



HAL
open science

Perspectives d'autonomisation alimentaire-électrique de l'île de La Réunion : enseignements de la modélisation spatiale dynamique et de l'anticipation participative

Valentin Russeil

► To cite this version:

Valentin Russeil. Perspectives d'autonomisation alimentaire-électrique de l'île de La Réunion : enseignements de la modélisation spatiale dynamique et de l'anticipation participative. Géographie. Université de la Réunion, 2023. Français. NNT : 2023LARE0016 . tel-04195265

HAL Id: tel-04195265

<https://theses.hal.science/tel-04195265>

Submitted on 4 Sep 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THESE

Pour obtenir le grade de

**DOCTEUR EN AMÉNAGEMENT DE L'ESPACE ET
URBANISME**

Délivré par

**L'ÉCOLE DOCTORALE « SCIENCES, TECHNOLOGIE,
SANTÉ » DE L'UNIVERSITÉ DE LA RÉUNION**

**Perspectives d'autonomisation alimentaire-
électrique de l'île de La Réunion :
enseignements de la modélisation spatiale
dynamique et de l'anticipation participative**

Par

Valentin Russeil

**Directeur de thèse : Pr. Jean-Philippe PRAENE (Lab. PIMENT, Université
de La Réunion - FR)**

**Encadrement de thèse : Dr. Danny LO SEEN (UMR TETIS, CIRAD - FR)
& Dr. François BROUST (UR BIOWOEB, CIRAD – FR)**

Rapporteurs : Pr. Monica SIROUX (Université de Strasbourg - FR) & Pr. Hery
Tiana RAKOTONDRAMIANANA (Université d'Antananarivo - MG)

Examineurs : Dr. HDR Caroline TAFANI (Université de Corse - FR) et Dr.
Thierry Brunelle (CIRED, CIRAD – FR)

Un projet financé par l'ADEME – Thèse soutenue le 29/06/2023

Résumé

Située dans l’océan Indien, l’île de La Réunion est une région d’outre-mer française présentant une forte dépendance alimentaire et énergétique aux importations, ce qui est une source critique de vulnérabilité en cas de dysfonctionnement des chaînes d’approvisionnement mondialisées. En croisant anticipation participative et modélisation spatiale et dynamique, il est possible de quantifier quelles marges d’autonomisation alimentaire et électrique le territoire d’étude pourrait atteindre. Premièrement, en mettant l’accent sur les dynamiques d’usage des sols, cinq processus clés sont identifiés comme exerçant une influence locale sur l’autonomisation : diversification de la canne à sucre, urbanisation, conversion de friches agricoles, développement du photovoltaïque au sol et évolution des comportements des consommateurs. Deuxièmement, cinq scénarios sont co-construits avec des acteurs locaux, privilégiant tour à tour la production alimentaire, électrique, ou recherchant un compromis. Troisièmement, ces scénarios sont implémentés dans *ProdRun*, un modèle élaboré avec *Ocelet Modelling Platform*. En définitive, et sous réserve que certaines mesures ambitieuses de planification territoriale soient endossées par le complexe multi-acteurs, deux scénarios dessinent une autonomisation intégrée « alimentaire-électrique » entre 2019 et 2040 : de 28,4% à 41,3-55,1% pour la couverture des besoins alimentaires humains et de 33,8% à 48,4-52,9% pour les besoins électriques.

Abstract

Located in the Indian Ocean, Reunion Island is a French overseas region with a strong dependency towards importation for its food and energy requirements. This constitutes a critical vulnerability in case of globalized supply-chains’ disruption. By crossing participatory foresight with dynamic spatial modelling, we quantify to which extent the studied territory may become more self-sufficient for food and electricity. Firstly, with a land-use perspective, five key processes with local influence on self-sufficiency are identified: sugarcane diversification, urbanisation, fallows conversion, on-ground photovoltaic development and consumers’ behaviour evolution. Secondly, five scenarios are co-elaborated with local stakeholders, either focusing on food or electricity production, as well as seeking a trade-off. Thirdly, these scenarios are implemented in *ProdRun*, a model built with *Ocelet Modelling Platform*. Finally, under the condition that some ambitious measures are implemented by stakeholders, two scenarios meet an integrated “food-electricity” self-sufficiency increase between 2019 and 2040 in terms of coverage by local production: from 28,4% to 41,3-55,1% for food and from 33,8% to 48,4-52,9% for electricity.

Remerciements

La naissance de ce projet de thèse remonte à 2017, où de riches échanges en sortie d'école d'ingénieur et au ministère de l'Environnement avec les Pierre, Kévin, Pierre-Alexis, Marika, Lucien, Lorène, Pauline, Mathilde et Jérôme me permettent d'assembler les éléments qui viendront composer mon sujet : autosuffisance, enjeux alimentaires et énergétiques, notion de territoire.

