bilan proche de neutre ou faiblement positif. Pour l'ensemble des phénomènes l'ampleur des effets attendus est faiblement positive ou insignifiant.

L'appréciation du devenir des contaminants présents dans les résidus bruts, éléments trace métallique (ETM) ou contaminants trace organique (CTO), ont fait l'objet de modélisations biophysiques. Les travaux portant sur le devenir des ETM pouvaient pour cela s'appuyer sur des données expérimentales locales. Les résultats de ces travaux, valorisés par plusieurs communications internationales et consignés dans trois rapports de stage, montrent que l'apport d'ETM au travers l'apport de fertilisants organiques (effluents bruts et produits utilisés au sein du territoire et les produits théoriques) ne constitue ni un risque de transfert de contaminants sol-plante, ni un risque de pollution d'eau potable. Bien que fort peu mobile dans le sol, la modélisation suggère que l'accumulation d'éléments dans les sols réunionnais qui en résulte n'affectera pas négativement la fertilité, même à long terme. Sous l'hypothèse forte qu'un seul produit soit utilisé tous les ans, parmi les produits issus des nouveaux circuits seule l'utilisation du co-compost à base de lisier de porc, de litière de volaille et de broyat de déchets verts en maraîchage entraînerait l'augmentation sensible d'un ETM, le zinc (Figure 14). La couche de surface d'un sol réunionnais à concentration moyenne (220 mg Zn/kg de sol sec) atteindrait ainsi à un horizon de 100 ans le seuil réglementaire défini dans le cadre de l'épandage de boues de STEP (300 mg/kg de sol sec), qui ne constitue pas pour autant un niveau problématique sur le plan phytologique. L'étude de 17 pratiques, existantes ou nouvelles, montre que cette augmentation serait moins sensible pour le cuivre (un sol à teneur moyenne atteindrait au pire le niveau d'un sol à teneur estimée forte à un horizon de 80 ans), tandis que l'augmentation à 100 ans des teneurs en nickel, chrome et plomb resterait dans tous les cas inférieure à 10%.

Du fait du peu de connaissance disponible (en général, dans l'ensemble de la communauté scientifique), la modélisation du devenir des CTO reste plus fruste. Ce travail (débuté par un stage de master et valorisé par une publication soumise à une revue de rang A) démontre que ces contaminants, présents en plus grand nombre dans les boues de STEP que dans les effluents d'élevage, mais pas en plus forte concentration, seraient très majoritairement fortement dégradés lors d'un éventuel compostage et après apport au sol. L'accent étant mis sur la considération de l'incertitude, l'étude indique que dans des situations très défavorables (où un ensemble de facteurs se conjuguent) il ne peut être exclu que l'épandage d'effluents bruts et frais entraînerait une présence détectable de certains contaminants dans la canne à sucre. De la même manière on ne peut actuellement exclure que dans une situation très défavorable deux parmi les 27 contaminants étudiés (l'œstrogène synthétique et un retardateur de flamme), qui pourraient persister dans le produit issu de la transformation comprenant en entrée une part de boue de STEP, leur présence puisse être détectée dans la canne à sucre. Si ce point-là mériterait d'être approfondi expérimentalement, il semble exclu que les scénarios du projet entraînent un risque « CTO » pour la fertilité du sol ou pour la qualité de l'eau potable.

Tableau 8 Indication des conséquences environnementales d'intérêt des scénarios de GIROVAR

phénomène d'intérêt	scénario minimal	scénario optimal	scénario optimal+
L'exposition aux odeurs de compostage et d'épandage	<p><i>compostage</i> : l'option à plus faible coût d'investissement comporte un risque de nuisance, limitant les options de localisation</p> <p><i>épandage</i> : élimination de nuisances là où l'épandage d'effluents bruts est abandonné (substitution co-compost, ou engrais minéral par défaut d'accès aux effluents). Cela concerne par exemple 111 ha de canne à sucre sous plan d'épandage lisier de porc.</p>	<p><i>compostage</i> : l'option à plus faible coût d'investissement comporte un risque de nuisance, limitant les options de localisation</p> <p><i>épandage</i> : élimination de nuisances là où l'épandage d'effluents bruts est abandonné (substitution co-compost, EO, EOM, ou engrais minéral par défaut d'accès aux effluents)</p>	<p><i>compostage</i> : l'option à plus faible coût d'investissement comporte un risque de nuisance, limitant les options de localisation</p> <p><i>épandage</i> : élimination de nuisances là où l'épandage d'effluents bruts est abandonné (substitution co-compost, ou engrais minéral par défaut d'accès aux effluents). L'EO avec boues ne présente pas de risque grâce au compostage</p>
L'exposition au bruit dû aux transports	le service de collecte et livraison de la plateforme induira une augmentation faible, notable uniquement à proximité immédiate de la plateforme	idem scénario minimal	idem scénario minimal
La présence de polluants dans les légumes	le co-compost contiendra de faibles teneurs en antibiotiques, diminuant davantage après apport. Le passage de certains d'entre eux dans la plante n'est pas à exclure, mais : - a peu de chance d'être significatif/ détectable - est dans ce cas bien inférieur à la situation de référence (apport d'effluents bruts ou semi-compostés)	les EO et EOM contiendront des teneurs encore plus faibles d'antibiotiques et ont un plus grand potentiel de substitution d'engrais, mais aussi de fumier de volaille : si présent, la teneur d'antibiotiques dans les cultures devraient diminuer	idem scénario optimal+, car l'EOM avec boues n'irait que sur canne
La présence de polluants dans l'eau potable	le nitrate et peut-être certains antibiotiques sont concernés par le lessivage. Le co-compost en contiendra peu : une dose correcte ne devrait pas entraîner de lessivage et le peu d'antibiotique, si jamais il atteignait la nappe, ne sera pas détectable. La substitution d'effluents brutes (surtout liés aux plans d'épandage) devrait réduire ce possible transfert.	idem scénario minimal, avec une réduction plus marquée (des transferts de nitrate et d'antibiotiques actuels inconnus) à moyen terme, due à une réduction bien plus significative des plans d'épandage	idem scénario optimal, à part ce qui concerne les contaminants trace organique : L'apport d'EO avec boue sur canne pourrait entraîner le lessivage partiel de quelques CTO supplémentaires, mais dans la nappe avant captage cela sera dans l'absolu pas détectable et en relatif insignifiant par rapport à d'autres pollutions (provenant de assainissement individuel notamment)

L'impact visuel dans le paysage	dû aux nouveaux bâtiments, mais évitable par un effort de végétalisation	idem scénario minimal, plus usine d'engrais en zone industrielle	idem scénario optimal
Le bilan climatique lié aux émissions de GES	le calcul du bilan est en cours. Les émissions évitées ainsi que celles engendrées sont nombreuses et les incertitudes importantes. Il semble peu probable que le bilan s'améliore significativement	idem scénario minimal, avec toutefois une confiance accrue en un bilan positif du fait de la substitution plus significative d'engrais chimique	idem scénario optimal
Le changement dans la mobilisation de P, K, énergie fossile	la substitution de P et de K est faible due au faible volume de co-compost et du fait que celui-ci remplace en grande partie la litière de volaille en maraîchage. La consommation d'énergie fossile augmentera, que ce soit pour la motorisation thermique ou la génération d'électricité.	la substitution de P et de K d'origine minière sera bien plus significative que dans le scénario minimal. La concentration de vinasse et la granulation engendreront par contre également une consommation d'énergie bien supérieure. S'il s'agit là d'énergie fossile (ce qui n'est pas certain) cela pourrait en grande partie annuler l'économie que représente la substitution d'engrais azoté chimique.	par rapport au scénario optimal la substitution de P et de K et la consommation d'énergie augmenteraient encore davantage
L'évolution de la fertilité des sols	une estimation multi-facteur est en cours. En fonction de la régularité d'utilisation et de la pratique antécédente, une amélioration de la fertilité semble possible à court-moyen terme (est donc concerné le maraîcher qui n'avait auparavant pas accès à un fertilisant organique). Cette utilisation régulière produira à long terme une augmentation sensible d'ETM dans le sol, probablement sans affecter la fertilité.	l'amélioration de la fertilité à court-moyen terme restera limitée (au même cas), car l'utilisation des granules sur canne et prairie ne modifiera pas les propriétés physiques du sol. Leur utilisation a priori fréquente produira par contre une augmentation des teneurs d'ETM du sol à long terme, probablement sans affecter la fertilité.	idem scénario optimal. Le risque d'une accumulation à long terme de CTO dans le sol semble négligeable.
Le transfert de contaminants vers la plante	comme pour le maraîchage (voir phénomène d'intérêt ci-dessus), le passage de certains antibiotiques dans la canne à sucre n'est pas exclu. Si avéré, ce passage constituera une nette diminution de ce transfert en cas de substitution à un plan d'épandage.	idem scénario minimal. Les EO et EOM contiendront des teneurs encore plus faibles d'antibiotiques. Le transfert dans la canne ne devrait pas être détectable, contrairement au cas de l'épandage d'effluents bruts à laquelle cette pratique pourra se substituer.	idem scénario optimal, sauf que parmi le plus grand nombre de CTO présents dans l'engrais avec boue (qui n'est pas forcément la seule source), il n'est pas exclu que de rares substances soient transférées dans de rares cas de manière détectable dans la canne récoltée.

Tableau 9 bilan qualitative de l'évaluation environnementale

Phénomènes d'intérêt	scénario minimal	scénario optimal	scénario optimal+
L'exposition aux odeurs de compostage et d'épandage	- / +	- / +	- / +
L'exposition au bruit dû aux transports
La présence de polluants dans les légumes	+	+	+
La présence de polluants dans l'eau potable	+	+	...
L'impact visuel dans le paysage
Le bilan climatique lié aux émissions de GES	(...)	(+)	(+)
Le changement dans la mobilisation de ressources non-renouvelables	+ / -	++ / -	++ / -
L'évolution de la fertilité des sols	(+)	(+)	(+)
Le transfert de contaminants vers la plante	+	+	-

