



L'AGRICULTURE au cœur de L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Valorisation
des biomasses

Mobilisation
des acteurs
du territoire

Bénéfices
et risques
du recyclage



ÉCONOMIE CIRCULAIRE, LE PASSAGE À L'ACTE A COMMENCÉ !



© D. Martin-Ferrari

Pour l'humanité, l'enjeu est de réduire la dépendance au carbone fossile tout en assurant l'alimentation et les besoins primaires de 9 milliards d'habitants à l'horizon 2050 ; équation complexe à laquelle n'échappe pas La Réunion. Le ministère des Outre-Mer a donné le ton en définissant une « Trajectoire outre-mer 5.0 » et une nouvelle manière d'imaginer et de construire demain : « Zéro carbone », « Zéro déchet », « Zéro polluant agricole », « Zéro vulnérabilité ». Il y a aujourd'hui une réelle prise de conscience du fait que les ressources globales de la planète sont limitées tout comme celles de La Réunion. Il convient donc de les économiser, de les valoriser et de les recycler après un premier usage.

Il nous faut pour cela changer de paradigme et passer concrètement à l'acte pour une croissance plus verte, au profit direct d'un développement durable et assumé de notre territoire. Ce nouveau modèle bioéconomique entre dans le champ de l'économie verte avec des enjeux environnementaux, économiques et sociaux. Il doit aboutir à l'émergence d'activités différentes et à la création d'emplois durables et non délocalisables où les hommes et les femmes trouvent leur juste place. Tous ces points sont inscrits dans la loi relative « à la transition énergétique pour la croissance verte ». Cette loi du 18 août 2015 définit un objectif national volontariste, avec une feuille de route concrète publiée en 2018. Elle appelle à « une consommation sobre et responsable de nos ressources naturelles et des matières premières primaires ainsi qu'à la prévention de la production de déchets, notamment par le réemploi des produits, à une réutilisation, à un recyclage ou à une valorisation des déchets ».

Certains diront que tout cela reste un vœu pieux ; l'île de La Réunion importe toujours des centaines de milliers de tonnes de biens de consommation et d'intrants agricoles produits à l'autre bout du monde. Les sceptiques diront aussi qu'à l'autre bout de la chaîne, les déchets organiques issus des activités agricoles et agroalimentaires restent peu valorisés... Ils se trompent ! La prise de conscience locale est bien réelle et La Réunion est entrée concrètement dans la boucle : l'Ademe, la Région Réunion, les Communautés de communes conduisent déjà des projets, seules ou en partenariat, pour favoriser l'économie des ressources et réduire les impacts environnementaux des villes et des industries. Le préfet de La Réunion et l'Agence Régionale de Développement, d'Investissement et d'Innovation Nexa ont organisé en juillet dernier le premier Forum des Projets. L'événement a permis à une quinzaine d'entrepreneurs réunionnais œuvrant dans le domaine de l'économie circulaire et la gestion des déchets de faire connaître leurs idées, leurs projets et leurs produits.

La recherche agronomique participe pleinement à ce mouvement de fond. Les priorités du Cirad sont de co-développer des programmes cohérents et intégrés à des synergies engendrées par les unions de différents acteurs régionaux proactifs. L'objectif est de gagner du temps et de concentrer ou mutualiser les moyens tout en favorisant plus d'interactions entre le monde de la recherche et la société. Un défi important reste celui de la mobilisation concertée et convergente de tous pour cette cause : citoyens, collectivités, entreprises, associations, administrations, acteurs de la recherche et du développement. Je parlerais volontiers d'urgence économique circulaire. Le Cirad et ses partenaires l'ont d'ailleurs bien compris, comme l'illustre ce numéro hors-série. Un état des lieux heureusement non exhaustif. Le passage à l'acte a commencé !

Eric Jeuffrault,
Directeur régional du Cirad
pour La Réunion - Mayotte et les pays de la COI (hors Madagascar)

SOMMAIRE

PAGE 3

L'économie circulaire dans les îles de l'océan Indien

PAGE 4 - 5

Une approche territoriale de la gestion des biomasses

PAGE 6

Une meilleure utilisation des fourrages

PAGE 7

Une gestion optimisée des plans d'épandage

PAGE 8

La marche vers le co-compostage

DOSSIER

Les outils du Cirad à l'aide de l'économie circulaire

PAGE 9

Des modules de formation spécifiques

PAGE 10 - 11

Des bénéfices maximisés, des risques minimisés

PAGE 12 - 13

Les multiples usages de la canne à sucre

PAGE 14

La bioénergie dans l'océan Indien

PAGE 15

Le partenariat de l'Ademe

PAGE 16

Les chiffres clés



DOSSIER

LES OUTILS DU CIRAD À L'AIDE DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

(pages centrales, numérotées de I à IV)

Comité de rédaction : François Broust, Claire Cerdan, Jean-Philippe Choisis, Pascal Degenne, Danny Lo Seen Chong, Pascal Marnotte, Jean-Christophe Soulié, Emmanuel Tillard, Laurent Thuriès, Antoine Versini, Mathieu Vigne. Relecture : Jean-Cyril Dagallier, Nadège Nanguet

Directeur de publication :
Eric Jeuffrault

Coordination éditoriale :
Laurent Decloitre

Coordination scientifique :
Jonathan Vayssières
et Matthieu Bravin

Photo de couverture :
© Antoine Franck

Mise en page :
Audrey Velia, Attaya Design

Impression :
NID Imprimerie, La Réunion

Les projets du Cirad à La Réunion sont financés par l'Union européenne (Feader et Feder), la Région, l'État et le Département de La Réunion



Direction régionale du Cirad pour La Réunion-Mayotte et les pays de la COI (hors Madagascar)
Station de la Bretagne - 40, Chemin de Grand Canal - CS 12014
97743 Saint-Denis Cedex 9 - Ile de La Réunion
Tél. standard : +262 (0)2 62 72 78 00
Fax : +262 (0)2 62 72 78 01
Courriel : dir-reg.reunion@cirad.fr - Site web : http://reunion-mayotte.cirad.fr



ECONOMIE CIRCULAIRE DANS LES ILES DE L'OCÉAN INDIEN

Les biomasses dans la boucle

L'économie circulaire est une approche nouvelle, qui peut créer de la valeur pour l'agriculture et les territoires. La gestion de la biomasse y occupe un rôle renforcé en contexte tropical et insulaire.

Extraire, produire, consommer et finalement jeter... L'économie linéaire montre aujourd'hui ses limites. L'économie circulaire, elle, limite la consommation des ressources et préserve les milieux naturels, en intégrant l'ensemble du cycle de vie des produits : dès leur production, pendant leur phase de consommation et jusqu'à la gestion des déchets en résultant. On boucle ainsi la boucle en réutilisant ou recyclant un maximum de matières. Ce circuit vertueux prend particulièrement sens dans les îles de l'océan indien. Ces territoires circonscrits et isolés des continents industrialisés disposent en effet de ressources limitées alors même que leur croissance démographique est rapide. « *Dans ce contexte tendu, assure Jonathan Vayssières, chercheur au Cirad, les biomasses peuvent jouer un rôle essentiel pour le développement d'une économie circulaire insulaire* ». Copeaux de bois, pailles de canne, lisiers de porcs, boues d'épuration, déchets verts, drèches de brasseries, et bien

d'autres résidus organiques encore peuvent être recyclés de mille façons : l'alimentation des animaux, la fertilisation des sols et des cultures, la production d'énergie et de bio-matériaux, la chimie verte... La question est de savoir si ces biomasses produites localement sont suffisantes pour rendre nos îles autonomes d'un point de vue alimentaire et énergétique.

Le contexte tropical

La réponse est dans les champs et dans les étables. L'agriculture est en effet le premier pourvoyeur de biomasses, contribuant ainsi au développement durable des territoires. Elle peut à la fois produire des biomasses utiles aux autres secteurs et en même temps utiliser, et donc valoriser, d'autres biomasses (co-produits, résidus ou déchets) produites par les autres secteurs du territoire. Ce levier est d'autant plus fort dans l'océan Indien que les îles y sont tropicales. Elles bénéficient d'un ensoleillement, d'une pluviométrie

et de températures plus élevées et régulières qu'en contexte tempéré. La production de biomasse y est donc plus importante. Pour autant, le contexte tropical reste encore assez mal connu. Comment optimiser la gestion des biomasses, de la parcelle au territoire, du point de vue social, économique ou environnemental ? Comment piloter la transformation des biomasses avant et lors de l'apport au sol, pour en maximiser les bénéfices tout en minimisant les risques ?

Sur ces îles aux centaines de micro-climats, au relief souvent prononcé, se pose encore la question de leur stockage, transport, utilisation... Le tout en veillant à la complémentarité de leur usage en agriculture et dans d'autres pans de l'économie, notamment en valorisation énergétique. Pour répondre à ces problématiques, le Cirad développe des outils spécifiques, analytiques, de terrain ou de modélisation.

jonathan.vayssieres@cirad.fr

L'étagement altitudinal des activités sur l'île de La Réunion induit un transport important des biomasses pour mettre en œuvre l'économie circulaire :

1. Transport de fourrages (foin, paille de canne) des Bas vers les Hauts
2. Alimentation des bovins dans les Hauts, avec du fourrage en partie produit dans les Bas
3. Alimentation des porcs dans les Hauts avec des drèches de brasserie issues de l'industrie dans les Bas
4. Epandage de Lisier issu d'élevage des Hauts dans les champs de canne à sucre dans les Bas
5. Epandage de compost sur parcelles de maraîchage dans les Bas issus de fumiers produits dans les Hauts
6. Plateforme de co-compostage associant déchets verts collectés dans les Bas et effluents d'élevages produits dans les Hauts



© M. Rousse

LE RÔLE DE L'ÉTAT

Accompagner la transition

La transition vers une économie circulaire représente un enjeu fondamental où l'implication de l'État est prépondérante. La mise en place d'un ministère de la Transition écologique et solidaire constitue déjà une réponse opérationnelle pour atteindre cet objectif. Mais au-delà d'une loi anti-gaspillage, il y a besoin de disposer d'un mode opératoire pour mener à bien

concrètement cette transition. A cet effet, La Réunion met en œuvre une « *Feuille de route pour l'économie circulaire* » (FREC). Services de l'État et établissements publics sont chargés de cette mission, sous le patronage de la préfecture et l'appui de la DEAL. Cela passe par l'amélioration du fonctionnement des administrations et l'exemplarité de l'État dans ce domaine, par la sensibilisation

des entreprises, par le soutien des formations consacrées aux nouveaux métiers induits, par le développement des énergies renouvelables et des dynamiques d'économie circulaire autour de l'agriculture en particulier. Cela passe également par le lancement d'appels à manifestation d'intérêt visant à dynamiser des projets

territoriaux ou de contrats de territoires, comme le contrat de transition écologique du TCO. Cette transition est un véritable projet de société. L'État doit impulser la démarche mais c'est avant tout la contribution de chaque citoyen à ce projet qui en garantira le succès.

Ivan Martin
Directeur adjoint de la DEAL



Le projet Gabir a mobilisé de nombreux partenaires pendant plus de 3 ans.

UNE APPROCHE POUR DES SOLUTIONS

Réunir autour de la table des acteurs très divers pour imaginer du territoire n'est pas facile. Mais cela permet de lancer

Des citoyens aux décideurs politiques, en passant par les agriculteurs et leur encadrement technique, les industriels, la distribution... La gestion de la biomasse implique des acteurs très divers. Par ailleurs, les territoires sont bien souvent hétérogènes en termes de climats, de sols et de leurs modes d'occupation, de pratiques agricoles, de moyens de transport... Les visions territoriales sont l'occasion de réunir des gens qui se rencontrent rarement et de découvrir des gisements de biomasse inattendus. Elles offrent également l'opportunité

BAGASSE, FOURRAGE, DÉCHETS VERTS ET ALIMENTAIRES, EFFLUENTS D'ÉLEVAGE Mieux recycler les biomasses

Bagasse, fourrage, déchets verts, effluents d'élevages, déchets alimentaires issus de la restauration ou des particuliers... Comment optimiser la valorisation de ces biomasses localement pour réduire les importations d'intrants agricoles à la Réunion ? C'est la question à laquelle tente de répondre depuis 2017 le Cirad avec l'ensemble des partenaires du projet Gabir (Gestion Agricole des Biomasses sur l'île de la Réunion).

Un inventaire des pratiques et des enjeux a déjà permis d'identifier près de 8000 acteurs issus de trois secteurs : agricoles, urbains et industriels. Selon Mathieu

Vigne, zootechnicien au Cirad et coordinateur du projet, « le gisement s'élève à près de 1,7 million de tonnes de biomasses valorisées ou valorisables en agriculture, sous forme de fertilisant organique pour les cultures, ou d'aliment et de litière pour les animaux ».

Les partenaires du projet ont identifié plusieurs problématiques à différentes échelles. Sur la commune de Saint-Joseph, ils se sont penchés sur l'impact des dynamiques d'urbanisation et des contraintes réglementaires pesant sur la valorisation des effluents d'élevages (voir p7) ; à l'échelle de l'île, ils ont réfléchi à la mise en place

d'une filière d'échange de fourrages entre éleveurs (p 6), ou encore à la valorisation des biomasses en agriculture biologique.

Ces problématiques ont été étudiées en partenariat avec les coopératives animales et végétales, l'encadrement technique, l'enseignement agricole, les collectivités locales, les services de l'Etat, les entreprises privées, les organismes de recherche et développement... L'objectif est d'engager une démarche collective et partagée pour favoriser le transfert des innovations sur la gestion de la biomasse en agriculture.

mathieu.vigne@cirad.fr

- Canne à sucre
- Pâturage et fourrage
- Maraîchage
- Culture sous serre ou ombrage
- Arboriculture
- Espace boisé
- Lande et savane
- Rocher et sol nu naturel
- Ombre due au relief
- Eau
- Espace artificialisé



Cette carte d'occupation du sol de 2018 calculée utilise une mosaïque d'images Pléiades.