De retour à La Réunion, Elodie, Sarah et Pierre-Yves de la SPL Horizon Réunion m'aident à mettre sur pied un premier projet. C'est finalement grâce au concours d'Anne-Lise, puis Muriel et Jean-Philippe du CIRAD que le projet final est mis sur pied et qu'un financement ADEME est obtenu. L'équipe finale d'encadrement du projet est montée pour m'accompagner patiemment jusqu'à la soutenance. J'ai ainsi la chance d'être encadré par trois chercheurs experts de la Réunion, de l'énergie, de la modélisation et des biomasses : Jean-Philippe du laboratoire PIMENT à l'Université de La Réunion, Danny du laboratoire TETIS du CIRAD et François du laboratoire BioWooEB du CIRAD. Sophie, également experte de l'énergie et des biomasses me conseille et fait le relais avec l'ADEME.

Le projet est lancé en octobre 2019. Des collègues de travail aussi compétents que débordants de bonne humeur me donnent le sourire chaque jour et stimulent mes réflexions : Vivien, Lorraine, Roxane, Raphaël, Jean-Philippe, Lionel, Mathieu, petit et grand Pierre, les Marie, Myriam, Tiago, Julia, Mickaël, Valérie, Jonathan, les Manon, Louis-Axel, Jérôme, Nikolaos... A intervalles réguliers, Claire, Sandrine, Fiona et Bruno participent à mon comité de thèse et me font profiter de leur expertise de chercheuses et chercheur accomplis pour m'aiguiller. L'excellent travail de Marion constitue une pièce indispensable de cette thèse (tant et si bien que tu verras ton nom apparaître un peu partout !). J'adresse enfin un immense merci à toutes les personnes rencontrées en entretien, en atelier et lors d'événements scientifiques, qui ont fait de mon travail une inoubliable expérience participative.

Au-delà de mes rencontres professionnelles, je ne serais pas allé loin sans une solide base arrière. Ma famille d'abord, mes parents surtout qui ont toujours partagé les joies comme les passages abrupts et à qui je dois, à bien des égards, de pouvoir écrire ces lignes aujourd'hui. À tous mes amis insulaires et ceux par-delà la mer, de toujours ou rencontrés en chemin, qui ont continué à m'inviter malgré mes multiples lapins posés, m'ont apporté tant de franches rigolades, de lumineuses nuits blanches, de randonnées et d'inventaires botaniques pendant ces 3 ans et demi : Leïla, Nicolas, les Marie, Maxence, Manue, Piet, Elsa, Paonie, Jordan, Valentin, Pauline, Lucie, Erwan, Kévin, Thomas, les Maelle, Marc, Romane, François, Adèle, Laurent, Chloé, Karine, Aurélien, Aubane, Cyril, Julien, Isabella, Jane...

Gratitudes particulières. Tena, *hvala puno pticica*, tu m'as donné l'élan pour suivre mes rêves et me lancer dans la thèse. Margot, ta douceur m'a soutenu pour achever le manuscrit et me projeter dans l'avenir en contemplant les fleurs de mahot avec poésie.

Aux autres compagnons-planteurs, paysans inspirants et autres semeurs de lien qui luttent contre vents et marées pour une île plus résiliente, plus écologique et conviviale, vous avez été une inépuisable source d'inspiration : Raymond, David, Fanny, Cédric, Coralie, Marie, Michel, les Joseph, Eno, Benoît, Boris, Edwige...

Aux parents de mes parents, et leurs parents avant eux, qui sans le savoir exploraient une vie au seuil de l'autosuffisance.

À Corentin, Eloane, Axelle, Coline, Lilwenn, Gwena et Sandrine, je vous souhaite un vivre-ensemble harmonieux sur ce petit caillou perdu dans l'océan.

Table des matières

Liste d'abréviations.....	6
Liste des figures.....	7
Liste des tableaux.....	9
Introduction générale	10
Chapitre I : Cadre contextuel et scientifique.....	15
1. Définitions principales.....	16
1.1 Autonomie alimentaire et autonomie énergétique.....	16
1.2 « Territoire » : entité d'intégration de l'autonomisation alimentaire-électrique.....	23
2. Problématisation du sujet d'étude.....	26
2.1 Contexte du territoire d'étude.....	26
2.2 Enjeux de l'autonomisation alimentaire-électrique dans le cas de La Réunion	35
2.3 Question de recherche, objectifs et hypothèses.....	42
Chapitre II : Méthodologie générale	46
1. Principaux outils et méthodes mobilisés.....	47
1.1 Modélisation spatiale et dynamique.....	47
1.2 Anticipation territoriale et participative	50
2. Méthodologie à l'interface entre approches de modélisation et d'anticipation.....	53
2.1 Phases participatives communes	53
2.2 Facteurs de changement, processus hypothèses d'anticipation et scénarios	59
Chapitre III : De l'usage des sols de chaque parcelle à la couverture des besoins du territoire	66
1. Elaboration d'une cartographie d'usage des sols de La Réunion.....	67
1.1 Etat de l'art des travaux de cartographie d'usage des sols.....	67
1.2 Correction de la cartographie de référence	71
1.3 Apports et limites de la carte complétée	74
2. <i>ProdAgri</i> : de l'usage des sols aux indicateurs d'autonomie alimentaire-électrique.....	77
2.1 Principes généraux du modèle <i>ProdAgri</i>	77
2.2 Calibrage du modèle <i>ProdAgri</i>	81
3. Simulation de taux de couverture alimentaire et électrique en 2019.....	88
3.1 Résultats comparés à d'autres données secondaires	88