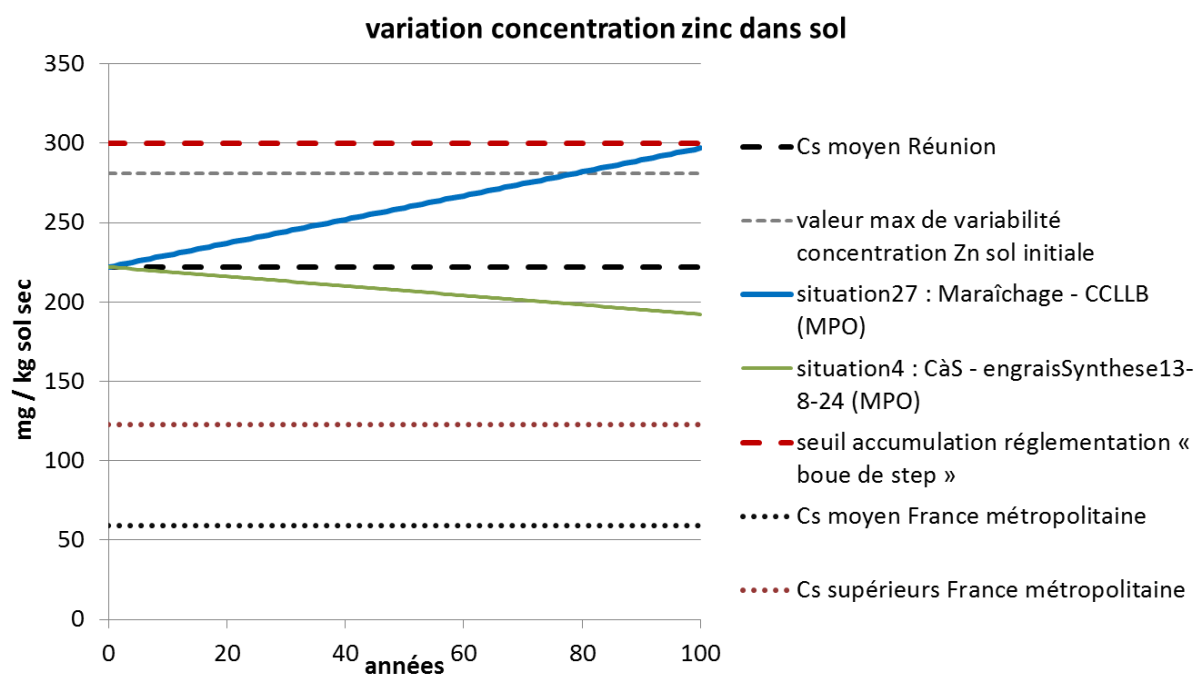


Figure 14 Simulation sur 100 ans de l'évolution de la teneur en zinc dans la couche de surface du sol

4e. Validation technique – essais de transformation

Au vu du temps prévu pour cette activité, encore réduit par le retard accumulé, il n'a pas été possible d'élaborer des échantillons des produits théoriques co-construit suivant l'itinéraire technique prévu pour les circuits respectifs. Un compromis a dû être trouvé entre les spécifications des circuits co-construits et les matières disponibles afin d'élaborer en peu de temps des matières « proches » de celles envisagées. Trois de ces produits fertilisants ont été simulés « au mieux » par un mélange de bases pré-compostées, leur maturation puis, pour deux d'entre eux, une complémentation minérale. Cette étape a servi à poursuivre/initier une activité concrète dans le cadre du projet, stimulant la participation à la démarche de co-construction, et surtout à produire un volume de matière suffisant pour des suivis agronomiques d'une certaine envergure. Bien que souhaitée, la production de matières semblables de tout point de vu aux produits théoriques a donc été considérée comme secondaire.

Au mois de décembre 2012 des mélanges de bases pré-compostées ont été réalisés et mis en andain pour maturation (avec suivis de température par sondes) sur le terrain d'une grande exploitation cannière du territoire d'étude (Figure 15). Couverts de bâches microporeuses (afin d'éviter une humectation par la pluie, permettant ainsi de gagner en concentration nutritionnelle par une perte d'eau résiduelle grâce au « redémarrage » du compostage du fait du mélange), deux andains étaient équipés de sondes thermiques à enregistrement automatique.



Figure 15 Elaboration au champ des co-composts expérimentaux

Le co-compost théorique à base de lisier de porc, litière de volaille et de broyat de déchets verts a été simulé par le mélange d'un compost de déchets verts non criblé (proportion 1/3) avec un co-compost réalisé par un professionnel, ailleurs sur l'île, à partir d'un mélange de 40% de lisier de porc, 40% de fientes de volailles et 20% de litières de volailles (proportion 2/3). A partir de ce mélange (15,3 tonne au total), une fois mûré et criblé à 25mm (laissant 12,3 tonne de compost et 1,5 tonne de refus), un des engrais organo-minéraux envisagés par le projet a été simulé par complémentation minérale (KCl).

Le deuxième andain (9,0 tonne) a servi à la maturation d'un co-compost de boues de STEP et de palettes broyées, déjà produit au sein du territoire. Sa complémentation en KCl après maturation et criblage (7,5 tonne de compost et 1,3 tonne de refus) a permis de simuler l'autre engrais organo-minérale du projet, qu'il serait

prévu de produire en usine de granulation à partir d'un co-compost de broyat de déchets vert, de boues de STEP et de vinasse de distillerie.

Les matières « premières », le mélange initial, puis l'évolution au cours de mois de maturation et enfin les produits « finaux » complétés ont été échantillonnés et analysés au CIRAD. Les teneurs des produits obtenus sont très proches de celles escomptées : les deux engrais organo-minéraux présentant une siccité de 70% et des teneurs en % de N-P2O5-K2O sur brute de respectivement 3,0-2,6-6,6 et 3,4-1,8-5,7, pour un objectif de 3,5-2,5-6,0. La teneur escomptée est quelque peu supérieur à celle définie pour les produits des circuits afin de tenir compte (1) d'une part ammoniacale plus faible dans le produit expérimental et (2) que les essais ne couvrent qu'un seul cycle, où il convient d'anticiper une faible réserve dans le sol. Les résultats de ce travail, réalisé conjointement par ACES et le CIRAD (avec l'aide de l'exploitant de la plateforme de compostage du TCO, How Chong environnement, et grâce au terrain mis à disposition par l'agriculteur) sont consignés dans un rapport de stage de licence.

4f. Validation technique – suivis agronomiques

Des plans expérimentaux et des protocoles de suivi ont été créés – conjointement par le Cirad, le lycée agricole et la CA – pour des démonstrations d'utilisation des produits du projet sur canne à sucre (à la repousse et à la plantation), en maraîchage (pour tomate, laitue, haricot et choux) et pour l'ananas, consignés dans un rapport de stage ingénieur. Après moult péripéties un premier essai a été mis en place au mois de juillet 2013 par le CIRAD dans le cadre du projet Ecofrut utilisant les trois produits de notre projet et un témoin expérimental sur ananas, sur un terrain expérimental lui appartenant situé près de Saint Pierre, en dehors du territoire d'étude (Figure 16). Cet essai bénéficie de l'appui des chercheurs experts en culture de l'ananas. Plus qu'un simple « suivi » il s'agit là d'un véritable essai. Toujours en cours, l'évolution de la culture ne présente pour l'heure pas de différences notables entre les modalités. L'enjeu est important sur la culture de l'ananas, nécessitant du fait de son long cycle plusieurs apports minéraux, remplacés par un apport unique en début de cycle dans les



Figure 16 Essai sur ananas avec les produits GIROVAR dans le cadre du projet ECOFRUT : bornage et fertilisation des billons (à gauche), puis plantation des rejets d'ananas.

modalités organiques.

Aucun essai n'a pu être mis en place sur canne à sucre, bien qu'il reste un espoir que l'EPLEFPA arrive à planter une parcelle de canne à la fin 2014. Au mois d'avril 2014, après la saison cyclonique, des suivis sur tomate, choux, laitue et ananas ont enfin pu être mis en place sur l'exploitation de l'EPLEFPA à Saint Paul. Ces suivis sont proche d'être achevés, mais les résultats ne sont pas encore disponibles à ce jour.

Indicateurs de réalisation

4a* Cahier des Clauses Particulières de marché public du TCO, mémoire technique et livrables (rapports et

	simulateur) du bureau d'étude concernant l'évaluation économique et réglementaire des circuits de valorisation
4b	1 rapport de stage de Mastère en Sciences Politique (Demagny) concernant les instruments d'action publique susceptibles d'intervenir dans la mise en œuvre de circuits
4c	2 rapports de stage de licence ADD (Cadet et Rollet) concernant l'acceptation du modèle économique et ses conditions par les fournisseurs et clients des circuits
4d	4 rapports de stage ingénieur/mastère et de VSC (Lahbib-Burchard, Poiny-Toplan, Boyer, Ramin) contribuant à l'évaluation environnementale ; 1 thèse de doctorat (Dumoulin, en cours)
4e	1 rapport de stage ingénieur (Picard) et 1 rapport de stage « professionnalisation » licence (Gauvin) concernant l'élaboration des prototypes de produit, les protocoles et la mise en place des suivis agronomique

* Code du dossier en ligne contenant les documents

IV - Les scénarios consolidés produits par le projet

Les résultats de GIROVAR sont de diverses natures. Un ensemble de bases de données et d'outils rassemblent les informations disponibles et celles produites. Une partie, spécifique au territoire, peut y être réutilisée afin d'alimenter d'autres réflexions. D'autres, plus génériques, peuvent se révéler utiles ailleurs, au moins sur d'autres territoires de la Réunion. Dans une autre dimension il convient de noter des aspects « sociaux » comme la sensibilisation des acteurs et leur mise en relation. Mais la production la plus concrète et centrale du projet, constituant son résultat principal, c'est l'ensemble des trois scénarios co-construits et consolidés dans la mesure du possible du projet.

Ci-dessous ces scénarios sont résumés en termes de caractéristiques techniques. Il s'agit d'alternatives à l'évolution « tendancielle » qui sert de référence, indiquée dans la Figure 17. Dans une telle situation où aucune initiative issue de GIROVAR ne serait mise en place, l'ensemble des effluents d'élevage continueraient d'être écoulés dans le cadre de plans d'épandage. Les résidus qui constituent actuellement des déchets ultimes le restent. Les évolutions souhaitées et probables concernent une évolution de la norme légalisant la pratique existante du retour de l'écume de sucrerie sur la sole cannière et un changement dans chacune des deux installations de compostage existantes au sein du territoire : grâce à une amélioration de la qualité de la matière entrante, la station de compostage de déchets verts produirait un compost conforme à la norme et donc légalement commercialisable. Suite à l'obtention d'un marché publique, la station « Recyclage de l'Ouest » pourrait être en mesure de remplacer le broyat de palettes par du broyat de déchets verts. La production de ces deux installations restera très supérieure à la demande agricole du territoire.