CARTOGRAPHIE DE Un prérequis

Dans le cadre du projet Gabir, le Cirad a réalisé des cartes d'occupation du sol en mobilisant la chaîne de traitement d'images satellitaires « Moringa » que les chercheurs ont mise au point. Cette méthode, reproductible d'une année sur l'autre, a permis l'édition de cartes depuis 2016, en accès libre, ce qui donne une approche évolutive. La répartition des classes d'occupation des sols confirme des espaces agricoles dominés par la culture de la canne (42% de la surface agricole détectée) suivi des prairies (21%). Le reste correspond principalement au maraîchage sous serre ou en plein champ et à l'arboriculture. « Les cartes ont de nombreuses utilisations », rappelle Stéphane Dupuy, spécialiste en télédétection et information spatiale au Cirad.

UNE PRIORITÉ POUR LA DAAF « Gabir est une étape importante »

« On pense déjà à l'après Gabir ».

Quel intérêt représente le projet Gabir pour un service de l'Etat comme la DAAF ?

Christophe Castanier, chef de pôle Agriculture durable : Les projets Girovar et Gabir ont initié une dynamique essentielle sur le territoire. Ils ont permis de réunir tous les acteurs concernés par la question de la valorisation des matières organiques fertilisantes d'origine résiduaire. Ce sont des gens qui se rencontrent rarement par ailleurs.

Agathe Deulvot, chargée de mission Gestion et valorisation des matières organiques : Gabir était un projet important à réaliser : La Réunion importait en 2018 plus de 32 000 tonnes d'engrais minéraux, alors que le gisement local de résidus organiques en partie substituables aux engrais importés est de environ 600 000 tonnes !

Gabir aura-t-il des répercussions concrètes ?

Christophe Castanier : C'est un tremplin pour alimenter la réflexion sur de nouveaux modes de traitement de ces matières organiques.

Actuellement, il y a assez de surfaces disponibles sur l'île pour épandre les effluents d'élevages, mais la situation se tend avec l'essor des villes et le développement de l'élevage.

Agathe Deulvot : La Chambre d'agriculture avait déjà réalisé, avec l'aide du Cirad, un guide de fertilisation organique à La Réunion en 2006 ; son actualisation dans le cadre de Gabir va permettre de prendre en compte de nouvelles matières dans les projets agricoles de traitement et valorisation de biomasses.

Mais le programme s'achève en avril...

Christophe Castanier : On pense déjà à l'après-Gabir. L'Etat sera vigilant pour faire vivre la dynamique qui a été lancée. La valorisation des matières organiques fertilisantes d'origine résiduaire est une de nos priorités, dans le cadre du volet agricole de la feuille de route pour l'économie circulaire (Frec) du ministère de l'Agriculture et de l'alimentation.



©DAAF

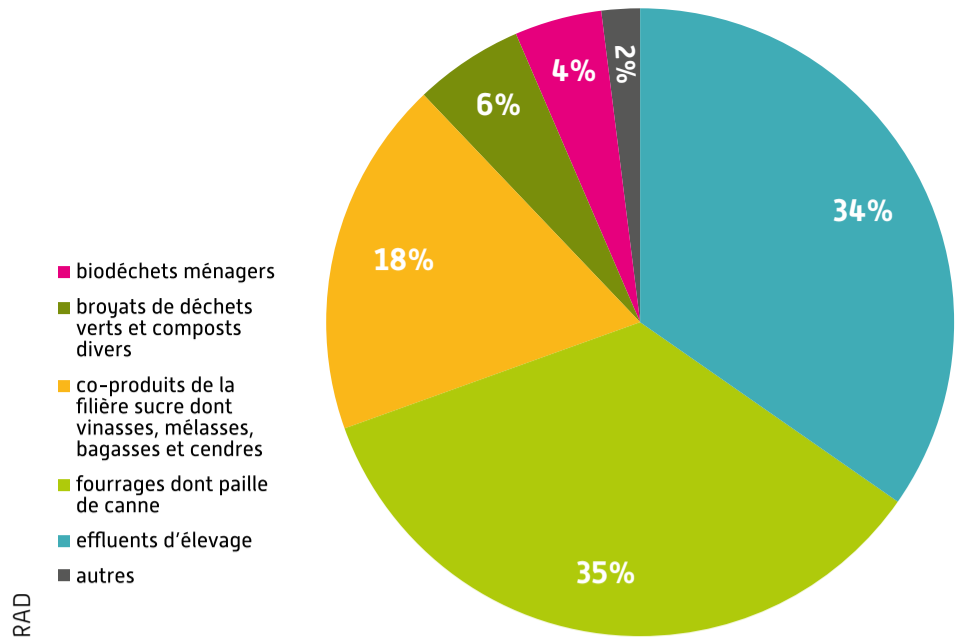


© Runéo

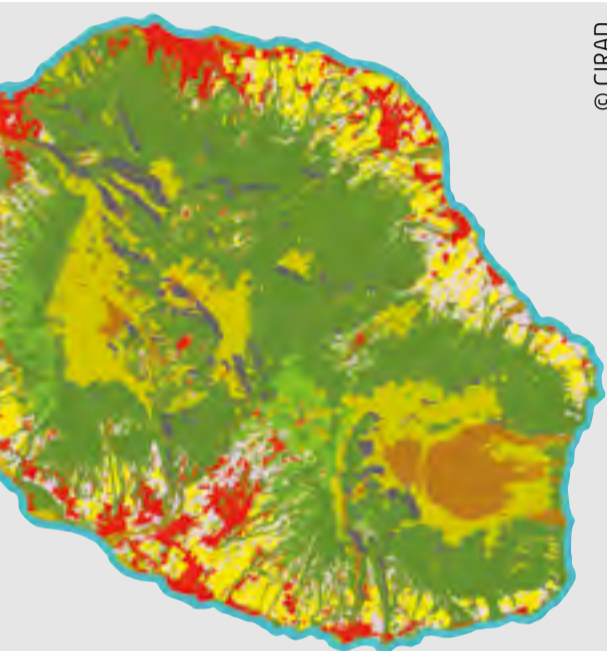
TERRITORIALE NOUVELLES

des solutions de gestion collective des biomasses à l'échelle des projets d'économie circulaire novateurs.

de comprendre les réelles contraintes de gestion, par exemple liées au transport des biomasses, et d'imaginer des solutions nouvelles, souvent basées sur une gestion collective. Les exemples de la banque fourragère, du remembrement des plans d'épandage, et du co-compostage de déchets verts urbains et d'effluents d'élevages (voir p. 6 à 8) illustrent les bénéfices de telles approches territoriales à La Réunion.



Gisement de biomasses aujourd'hui non valorisées énergétiquement et valorisé ou valorisable en agriculture (cultures et élevage) à La Réunion.



L'OCCUPATION DES SOLS indispensable

Dans le cadre de l'économie circulaire, elles servent à évaluer les surfaces concernées par les contraintes réglementaires sur l'épandage d'effluents d'élevages à l'échelle de l'île. Il faut notamment respecter les distances vis-à-vis des bâtiments et des cours d'eau. Le Cirad peut également mesurer l'influence de la croissance des villes sur la fertilisation organique à l'échelle d'une commune ; cette information peut être utilisée pour autoriser, ou non, l'installation de nouveaux élevages. Enfin, les cartes constituent une aide précieuse pour appuyer la gestion des ressources fourragères en pastoralisme : elles localisent précisément où sont produits les fourrages, une information utile pour les éleveurs.

stephane.dupuy@cirad.fr

© CIRAD

1,7 MILLION DE TONNES DE BIOMASSES À LA RÉUNION

Un inventaire pour identifier l'offre et la demande

L'agriculture réunionnaise dépend des importations d'intrants agricoles. Chaque année, 30 000 tonnes d'engrais minéraux et 222 000 tonnes de céréales et tourteaux pour l'alimentation des animaux entrent sur notre territoire. Une meilleure utilisation des biomasses locales permettrait de réduire en partie cette dépendance et de rendre plus autonome le secteur agricole. C'est dans ce contexte que le Cirad a lancé le projet Gabir pour mieux appréhender la situation via un inventaire complet des flux de biomasses sur l'île. Leur gisement total est estimé à 2,1 millions de tonnes. Vivien Kleinpeter, doctorant au Cirad, en donne le détail : environ 20% (la bagasse de la canne) sont brûlés pour produire de l'énergie. Sur les 1,7 millions de tonnes restantes, 83% sont valorisés en agriculture, 2%

dans le secteur urbain et 15% éliminés. Le détail des 1,7 million se répartit en fourrages (590 000 tonnes dont la paille de canne), effluents d'élevages (580 000 t), co-produits de la filière sucre (310 000 t dont vinasses, mélasses, bagasses et cendres), broyats de déchets verts et composts divers (110 000 t), biodéchets ménagers (70 000 t).

L'importance de l'élevage

« Cette étude montre qu'une forme d'économie circulaire construite autour de l'agriculture existe déjà à La Réunion », souligne Jonathan Vayssières, chercheur au Cirad. En effet, environ 55% des flux de biomasses inventoriés sont opérés entre éleveurs, agriculteurs, industriels, particuliers et collectivités. L'élevage joue un rôle important dans ces circuits

puisque environ 50% des flux inventoriés sont issus ou vont à destination de l'élevage. Les marges de progrès consisteraient d'une part à valoriser des biomasses aujourd'hui éliminées, comme les biodéchets ménagers (voir p9), d'autre part à optimiser l'utilisation des biomasses déjà valorisées en agriculture (fourrages, résidus de culture, effluents d'élevages, déchets verts...). A cet effet, prône Vivien Kleinpeter, « il faudrait approfondir encore l'analyse des flux de biomasse », en précisant notamment les importations et les exportations et en tenant compte de « la spatialisation des flux ». Ces données aideraient à « mieux équilibrer » l'offre et la demande entre les différentes activités du territoire : agriculture, élevage, industrie...

vivien.kleinpeter@cirad.fr

LE SCHÉMA RÉGIONAL BIOMASSE

Un outil pour étudier les usages énergétiques

Bagasse, déchets verts, bois issu des forêts, effluents d'élevages... Autant de biomasses disponibles à La Réunion susceptibles d'être valorisées pour la production d'énergie en chaleur, électricité ou carburant, via la combustion ou la méthanisation. Ces biomasses constituent une des sources d'énergie renouvelable, pour lesquelles des objectifs sont fixés dans la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie de la Réunion. Le Schéma Régional Biomasse comporte deux volets : un état des lieux qui vise à quantifier les différentes ressources en biomasses afin d'en estimer un potentiel valorisable en énergie ; un document d'orientation qui cherche à identifier des actions pour le développement de la production d'énergie à partir de biomasses. Ce schéma s'est notamment appuyé sur les données issues du projet Gabir développé par le Cirad, qui rappelle que le retour au sol est une composante essentielle de l'économie circulaire à La Réunion. La SPL Horizon Réunion a pris en compte cette hiérarchie des usages de la biomasse.

Concernant les boues des stations d'épuration, le schéma régional en estime le potentiel énergétique à 22 000

tonnes, valorisables par méthanisation. A l'image de ce qui se fait déjà à la station du Grand Prado (Sainte-Marie) : par méthanisation des boues, du biogaz est produit, qui, brûlé, donne de la chaleur et de l'électricité, revendue à EDF. Les boues séchées à cette occasion sont transformées en engrais organique. Même contexte en ce qui concerne les déchets végétaux : sur un gisement annuel estimé à 114 000 tonnes, l'essentiel est broyé ou composté pour servir de fertilisant ; mais environ 45 000 tonnes pourraient potentiellement prendre le chemin de la combustion, estime le schéma régional.

Les prévisions sont encore plus optimistes concernant les 580 000 tonnes d'effluents d'élevages produits chaque année dans les exploitations agricoles : le fumier ou encore le lisier servent aujourd'hui de fertilisant, mais la SPL évoque la possibilité de les méthaniser pour produire du biogaz. Quant aux 570 000 tonnes de bagasse, issues chaque année de l'industrie du sucre, principale source de biomasse de l'île, elles sont presque entièrement valorisées par combustion et permettent la production 8 à 10% de l'électricité de l'île.

L'unité de méthanisation de la station d'épuration du Grand Prado (Sainte-Marie).



BIENTÔT UNE BANQUE FOURRAGÈRE ?

Plus de fourrages péi pour les éleveurs

Le Cirad et l'ARP étudient les possibilités de mettre dans un pot commun les surplus de fourrages pour alimenter les élevages déficitaires en période de sécheresse.

En saison fraîche à La Réunion, la baisse de la température et de la pluviométrie génère un déficit fourrager. Les éleveurs doivent alors acheter foin, paille de canne et ensilage d'herbe. Les années les plus sèches, les coopératives ont même eu recours à des importations depuis l'Europe. C'est qu'il faut en nourrir des bêtes ! Les herbivores de l'île représentent 54 000 têtes et consomment 110 500 tonnes de matière sèche de fourrage par an !

Récolter le surplus pour le revendre

Les besoins sont heureusement assurés en grande partie par la production d'herbe sur les 11 000 hectares de prairies. Mais la situation est tendue : la demande en fourrages conservés est tout juste couverte. Les disparités entre zones et entre saisons expliquent les problèmes d'approvisionnement des élevages en hiver, notamment dans les zones déficitaires en foin comme la Plaine des Cafres. « A l'inverse, analyse Maéva Mirallès-Bruneau, ingénieur à l'Association réunionnaise de pastoralisme (ARP), on observe un fort excédent d'herbe sur pied au niveau des prairies pâturées, globalement sous-exploitées ». C'est le cas, en particulier en été, dans les hauts de l'Ouest.

L'ARP et les coopératives réfléchissent donc à la mise en place d'une « banque fourragère ». La filière pourrait organiser et sécuriser

L'ensilage permet de stocker le fourrage estival en vue de le vendre à d'autres éleveurs déficitaires.



© CIRAD

l'approvisionnement des élevages à un tarif satisfaisant pour les éleveurs. La principale option est de davantage récolter le surplus fourrager dans les exploitations excédentaires en vue d'un achat par la banque. Elle concerne surtout les éleveurs allaitants dans les hauts de l'Ouest. Cela suppose de faucher, en été, certaines prairies habituellement réservées au pâturage quand la production d'herbe excède les besoins du troupeau.

Un modèle développé par le Cirad, dans le cadre du projet Gabir, permet une localisation fine des surfaces productrices de fourrages et des élevages d'herbivores consommateurs.

« Il met ainsi en balance l'offre et la demande dans les différentes zones de l'île et quantifie les transports de fourrages nécessaires pour approvisionner les fermes », détaille Jonathan Vayssières, chercheur au Cirad. L'outil permet d'évaluer les temps et les coûts de transport selon le nombre et la localisation des lieux de stockage. Ces résultats sont actuellement repris par le bureau d'étude BRL pour dimensionner et élaborer le business plan de la future structure qui gèrera la « banque fourragère ».

maeva.miralles@arp.re
jonathan.vayssieres@cirad.fr

Raoul Nativel stocke parfois plus de 350 tonnes de fourrage sur son exploitation de Pierrefonds.



© LD

RAOUL NATIVEL, ÉLEVEUR DE TAURILLONS

« Je ne sais jamais si je récolterais assez de foin et de paille »

Il engraisse des jeunes bovins, produit du foin tout en récoltant de la paille de canne. L'agriculteur de Pierrefonds s'en sort bien mais aimerait avoir une meilleure vision des ressources disponibles.

Une faucheuse, une faneuse, une presse... Raoul Nativel possède toutes les machines de la chaîne de fenaison. L'homme est éleveur de taurillons, qu'il engraisse dans son exploitation de Pierrefonds. Le presque quadragénaire passe une grande partie de son temps à récolter, échanger, vendre, acheter du fourrage. Il fauche sur ses cinq hectares, sur les trois autres qu'il loue, et sur les vingt derniers pour lesquels il intervient comme prestataire de services. Dans ce cas, il se rémunère en gardant pour lui une partie du foin coupé. « J'en ai besoin pour nourrir mes bêtes », raconte-t-il. Deux bottes tous les jours pour ses cent quinze taurillons.

Raoul Nativel utilise aussi de la paille de canne, pour leur alimentation et litière. Comme il n'est pas planteur, il s'en procure auprès des canniers. L'éleveur ramasse le paillis après la coupe annuelle sur trente à quarante hectares de parcelles, et paye les propriétaires en euros

ou ... en fumier. Une belle illustration d'économie circulaire, qui n'est pourtant pas si simple à mettre en œuvre.

Dépanner les collègues

« Si j'ai coupé l'herbe et qu'il pleut, il faut refaire sécher, et la matière perd de ses qualités nutritives », remarque le sudiste. Une année, ses rendements ne dépassent pas vingt tonnes par hectare, alors qu'une autre ils peuvent atteindre trente tonnes par hectare... Quant à la paille de canne, les quantités disponibles dépendent du bon vouloir des planteurs : certains demandent que Raoul Nativel laisse plus de matière, pour protéger et fertiliser leur sol. Bref, l'agriculteur ne peut jamais prévoir de combien de stock il disposera sur l'année. Il n'est pas le seul... « Régulièrement, des collègues, souvent des éleveurs de chevaux, me contactent pour que je les dépanne ».

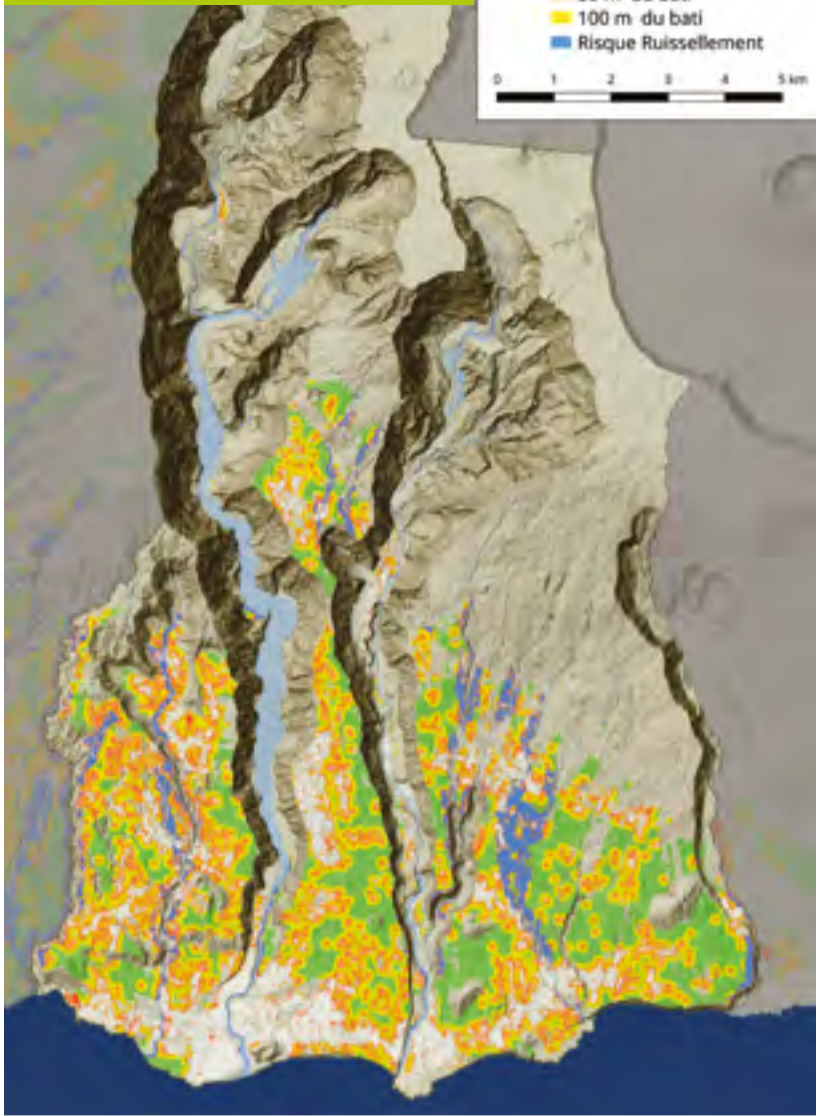
Raoul Nativel « bataille » pour que les flux entre producteurs de fourrage et consommateurs soient mieux organisés. Aussi suit-il avec intérêt le projet de « banque fourragère » de l'Association réunionnaise de pastoralisme. Grâce à cette étude, les ressources disponibles sont identifiées plus précisément et des structures de mise en relations pourraient voir le jour.

Une cartographie des contraintes d'épandage a été simulée sur Saint-Joseph.

Contraintes d'épandage

- Pas de contrainte
- 10 m du bâti
- 50 m du bâti
- 100 m du bâti
- Risque Ruissellement

0 1 2 3 4 5 km



© CIRAD

UN LOGICIEL SPÉCIALEMENT DÉVELOPPÉ Vers une gestion durable des surfaces d'épandage

Trouver les meilleures correspondances possibles entre lieux de production et lieux d'épandage des effluents d'élevages permettrait de réduire les coûts de transport. Illustration à Saint-Joseph.

Les communes cherchent à se développer, parfois au détriment des surfaces agricoles. Les éleveurs, de leur côté, ne peuvent s'installer ou s'agrandir qu'à condition de disposer de parcelles pas trop éloignées pour épandre leurs effluents. Comment concilier ces demandes ? Gabir, le projet du Cirad, s'est penché sur la question, en menant un travail de simulation. « *Le modèle, détaille le chercheur Pascal Degenne, intègre une géolocalisation des parcelles cultivées, des élevages et des types d'effluents d'élevages produits* ».

Un logiciel a été développé pour cartographier les contraintes réglementaires liées à l'épandage. Ces travaux ont été complétés avec un modèle de calcul des distances parcourues et des temps de transport des effluents. Pour Jonathan Vayssières, chercheur au Cirad, « *l'objectif est de trouver les meilleures correspondances possibles entre lieux de production et lieux d'épandage et de réduire les trajets correspondants* ».

Le modèle a été appliqué à Saint-Joseph. Cette commune agricole illustre bien les contraintes de relief et d'urbanisation que vivent les élevages à La Réunion. Les résultats de la modélisation montrent que malgré une présence très importante des élevages, il reste des surfaces, un peu excentrées, disponibles dans la zone cannière Sud-Est de la commune. « *Une transformation des lisiers de porc en compost à la ferme est aussi une voie intéressante, estime Chloé Alison, de la Fédération des coopératives agricoles de La Réunion, partenaire du projet. Elle permettrait de réduire les contraintes d'épandage et les coûts de transport des effluents d'élevages car la matière est davantage concentrée* ».

Des projections de futures constructions, prévues notamment dans le Plan local d'urbanisme de Saint-Joseph, ont enfin été cartographiées ; elles ont servi à estimer les risques de pertes en surfaces épandables sur la commune d'ici à 2030. Les logiciels développés ici pourraient être utilisés sur le reste de l'île pour aider les autres communes à définir des plans compatibles avec les projets de développement de l'agriculture et de l'élevage.

pascal.degenne@cirad.fr

UN OUTIL POUR MIEUX GÉRER LES PLANS D'ÉPANDAGE Création d'un Satège

La Réunion est en train de se doter d'un Satège, pour Service d'Appui Technique de Gestion des Epandages, que Julie Leung, de la Chambre d'agriculture, a la charge de développer et d'animer. « *A cet effet, je centralise l'ensemble des plans d'épandage effectués sur le territoire, pour les numériser et les intégrer dans un système d'information géographique* », indique la jeune chargée d'étude. Ces données sont à ce jour réparties au sein de l'ARS, de la Deal, de la Daaf et se trouvent souvent sous format papier.

Le préfet prendra ensuite, courant de l'année, un arrêté pour entériner la création de ce nouvel outil. *In fine*, détaille Marie Kientz, cheffe du service Territoire et innovation à la Daaf, le Satège sera « *un appui à l'instruction réglementaire des plans d'épandage* ». Car un agriculteur ne peut épandre n'importe quoi n'importe où, notamment en raison des risques de pollution des eaux.

Par ailleurs, l'outil informatique donnera « *une meilleure vision* » de la situation et permettra d'améliorer les modalités de définition des plans d'épandage. Par exemple d'éviter qu'une parcelle déjà amendée le soit une seconde fois. « *Cela amènera peut-être des structures comme les coopératives à développer de nouveaux traitements des effluents d'élevages* », poursuit Marie Kientz.



© CIRAD

Les plans d'épandage seront bientôt tous centralisés.

EN BREF



© L. Piccin

Une formation de maître composteur

57 tonnes de déchets sont jetées chaque heure à la Réunion dont 8,5 tonnes de déchets organiques et 2,2 tonnes d'aliments consommables. Face à ce constat et alors qu'une directive européenne prévoit l'obligation de mettre en place une gestion séparée des bio-déchets au plus tard le 31

décembre 2023, l'Ademe a lancé une formation en deux étapes. Luca Piccin, doctorant au Cirad, a participé à la première session sur « *le métier de guide composteur : ambassadeur de la politique de déchets d'une collectivité* ». Il suivra début mars prochainement la formation de maître-composteur.

Saint-Joseph se Conver...tit

Dans le prolongement du projet Gabir, le projet Conver vise à concevoir, avec les acteurs locaux, un scénario de valorisation des biomasses sur la commune de Saint-Joseph, qui s'inscrit dans une démarche d'économie circulaire. Soutenu par l'Ademe et la fondation Agropolis, il comporte un volet expérimental qui sera conduit dans des fermes. Le process de co-compostage sera suivi et le compost sera testé sur des cultures maraichères et des prairies.

Le broyat de déchets verts peut être associé au co-compostage des effluents d'élevages.



© CIRAD

VALORISER LA BIOMASSE PAR CO-COMPOSTAGE

Où installer les plateformes?

Le co-compostage est une solution de valorisation conjointe des déchets verts et des effluents d'élevages. Il offre une nouvelle source d'engrais organiques, pour les maraîchers en particulier. Plusieurs scénarios ont été élaborés pour le développer.

Près de 150 000 tonnes de déchets verts sont collectées annuellement auprès des particuliers à la Réunion, ce qui représente près de 180 kg/hab/an. Soit huit fois plus qu'en métropole ! Leur traitement est assuré par deux syndicats mixtes, Ileva et Sydne. Les quantités de biomasses traitées et vendues sous forme de broyat et de compost sont donc très importantes. Se posent des difficultés d'écoulement qui conduisent à des campagnes de gratuité, lorsque les plateformes ne peuvent plus stocker la matière. C'est dans ce contexte qu'intervient le projet Gabir.

Les utilisateurs ont été identifiés, tout comme le devenir des biomasses issues des différentes plateformes de ILEVA. Divers types de valorisation existent : agricole (litière animale, amendement organique et co-compostage à la ferme) et non agricole (entretien des espaces verts publics ou privés), la majorité des tonnages étant récupérée par des agriculteurs. « *Le co-compostage leur offre une nouvelle source de fertilisants organiques, notamment pour le maraîchage et l'agriculture biologique, se félicite Jean-Philippe Choisis, chercheur à l'Inrae accueilli au Cirad. Il réduit en outre les contraintes d'épandage.* »

A la ferme ou en regroupement

Pour développer ce circuit vertueux, différents scénarios de valorisation agricole du broyat de déchets verts, via le co-compostage, ont été étudiés. Les enquêtes conduites sur le bassin d'écoulement de la plateforme de la Rivière Saint-

Etienne ont identifié les types de systèmes agricoles (avec et sans élevage) et les bassins de production. Enfin, les besoins en fertilisants organiques ont été évalués et les flux entre types d'exploitations mesurés.