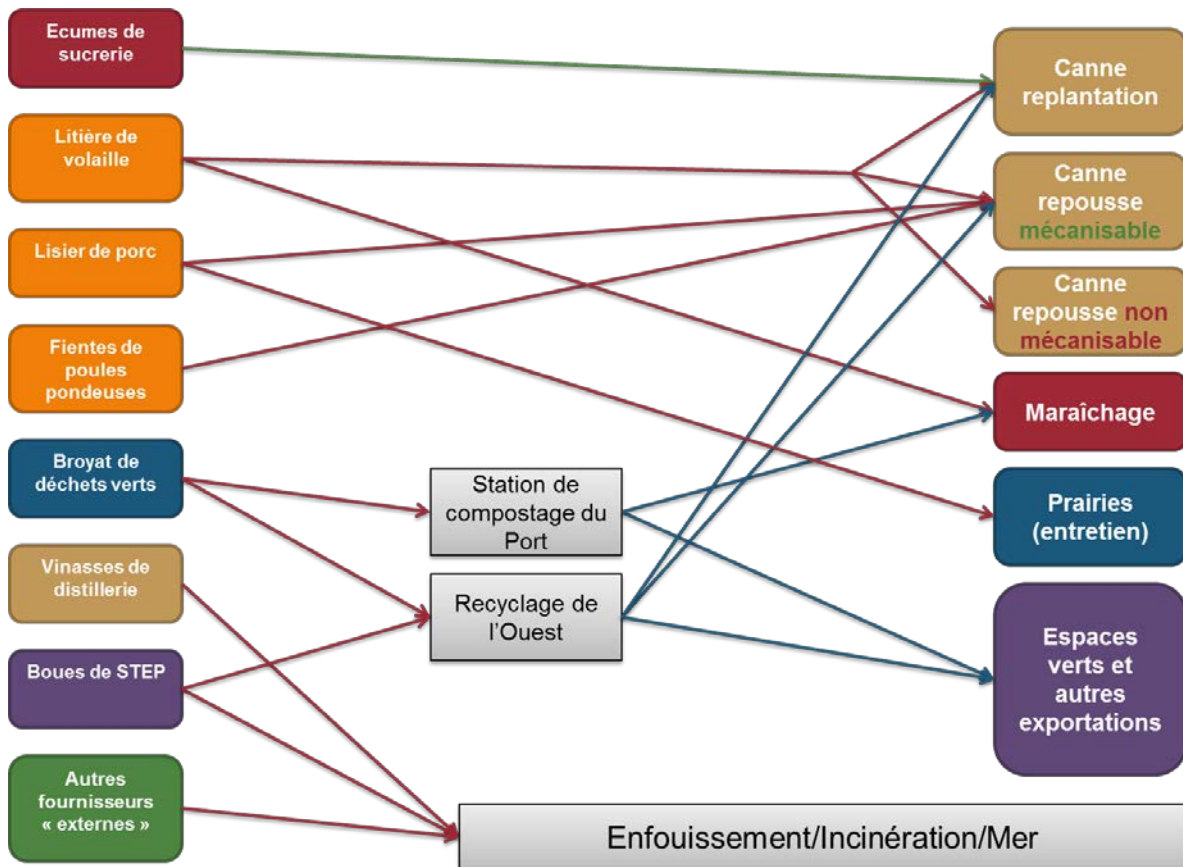


Figure 17 Situation tendancielle de la gestion des résidus organiques du TCO. Les flèches rouges indiquent les flux de matière sous statut déchet et les bleues ceux sous statut produit.

Le scénario « Minimal »

Dans ce scénario une seule filière de production et de distribution d'un nouveau produit fertilisant serait introduite. Au cœur de cette filière une unité de traitement mettrait en œuvre un procédé de co-compostage d'un mélange broyat de déchets verts, de litière de volaille et de lisier de porc (Figure 18). En termes de normes le produit sortant correspondrait à un amendement organique NFU 44-051. Sa composition intéresserait les maraîchers pour qui ce compost peut constituer un fertilisant « complet », utilisé une fois sur deux ou trois cycles de cultures. Il peut également être utilisé comme fertilisant unique sur canne à sucre et prairie, mais la dose requise impose l'épandage mécanisé, ce qui limite fortement (voire très fortement pour prairie) la portion de la sole « éligible ». Sur prairie, plus éloigné et difficile 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 concerné (litière de volaille et lisier de porc) et le compost de déchets verts.

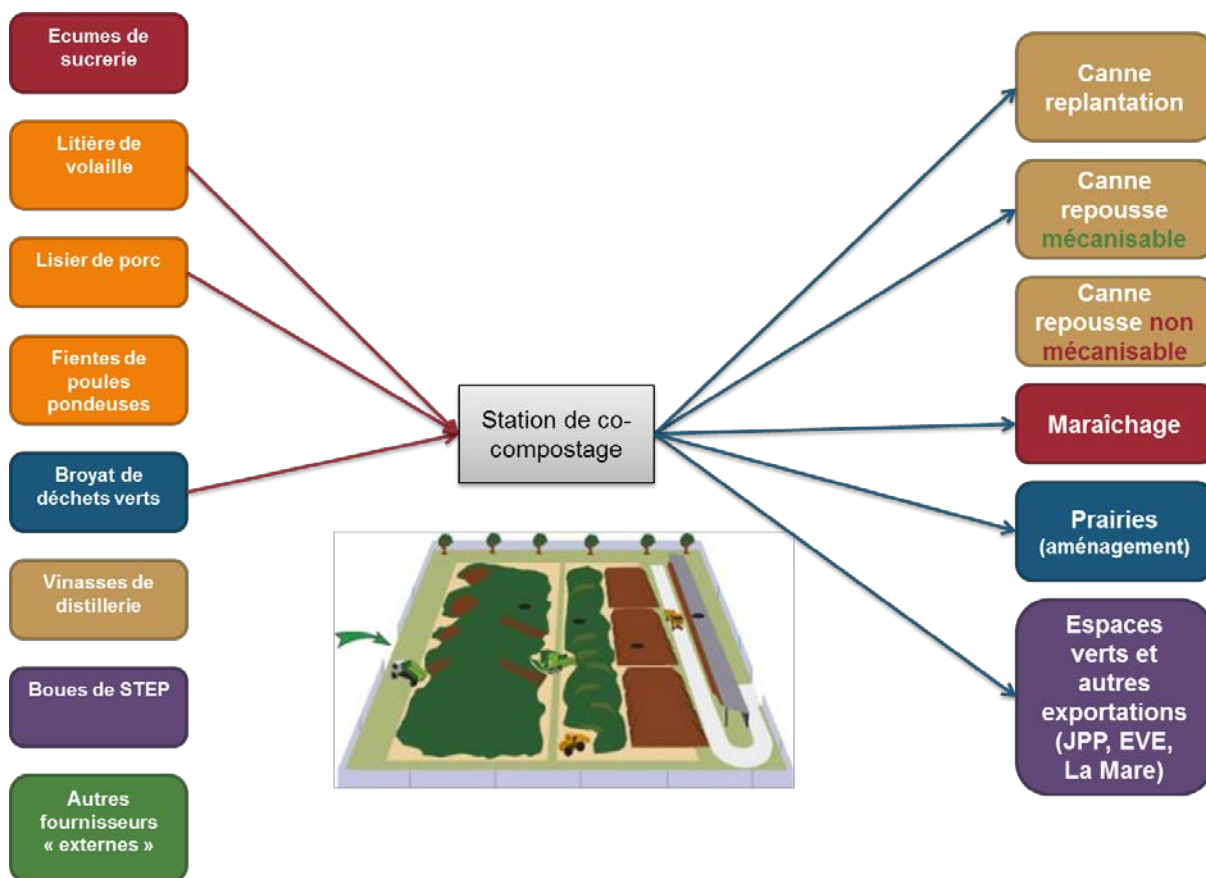


Figure 18 Schéma de la filière co-compost lisier-litière-broyat (CC LLB)

La station de co-compostage serait à installer sur la commune de Saint Paul, à « mi-pente » (entre 500 et 700m d'altitude). Les services du TCO ont effectué un zonage et un inventaire de parcelles « éligibles » qui pourraient servir le jour où l'implantation de la filière serait concrètement envisagée. Nos simulations se basent pour l'heure sur une localisation hypothétique au sein de cette zone (indiqué dans la Figure 19). Cette localisation, proche d'une part des maraîchers, mais également d'une part importante des éleveurs de monogastriques (porcs et volailles) de la zone, devrait permettre l'adhésion de 14 des 22 éleveurs de poulets de chair. Le lisier des 5 éleveurs de porc les plus proches (sur 19 au total) correspondrait au besoin identifié du mélange de matières. La détermination de ce mélange constitue un délicat compromis entre la maximisation de la richesse en nutriments du produit et la nécessité de caractéristiques physiques du mélange convenables au procédé biologique. Exprimé en matière brute, ce mélange se compose de 8 400 t/an de broyat de déchets verts (47%), de 3 600 t/an de litière de volaille (20%) et de 6 000 t/an de lisier (33%). Cela permettrait de produire environ

6 000 t/an de compost à une siccité de 70% et aux teneurs N-P₂O₅-K₂O de 1,6-1,6-2,1, auxquels il faudrait ajouter 2 000 t/an de refus de criblage.

Un tel volume correspondrait à un besoin en surface de l'ordre de 7 000 m², avec la phase thermophile du compostage en casiers avec retournement mécanique. Suite à l'évaluation économique (voir action 4b) il s'agirait d'un compostage à l'air libre avec une maturation en tas à l'abri. Un seul tractopelle et un seul mélangeur mobile suffiraient, correspondant à 4 jours-homme par semaine. L'approvisionnement de la station serait assuré par un service de collecte auprès des éleveurs, les déchets verts broyés remontant de la plateforme du Port avec les camions de collecte de déchets verts du sous-traitant du TCO. Le principe de la collecte d'effluents est d'une part d'assurer un approvisionnement de la station en matières aussi fraîches que possibles (permettant e.g. une part relativement importante de l'azote du lisier sous forme organique, ce qui signifie moins de pertes vers l'atmosphère lors du compostage) en flux quasi-tendu, assurant par ailleurs les éleveurs de volaille d'une évacuation rapide de la litière suite au vidage de bâtiment. Un camion-citerne collectera le lisier, alimentant une cuve de stockage sur la station. Le ramassage de la litière se fait via des bennes déposées chez les éleveurs, à leur demande et collectées dans les 48h suivant le vidage du bâtiment d'élevage.

La distribution du produit se ferait par vente directe à la station ou par un service payant de livraison en bord de champ. Les simulations préliminaires avec UPUTUC suggèrent que l'utilisation du produit par les agriculteurs ne représenterait qu'une faible part de la production (variant de 850 à 1 500 t/an des 6 000 t/an de produit, pour un seul ensemble d'hypothèses de prix estimé réaliste), probablement du fait du coût de transport conjugué au besoin de mécanisation. L'utilisation simulée concerne très majoritairement une utilisation en maraîchage. Aucune utilisation en prairie n'a été simulée.

Le Tableau 10 indique les surfaces par culture des plans d'épandage (PdE) des éleveurs pressentis comme participant au circuit. Ces surfaces, qui seraient donc rendues disponibles pour accueillir d'autres PdE débloquent par là un potentiel de développement, totalisent 470 ha. Cela correspondrait en gros à quelques 40% de la surface agricole totale sous PdE et la part en zone cannière correspondrait à plus de la moitié de la sole cannière sous PdE. Il est à noter qu'il n'est pas recommandable que ce potentiel sur le plan réglementaire se traduise en pratique par l'apport cumulé de (nouveaux) produits fertilisants et d'effluents bruts tel que communément observé avec l'engrais minéral sur canne à sucre. Le respect de nouveaux PdE, s'ils voient le jour, pourrait ainsi quelque peu limiter le débouché des nouveaux engrais sur le TCO.

Le fonctionnement de ce circuit est décrit plus en détail dans un rapport technique (produit dans le cadre du stage de fin d'études de Clémence Jouan, septembre 2012), bien que certains éléments quantitatifs aient évolué depuis.



Figure 19 Localisation des fournisseurs de la station CC LLB (dont la zone d'installation pressentie est indiquée en tirés)

Le scénario « Optimal »

Ce scénario verrait l'émergence d'une véritable filière de production d'engrais organiques (EO) et organo-minéraux (EOM), i.e. des produits qui satisferaient l'ensemble des critères des agriculteurs et en particulier de ce qui constitue le principal besoin ou « marché » : la fertilisation manuelle sur canne à sucre en repousse. Cette filière est composée de plusieurs stations de co-compostage dont les productions constituent des « bases organiques », i.e. la matière première d'une usine de complémentation et de granulation en aval qui élaborerait deux produits normalisés NFU 42-001 sous forme de bouchons. Cette usine, dont l'hypothèse de travail en terme de localisation avancée par le TCO est la rive gauche de l'embouchure de la rivière des galets, constitue une installation industrielle qui a probablement vocation à rester une installation unique au niveau de la Réunion. Elle a donc aussi la vocation d'accueillir des bases organiques produites ailleurs sur l'île. Réalisée en « tranches » lui permettant de monter graduellement en puissance, suivant ainsi la croissance du marché, les gisements du TCO permettraient toutefois de rendre une première « tranche » viable. Les engrais organiques et organo-minéraux seraient vendus en direct à l'usine et via les grossistes actuels. Le marché prioritaire est la canne en repousse mais le produit est également utilisable en maraîchage et sur prairie. Les autres installations (la station du Port, Recyclage de l'Ouest, épandage) continuent de fonctionner mais avec des volumes réduits.

L'approvisionnement de cette usine – dans sa première tranche, i.e. 3-5 t/h donc 8 - 12 000 t/an – serait assuré par la station de co-compostage « CC LLB » décrit sous le scénario minimal et une seconde, nouvelle, station de co-compostage (Figure 20). Si la première livrait sa production non vendue en directe (donc 75-85% de la production) à l'usine, la seconde produirait un compost anticipant la complémentation, en lui-même non-équilibré par rapport au besoin des cultures et donc cédé en totalité à l'usine. Cette deuxième station fonctionnerait selon le même principe que la station « CC LLB », mais elle valoriserait la fiente de poules pondueuses, provenant d'un seul grand producteur. Ce dernier étant situé dans la zone d'installation de la station « CC LLB », la seconde station serait créée sur le même site que la précédente (encore à déterminer en détail, voir scénario minimal).

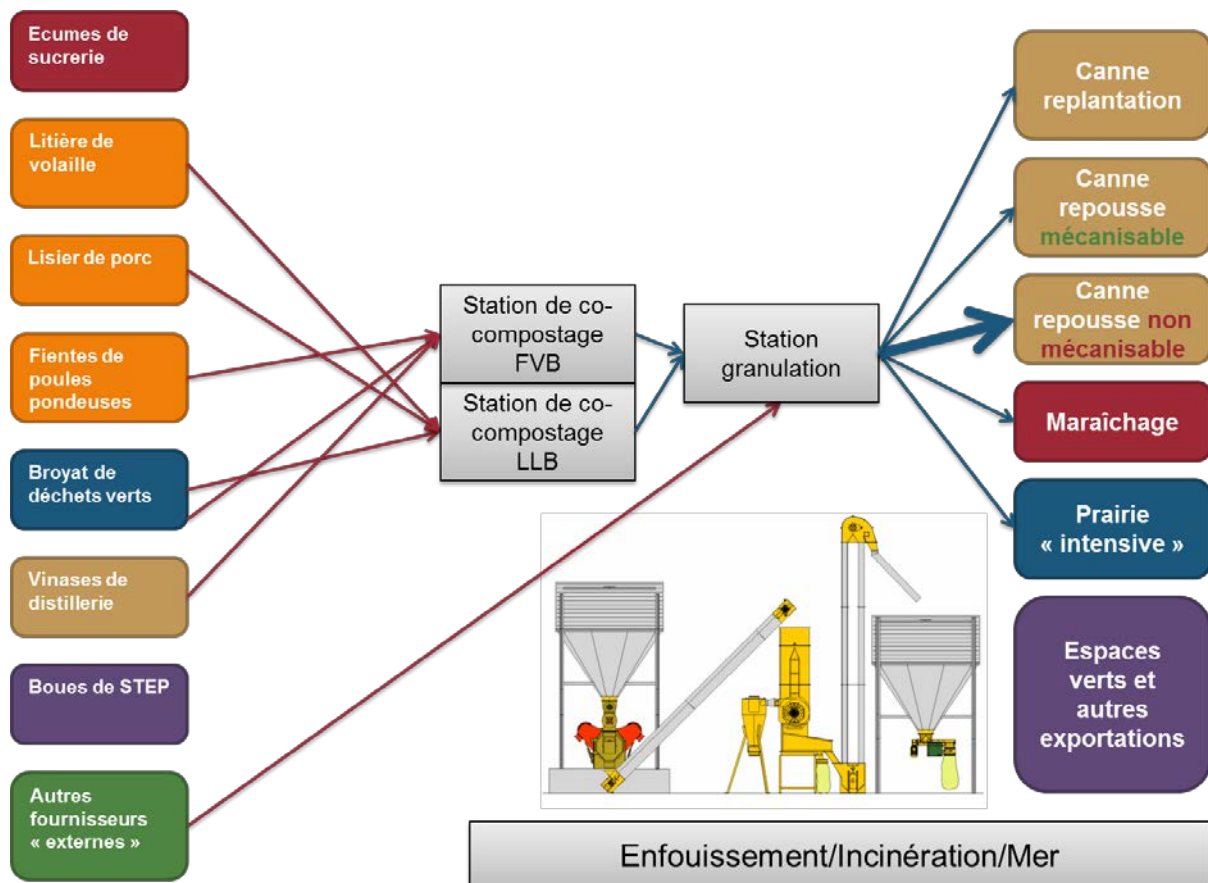


Figure 20 Schéma de la filière de production d'engrais organique et organo-minéral

La nouvelle station serait livrée chaque semaine en fiente par le producteur d'œuf à raison de quelque 1 500 t/an (34% de la matière brute entrante). A cela s'ajouterait quelque 600 t/an (14% de la masse entrante) de vinasse de distillerie concentrée (siccité de 35%), et donc stabilisée, permettant d'atteindre une concentration en potasse correspondant, après les complémentations (azotées) en usine, à la teneur recherchée. Deux industriels en dehors du territoire sont porteurs de projets de concentration de vinasse et donc susceptibles de fournir cette matière. Cela ferait appel à quelques 2 300 t/an (52 % de la masse entrante) de broyat de déchets verts. La création de cette station « CC FVB » nécessiterait d'agrandir la surface de la station « CC LLB » de quelque 2000 m². Le besoin de manutention de la station « CC FVB » correspondrait à 1 jour-homme par semaine et elle pourrait donc mutualiser le personnel et l'équipement avec la station connexe. Elle produirait autour de 2 000 t/an de compost criblé, d'une siccité de 70% et aux teneurs N-P₂O₅-K₂O de 1,6-1,4-3,5.

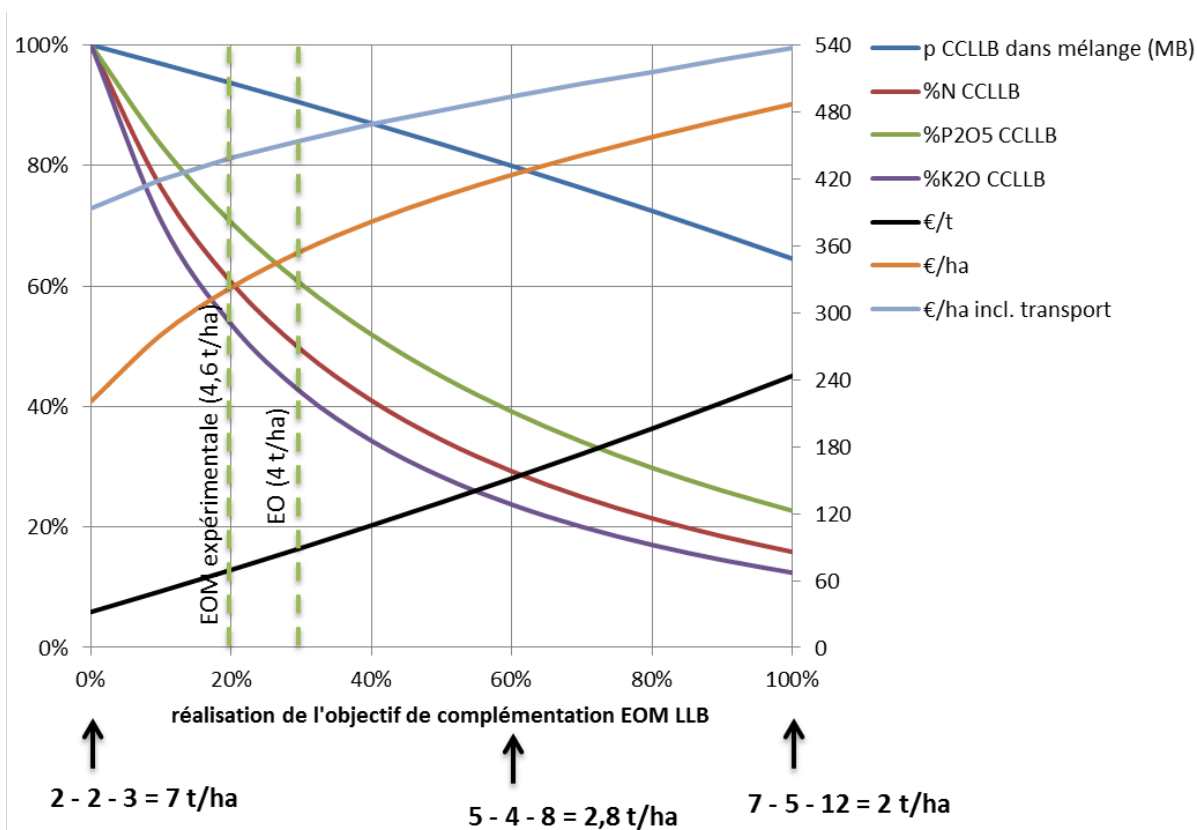


Figure 21 L'évolution de la part du compost LLB et de ses nutriments dans l'engrais organo-minéral, et son coût en termes de matières « premières » à la tonne de produit et à l'hectare, en fonction du niveau de complémentation.

Le Tableau 10 indique les surfaces sous plans d'épandage supplémentaire (80 ha) qui seraient rendues disponibles par cette station pour accueillir d'autres PdE. En aval, les 2 000 t/an de compost FVB criblé se joignent aux quelques 4 500 à 5 000 t/an de compost LLB livré à l'usine de granulation. Le compost FVB serait complétement en azote organique par ajout de farine de sang et de plumes provenant d'un gestionnaire de déchets d'abattoir situé peu au sud 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 compost LLB ne peut être enrichi en potasse par voie organique à ce stade. Il recevra de l'azote et de la potasse sous forme minérale, débouchant en sortie sur un engrais organo-minéral dont les teneurs N-P₂O₅-K₂O souhaités seraient de 7-5-12 (permettant de limiter la dose d'apport sur canne à sucre à 2 t/ha). Ce sont ces deux produits (4-2-4 et 7-5-12) qui ont fait l'objet d'une simulation économique. La Figure 21 indique cependant qu'un tel objectif ferait appel à une telle quantité de matière minérale qu'il ne s'agirait plus d'une « complémentation » : cela ne serait économiquement plus viable, et la part de l'azote sous forme organique risquerait fort d'être insuffisante pour atteindre la norme engrais organo-minéral. Ce n'est également pas justifié d'un point de vu agronomique, car l'objectif de teneurs tenait compte d'un coefficient d'équivalence basé sur un produit uniquement organique : il semblerait tout à fait raisonnable de réduire cet objectif de complémentation à des teneurs finales en N-P₂O₅-K₂O de 5-4-8. Si dans ce cas le compost LLB représente bien encore 80% de la masse du produit final, moins de 30% de l'azote présent provient de ce compost, augmentant par-là d'autant le coefficient d'équivalence du produit. Si la réalisation d'essais agronomiques s'impose pour vérifier l'efficacité de ce produit, comme pour les autres, il semble

raisonnable de maintenir pour ces teneurs le conseil d'une dose de 2 tonne par hectare. Cette option issue des résultats de l'atelier 5 « Mise en œuvre » n'a pas fait l'objet d'une évaluation économique.