A partir de ces informations, les chercheurs ont élaboré quatre scénarios de valorisation : à la ferme chez les éleveurs, à la ferme chez les maraîchers, en collectif d'agriculteurs ou à une échelle intercommunale.

Les coûts ainsi que les avantages et inconvénients de chaque scénario ont été évalués.

Pour Eddy Cavillot (Ileva), « *le projet a permis de sortir de notre sphère habituelle et de mieux connaître l'usage des biomasses. Favoriser le retour au sol est une priorité. L'analyse des flux, très importante pour la prise de décision, aide à orienter les process à mettre en œuvre sur les plateformes.* »

annelaure.payet@ileva.re
jean-philippe.choisis@inra.fr

L'agriculteur de la Plaine-des-Cafres achète des broyats de déchets verts pour servir de litière à ses animaux. Le fumier est ensuite épandu dans les prés.

JEAN-PHILIPPE SMITH, ÉLEVEUR ET CULTIVATEUR Cent tonnes de fumier par mois

Le circuit est bien rôdé et ce ne sont pas les pluies torrentielles qui s'abattent ce vendredi sur la Plaine-des-Cafres, qui vont arrêter Jean-Philippe Smith. L'éleveur de 80 vaches allaitantes et de 90 jeunes bovins à l'engraissement est en train de nettoyer une de ses étables de Piton Hyacinthe. Le quadragénaire retire chaque mois 100 tonnes de fumier ! Il les stocke sur une plateforme avant de les épandre, une fois par an, sur ses 60 hectares de prairies. « *Si je ne mettais pas de fumier, je ne pourrais faire que trois fauches de foin par an, contre cinq actuellement* », justifie l'exploitant. Il épand également le fumier sur ses terrains de maraîchage, deux fois par an, « *environ 10 tonnes par hectare* ». Le fumier, mélange de bouses, d'urine et de déchets verts, lui évite de recourir aux engrais de synthèse. Il



Jean-Philippe Smith gère en flux tendus fumier et compost.

n'utilise ces derniers « *que pour les pommes de terre* », et encore, « *seulement 300 kilos par hectare une fois par an* ». En complément de ce fertilisant organique, il achète « *un peu de compost* » à la plateforme d'Ileva, au 27ème kilomètre : 20 tonnes chaque mois, à 7€ la tonne.

Une fois l'étable curée, il faut reconstituer la litière des animaux. Jean-Philippe Smith

se fournit à cet effet en broyats de déchets verts, toujours chez Ileva. « *Il me faut du 0,40 de diamètre, pas un broyat trop fin* », prévient l'agriculteur, qui paie 3,50 euros la tonne. Chaque semaine, il en achète 30 tonnes ! Si le broyat de déchets verts est trop humide, en raison des pluies, Jean-Philippe Smith peut le remplacer par du carton déchiqueté en provenance de la cartonnerie de Saint-Pierre : rien ne se perd dans l'économie circulaire !

UNE BOÎTE À OUTILS UNIQUE DANS L'OCÉAN INDIEN

Pour ne pas rester qu'une posture, l'économie circulaire doit se déployer dans les territoires. A cet effet, le Cirad met au service de La Réunion et des pays de l'océan Indien ses compétences, via une boîte à outils unique dans la région.

Des dispositifs de terrain, au plus près des agriculteurs, permettent aux chercheurs d'observer, de tester et d'évaluer sur le long terme les pratiques en matière de production et de recyclage de résidus organiques. S'ajoutent des outils d'analyses, pour caractériser les sols, les eaux et les biomasses comme les plantes, les fertilisants organiques et les biocombustibles. Ils sont mis en œuvre au laboratoire ou sur le terrain, pour et avec les partenaires du Cirad. L'intégration des informations ainsi collectées est assurée par des modèles numériques, qui présentent les résultats

de façon synthétique à l'échelle des territoires. En simulant les dynamiques spatiales engendrées par les scénarios de changement de pratiques ou d'occupation du sol, ces modèles favorisent également les échanges entre les acteurs et la conception de politiques en faveur de l'économie circulaire.

Cette boîte à outils se pose comme support des activités de recherche du Cirad et de ses partenaires*, tout en étant au service des initiatives des acteurs du territoire. De ce fait, La Réunion est un centre névralgique de compétences et un laboratoire à ciel ouvert pour expérimenter concrètement l'économie circulaire. Par son caractère unique dans la région, elle entend faire rayonner son savoir-faire dans l'Océan Indien.

matthieu.bravin@cirad.fr

* parmi eux l'Inrae (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement), l'IRD (Institut de recherche pour le développement), le BRGM (Bureau de recherche géologique et minière), l'université de La Réunion, ainsi que le Foffa (Centre national de la recherche appliquée au développement Rural) et le Fifamanor (centre de développement rural et de recherche appliqué) à Madagascar.



© A.Velia (Attaya Design) / Vecteurs : freepik.fr, macrovector, pch.vector et katemangostar

DOSSIER > LES OUTILS DU CIRAD A L'AIDE DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE



ANALYSER, CARACTÉRISER, CONSEILLER

Un laboratoire au service des filières

A La Réunion et dans l'océan Indien, le Cirad met son laboratoire d'analyses agronomiques et environnementales au service des filières de production agricole et de gestion des résidus organiques. Retour sur plus de 30 ans d'expertise.

Activité historique du Cirad, le laboratoire d'analyses agronomiques et environnementales offre sur plus de 200 m² un parc analytique unique à La Réunion pour l'analyse des sols, des eaux, des végétaux et des fertilisants organiques et minéraux. Si le laboratoire permet de soutenir les activités de recherche-développement des équipes du Cirad ainsi que de nombreux partenaires*, il répond principalement aux besoins des agriculteurs en matière de fertilisation des cultures.

Depuis 2008, près de 20 000 échantillons de sol ont été analysés, produisant près de 300 000 résultats, précieusement conservés et archivés. Fort de cette base de données et de l'expertise accumulée par les équipes de recherche, « *Le Cirad a pu proposer un diagnostic de la fertilité chimique du sol ainsi qu'un conseil de fertilisation*

pluriannuelle pour la canne à sucre », se félicite Marion Collinet, ingénieur en charge du laboratoire.

Aujourd'hui, le laboratoire vient d'ajouter à son catalogue un ensemble de nouvelles analyses permettant de caractériser le potentiel comme biocombustible d'un large panel de biomasses. En juillet 2019, il a également reçu l'agrément de l'Etat pour l'introduction sur l'île d'échantillons de sols et de fertilisants organiques. Des premiers échantillons provenant de Mayotte ont ainsi commencé à être analysés en fin d'année dernière.

marion.collinet@cirad.fr

* Armefflor : association réunionnaise pour la modernisation de l'économie fruitière, légumière et horticole ; ARP : association réunionnaise de pastoralisme ; eRcane : centre de recherche sur la canne à sucre de La Réunion

ESSAIS AGRONOMIQUES SUR LE TERRAIN

Remplacer les engrais chimiques importés

Depuis 2014 et jusqu'en 2031, le centre de recherche et de développement eRcane mène des essais au long cours dans quatre zones de l'île sur la canne à sucre. Le projet Tero consiste à comparer les effets de huit fertilisants organiques, disponibles à La Réunion, en vue de remplacer « au moins en partie » les engrais minéraux ou de synthèse importés, comme l'urée, et utilisés pour fournir l'azote dont la canne a besoin. « *Pour tester les différentes conditions pédoclimatiques de l'île à La Mare, à Piton Saint-Leu, à Saint-Benoît et à Saint-Louis* », détaille Amélie Février, ingénieur agronome à eRcane, les chercheurs épandent sur des micro-parcelles de 80 m² : écumes de sucrerie, lisiers de porc,

litières de volaille, composts d'effluent d'élevage ou de déchets verts, boues de station d'épuration, fientes de poule granulées et boues de digestat de méthanisation de vinasses de distillerie.

« *Chaque fertilisant organique apporte au sol des éléments, car chacun a ses propriétés. L'objectif est de conseiller les agriculteurs sur une utilisation raisonnée du fertilisant dont ils disposent* », indique Amélie Février.

L'idée n'est pas de privilégier un produit par rapport à un autre, mais de savoir tirer parti des différentes ressources disponibles.

Les premiers résultats des essais montrent que le coefficient apparent d'utilisation varie de 10 à 20%, un chiffre inférieur à celui de l'urée (30%).

« *On sait aussi, poursuit Amélie Février, que certains fertilisants organiques, comme les écumes de sucrerie, se minéralisent lentement, apportant de l'azote sur plusieurs années* ». On les considère comme des amendements, alors que le lisier de porc ou la litière de volaille agissent plutôt comme des engrais, car rapides à libérer leur azote. Au fil de leur acquisition, les résultats de ces essais seront intégrés à l'application Serdaf (Système expert réunionnais d'aide à la fertilisation), mis au point il y a plusieurs années par le Cirad. Les données du projet Tero permettront d'améliorer l'outil et de l'adapter plus finement à l'utilisation des fertilisants organiques disponibles sur l'île.

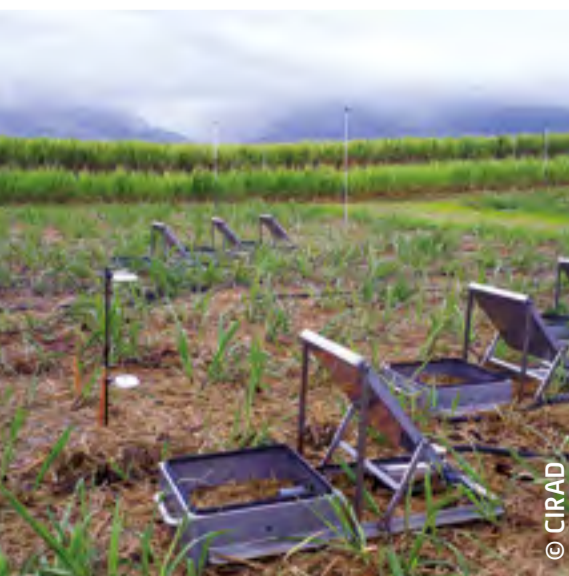
amelie.fevrier@ercane.re



Vue aérienne de l'essai Tero à Sainte-Marie.

UN RÉSEAU UNIQUE DE SITES EXPÉRIMENTAUX DE TERRAIN

La valeur ajoutée des suivis sur le long terme



Le Cirad a mis au point un dispositif expérimental de suivi des gaz à effet de serre.

L'effet à long terme de la fertilisation organique est difficile à évaluer sans référence. A cette fin, le Cirad tient à disposition un réseau de sites unique en outre-mer. Il s'agit de parcelles de cultures fourragères et maraichères suivies depuis 15 ans et de parcelles de canne à sucre suivies depuis 6 ans. « *Elles reçoivent différents types de fertilisation organique, à différentes doses, et nous les comparons à des parcelles non fertilisées ou fertilisées avec des engrais conventionnels* », détaille Antoine Versini, chercheur au Cirad.

Ce réseau est représentatif des principaux systèmes de culture

(canne à sucre, prairie, maraichage) et des différents types de sols de la Réunion. Ces sites de suivi sur le long terme permettent aujourd'hui d'étudier les effets cumulés de pratiques de fertilisation organique sur la dynamique des rendements et de la composition floristique. Le renouvellement de la matière organique, la dynamique des nutriments et des contaminants dans les sols sont également étudiés. Le Cirad pilote en partenariat avec la société Runéo le seul site des Dom appartenant au réseau national SOERE Pro (Système d'Observatoires, d'Expérimentations et de Recherche en Environnement) ; ce site est dédié à l'étude de l'impact agronomique

et environnemental de l'apport de produits résiduels organiques (boues de stations d'épuration, compost de boues, lisier de porc, litière de volaille) sur la canne à sucre. La parcelle, au Grand Prado (Sainte-Marie), a la particularité d'être fortement instrumentée. Les différents capteurs suivent en continu les émissions gazeuses (CO₂, N₂O, NH₃), le climat du sol et la météorologie. Enfin, elle fait l'objet d'analyses récurrentes sur l'ensemble des compartiments de l'écosystème cannier : tiges récoltées, paillis, sol, eau, atmosphère...

antoine.versini@cirad.fr
emmanuel.tillard@cirad.fr

MOINS CHER ET PLUS RAPIDE QUE LES ANALYSES CLASSIQUES

Les biomasses dans le spectre du Cirad

Le Cirad applique la technique de spectroscopie dans le proche infrarouge aux biomasses. Objectif : analyser à moindres coûts leur valeur fertilisante ou alimentaire.

Qualifier une biomasse, de manière non destructive et à moindre coût a toujours été un défi dans l'industrie comme dans l'agriculture. C'est aujourd'hui possible grâce à la spectroscopie dans le proche infrarouge (Spir). Le Cirad l'a développée dès les années 2000 en l'appliquant à la qualification des fourrages. « Cette base de données, régulièrement mise à jour et enrichie de nouveaux éléments (fourrages verts, ensilages, foin), sert à de nombreux partenaires, comme l'Association réunionnaise de pastoralisme », se félicite Emmanuel Tillard, chercheur au Cirad.