Le scénario « Optimal Plus »

Comme son nom l'indique, ce scénario est similaire au précédent. Le changement se situe dans la production d'une troisième base organique au sein du territoire du TCO alimentant l'usine de granulation avec la totalité de sa production, ce qui permettrait a priori d'améliorer la viabilité de cette usine et surtout de proposer une production plus importante d'engrais sur le marché. Des points de vue technique, agronomique et économique il semblait pertinent d'envisager d'élaborer cette troisième base organique à partir d'un mélange de boues de STEP séchées (la production de la commune de Saint Paul à l'horizon 2020 : 2 100 t/an à 80% de siccité ; 21 % du mélange), de vinasse de distillerie concentrée (3 200 t/an, i.e. 33 % du mélange) et de broyat de déchets verts (4 500 t/an, i.e. 46% du mélange). D'un point de vue pratique également, car cela pourrait se faire sur la station existante de Recyclage de l'Ouest, évitant l'apparition d'une concurrence. Quelque 4 700 t/an de co-compost « BVB » criblé aux teneurs N-P₂O₅-K₂O de 1,7-1,8-4,3 pourrait ainsi être produit.

Deux obstacles empêchent cependant pour l'heure d'envisager sa réalisation : une réticence de la part des institutions agricoles à soutenir un tel produit sur fond de craintes sanitaires, et un blocage réglementaire (l'inexistence à l'heure actuelle d'une norme engrais organique autorisant l'emploi de boues). Si l'étude sur les contaminants trace organique (CTO) dans les boues de STEP du territoire (voir action 4d) indique que le risque que représentent ces substances dans une telle filière est très faible, elle montre aussi que dans certaines situations, rares mais réelles, quelques substances propres à ces boues pourraient connaître un léger transfert dans la tige de la canne à sucre. Une vérification expérimentale de la présence de ces quelques substances dans le produit final, puis éventuellement de ce transfert, semble justifié et à même de mettre les acteurs d'accord sur les suites à envisager. Si jamais ce blocage était levé, il faudrait toutefois que la situation réglementaire évolue également de manière favorable. Bien que la norme NFU 44-095 permette d'élaborer un amendement organique à base (partielle) de boues de STEP, tout l'enjeu de nos circuits consiste à pouvoir proposer des engrais. Or, à l'heure actuelle, ces matières ne sont pas éligibles sous la norme NFU 42-001. Des tractations ont lieu au sein de l'AFNOR, ce qui permettrait à ce scénario de faire l'hypothèse que ces deux blocages puissent être levés dans les prochaines années.

Tableau 10 SAU TCO « libérée » de Plan d'Épandage par culture en fonction du scénario (minimal = porcin + volaille de chair ; optimal = porcin + volaille de chair + pouleuse). Le nombre entre parenthèses indique le nombre d'élevages concernés (sur un total d'élevages « participants » de 5 porcin, 14 volaille de chair et 1 pouleuse).

PdE libéré	Canne à sucre	Prairie épandable	Maraîchage
surface total	3795 ha	2037 ha	240 ha
PdE porcin	111 ha (3)	20 ha (2)	0,5 ha (1)
PdE volaille de chair	301 ha (13)	32 ha (3)	7 ha (5)
PdE pouleuse	69 ha (1)	2 ha (1)	10 ha (1)

Tableau 11 SAU TCO concernée par des plans d'épandage appartenant aux éleveurs de monogastriques du TCO (donc sans considération des surfaces PdE détenues par ceux-ci en dehors du TCO, ni des surfaces PdE au TCO appartenant aux éleveurs hors TCO), sans considérer la zone isolée de Dos d'Ane et le PdE de un ou deux élevages de bovin lait.

PdE libéré	Canne à sucre	Prairie épandable	Maraîchage
surface total	3795 ha	2037 ha	240 ha

PdE porcin	283 ha (11)	158 ha (10)	2 ha (3)
PdE volaille de chair	352 ha (21)	124 ha (9)	13 ha (8)
PdE poudeuse	69 ha (1)	2 ha (1)	10 ha (1)

Conclusions

Le Tableau 12 présente le bilan matière des scénarios. Une part très importante des gisements captables serait effectivement valorisée. Le besoin en broyat de déchets vert 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 déchet vert, dont notamment les services communaux d'entretien des espaces verts.

La quantité de déchets ultimes qui resterait à gérer serait donc très nettement réduite, ce dont découlerait un certain nombre d'avantages économiques, sociétaux et environnementaux. D'autre part la production de fertilisants envisagée permettrait une substitution très considérable de l'engrais chimique, ce qui fut l'objectif collectif lors de la co-construction de ces solutions. L'évaluation économique a mis en évidence le besoin d'un appui public marqué, à l'investissement et au changement de pratique des agriculteurs, afin que la production de ces fertilisants soit viable. Supposant cette condition satisfaite, et supposant donc le coût « rendu racine » de l'utilisation de ces produit compétitif (cf. à l'étude économique), la production envisagée de EO FVB, EOM LLB et la vente directe de CC LLB représenterait une substitution nette (i.e. la substitution brute diminuée de la complémentation minérale utilisée) de l'ordre de 1 850 tonne d'engrais. Dans le cas du scénario Optimal Plus la substitution serait de l'ordre de 2 800 tonne d'engrais.

Tableau 12 Le bilan approximatif des résidus organiques produits et valorisés par les circuits du projet à l'horizon 2020, sous condition de la production d'un broyat de déchets verts « propre » (*) et de la levée des blocages concernant la boue de STEP (**).

Quantité (t MB)	Fumier volaille	Fientes poules	Lisier porc	Boues STEP	Déchets verts*	Écumes sucrerie
total 2020	5 000	1 500	35 000	3 750 t Ms	30 000	11 000
captable	~ 4 000	idem	~14 000	idem	idem	idem
Circuit CC LLB	3 600		6 000		8 400	
Circuit EO FVB		1 500			2 200	
Circuit EO BVB**				2 100	4 500	
Circuit « amendement »					15 000	11 000
% capt. mobilisé	90%	100%	40%	45%	100%	100%

Ces produits locaux pourraient être entièrement écoulés auprès des agriculteurs du TCO. Les simulations UPUTUC suggèrent que la part du CC LLB vendu en direct constitue un fertilisant « complet » (combinant les

fonctions amendement et engrais) utilisé préférentiellement 1 ou 2 fois par an sur les 50 ha de maraîchage à proximité (sur les 260 au total, hors Dos d'Ane). L'EO FVB et l'EOM CCB sont d'un grand intérêt pour le maraîchage, le dernier étant plus convoité par les planteurs de canne à sucre et les gestionnaires de prairie que le premier. Si les simulations UPUTUC suggèrent que les deux produits seraient utilisés sur les trois (groupes de) cultures, un bilan de satisfaction est plus aisé à illustrer de manière schématique : les 1 900 t d'EO FVB permettrait de fertiliser à l'année une centaine d'hectares de maraîchage. Si utilisé uniquement en canne à sucre, l'EOM LLB permettrait de fertiliser quelque 2 800 ha. Si sous le scénario Optimal Plus s'y ajoutait l'EO BVB cela permettrait de satisfaire l'apport en engrais de l'ensemble de la sole cannière du TCO. Comme une part considérable devrait être valorisée sur la prairie dite « intensive » il ne semble donc pas y avoir de risque de saturation de marché même si celui-ci se limitait au TCO. On retient toutefois que la production de fertilisants locaux envisagée permettrait en théorie – et sans considérer la prairie intensive des hauts où l'utilisation actuelle d'engrais minérale est faible et méconnue – de se substituer à la fertilisation minérale sur une surface en maraîchage et en canne à sucre équivalente à une portion de ces soles du TCO situé entre la moitié et trois-quarts.

Les scénarios prévoient le maintien d'une production d'amendements. L'écume de sucrerie devrait satisfaire la faible demande d'amendements sur canne à sucre, augmenté par l'amendement avec boue de Recyclage de l'Ouest sur la faible portion de la sole apte à les recevoir. Les simulations UPUTUC suggèrent que le compost de déchets verts normé aurait un rôle modeste mais appréciable de « matière de recours » à jouer auprès des agriculteurs à faible altitude.

Une mise en œuvre séquentielle des scénarios, qui peuvent être vu comme des étapes liées, permettrait une mise à l'épreuve des premiers éléments. Cela permettrait de réduire la prise de risque au moment de passer à l'étape suivante. Mais au vu des résultats du projet la mise en œuvre du scénario optimal paraît souhaitée par l'ensemble des acteurs et souhaitable des points de vue agronomique, environnemental et social. Les hypothèses sous-jacentes à sa viabilité économique mériteraient donc d'être approfondies par les institutions concernées.

Pour conclure, les indications suivantes peuvent être apposées aux « indicateurs d'évaluation » suggérés dans la proposition de projet initiale afin d'évaluer les résultats en fin de projet :

1) indicateurs techniques :

- a) *Amélioration du revenu des agriculteurs* : ni les agriculteurs ni les éleveurs ne doivent s'attendre à un gain financier direct. Les agriculteurs gagnent un accès sécurisé à des matières fertilisantes à un prix stable, ce qui améliore la résilience du monde agricole vis-à-vis des fluctuations du marché. Pour les éleveurs, l'externalisation de la gestion des effluents réduit les incertitudes liées au système des plans d'épandage et facilite les projets d'expansion des exploitations ;
- b) *Satisfaction des parties prenantes* : des entretiens ont été conduits en fin de projets avec des participants des niveaux techniques et professionnels. Si les résultats sont encore en cours d'analyse, ils témoignent globalement d'une appréciation positive bien qu'induite par des effets de nature variable ;
- c) *La poursuite des suivis agronomiques* : ce besoin est mis en exergue. Les suivis dans le cadre du projet ne seront pas poursuivis, mais dans le cadre d'un autre projet de réels essais agronomiques sur canne à sucre sont sur le point de démarrer. Cela concerne par contre uniquement un ensemble de résidus « bruts » actuellement disponibles. Le DAAF est toutefois disposé à considérer la subvention (fonds FEADER) de modalités supplémentaires pour tester de nouveaux fertilisants ;
- d) *Nombre et taille de projets de valorisation agronomique en préparation* : il n'existe pour le moment pas d'appels d'offres pour la mise en œuvre de solutions de valorisation agronomique.