Dans une optique d'économie circulaire, le Cirad a également voulu mieux connaître

le potentiel fertilisant des résidus organiques produits à la Réunion, en substitution aux engrais chimiques importés. « Et ce à moindre coût financier et environnemental que les analyses classiques de laboratoire », précise Laurent Thuriès, chercheur au Cirad. La Spir a donc été utilisée pour qualifier les fertilisants (amendements ou engrais) organiques, qu'ils soient issus des activités d'élevage, des industries agro-alimentaires (boues de laiterie, farine de plumes et sang, digestats de méthanisation...) ou de la ville (déchets verts, boues de stations d'épuration).

Il a ainsi été possible de déterminer les caractéristiques agronomiques clés (teneurs en matière sèche,



© CIRAD

La spectroscopie permet de mieux connaître les caractéristiques des matières organiques.

matière organique, azote total et ammoniacal) de résidus organiques issus de ces filières, à la Réunion et à Madagascar. De même, les potentiels de méthanisation de certains résidus organiques agricoles et urbains ont pu être qualifiés. L'ensemble est utilisable pour orienter les usages agronomiques ou énergétiques de ces résidus.

laurent.thuries@cirad.fr
emmanuel.tillard@cirad.fr

Sols et feuilles passés au crible

Potentiels récepteurs de fertilisants organiques, les sols de la Réunion présentent une grande diversité. La spectroscopie dans le proche infrarouge permet d'identifier cette diversité et certaines caractéristiques comme les teneurs en carbone et azote. Ces éléments peuvent être mobilisés comme indicateurs de suivi du changement des pratiques favorables à l'économie circulaire. En cours de développement, le diagnostic foliaire azoté (les feuilles) de la canne à sucre assisté par Spir devrait également permettre de mieux piloter les pratiques de fertilisation de cette culture.

OBSERVATOIRE DE L'HERBE

Sage pilotage des pâturages

L'association réunionnaise de pastoralisme travaille avec le Cirad pour optimiser la production de fourrage et satisfaire aux besoins des troupeaux.



© ARP

A La Réunion, les vaches ne regardent pas les trains passer, mais des techniciens en train... de mesurer l'herbe qui pousse ! Les conseillers de l'association réunionnaise de pastoralisme (ARP) posent chaque semaine leur herbomètre sur les pâturages de huit fermes pilotes, dans les hauts de l'Ouest, à la Plaine-des-Cafres et dans le Sud de l'île. « On mesure la repousse et la hauteur des fourrages, ce qui nous permet de calculer la masse de matière sèche disponible pour les ruminants », résume Maëva Miralles-Bruneau, chargée d'études à l'ARP.

Cet Observatoire de la pousse de l'herbe a été créé il y a trois ans par l'ARP et le Cirad ; il permet d'optimiser la gestion du pâturage. « Grâce à cet outil, on comprend mieux la dynamique de pousse et on donne ainsi des repères aux éleveurs qui peuvent tirer meilleur parti de leurs surfaces ».

Mieux gérer surplus et pénurie de fourrage

Combien de vaches faut-il mettre par hectare ? Combien de jours de suite ? Faut-il faucher les prés ? Quand faut-il broyer les mauvaises herbes ? Ajouter de l'engrais ? Autant

Chaque semaine, cinq agents de l'ARP et du Cirad mesurent la pousse de l'herbe dans huit fermes pilotes.

de questions auxquelles les experts de l'ARP tentent de répondre s'appuyant sur les travaux du Cirad, en matière d'analyse et de fertilisation des sols prairiaux. L'enjeu est de taille, comme le révèle Emmanuel Legendre, chef de projet à l'ARP : « Dans de nombreuses exploitations, on pourrait nourrir deux à trois vaches à l'hectare, or on n'en est qu'à une, une et demie en moyenne, en raison de pratiques empiriques qui ne répondent plus aux enjeux économiques et environnementaux des filières ».

UPUTUC

Favoriser les circuits courts de biomasse

Le Cirad a développé un modèle pour étudier les flux entre les unités de production, de transformation et de consommation des biomasses. Objectif : réduire les kilomètres parcourus.

Si cet éleveur de vaches doit parcourir des kilomètres pour se procurer des déchets verts comme litière pour ses animaux ; si ce maraîcher doit passer des heures sur la route pour obtenir du compost ; si ce producteur de porcs dépense des fortunes en carburant pour livrer ou épandre son lisier... Eh bien, le bénéfice du recyclage de ces biomasses, pour l'environnement de la Réunion et le portefeuille des exploitants agricoles, bat de l'aile. La question est donc de savoir, pour instaurer une économie circulaire

vertueuse, où installer les plateformes de transformation des biomasses.

A cette fin, le Cirad a développé le modèle Uputuc : Up pour Unité de production - par exemple un éleveur de porcs ; Ut pour Unité de transformation - comme une station de compostage ; et Uc pour Unité de consommation - ce peut être un maraîcher.

Dans le cadre du projet Gabir, le modèle Uputuc a été utilisé pour explorer des scénarios de valorisation

agricole des déchets verts urbains dans le sud de l'île. Les premières simulations ont été effectuées pour comparer trois scénarios de co-compostage avec des effluents d'élevages : à la ferme, sur des plateformes partagées de proximité ou sur une plateforme globale unique pour le secteur Sud de l'île. Elles montrent « les impacts en terme de kilomètres parcourus selon les lieux d'implantation des unités de compostage », révèle Jean-Christophe Soulié.

jean-christophe.soulie@cirad.fr

OCELET

Modéliser les dynamiques des territoires

Connaître les besoins en ressources et leur satisfaction dans les différentes zones d'un territoire intéresse les décideurs, les gestionnaires, mais aussi les habitants. Les exploitations agricoles étant en interaction les unes avec les autres, comment mon activité est-elle affectée par ce qui se passe ailleurs ? C'est cette vision d'ensemble, dite systémique, qui est recherchée lors de la prise de décision.

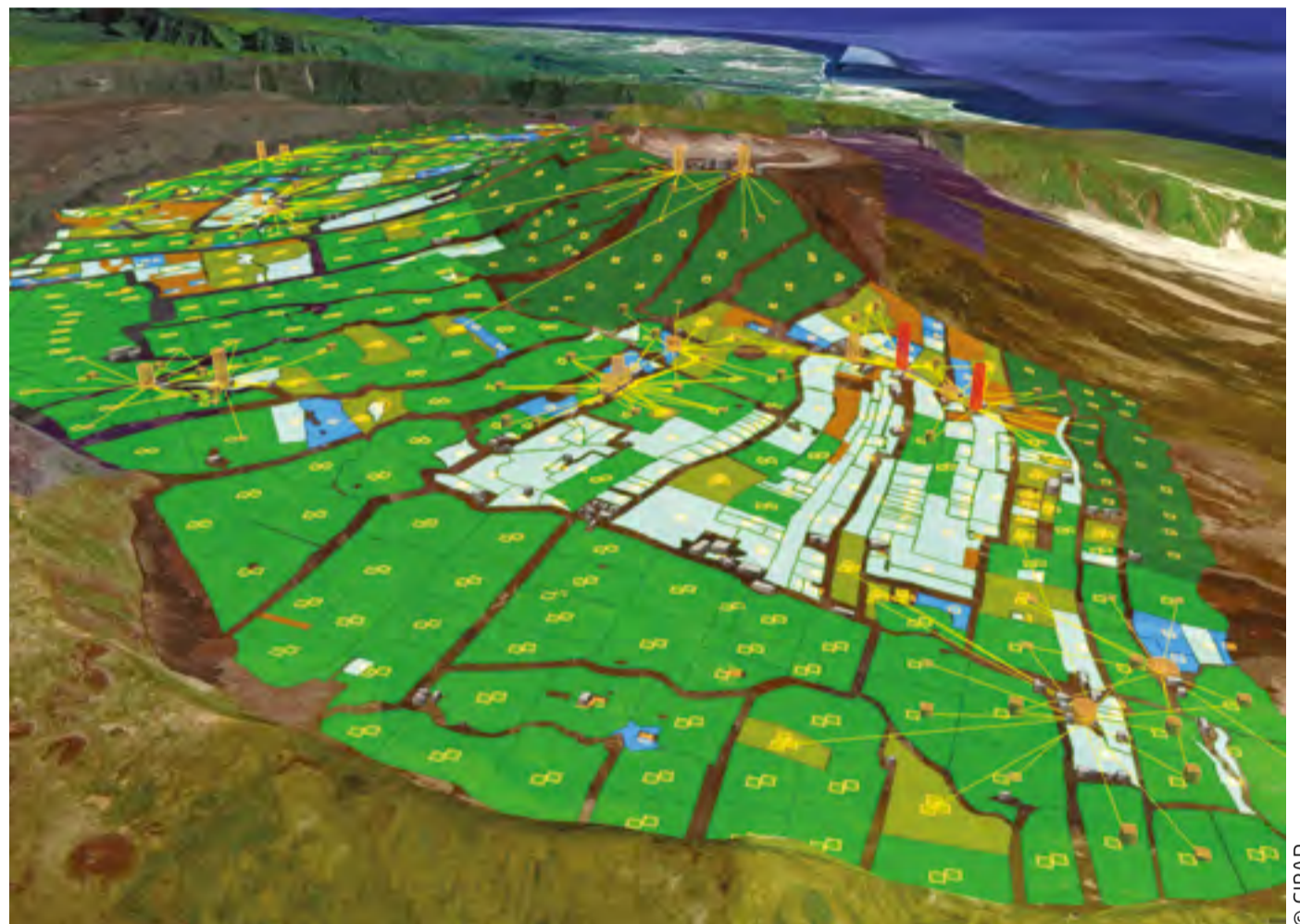
Dans cette optique, le Cirad construit des modèles de simulation, dynamiques et spatialement explicites. Dans ce hors-série, sont présentés plusieurs cas d'étude (voir p 6 à 8), et thèses en cours (voir p 15), utilisant ce type de modèles. Nombre d'entre eux sont construits avec la plateforme Ocelet. Ocelet est un environnement logiciel qui propose un nombre restreint de concepts. « Un langage métier permet de modéliser avec une grande liberté d'expression une portion de territoire et les processus qui s'y manifestent dans le but de simuler son évolution dans le temps », explicitent Annelise Tran et Danny Lo Seen, chercheurs au Cirad. Le logiciel et le manuel d'utilisation sont disponibles en ligne sur le site www.ocelet.fr. Une formation d'une semaine est proposée chaque année aux personnes qui veulent apprendre à l'utiliser.

danny.lo_seen@cirad.fr



Ocelet permet de modéliser l'évolution des territoires.

© CIRAD



Dans cette simulation du Cirad, l'Enclos du volcan est recouvert de cultures.

© CIRAD

MODÉLISATION ET DÉMONSTRATION FICTIVE

Transferts de biomasse sur les pentes du volcan

Le Cirad a développé un modèle démonstrateur, sur un terrain fictif, pour alimenter les travaux de recherche avec les partenaires. Un outil qui sert aussi de support pédagogique.

Comment aider les acteurs d'un territoire à imaginer de nouveaux échanges de biomasses ?

Pour répondre à cette question, les chercheurs du Cirad ont construit un démonstrateur de simulation. Ce logiciel donne des idées sur ce qui serait réalisable, et l'illustre sur une cartographie en relief et animée. « Les pentes du volcan ont été choisies comme zone fictive cultivée pour libérer l'imaginaire de nos partenaires », indique Pascal Degenne, ingénieur informaticien au Cirad ; chaque parcelle correspond à une activité comme la production

de canne, de fourrage, le maraîchage... ou l'élevage avec des bâtiments associés et des moyens de stockage d'effluents. Ces activités produisent et consomment des biomasses, par exemple du fourrage, de la paille de canne, des effluents d'élevages...

Les transferts des différentes biomasses sont représentés par des liens entre activités de différentes couleurs. Les résultats sont présentés dans une carte animée sur Google Earth. Le modèle permet aussi de suivre l'évolution des stocks et des flux sous forme

de tableaux et de courbes à différents niveaux d'agrégation [parcelle, exploitation, zone, commune, ensemble du territoire].

Ce modèle a été utilisé comme support pour inspirer des projets plus réalistes comme l'épandage d'effluents à Saint-Joseph (p 7) ou la gestion des ressources fourragères à l'échelle de l'île (p 6). Certaines structures d'enseignement agricole de l'île s'en servent également pour sensibiliser leurs élèves à la gestion durable du territoire.

pascal.degenne@cirad.fr

BIO-DÉCHETS

Quel potentiel de valorisation agricole et énergétique ?



Les déchets fermentescibles qui partent dans la poubelle grise des particuliers ne sont pas encore valorisés.

En 2025, le tri à la source et la valorisation des bio-déchets seront obligatoires en France. D'ici là, la loi pour la Transition Énergétique et la Croissance Verte impose de collecter les bio-déchets séparément des ordures ménagères et de les valoriser par méthanisation ou compostage. Qu'en est-il à La Réunion, où le gisement de bio-déchets est estimé à 70 000 tonnes ? Un partenariat a été signé dans le cadre du projet Gabir entre le laboratoire d'informatiques et de mathématiques de l'université de La Réunion et le Cirad pour étudier justement la gestion de ces bio-déchets sur notre territoire. Christelle Hatik, en post-doctorat, développe un modèle multi-agents

pour simuler différents scénarios. « En représentant chaque acteur, ses décisions et ses actions, ce modèle permet d'analyser les scénarios à différentes échelles organisationnelles ou géographiques », assure la chercheuse.

L'objectif est d'aider à la prise de décision de l'ensemble des acteurs de la filière (agriculteurs, transporteurs, unités de valorisation, pouvoirs publics...). Où et combien d'unités de traitement faut-il implanter ? Comment rendre cette biomasse attractive et accessible pour les agriculteurs ? Ces scénarios devraient permettre de répondre à ces questions.

LE POULET LAKOUR, UN PRODUIT DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Des élevages péï recycleurs



Les poulets « lakour » sont souvent nourris des restes de fruits et légumes.