2) indicateurs économiques :

- a) *Réduction estimée du coût de la fertilisation sur la zone* : La réduction du coût de la fertilisation restera probablement marginale. Le coût lié à l'élimination de déchets organiques, par contre, sera pour certains producteurs nettement réduit ;
- b) *Estimation du chiffre d'affaire induit par les activités de recyclage* : Dans le cadre du scénario optimal le chiffre d'affaire généré directement par la production de fertilisants pourrait atteindre le million d'euro (i.e. la substitution de 1 850 t d'engrais minéral à ~600 €/t). Il convient d'ajouter à cela une augmentation relative de l'activité économique induite par la libération des surfaces d'épandage (i.e. la croissance du secteur de l'élevage monogastrique). En cas d'une fertilisation avec les nouveaux

engrais organiques locaux, ces surfaces pourraient ne pas toutes être disponibles pour des plans d'épandages de déchets organiques ;

3) indicateurs environnementaux :

- a) *Réduction estimée des volumes de boues de STEP et de déchets verts mis en décharge* : voir Tableau 12 ;
- b) *Réduction estimée du nombre d'incidents liés aux déchets verts* : les problèmes de pollution et d'incendie seraient résolus ;
- c) *Volume d'effluents d'élevage recyclés* : voir Tableau 12 ;
- d) *Tonnage de matières premières minérales substituées* : de l'ordre de 1 850 tonne d'engrais ;
- e) *Surface sous plan d'épandage « libérée »* : 40% de la surface agricole totale sous PdE, dont plus de la moitié de la sole cannière sous PdE ;

4) indicateurs scientifiques :

- a) *Nombre de contributions à des colloques significatifs et d'articles soumis à des revues scientifiques* : 4 contributions orales et 2 poster de conférence, 3 articles publiés, 2 autres soumis et plusieurs autres en projet ;
- b) *Nombre de modules d'enseignement (technique et universitaire) produits et dispensés dans le cadre de ce projet* : 1 module d'enseignement technique et plusieurs interventions occasionnelles ;
- c) *Nombre et qualité de projets de gestion intégrée de la valorisation agronomique des matières organiques s'inspirant de la démarche proposée dans le cadre de ce projet* : si le temps a manqué pour réaliser cela pendant la durée du projet, la transposition de la démarche – modifiée en fonction des enseignements que l'on peut tirer de cette première expérience – constitue une importante ambition de l'UR Recyclage & risque du CIRAD pour le futur proche. Sur le plan le plan opérationnel le pôle Qualitropic s'est positionné lors de la réunion de clôture pour porter la phase d'industrialisation et de commercialisation à la suite de GIROVAR.

V - Les modalités de valorisation du projet

Restitution aux porteurs d'enjeu

Dans ce projet participatif, les porteurs d'enjeu ont été étroitement associés à sa réalisation. Des restitutions à l'ensemble des groupes cible ont eu lieu tout au long du projet, que ce soit lors des ateliers, des réunions du comité de pilotage ou de réunions bilatérales ad hoc : chaque nouvelle étape débutait par un rappel des acquis à ce stade du projet. Au vu de ce nombre d'interactions bien plus important qu'initialement escompté, l'idée d'une restitution élargie à l'issue du projet a finalement été abandonnée. L'ensemble de supports de communication (plaquette, fiches, présentations, posters et rapports) ainsi que les livrables du projet sont mis à disposition du public, disponibles en ligne sur les sites du TCO et du RMT Fertilisation & Environnement. Plusieurs actions qui visaient plus spécifiquement la restitution ont été réalisées, comme lors de la conférence du REAP AAOI (Réseau des Etablissements Agricoles Professionnels Afrique Australe - Océan Indien), organisé par l'EPLFPA en octobre 2012, lors de la journée « Produire Autrement », organisé par l'EPLFPA en novembre 2013, ou encore la journée de visite des parcelles de suivi au champ du projet sur l'exploitation du lycée, organisée par la CA et l'EPLFPA au mois de juin 2014.

Valorisation scientifique et dans les réseaux techniques

Le RMT Fertilisation & Environnement a pu être tenu au courant des avancés du projet malgré l'éloignement de l'équipe du projet, notamment grâce à la participation de collègues du CIRAD en métropole aux assemblées générales. Cette valorisation au niveau national a également compris des participations aux séminaires du COMIFER-GEMAS et celui du RMT portant sur la gestion territoriale ainsi la contribution d'éléments à la conférence sur l'agroécologie organisée par l'INRA sur demande du ministère d'agriculture en novembre 2013. Le projet a également été présenté dans les deux réseaux de recherche internationaux existants que sont RAMIRAN (Europe, conférence de juin 2013) et SIGERA (Amérique Latine, conférence mars 2013). Diverses composantes du projet ont été présentées individuellement dans des conférences internationales (e.g. RAMIRAN : le cadre de l'évaluation environnementale; SETAC: la modélisation du devenir des ETM à long terme ; EcoBalance : l'indicateur de contribution au changement climatique).

La publication d'articles scientifique connaît toujours un décalage substantiel. A ce jour trois articles ont été publiés. Mais deux autres articles ont été soumis et d'autres suivront (dont notamment un concernant l'ensemble de la démarche de concertation et un concernant la modélisation informatique). Comme souvent, la valorisation scientifique se réalisera donc pour une bonne partie a posteriori. La résonance que les activités de valorisation ont permis de créer à ce jour constitue un gage pour sa poursuite au sein des réseaux techniques.

En termes de valorisation dans des réseaux techniques autre que RMT, un article sur le projet a été publié par la Chambre d'agriculture de la Réunion en août 2011, dans sa revue « la Réunion agricole ». De plus, une présentation des résultats du projet est prévue aux Journées nationales des Missions déchets du Réseau des Chambres d'agricultures, fin 2014.

Valorisation éducative

Que ce soit pour la formation continue ou pour ses formations diplômantes, l'EPLFPA n'a pas identifié de possibilités de production de modules d'enseignement dédiés à part entière au projet. Un ensemble de principes et d'enseignements du projet ont toutefois trouvé leur place dans la principale formation de futurs agriculteurs et techniciens de l'environnement de la Réunion, la Licence d'Agriculture et de Développement Durable. Coordinée par l'EPLFPA et réalisé au Lycée Agricole de Saint Paul, ces enseignements relatifs au projet sont surtout dispensés par la CA. 5 étudiants de cette licence ont par ailleurs réalisé leur stage au Cirad dans le cadre du projet, dont un stage de professionnalisation.

Les transferts prévus

Évaluation de l'intérêt de la démarche et de sa transposabilité (TCO)

Il importe de transposer la réflexion au-delà de la zone d'étude du projet, le TCO, notamment dans le but de voir émerger d'autres installations de production de « bases organiques » alimentant l'usine de production d'engrais envisagée. La situation sur plusieurs autres micro-régions de l'île semble le justifier (Figure 22). Les autorités de référence à l'échelle de l'île, le Conseil général et Conseil Régional, ont été associées au projet comme membres du Comité de Pilotage et du Comité Technique. A la clôture du projet le Conseil Général a suggéré de contribuer – par l'intermédiaire d'une cellule « biomasse » qu'il anime – à inciter voire initier des réflexions coordonnées à cette fin dans les autres communautés de commune de l'île. La présidence du TCO abordera également à l'occasion le sujet avec les autres intercommunalités.

En parallèle, le projet a motivé le pôle de compétitivité Qualitropic à se saisir du sujet. Les résultats du projet ont été présentés à l'assemblée générale du pôle au mois de juin 2014, suivi du lancement d'un Comité Stratégique « Biofertilisants » qui réunira les acteurs privés de l'île. Les coordinateurs de Girovar y sont associés. A la clôture du projet, Qualitropic s'est formellement positionné pour porter la suite de GIROVAR. Le sujet constitue pour lui un axe prioritaire de sa feuille de route d'ici 2018. Le pôle réunira les acteurs du monde agricole, de l'industrie et de la recherche pour aborder les phases d'industrialisation et de commercialisation.

Au-delà de cette situation à l'échelle de l'île, le Cirad étudiera à la suite du projet la possibilité et la pertinence de transposer la démarche à d'autres zones prioritaires « au sud ».

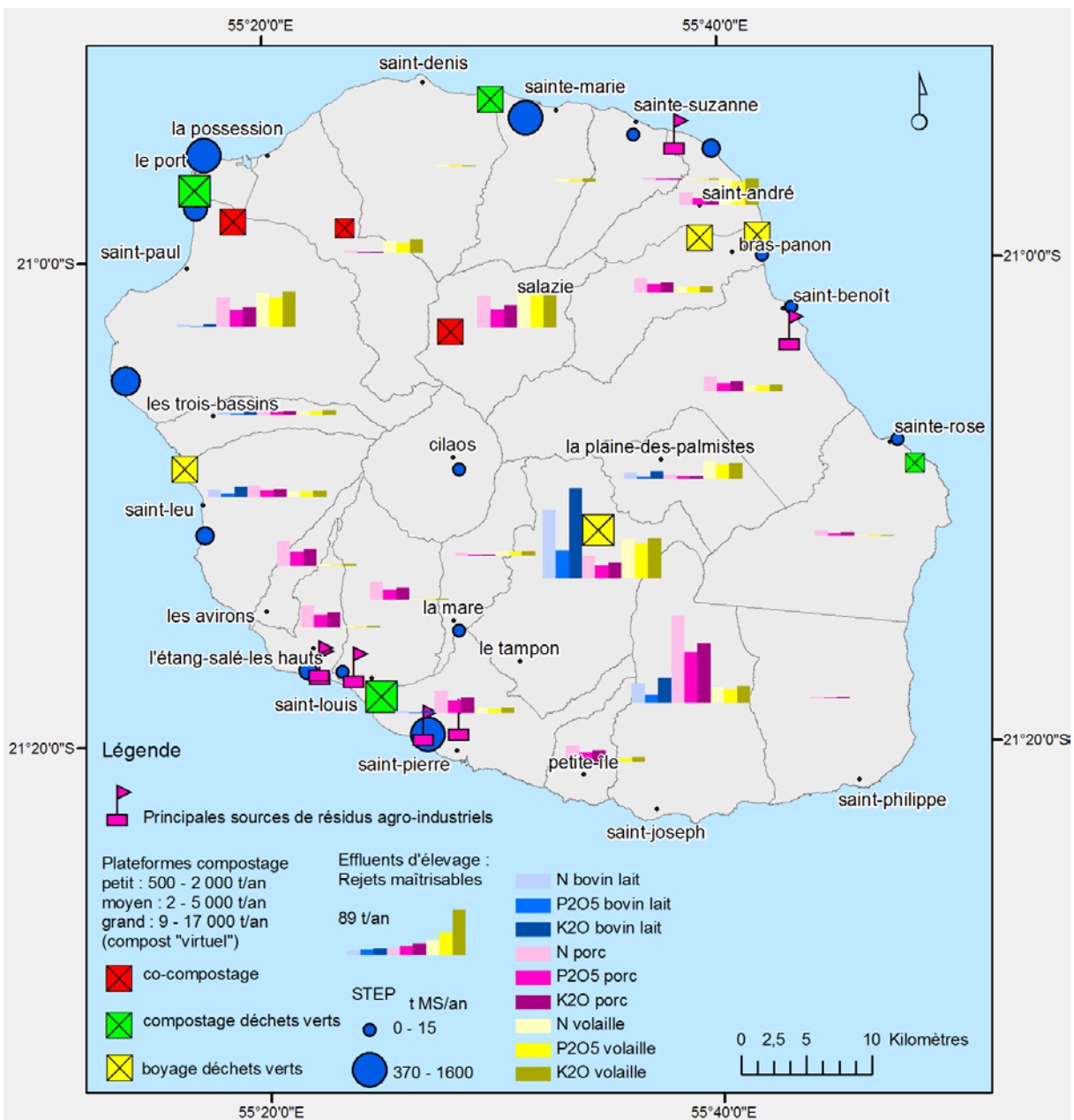


Figure 22 Principales sources réunionnaises de résidus organiques mobilisables, situation 2011-2014.