Historiquement, les Réunionnais s'approvisionnaient auprès de petits élevages tenus par des producteurs indépendants et des bazariers, vendeurs de fruits et légumes. Ces derniers nourrissaient les animaux avec leurs invendus et déchets. Malgré le développement des élevages industriels, les poulets « lakour » se sont ainsi maintenus dans les foyers réunionnais. « Ils connaissent même un nouvel élan dans un contexte de relocalisation des pratiques d'approvisionnement alimentaire des Réunionnais », estime Claire Cerdan, chercheuse au Cirad. Les produits de ces élevages sont aujourd'hui auto-consommés ou écoulés en vente directe au domicile

du producteur, sur les marchés forains ou auprès de boucheries. Comment ont évolué ces formes d'élevage face aux politiques publiques d'aménagement et d'urbanisme, aux modes d'alimentation et aux normes sanitaires ? Les déchets du commerce des fruits et légumes sont-ils toujours valorisés en servant d'alimentation aux poulets ? Quelle est la contribution de ce circuit informel dans l'émergence d'une économie circulaire ? Ces questions sont au cœur d'une étude conduite en 2020 sur Saint-Pierre et le Tampon, qui compte plus de 100 000 habitants. Une étude coordonnée par le Cirad, l'université de Lyon en collaboration avec le réseau Régal Réunion.

L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE, LE PARTENAIRE FORMATION

« Intégrer la gestion des biomasses dans les cours »

Sur les huit établissements agricoles de l'île, combien intègrent la question des biomasses dans leur formation ?

Philippe Thomas : Les programmes sont parfois habilités pour plusieurs années, on ne peut les bouleverser du jour au lendemain. Mais le Centre de formation des apprentis agricoles du lycée Formaterra de Saint-Paul consacre désormais un module de son BTS Agronomie et production végétale à la question des biomasses. Soit environ 70 heures de cours, ce qui n'est pas négligeable.

Philippe Thomas : La Maison familiale et rurale de la Plaine-des-Palmistes a également accepté que les biomasses deviennent un fil rouge de leur formation. Concrètement, les jeunes qui se rendent dans une exploitation agricole ont désormais en main un questionnaire pour faire le point

sur la gestion des biomasses par l'agriculteur.

Séverine Burglin : C'est aussi le cas des élèves du BTS Production animale du lycée de Saint-Joseph. Ce n'était pas évident à mettre en oeuvre, car la question des effluents, parfois considérés comme produit valorisé, parfois comme déchet polluant, reste sensible. Deux promotions ont réalisé une enquête auprès d'une cinquantaine d'exploitations de l'île, notamment à Saint-Joseph.

Qu'apportent ces travaux ?

Séverine Burglin : Le traitement des données est encore en cours, mais d'ores et déjà, on constate que la gestion des effluents entre les agriculteurs relève beaucoup du relationnel informel. Plusieurs d'entre eux sont demandeurs d'une organisation plus concertée. Nos élèves, futurs agriculteurs et techniciens de La Réunion, sont davantage sensibilisés à ces questions.

Les futurs agriculteurs de La Réunion seront donc davantage sensibilisés à cette thématique ?

Philippe Thomas : Tout à fait, notamment par le biais du Brevet professionnel de responsable d'exploitation agricole, dispensé par les Centres de formation professionnelle pour adultes des deux lycées agricoles de l'île. Les jeunes pourront choisir dans le catalogue un module dédié aux biomasses. Il a fallu à cet effet constituer la maquette pédagogique, fournir des ressources documentaires, notamment en s'appuyant sur les travaux du projet Gabir. Le module de formation devrait être habilité et dispensé dès juin prochain.



Philippe Thomas, chargé de mission formation à la Daaf.



Séverine Burglin, responsable du BTS production animale au lycée de Saint-Joseph.

STOCKAGE DE CARBONE DANS LES SOLS

Lutter contre le réchauffement climatique

La valorisation agricole des fertilisants organiques permet d'améliorer la qualité des sols tout en y stockant du carbone. Le Cirad mène plusieurs travaux sur le sujet.

Epandre du lisier, du fumier ou encore des composts sur les terrains agricoles ? « *Le recyclage de ces fertilisants organiques permet d'augmenter la séquestration de carbone dans les sols* », rappelle Antoine Versini, chercheur en agronomie au Cirad. Et de poursuivre : « *C'est donc un moyen de lutter contre le réchauffement climatique* ». En plus de stocker du carbone dans les sols, fertiliser ses champs avec des résidus organiques locaux permet d'éviter les émissions de gaz à effet de serre générés par la production et le transport des engrais et amendements minéraux importés. Une pierre deux coups ! Les études menées par le Cirad et ses partenaires confirment que les fertilisants organiques peuvent encore augmenter les stocks de carbone.

FERTILISATION ORGANIQUE EN AZOTE

Un potentiel agronomique important

De nombreux fertilisants organiques peuvent être utilisés comme engrais azoté, à condition de bien connaître leurs effets sur les cultures et l'environnement.

La majorité de l'azote nourrissant les cultures réunionnaises est importée dans l'île sous forme d'engrais chimiques. Or une source importante d'azote est disponible localement, dans les fertilisants organiques. « *Cela étant, relativise Antoine Versini, chercheur en agronomie au Cirad, leur intérêt dépend de la disponibilité de l'azote après apport du fertilisant au sol* », en fonction de leur origine (végétale ou animale) et de leur degré de transformation (brute ou compostée). Les recherches du Cirad ont justement permis de déterminer le potentiel agronomique d'une grande diversité de fertilisants organiques produits à La Réunion. Le centre

collabore aujourd'hui avec eRcane pour valider au champ l'efficacité des produits les plus emblématiques. Ces connaissances sont intégrées dans des outils d'aide à la fertilisation (Serdaf, Fertirun) afin de favoriser l'amélioration des pratiques de fertilisation. Le but est de maximiser le rendement tout en limitant les pertes vers l'environnement. Car l'utilisation des fertilisants peut entraîner des risques environnementaux ; une mauvaise gestion peut en effet conduire à une pollution de l'eau et de l'air. C'est dans ce contexte que le Cirad compare les bénéfices et les risques de l'utilisation d'engrais chimique comme

l'urée et de fertilisants organiques comme le lisier de porcs ou les boues de station d'épuration dans la culture de la canne à sucre. Les résultats montrent que les pertes vers l'atmosphère (volatilisation et production de gaz à effet de serre) sont plus faibles avec des fertilisants organiques transformés qu'avec des fertilisants bruts ou des engrais chimiques. Par ailleurs, comme s'en félicite Antoine Versini, « *les pertes vers les eaux sous forme de nitrate sont faibles dans tous les cas en raison de l'enracinement profond de la canne à sucre* ».

antoine.versini@cirad.fr

Les teneurs sont ainsi augmentées de 265% dans les sols sableux, après treize ans d'apport de compost. C'est « *un enjeu majeur* », estime Emmanuel Tillard, chercheur au Cirad. Comme le rappelle l'initiative internationale 4 pour 1000, il s'agit de relever le triple défi de la sécurité alimentaire, de l'adaptation des systèmes agricoles aux dérèglements climatiques et de l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique.

emmanuel.tillard@cirad.fr



Sur cette parcelle de prairie de la Sicalait, les enceintes blanches mesurent les émissions de gaz à effet de serre.

THÈSE DE LOUIS-AXEL EDOUARD RAMBAUT

Stocker du carbone même dans les andosols



Les andosols, typiques de l'île volcanique de la Réunion, saturés en carbone organique comme on le pense souvent ? Eh bien non,

révèlent les essais menés depuis treize ans, en prairie, par le Cirad et analysés dans la thèse de Louis-Axel Edouard Rambaut. L'application à long terme de fertilisants organiques accroît encore la teneur en carbone de ces sols, avec une augmentation pouvant aller jusqu'à 41% de la teneur initiale. En contribuant à stocker du carbone dans le sol, la fertilisation organique se révèle donc être une pratique pour lutter contre le réchauffement climatique. On constate que plus est une augmentation très significative du rendement dans toutes les parcelles fertilisées, davantage avec les fertilisants organiques qu'avec l'engrais minéral. Il est ainsi important d'évaluer les effets bénéfiques de la fertilisation organique sur le long-terme.

THÈSE DE MAXIME CHAPUT

Evaluation des pertes en azote

L'utilisation d'un engrais azoté peut polluer l'environnement par l'énergie nécessaire pour le produire et le transporter. Autre risque : les pertes d'azote vers les eaux et l'atmosphère suite à son application sur les sols. Dans sa thèse, Maxime Chaput se focalise sur ce deuxième point en cherchant à évaluer les conséquences agro-environnementales de la substitution des engrais chimiques importés par des fertilisants organiques produits localement en culture de canne à sucre. La thèse se fonde sur les mesures réalisées par le Cirad en partenariat avec Runéo dans le cadre du programme de recherche Soere Pro Réunion. Les pertes d'azote vers l'atmosphère par volatilisation ammoniacale et émission de protoxyde d'azote (un gaz à effet de serre puissant) et vers les eaux par lixiviation



des ions nitrate sont ainsi simulées à l'échelle de la parcelle agricole. La thèse s'appuie également sur le modèle Uputuc, développé par le Cirad dans le cadre du projet Girovar pour simuler des scénarios de recyclage de fertilisants organiques sur le territoire de la côte ouest, en couplant les approches parcellaire et territoriale.

ET MINIMISER LES RISQUES

des nutriments (azote et phosphore) et d'un certain nombre de contaminants apportés par les fertilisants organiques. Ces compétences s'appuient sur de nombreux dispositifs de terrain, représentatifs des conditions de culture chez les agriculteurs, ainsi que sur des outils d'analyse et de caractérisation déployés dans nos laboratoires. La dynamique de ces travaux est par ailleurs portée par plusieurs thèses en cours, qui soulignent l'originalité et le caractère innovant des approches mises en œuvre.

CONTAMINATION DES SOLS AGRICOLES Le Cirad a levé les doutes

Les travaux du Cirad et de ses partenaires ont permis de rationaliser les peurs : le recyclage des fertilisants organiques dans l'agriculture réunionnaise est possible une fois les risques de contamination des sols identifiés et maîtrisés.

Les sols de La Réunion sont-ils contaminés ? Au début des années 2000, les questionnements de la société, relayés par les pouvoirs publics, ont amené le Cirad à s'intéresser à ce qu'on appelle les « *éléments traces métalliques* » (ETM). En partenariat avec les services de l'État, l'Office de l'eau et la Chambre d'agriculture, les premiers travaux ont porté sur la présence d'ETM dans les sols, les fertilisants organiques et les cultures. « *Le Cirad a révélé que les sols de La Réunion étaient naturellement riches en ETM, notamment en chrome et en nickel* », rappelle Matthieu Bravin, chercheur en science du sol.

Peu de risques

Ce premier résultat était lourd de conséquences : d'un point de vue réglementaire, il n'était pas possible d'utiliser les déchets issus de l'épuration des eaux usées (boues et eaux) pour la fertilisation et l'irrigation des cultures sur près des trois-quarts des surfaces agricoles de l'île ! Un coup dur pour l'économie circulaire.

Le Cirad a cependant démontré que ces ETM étaient « *faiblement mobiles* » ; en conséquence, le risque de transfert vers les ressources en eau et dans les cultures était « *faible* ». La préfecture a finalement pu autoriser la mise en place de plans d'épandage de boues d'épuration et de projets de réutilisation des eaux usées traitées.

L'inventaire réalisé par le Cirad a également révélé la présence d'ETM (nickel, chrome, cuivre et zinc notamment) en concentration importante dans certains fertilisants organiques, comme les déchets verts



©CIRAD

Après le prélèvement et l'extraction du sol, le Cirad procède à la mesure des contaminants.

et les effluents d'élevages. N'y avait-il pas un risque de contamination des sols agricoles ? Le Cirad a alors mobilisé ses moyens : expérimentations de terrain et de laboratoire, modélisation, thèses... Cette diversité d'approches a permis de prédire le risque d'accumulation à long terme des ETM dans les sols agricoles recevant une fertilisation organique et leur impact toxicologique. Selon Matthieu Bravin, « *les résultats suggèrent que le risque reste modéré et surtout compatible avec la mise en place de pratiques raisonnées de fertilisation organique* ».

matthieu.bravin@cirad.fr

Et les molécules pharmaceutiques ?

Aujourd'hui, le débat public se porte sur d'autres contaminants potentiels des sols agricoles, qui pourraient être associés à la fertilisation organique. Il s'agit d'une part des molécules pharmaceutiques. En collaboration avec le Bureau de recherche géologique et minière et la société Runéo, leur présence et leur transfert éventuel vers les eaux et les cultures sont suivis dans les contextes de fertilisation organique et de réutilisation des eaux usées traitées. D'autre part, les bactéries résistantes aux antibiotiques (voir AgroNews n°8, 2018) posent également question. Le Cirad a donc autofinancé l'année dernière un projet exploratoire pour évaluer le lien entre antibiorésistance et fertilisation organique à La Réunion.

ÉVALUATION DES RISQUES

Le RHIZOtest : la traque des contaminants



Issu de plus de vingt ans de recherches menées par l'Inrae et le Cirad, le RHIZOtest est aujourd'hui déployé à La Réunion. Ce test végétal permet d'évaluer en laboratoire les risques de transfert des contaminants du sol aux cultures. En laboratoire, car les essais de terrain ne peuvent pas couvrir toute la diversité des sols, des cultures et des fertilisants présents à La Réunion. L'outil et la méthodologie RHIZOtest ont été normalisés en 2015 à l'échelle internationale afin d'ouvrir la voie à son application en appui à la prise de décision. Le RHIZOtest a depuis servi à deux reprises à La Réunion, à la demande de la commune du Port, des services de l'État et de la société Albioma.

Le RHIZOtest, un outil normalisé pour évaluer le risque lié à la contamination des sols agricoles.