Proposition de séminaire RMT sur le potentiel de transposition de la démarche en métropole

Après sa clôture les résultats finaux du projet seront restitués au RMT Fertilisation & Environnement (probablement fin 2015). Ce sera une occasion pour explorer l'intérêt d'organiser un séminaire s'appuyant pour partie sur GIROVAR dans le cadre de l'axe de travail correspondant du nouveau programme du RMT.

Indicateurs de réalisation

5a*	nombreux supports de présentation
5b	rapport final du projet
5c	présentations et images des suivis agronomiques et de leur visite
5d	comptes rendus du comité stratégique "biofertilisants" du pôle Qualitropic, s'appuyant sur le projet
5e	5 publications scientifiques (3 communications internationales, 1 communication nationale, 1 article de revue) concernant la démarche générale du projet
5f	des communications (orale + poster) au RMT Fertilisation & Environnement ; supports de cours pour la licence PRO ADD de l'EPLFPA ; 1 article dans la revue de la Chambre d'agriculture de la Réunion, « la Réunion agricole » ; valorisation du projet auprès du réseau des "missions déchets" de France (prévue fin 2014 lors des "journées nationales des missions déchets" de l'APCA)

* Code du dossier en ligne contenant les documents

VI – Les perspectives

Les points forts et les points faibles du projet

Points forts :

- Une large mobilisation des acteurs allant au-delà des partenaires du projet :
 - Les organisations de producteurs agricoles du territoire sont partenaires du projet au travers les structures englobantes que sont la Chambre d'Agriculture et la FRCA. Ces structures ont (1) mis à disposition du projet l'ensemble de leur connaissances et données d'intérêt concernant le territoire d'étude ; (2) actualisé et/ou étendu ces informations au besoin ; (3) contribué de par leur expertise technique et réglementaire à l'ensemble des temps collectifs (réunions et ateliers) tout en veillant aux intérêts de leurs adhérents ; (4) facilité l'accès du projet aux exploitants agricoles et aux adhérents de leurs OP et la participation de ces derniers aux ateliers de co-construction. Elles constituent (5) des candidats pour la mise en œuvre opérationnelle des solutions recommandées ;
 - une entreprise (industriel et négociant de l'engrais) était partenaire au début du projet. Au-delà de sa participation aux travaux de co-construction elle a permis la réalisation des actions (e.g. élaboration expérimentale d'engrais organique), une étude (marché de l'engrais) et fourni de l'expertise technique lors de nombreuses interactions. Son intérêt stratégique faisait d'elle un des moteurs du projet et son expertise économique et technique ont pesé dans la prise de décision collective. D'autres entreprises (industriels du sucre/rhum ; éleveurs indépendants, gestionnaires de STEP) ont participé aux ateliers de co-construction, en fonction de leurs intérêts, de leur disponibilité et de la pertinence des sujets abordés ;
 - la communauté de communes TCO et les organismes publiques que sont la régie La Créole et l'EPLEFPA ont participé à l'ensemble du processus de co-construction en tant que porteurs d'enjeu du territoire. Également producteurs de résidus organiques, les deux premiers ont fourni expertise et données au projet concernant les matières de leur compétence, ainsi qu'assuré l'accès du projet aux professionnels de collecte et de traitement relevant de ces compétences. En tant que "gestionnaire du territoire" le TCO a également contribué sur des aspects logistiques, assuré le lien avec les échelons publics supérieurs (services de l'Etat, CG, CR), et joué de manière générale un rôle moteur dans ce projet dont il espère qu'il l'aidera à résoudre plusieurs situations conflictuelles sur son territoire. Le projet a ainsi contribué à inscrire la problématique durablement dans l'agenda politique de l'île (e.g. son inscription explicite dans le Plan Régional de l'Agriculture et de l'Agro-alimentaire Durable) ;
 - La participation d'agriculteurs et de professionnels engagés dans les activités de traitement de déchets aux temps collectifs organisés (ateliers et réunions de co-construction) s'est maintenue durant les 4 années du projet. L'implication de ces personnes dans les phases de diagnostic a permis de négocier une formulation des problématiques et des enjeux compatible avec les attentes de la société. L'implication de ces personnes au cours d'étapes ultérieures de consultation a permis de confronter régulièrement les hypothèses formulées, les modèles théoriques et les scénarios co-construits aux réalités du terrain, aux préférences des utilisateurs et de faire profiter les équipes de co-construction de leurs savoirs locaux ;
 - La participation ponctuelle des services de l'État (Préfecture, DAAF, DEAL) a permis de renforcer la légitimité du projet à appréhender une question relevant de l'intérêt général (présidence du comité de pilotage le sous-préfet). Outre la fourniture de données quantitatives et la participation aux ateliers de co-construction, l'implication des agents de la DAAF et de la DEAL se révèle essentielle dans la construction d'un cadre réglementaire compatible avec la mise en œuvre opérationnelle des solutions co-construites.
- La qualité de la démarche de concertation :

- Le projet a contribué à l'émergence d'un collectif regroupant des agents clefs issus des principaux organismes concernés par la problématique, reconnu comme interlocuteur légitime pour les projets de valorisation des matières organiques. L'ensemble de producteurs de résidus organiques et un certain nombre d'agriculteurs disposent à l'issue du projet d'une vision plus globale de la situation, d'une meilleure compréhension de la situation des autres porteurs d'enjeu et leurs contraintes, ainsi que celles des agriculteurs utilisateurs potentiels ;
 - Le projet a également contribué 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 résiduaux organiques, et de sa pertinence des points de vue économique, environnemental et agronomique. Ce thème se retrouve dans différents documents de programmation de la mairie de Saint-Paul, de Saint-Pierre, au niveau départemental (rédaction du PPGDND) et régional (préparation du prochain PDRR). Au niveau professionnel, la production de « bio-fertilisants » – engrais locaux normés d'origine et/ou de nature organique – est retenue comme un axe stratégique de développement du pôle de compétitivité Qualitropic ;
 - Les porteurs d'enjeux ont été sensibilisés au cours du projet aux difficultés techniques, logistiques, réglementaires, organisationnelles et financiers inhérentes aux solutions de gestion intégrées et durables ;
 - Elle a permis de mettre en évidence des problèmes intersectoriels et de chercher à satisfaire des conditions identifiées pour que les solutions retenues puissent se concrétiser (Rédaction de deux mesures agri-environnementales dans le prochain PDRR (déclinaison réunionnaise de la PAC), sur base de propositions émanant de la profession (Chambre d'agriculture, Téréos, ...) ; (sous réserves) lancement d'un appel à proposition d'intérêt par la communauté de communes pour la construction d'une unité de production de fertilisant organique).
- l'association des sciences humaines et sciences dures et l'interdisciplinarité :
- Cette association était évidemment requise pour produire l'ensemble des connaissances requises par le projet sur le système territorial. Les interactions entre dynamiques anthropiques et dynamiques biophysiques du socio-écosystème étudié ne peuvent être correctement appréhendées que par l'association de chercheurs des domaines de recherche respectifs. A titre d'illustration, le modèle UPUTUC développé dans le cadre du projet intègre des règles liées aux dynamiques de croissance des végétaux, d'infiltration des ETM dans les sols, mais aussi un modèle de préférence des agriculteurs ;
 - Bien au-delà de ces besoins en matière de production de connaissance, cette association est également primordiale pour le bon déroulement de la démarche participative mise en œuvre. Si le processus de concertation s'appuie pour sa conception sur les résultats de recherches en sciences humaines et sociales, il n'est qu'une modalité particulière d'organisation du dialogue entre Science et Société et ne peut se concevoir sans interaction forte et soutenue entre les facilitateurs de la démarche et les chercheurs compétents dans les différentes disciplines émergeant au cours du processus. Inversement, les étapes de diagnostic, de co-construction et de modélisation sont l'occasion d'explorer avec une démarche systémique l'état des connaissances scientifiques du domaine et d'identifier de nombreuses pistes de recherche intéressantes à la fois les chercheurs dans leurs disciplines respectives et les porteurs d'enjeu. Chacun des deux composants de recherche se doit donc d'être ouvert envers l'autre.
Dans GIROVAR cette ouverture allait jusqu'à la coordination conjointe du projet ce qui s'est révélé très bénéfique pour son déroulement harmonieux.

Points faibles :

- L'absence de certaines références techniques, et l'impossibilité de les produire dans le temps imparti, requises pour quantifier les caractéristiques agronomiques de produits imaginés et leur valeur fertilisante. On peut distinguer deux conséquences au manque de références concernant le devenir des résidus organiques dans le sol en conditions agronomiques tropicales :

- l'impossibilité de quantifier les effets amendants (impact sur les propriétés physiques et biologiques des sols) pourtant empiriquement observés, ainsi que leur impact à moyen terme sur le rendement agricole, rend plus difficile la sensibilisation des acteurs du territoire. Cette absence de référence est d'autant plus embarrassante lorsqu'elle est comparée à des modèles prédictifs de rendements en fonction de la fourniture d'engrais largement répandus ;
 - l'incertitude quant à l'efficacité réelle des engrais organiques (solubilité, vitesse de minéralisation) freine les investisseurs potentiels : De cette efficacité (« équivalence » par rapport à l'engrais minéral), directement liée aux exigences de concentration, dépend le prix de vente des produits sur un marché très concurrentiel. Des équivalences entraînant une viabilité, mais qui sont des projections théoriques et approximatives requièrent la confirmation expérimentale d'un minimum d'éléments avant la mise en œuvre industrielle ;
- Certains groupes cibles ont été faiblement représentés lors des temps forts collectifs. C'est notamment le cas des simples habitants du territoire et des maraîchers informels, mais pas seulement. Cette faiblesse est liée à plusieurs facteurs. D'une part, l'intérêt des participants décroît naturellement avec le temps et la répétition des ateliers. D'autre part, les périodes entre les ateliers, consacrées à la production de modèles, à la compilation de données, aux phases de consolidation et de combinaisons de données au cours desquelles la participation est mise en suspend se sont allongées, ralentissant le rythme du processus ;
 - Certains enjeux identifiés au cours du premier atelier de diagnostic participatif n'ont pas été abordés du fait de l'orientation initiale du projet ou des modèles mobilisés. L'approche orientée « acteurs » a par exemple relégué à un second plan les habitants du territoire (sans les ignorer toutefois), en dépit de l'importance a priori des enjeux d'acceptabilité sociale.