DENYS LEPETIT, RESPONSABLE DE L'UNITE POLICE DE L'EAU À LA DEAL

« L'expertise unique du Cirad »

Le préfet a autorisé Le Port à irriguer ses espaces verts avec les eaux usées traitées des stations d'épuration. Pourquoi a-t-il dû déroger aux règles en vigueur ?

La loi interdit d'utiliser ces eaux sur des terrains contaminés. Or, les sols de la commune du Port ont des teneurs en plomb très fortes, du fait d'une pollution datant des années 80. Mais Le Port a souhaité utiliser ses eaux usées traitées, jusqu'alors rejetées en mer, plutôt que de l'eau potable, pour arroser ses parcs. Il a donc fallu vérifier que le plomb n'est pas mobile ni phyto-disponible, en clair qu'il ne se retrouve pas dans les plantes et, indirectement, dans la chaîne alimentaire. Le Cirad, qui dispose d'une expertise unique en la matière, a été missionné.

Mais il n'y a pas que le plomb qui pose question...

Effectivement, qu'il s'agisse des eaux ou des boues des stations d'épuration, leur utilisation n'est autorisée que si les teneurs en éléments traces métalliques (ETM) des

sols ne sont pas trop élevées. Il se trouve qu'à La Réunion, les ETM sont souvent à des niveaux supérieurs aux seuils autorisés. Près du double pour le chrome, quatre fois plus pour le nickel, et variable pour le zinc. Non pas à cause de contaminations, mais en raison de la nature volcanique du sol. Là encore, il a été fait appel au Cirad pour vérifier la phyto-disponibilité de ces ETM.

Quels sont les résultats ?

Le Cirad a conclu en l'absence de risques et le préfet a pu prendre un arrêté dérogeant à l'interdiction. Pouvoir ainsi recourir à la technique de la « Reuse » (prononcer Re-Use, à l'anglaise), en réutilisant les eaux usées traitées, est une bonne nouvelle pour l'économie circulaire sur l'île. Un projet semblable est d'ailleurs à l'étude à la station d'épuration du Grand Prado, à Sainte-Marie.

La paille de canne ne pourrait être prélevée que sur 4000 ha.



© CIRAD

UN BEL EXEMPLE

Bons élèves de l'économie circulaire, la canne à sucre et ses co-produits sont l'objet de réflexions poussées en matière de recyclage. La bagasse est à ce jour valorisée comme combustible pour produire de l'électricité (9% de notre consommation annuelle) et fournir de la vapeur aux usines sucrières. La canne s'intègre également dans le fonctionnement des autres filières agricoles : elle fournit à l'élevage des pailles qui servent à l'alimentation et aux litières des animaux. Réciproquement, les surfaces en canne reçoivent des effluents d'élevages. Si la majorité des fertilisants utilisés restent des engrais chimiques importés, ceci constitue néanmoins un bel exemple de circularité vertueuse. Ce circuit est d'autant plus primordial qu'il concerne un pan non négligeable de l'économie réunionnaise : la culture de canne,

PAILLE DE CANNE LAISSÉE AU SOL En ramasser sur plus de parcelles

La paille de canne à sucre pourrait être davantage réutilisée dans les élevages, révèle une étude du Cirad et de Téréos.

La paille de canne à sucre est une ressource précieuse pour les éleveurs pour l'alimentation ou la litière de leurs animaux. Mais les planteurs en ont besoin eux-aussi, ajoute Philippe Rondeau, chef de projet à Téréos, « pour lutter contre l'enherbement et l'érosion, et contribuer à la richesse organique du sol ». Qu'à cela ne tienne, une récente étude, réalisée dans le cadre du projet Gabir, montre qu'on pourrait récolter davantage de paille, sans pour autant nuire aux besoins des canniers.

Pour parvenir à ce résultat, « nous avons cartographié les 9000 parcelles de canne à sucre de l'île et utilisé un modèle numérique de terrain pour estimer la pente moyenne de chaque parcelle », explique Jonathan Vayssières, chercheur au Cirad. Il s'agissait d'évaluer la possibilité

ou pas d'intervenir avec du matériel sur la parcelle. Sur les 23 000 hectares de canne, seulement 4 000 ha présenteraient les caractéristiques permettant la récolte de la paille : la parcelle ne doit pas être trop pentue pour être mécanisable ; son climat doit permettre le séchage de la paille au champ ; le rendement en paille doit être suffisant pour que sa récolte soit rentable tout en laissant au moins 8 tonnes de paille au champ. Cette quantité permet de maintenir les services rendus par la paille de canne laissée au sol « à un niveau satisfaisant », calcule Philippe Rondeau.

Aujourd'hui 6 000 tonnes de paille sont en moyenne récoltées chaque année sur l'île. Soit environ 35% du potentiel, estimé à 17 000 tonnes selon le travail de cartographie décrit ci-dessus. Dans le Sud et l'Ouest, la paille de canne



© eRcane Dohoa

est déjà en grande partie ramassée, la récolte actuelle est supérieure à 55% du potentiel. A l'inverse le Nord-Est de l'île est « la zone de progrès majeur », seulement 25% du potentiel est récolté aujourd'hui.

jonathan.vayssieres@cirad.fr
prondeau@tereos.com

Des conséquences inattendues

Calculer les conséquences agronomiques du maintien, ou du prélèvement, de la paille dans les parcelles de canne n'est pas simple. Le Cirad a lancé des études d'impact multi-critères.

De cinq à quinze tonnes par hectare... La coupe manuelle, la coupe mécanique en canne tronçonnée ou encore la coupeuse péi déposent des quantités différentes de paillis sur le sol. Il faut en tenir compte si l'on souhaite valoriser dans les secteurs énergétiques ou fourragers une part raisonnable de cette biomasse.

Mais ce n'est pas tout : la présence de paille de canne au sol limite le développement des mauvaises herbes et constitue une source de matières organiques favorable à l'activité biologique du sol. « Elle assure aussi la restitution d'une part importante des nutriments contenus », rappelle Antoine Versini, chercheur en agronomie au Cirad. En effet, la paille laissée au sol peut correspondre à 80% de l'azote, 55% du potassium et 33% du phosphore présents dans la partie aérienne de la canne. On comprend donc pourquoi le maintien

de la paille de canne dans les parcelles est aujourd'hui favorisé à la Réunion. Cependant les choses ne sont pas si simples. « L'azote restitué avec les pailles est peu disponible pour la culture au cours de l'année suivante : seulement 4% va nourrir la prochaine canne ». Effet inattendu, la présence de paille peut de surcroît conduire à l'immobilisation d'une partie de l'azote apportée avec le fertilisant. Elle peut même augmenter les pertes de fertilisant vers l'atmosphère par volatilisation ammoniacale.

Il s'agit donc aujourd'hui de tenir compte de l'ensemble de ces critères afin de proposer une gestion optimale de la paille de canne. Si cela est compliqué pour les exploitants agricoles, les résultats des études menées par le Cirad devraient les aider à améliorer leurs pratiques.

antoine.versini@cirad.fr



© eRcane

La paille de canne peut augmenter les pertes de fertilisant.

DE CIRCULARITÉ

pratiquée par environ 3 000 planteurs, occupe 48 % de la surface agricole utile de La Réunion, soit près de 23 000 hectares. Le tonnage annuel de canne récoltée s'élève à 1,8 million de tonnes, pour 200 000 tonnes de sucre.

Le sucre et le rhum sont des produits d'exportation majeurs : 70 % des exportations en valeur de l'île sont des produits issus de la canne à sucre et 80% en volume. Grâce à un système racinaire vigoureux et à un paillis qui couvre le sol sur la majorité des surfaces, la canne contribue en outre à la lutte anti-érosive et à la séquestration du carbone dans les sols, des atouts environnementaux primordiaux pour l'île. Enfin, les champs contribuent au charme des paysages réunionnais et à l'attractivité touristique de l'île.

VALORISATION DE LA CANNE À SUCRE Rien ne se perd dans la bio-raffinerie péï

Tous les co-produits de la tige sucrée sont aujourd'hui déjà valorisés. Mais eRcane anticipe et imagine des valorisations complémentaires qui pourraient un jour s'avérer rentables économiquement.

La canne à sucre est une bio-raffinerie ». Camille Roussel, responsable du service Procédés et innovation industrielle d'eRcane, en veut pour preuve les nombreuses valorisations du roseau réunionnais. Lorsque la canne est broyée, le jus est séparé de la fibre. Cette dernière, appelée bagasse, est brûlée dans les centrales thermiques pour produire de l'énergie.

Elle pourrait aussi servir un jour à fabriquer des barquettes et remplacer le polyéthylène de nos caris quotidiens. A condition d'imaginer un processus écologique et rentable, car à ce jour, « les barquettes en plastique ou celles en fibre de canne importées de Chine reviennent moins cher », regrette l'ingénieur

agronome. Une fois le jus de canne épuré, il reste l'écume. Là encore, ce produit est valorisé, comme amendement épandu sur les terrains agricoles. Quant au jus de canne, il est concentré et son sucre cristallisé. Le reste, les distilleries l'utilisent pour produire du rhum ; cette mélasse sert également à alimenter le bétail ou est transformée en bioéthanol pour la turbine à combustion de Saint-Pierre.

Enfin, une fois le rhum distillé, le résidu (la vinasse) est méthanisé et transformé en biogaz. Bref, un modèle d'économie circulaire... qu'eRcane tend encore à améliorer. « On cherche à ajouter encore une couche au millefeuille », espère Camille

Roussel. Les recherches se sont portées sur l'extraction de « molécules d'intérêt », comme les acides organiques. Les industries cosmétiques et pharmaceutiques en sont friandes. Mais alors que les cours du baril de pétrole redescendaient, le processus s'est avéré non compétitif. Même conclusion pour ce qui est de la cire de canne, un corps gras qui intéresse les entreprises cosmétiques. « La chimie verte de la canne se heurte à de fortes contraintes de rentabilité dans notre contexte insulaire », analyse Camille Roussel. Mais, promet-elle, « nous avançons sur d'autres projets ambitieux et viables, c'est l'une des activités de notre centre de recherche ».

roussel@ercane.re

DÉVELOPPER LA CANNE FIBRE POUR PRODUIRE DE L'ÉLECTRICITÉ ? Le Cirad préconise de nouvelles études



Les cannes réunionnaises peuvent contenir 60% de fibres en plus que les variétés classiques.

Privilégier la fibre des cannes, plutôt que le sucre, afin de fournir plus de biomasse pour la production d'électricité... Le Cirad et ses partenaires ont ouvert des pistes pour évaluer les conditions d'émergence d'une telle filière.

La canne contient du sucre, bien sûr, mais pas que : ses fibres, qu'on appelle bagasse une fois le jus extrait, servent de combustible dans les centrales de Bois-Rouge et du Gol pour produire de l'électricité renouvelable. Serait-il possible d'augmenter encore cette contribution au mix énergétique de l'île par le développement de variétés de canne plus riches en biomasse? Y aurait-il un intérêt à dédier la plante entière à la production d'énergie? Si oui, avec quel rendement et dans quelles conditions techniques, économiques et environnementales ? Ces questions ont conduit au projet « Sypecar » que le Cirad a coordonné entre 2013 et 2015

en partenariat avec eRcane, l'Inrae et la société Quadran. Vingt variétés de canne ont été cultivées durant deux cycles, sur les sites de La Mare et de Bérive. Les cannes ont été étudiées en tant que combustibles potentiels et les productivités mesurées au champ ont été modélisées. Résultat ? « Certaines variétés développées à la Réunion contiennent jusqu'à 60% de fibres en plus que les cannes classiques, au détriment du sucre ou de l'eau », rapporte Christophe Poser, chercheur agronome qui a piloté ce projet. Néanmoins, toutes les cannes contiennent beaucoup d'eau : les processus d'approvisionnement et de transformation

doivent être bien réfléchis. L'outil Reefcane®, développé par l'équipe, a permis de simuler différents scénarios et d'estimer les coûts de production d'électricité, les bilans énergétiques et environnementaux. A titre d'exemple une unité dédiée de 10 MWh, soit l'équivalent de la consommation électrique de 22400 foyers réunionnais, pourrait être rentable mais nécessiterait de 1800 à 2400 hectares de canne fibre, soit davantage que la seule surface de la ville du Port.

La question des surfaces

A l'heure où une réflexion sur la filière est souhaitée par les pouvoirs publics, la prudence est de mise pour les experts du Cirad, comme le rappelle François Broust en charge des activités biomasse énergie. « Il conviendrait d'étendre les expérimentations de culture sur plusieurs repousses, en conditions réelles chez le planteur ». Il faut en effet valider les modèles prédictifs de productivité et tester des itinéraires de culture innovants. « Techniquement, les étapes de préparation d'un combustible à partir d'une canne fraîche doivent encore être testées : coupe, séchage, logistique, processus industriels... » Autant de données cruciales pour déterminer les conditions économiques et environnementales d'émergence d'une filière canne énergie à La Réunion.

françois.broust@cirad.fr

eRcane dispose de son propre laboratoire de bio-raffinerie.

Les îles Rodrigues et Sainte-Marie souhaitent mieux valoriser leurs ressources forestières. Dans le cadre du programme COI-Energies, financé par l'Union européenne, le Cirad a apporté son expertise en bioénergies.

BIOÉNERGIE EN OCÉAN INDIEN

Le Cirad envoie du bois !



Un charbonnier de Sainte-Marie, à Madagascar, dans une forêt de *Grevillea banksii*.

A Rodrigues (Maurice), près de 90% de l'électricité est produite avec du diesel importé ! Une dépendance dont les autorités locales souhaitent s'affranchir en développant les énergies renouvelables. La bioélectricité fait partie

des options, mais quel est le potentiel ? Une analyse de préféabilité a été confiée à des experts du Cirad qui ont analysé les ressources forestières disponibles, hors réserves naturelles.

Les quelques 600 ha de plantations d'eucalyptus, peu exploitées, ont retenu l'attention de François Broust et Laurent Gazull, spécialistes des filières bois-énergie : « Bien gérées, elles pourraient alimenter durablement en bois une centrale de 350 à 700 kW selon les scénarios, susceptible de couvrir entre 10 et 20% de la consommation électrique locale. »

Du charbon pour la cuisine

Le Cirad a fait des propositions sur l'organisation de la filière d'approvisionnement en bois et les procédés de transformation. « La gazéification pourrait faire sens pour ces petites puissances », estime François Broust. Ces options restent à approfondir et à chiffrer plus précisément.

Sur l'île de Sainte-Marie, au Nord-Est de Madagascar, le charbon de bois est encore

la principale source d'énergie pour la cuisson. Cette bio-économie locale repose sur des techniques de carbonisation artisanales et sur l'exploitation massive du bois de *Grevillea banksii*, une espèce exotique invasive qui occupe la moitié de l'île.

A l'heure où la demande en charbon augmente, les autorités espèrent une filière plus durable. Des experts forestiers et en bioénergie du Cirad, appuyés par des consultants malgaches du cabinet Aides, ont enquêté sur le terrain. Leur diagnostic confirme que le *Grevillea* est « une opportunité pour limiter la pression sur la forêt naturelle ». Il est toutefois urgent d'ajuster les pratiques pour améliorer les rendements en charbon. A cet effet, la Commission de l'Océan Indien (COI) a financé la formation de charbonniers, inspirée du programme Arina, mis sur pied dans le district d'Anjozorobe (80 km au Nord d'Antananarive). Une première étape, souligne Manitra Rakotoarivelo, ingénieur agronome à Aides qui suit cela de près, en attendant d'autres actions « pour concrétiser les recommandations plus structurelles et pérenniser cette bioéconomie locale ».

Le Cirad et des partenaires du secteur privé réfléchissent à la valorisation du noyau et de la peau de la mangue. Ces co-produits pourraient être utilisés en cosmétique et servir à fabriquer de l'énergie. Un beau projet d'économie circulaire.

VALORISATION DES RESTES DE MANGUE

De la cosmétique à la bioénergie

Quel dommage : la mangue génère autant de déchets que sa délicieuse pulpe. Pourtant, à ce jour, on ne fait rien de la peau et du noyau, alors même que La Réunion produit chaque année près de 3 000 tonnes de mangues, soit 60% de la production française. Partant de ce constat, la start-up réunionnaise Bioval Océan Indien, hébergée dans des locaux du Cirad, s'est penchée sur le fruit oblong. Spécialisée dans les éco-procédés d'extraction de molécules, la TPE s'est associée avec des partenaires pour lancer, en métropole et à La Réunion, le projet Mangoval. L'objectif du consortium, qui a reçu un financement conséquent de l'Ademe, est d'étudier, durant trois ans, les opportunités de valoriser les déchets du fruit. « Le noyau contient une amande, riche en lipides, dont on peut extraire du beurre de mangue », illustre ainsi Gwenn Atheaux, dirigeante

de Bioval OI. Les premiers essais sur la mangue José, menés en 2019, ont montré que l'amande contenait 10 à 15% de beurre qui pourrait servir à la confection de crèmes.

Et l'énergie ?

Phenobio, autre partenaire privé du projet spécialisé dans le développement d'actifs cosmétiques, s'intéresse lui aux molécules comme les polyphénols qui pourraient être extraites des peaux. Autre piste de recherche : extraire des actifs antifongiques qui pourraient servir à lutter contre le champignon Antrachnose, dont le fruit est lui-même victime ! C'est peu dire que la filière réunionnaise est intéressée...

Et ce n'est pas fini. « Après transformation, ces co-produits pourraient constituer une



Jean-Paul Danflous et Arnaud Chapuis, chercheurs au Cirad, préparent des noyaux pour des essais d'extraction de beurre.

nouvelle source de bioénergie utilisable en circuit court », envisage François Broust. Le chercheur du Cirad à La Réunion est toutefois prudent : une analyse de cycle de vie déterminera si ces procédés de transformation sont durables.

OBJECTIF ZÉRO DÉCHET

La Région veut revaloriser la matière

Conformément aux recommandations de la Commission Européenne, la Région s'est engagée pour un scénario « zéro déchet », intégré dans le Plan Régional de Prévention et de Gestion des Déchets (PRPGD) en faveur de l'économie circulaire. Il s'agit d'intervenir à trois niveaux : produire sobrement, via l'éco-conception notamment ; optimiser et allonger l'usage, via l'économie du partage ou le réemploi ; revaloriser la matière, grâce au compostage ou au recyclage...

La dynamique d'une économie circulaire permet de créer de la richesse : elle transforme nos déchets en produits, elle crée de l'activité donc des emplois, elle augmente le pouvoir d'achat grâce aux économies sur les déplacements...

A cet effet, la Région Réunion accompagne les entreprises dans leur transition écologique, oeuvre pour une structuration des filières, soutient le recyclage et aide

au développement de solutions vertes telles que les « ressourceries » ou autres ateliers de réparation et de valorisation. Le conseil régional a d'ailleurs lancé en février dernier la troisième édition de son appel à projets d'économie circulaire. Six secteurs sont éligibles : l'éco-conception de biens, équipements et services, l'écologie industrielle et territoriale, l'économie de la fonctionnalité, la consommation responsable et l'éducation des citoyens, l'allongement de la durée d'usage,

le recyclage et valorisation (dont la gestion et le traitement des bio-déchets). Pour en savoir davantage, la plateforme « La Réunion EcoPositive » recense les acteurs locaux et les initiatives locales en faveur de l'économie circulaire.

économie.circulaire@cr-reunion.fr

Nathalie Noël, conseillère régionale déléguée à l'économie circulaire

THÈSE DE VALENTIN RUSSEIL

Penser l'autonomie alimentaire et énergétique de La Réunion

Comment utiliser au mieux les terres agricoles du territoire, pour parvenir à l'autonomie alimentaire et énergétique ? C'est à ce défi que s'est attelé Valentin Russeil, qui prépare une thèse sur le sujet. « Il s'agit d'enjeux importants en raison de caractéristiques intrinsèques, comme la dépendance en ressources, un foncier limité, une démographie dynamique, qui rendent notre île vulnérable », prévient l'ingénieur agronome. Le doctorant en veut pour preuve la période « gilet jaune » de 2018, qui a conduit à des pénuries.

Accompagnés par le Cirad et le laboratoire Piment de l'université de La Réunion, ses travaux visent à mieux comprendre l'imbrication locale des enjeux énergétiques et alimentaires. Le foncier agricole peut produire aujourd'hui de la nourriture aussi bien que de l'énergie : mais quelle est l'affectation optimale des terres pour répondre au mieux à ces deux besoins ? Un diagnostic initial servira à construire un modèle qui permettra d'élaborer différents scénarios d'occupation du sol. Il est enfin prévu que des ateliers de prospective et d'évaluation de politiques publiques

territoriales soient mis sur pied avec des acteurs locaux, dans un esprit de recherche action.



© CIRAD

Les thèses des deux agronomes sont cofinancées par l'Ademe et le Cirad

THÈSE DE VIVIEN KLEINPETER

Recycler les biomasses pour réduire les gaz à effet de serre

La thèse de Vivien Kleinpeter s'intéresse elle aussi aux questions d'autonomie de l'île de La Réunion,

dans un contexte de changement climatique. L'objectif du doctorant est de conduire une évaluation multicritère de plusieurs scénarios de recyclage de biomasses pour viser l'atténuation des émissions de gaz à effets de serre.

Comment ? En valorisant les ressources locales tout en réduisant l'import d'intrants. Originalité : la mobilisation d'un outil informatique de simulation spatiale [géolocalisation des exploitations agricoles, des unités de transformation, des contraintes de reliefs, des voies de communications, etc.] pour la gestion des biomasses à l'échelle de l'île. Cette démarche permettra d'explorer la dynamique complexe des flux de biomasses entre les secteurs de l'agriculture, l'élevage, l'industrie et l'urbain et des émissions de gaz à effet de serre.

La méthodologie retenue s'inscrit en outre dans une démarche participative, mobilisant agriculteurs, coopératives, entreprises privées, collectivités territoriales, etc., dans la continuité du projet GABiR.

MARIE-SOPHIE GÉRARD, CHARGÉE DE MISSION À L'ADEME

« La bio-économie circulaire, j'y crois »

Pourquoi l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie s'intéresse-t-elle à l'économie circulaire ?

Les bio-déchets - la partie fermentescible des ordures ménagères des particuliers - et les déchets verts, représentent des volumes importants. Leur valorisation peut impliquer de nombreux transports, nuisibles pour l'environnement et coûteux en carburant. Un de nos objectifs est d'aider à traiter et utiliser ces déchets dans des circuits courts. Nous y travaillons, notamment dans le cadre d'un partenariat avec le Cirad.

Comment se traduit cette collaboration ?

Nous finançons par exemple deux thèses hébergées par le Cirad. Et nous poursuivons le même objectif ; ainsi, dans le cadre du projet Gabir, si les chercheurs du Cirad

conseillaient l'installation d'une unité de méthanisation ici ou là, l'Ademe pourrait soutenir un porteur de projet.

En attendant, est-ce que la situation évolue sur le terrain ?

Nous soutenons aujourd'hui différentes expérimentations. A Saint-Denis, la Cinor teste des bacs marron pour récupérer les restes de cuisine et une unité de compostage se construit à Sainte-Suzanne. Dans le Sud, la Casud mène des actions de sensibilisation au compost issu des déchets verts ou des bio-déchets. Des communes comme Saint-Benoît proposent aux particuliers un accès libre

à un broyeur. Autre exemple : nous avons soutenu la formation de guides et maîtres composteurs (voir p 9), qui aideront à la démocratisation de ces pratiques vertueuses. Bref, j'y crois, ça avance !



© Ademe

« Nous poursuivons le même but que le Cirad »

A ce jour, le bois bûches et le charbon de bois sont les seules formes existantes de bois énergie à la Réunion, qui participe à l'entretien des zones.

EN BREF



© CIRAD

Une thèse sur le bois énergie

La Réunion souhaite développer une filière bois-énergie. L'enjeu est de fournir aux centrales électriques un combustible renouvelable, en valorisant les terrains forestiers du département. Le principal gisement identifié est l'arbre *Acacia mearnsii* (ou mimosa vert), qui a colonisé la forêt des hauts de l'Ouest. Comment gérer ces peuplements invasifs comme ressource durable ? Quels procédés et quelle organisation logistique adopter pour optimiser la chaîne d'approvisionnement ? Pour contribuer à ces réflexions, le Cirad encadrera une thèse qui visera à modéliser, à l'échelle territoriale, des scénarios prospectifs. Il conviendra ensuite d'en évaluer les meilleurs compromis sur les plans technique, économique et environnemental.

DES INITIATIVES POUR L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Une approche territoriale pour la gestion collective des biomasses



La journée de restitution du projet Gabir organisée par le Cirad et ses partenaires, a réuni plus de 100 personnes en 2018. Gabir est financé dans le cadre d'un appel à projets du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. Bilan à venir courant 2020.



1,7 million de tonnes de biomasses en grande partie déjà valorisées en agriculture

35%

fourrages

34%

effluents d'élevages

18%

co-produits de la filière sucre

6%

broyats de déchets verts et composts divers

4%

biodéchets ménagers



1 chaîne de traitement d'images satellites pour suivre l'évolution de l'occupation du sol

Aujourd'hui : près de 50 000 ha de terres cultivées dont environ :

50%

de canne à sucre

30%

de prairies

20%

en maraichage, arboriculture fruitière et autres



Des arènes de discussion pluri-acteurs

8 000

acteurs producteurs ou utilisateurs de biomasses

7 000

agriculteurs, dont la moitié détiennent des animaux



2 plateformes de modélisation spatiale

Pour explorer comment mieux recycler les biomasses :

- une filière fourragère structurée
- le remembrement des plans d'épandage
- le co-compostage des déchets verts et des effluents d'élevages



3 thèses en cours

- **Aujourd'hui :** Quels compromis entre le retour au sol, l'alimentation des animaux d'élevage et la production d'électricité ?
- **Demain :** L'économie circulaire rendra-t-elle possible l'autonomie alimentaire et énergétique de l'île ?



Comprendre pour maîtriser la fertilisation organique des cultures



Le comité scientifique du Soere Pro Réunion a réuni près de 40 personnes en septembre 2019. Le Cirad a présenté ses résultats en matière de pilotage durable des pratiques de fertilisation organique. Le projet est relancé jusqu'en 2022.



Tirer bénéfice de la fertilisation organique

- substituer les engrais chimiques importés par des fertilisants organiques produits localement
- stocker du carbone dans les sols pour lutter contre le réchauffement climatique
- augmenter la fertilité physique, chimique et biologique des sols



Tout en minimisant les risques environnementaux

- limiter les pertes d'azote vers les eaux et l'atmosphère
- contrôler la contamination des sols agricoles



1 laboratoire d'analyses agronomiques et environnementales

- soutien aux filières pour le diagnostic de fertilité des sols
- mise en œuvre d'analyses sur les biocombustibles
- ouvert sur l'Océan Indien



1 réseau d'essais de terrain

- à vocation agro-environnementale
- qui couvre les 3 principales cultures (canne, prairie, maraichage)
- menés sur le long-terme



5 thèses en cours

- 3 thèses sur le pilotage de la fertilisation en azote en canne à sucre, depuis la parcelle jusqu'au territoire
- 2 thèses sur l'évaluation du potentiel de stockage de carbone dans les sols



© R. Carayol / Runéo / R. Clément