Les difficultés rencontrées

Les divergences entre le planning initial et le réalisé sont devenues progressivement problématique dans le cadre de la durée officielle des 3 ans du projet. Lors de la demande de remplacement du partenaire SIER par la société ACES une demande d'une extension d'un an de la durée du projet a été soumise et acceptée. Un tel bilan n'est ni surprenant ni inquiétant pour un projet qui s'investit dans une problématique de développement telle la gestion intégrée de résidus organiques dans un territoire exigu et densément peuplé : il s'agit (1) d'une démarche novatrice en matière de recherche participative : c'est une « preuve de concept » où les ajustements en cours de route sont normales ; (2) d'un sujet éminemment sensible où il convient de ne pas brûler des étapes ; (3) d'une étude complexe où les relations entre activités sont multiples et fortes.

Concilier une démarche participative adaptative, tributaire d'orientations et de décisions prises au fil de l'eau, et le cadre formel d'un projet financé pour une durée donnée et dans un cadre budgétaire fixé induit trois types de difficultés :

- Le cadre et la durée fixés laissent peu de place dans le temps pour approfondir des questions émises légitimement au cours du processus participatif, mais qui n'avaient pas été identifiées au départ. Certains de ces aspects ont pu être gérés par la réorientation et l'expansion des recherches menés par le CIRAD, et notamment l'UR GREEN. D'autres, agronomiques notamment, ont pu être intégrés dans des programmes de recherche à venir ;
- La dissociation entre les phases de construction des scénarios et leur évaluation n'a pas été effective. La contribution de participants à la fois experts et porteurs d'enjeu a permis une évaluation des options retenues au fil de l'eau. Si cette situation a permis aux scénarios finaux d'intégrer de nombreuses remarques et de « coller » aux attentes des participants, notre incapacité à « geler » la définition de ces scénarios a retardé d'autant le déclenchement des étapes d'évaluation formelle et quantitative ;
- La construction du programme de travail initial mettait en jeu de nombreuses interactions entre activités. Le retard pris par certaines de ces activités s'est en partie répercuté sur les suivantes : que ce soit pour des raisons de délais de démarrage (e.g. lié aux contraintes de marchés publics), pour des raisons de charges de travail sous-estimées (e.g. la création du modèle de simulation informatique) ou autre, la réalisation de nombreuses tâches a différé du planning initial. Si l'année supplémentaire accordée a fortement allégé la pression qui en ressortait, la maximalisation du chevauchement entre tâches a constitué un autre ressort.

De réels conflits ont pu être évités, mais certaines tâches restent à être finalisées en détail et surtout à être valorisées ;

- La difficulté de renégocier les engagements contractuels des partenaires : la nature du projet peut également demander une certaine souplesse de la part des partenaires. Si la plupart en ont effectivement fait la preuve, certains s'en sont tenus à leur engagement formel. Cela a pu gêner la réalisation d'ambitions émergées en cours de route, malgré le fait que les moyens pour les réaliser étaient a priori disponibles. Il sera sans doute bon que les conventions d'un futur projet de ce type incluent une sorte de fond de réserve mobilisable en cours de projet en fonction de son évolution et des besoins émergents.

Les différentes parties prenantes engagées dans le cadre du projet ne raisonnent pas selon les mêmes échelles de temps. Un projet de recherche sur 4 ans est un projet à court terme. Une étude de faisabilité industrielle ne dépasse pas quelques mois. La durée ressentie comme très longue par les participants a un effet démotivant pour certains représentants des groupes cibles. La compression des interactions au sein de la durée du projet pourrait être facilitée par une étape préalable de préparation scientifique en amont du projet, voire faire l'objet d'un pré-projet de recherche. 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 consultation. 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.

Enfin, un projet ayant l'ambition d'influer sur l'organisation du territoire ne peut être considéré sans prendre en considération l'ensemble des dynamiques, événements et institutions connexes : A la Réunion, durant la durée du projet, des réflexions, positionnements/décisions et actions parallèles sur la gestion des déchets à l'échelle de l'île (PPGDND, enfouissement, incinération, épandage) et sur l'épandage de boues de STEP sur les terres agricoles ont eu une influence sur les travaux menés (et ont pu être influencés en retour). Au-delà de la Réunion, la mise en enquête publique de la norme NFU 44-051 (relative aux amendements organiques), les échéances de renouvellement de la PAC, le rejet d'une proposition de normalisation des engrais organiques contenant des composts de MIATE (Matière d'Intérêt Agronomique issue du Traitement des Eaux), la relative stabilité des cours des matières premières ont pesé sur les orientations techniques retenues. Puis en termes de planning, la dimension politique du projet le rend sensible aux échéances démocratiques locales (Chambre d'Agriculture, mairies, intercommunalité).

Les suites envisagées

Les acteurs locaux enquêtés mettent en avant des effets notables dans la prise en considération de la thématique du projet au niveau des administrations, des élus et – dans une moindre mesure – des agriculteurs, notamment des planteurs de canne.

L'organisation et l'efficacité des circuits existants de valorisation agronomique des matières organiques se sont améliorées de manière significative durant le temps du projet : La remontée d'écume gérée par la société Téréos s'effectue aujourd'hui en flux tendu directement de l'usine vers le bord de champ. Le TCO a amélioré le procès de compostage de déchets verts et écoule l'ensemble de sa production auprès de plusieurs sociétés d'aménagement d'espaces verts et de production de supports de culture en sac. La station de co-compostage de boues de STEP ne fait plus l'objet d'un conflit médiatisé car son process est calé et ses hangars fermés afin de ne plus générer de nuisances olfactives. Un des partenaires du projet finalise actuellement un projet de production d'engrais organiques à partir de vinasses de distillerie proche des préconisations formulées dans le cadre du projet, mais localisé en dehors du territoire du TCO. Face aux réticences croissantes envers l'usage agricole des boues de STEP, un autre partenaire a mis en place un procédé de séchage de ces dernières, ouvrant ainsi une perspective de valorisation énergétique.

En dépit de cette prise de conscience, aucun industriel ne s'est pour l'heure déclaré comme porteur pour la mise en œuvre des installations de production de fertilisants organiques combinant plusieurs sources de résidus telles qu'elles ont été imaginées dans le cadre du projet. Au niveau administratif, plusieurs initiatives sont en cours pour accompagner le développement de ces activités. La rédaction en cours du prochain PDRR inclurait des demandes de nouvelles mesures agro-environnementales compensant le surcoût du passage à une fertilisation organique et subventionnant les dépenses d'investissement pour la construction de stations

collectives de traitement de produits résiduels organiques. Ces mesures citent explicitement le projet GIROVAR. Parallèlement, des démarches sont entreprises collectivement au nom de l'intérêt général pour obtenir une dérogation mineure permettant la normalisation des amendements organiques issus de végétaux produits à la Réunion, naturellement trop chargés en Chrome et Nickel du fait de la nature volcanique des sols de l'île. Au niveau local, le TCO pourrait (sous réserve) initier un appel à projet/d'offres visant à identifier et accompagner des porteurs de projet industriels s'engageant dans la production de bio-fertilisants. Cela pourrait concerner la plateforme de co-compostage, voire aussi l'usine d'engrais pour lequel du foncier à proximité de la zone portuaire pourrait être disponible.

Il serait bénéfique, pour la Réunion dans son ensemble, mais aussi pour le TCO, que par la suite quelques composantes du projet soient transposées à d'autres territoires de l'île. Il n'a vraisemblablement que peu de sens de transposer l'ensemble de la démarche vers ces territoires, car il est peu probable que par exemple les attentes des agriculteurs et les types de produits adaptés y diffèrent fondamentalement. Mais étudier pour chaque territoire si des « bases organiques » intéressantes peuvent y être élaborés par des circuits similaires est probablement une condition pour l'émergence de ces derniers. Et cela améliorerait la viabilité de l'usine d'engrais (voir la section IV). Comme indiqué dans la section précédente, le pôle de compétitivité Qualitropic s'est positionné pour porter l'industrialisation à la suite de Girovar avec l'ambition de faire émerger progressivement une filière à l'échelle de l'ensemble de l'île. Il sera dans ce cadre, et cela en collaboration avec le Conseil Général, amené à transposer la réflexion sur la création de bases organiques aux « bassins » jugés d'intérêt (Figure 22).

La réunion de clôture du comité de pilotage a permis de rendre publique ces diverses intentions et possibilités, ce qui assure par là même aussi une coordination entre elles par la suite. Par ailleurs, les modalités de la coordination dans la durée entre l'ensemble de producteurs de résidus « fournisseurs » de la filière, dont l'importance dans ce genre d'initiatives territoriales est connue et soulignée par les acteurs depuis le début du projet, doivent encore être définies. Si cela dépend pour partie du portage retenu, l'accompagnement par les administrations devrait garantir l'existence de cette coordination.

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. Ces activités montent actuellement en puissance. Si des expérimentations comme réalisées sur ananas dans le cadre de GIROVAR et un autre projet (EcoFruit) produisent des résultats, ce sont surtout des expérimentations agronomiques de longue durée qui sont attendus. ERCANE, organisme professionnel de recherche en canne à sucre, met actuellement en place le premier de deux essais de longue durée d'un ensemble d'effluents bruts, mais aussi un co-compost, sur canne à sucre à deux endroits contrastés de l'île ; la CA devrait être associée à cette démarche en pilotant des essais de longue durée, de fertilisation organique, chez des agriculteurs. Il importe que ces essais concernent également la prairie des hauts – milieu contrasté où il pourrait être difficile d'extrapoler les résultats obtenus ailleurs. Le CIRAD gère depuis plusieurs années quatre essais de fertilisation – organique et mixte – sur prairie, dont deux en altitude. D'ici peu, les informations obtenues sur ces essais devraient permettre d'estimer les coefficients d'utilisations des nutriments contenus dans du lisier et dans du fumier de bovins. Cela constituera une importante indication du comportement de tout fertilisant organique dans ce milieu. De manière complémentaire, le CIRAD vient de lancer un site d'expérimentation de longue durée, sous canne à sucre à basse altitude, qui fait partie du réseau SOERE-PRO et sur lesquels seront testés des granules de boues de STEP, du lisier de porc et de la litière de volaille.

Au-delà de ces aspects purement agronomiques, le CIRAD s'appuiera sur ces deux derniers ensembles d'essais pour (1) suivre le devenir des polluants inorganiques et, sur le site SOERE-PRO, organiques ; (2) mettre en perspective l'effet des différentes modalités de fertilisation sur l'évolution du sol dans son ensemble. Outre ces aspects expérimentaux, les perspectives de recherche concernent le développement de projets similaires à GIROVAR sur des territoires de pays en développement qui représentent de forts enjeux et potentiels est envisagé. Les nombreux enseignements que fournit cette première expérience impacteront considérablement la définition de ces projets futurs.