3.2	Apports et limites de <i>ProdAgri</i> pour estimer des indicateurs d'autonomie alimentaire-électrique.....	93
Chapitre IV :	Co-construction et modélisation de scénarios d'autonomisation à horizon 2040	96
1.	Modèle conceptuel de l'autonomisation alimentaire-électrique à La Réunion à partir de facteurs de changement.....	97
1.1	Identification des facteurs de changement essentiels.....	97
1.2	Modèle conceptuel du système d'étude faisant apparaître 5 processus clés à modéliser	101
2.	<i>ProdRun</i> : de l'implémentation de processus clés à un premier scénario de référence	108
2.1	Organisation générale du modèle <i>ProdRun</i>	108
2.2	Premier calibrage de <i>ProdRun</i> selon un scénario de référence (S1).....	113
3.	Co-construction de trois scénarios tendanciels et d'un scénario de rupture	118
3.1	Narratifs de chaque scénario	118
3.2	Bilan comparé des différents scénarios	123
Chapitre V :	Discussion des simulations et perspectives.....	127
1.	Perspectives d'autonomisation modestes malgré des changements importants d'usage des sols	128
1.1	Changements d'usage des sols simulés susceptibles de radicalement transformer l'aspect du territoire	128
1.2	Taux de couverture plafonnés : l'autonomisation est possible mais la contrainte foncière exerce une pression forte.....	132
2.	Autonomisation alimentaire-électrique et importance de la planification territoriale.....	138
2.1	Deux scénarios sont à retenir parmi ceux simulés en raison des incertitudes sur le caractère stratégique de la bioélectricité à l'avenir.....	138
2.2	Planification territoriale au service de l'autonomisation : des mesures ambitieuses d'aménagement, de sobriété, de politique agricole et de gouvernance sont nécessaires	143
3.	Apports et limites de l'approche participative croisant modélisation et anticipation	153
3.1	Croisement délicat de la modélisation et de l'anticipation dans un cadre de recherche participative.....	153
3.2	Perspectives de recherche pour de futurs travaux sur l'autosuffisance à La Réunion et ailleurs.....	161
Conclusion générale	169
Publications liées.....		174
Références.....		174
Annexes		201

Liste d'abréviations

AU : (zone) à urbaniser

CCUS-2019 : cartographie corrigée d'usage des sols de 2019

CIRAD : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

CTA : Comité de Transformation Agricole

DROM : département et région d'outre-mer

MDE : maîtrise de la demande en énergie

MID : matrice d'influence directe

MII : matrice d'influence indirecte

OMP : *Ocelet Modelling Platform*

PAPAM : plantes médicinales, aromatiques et à parfum

PAT : Plans Alimentaires Territoriaux

PEII : petits Etats insulaires indépendants

PLU : plan local d'urbanisme

PNNS : Plan National Nutrition Santé

PNR : Parc National de La Réunion

PPE : Programmation Pluriannuelle de l'Énergie

PRAAD : Plan Régional de Développement Durable de l'Agriculture et de l'Agroalimentaire

SAFER : Société d'Aménagement Foncier et d'Etablissement Rural

SAR : Schéma d'Aménagement Régional

SAU : surface agricole utile

STEP : station de transfert d'énergie par pompage ou station d'épuration (selon le contexte)

TAC : turbine à combustion

TC : taux de couverture

TC_{alimentaire} : taux de couverture alimentaire

TC_{électrique} : taux de couverture électrique

UGB : unité gros bétail

ZPU : zones prioritaires à urbaniser

Liste des figures

Figure 1 : Contexte géographique et diversité microclimatique de l'île de La Réunion.

Figure 2 : Evolution démographique de l'île de La Réunion depuis sa colonisation (1665) jusqu'à 2014.

Figure 3 : Taux de couverture du marché par la production locale (%) en 2016.

Figure 4 : Répartition des sources de production dans le mix électrique de La Réunion entre 2010 et 2019.

Figure 5 : Base d'occupation des sols officielle de La Réunion en 2018.

Figure 6 : Les différents degrés des scénarios élaborés dans le cadre de la thèse selon le « cône des futures ».

Figure 7 : Deux vagues d'entretiens articulent et nourrissent le flux d'informations entre différentes étapes de modélisation de dynamiques spatiales et d'anticipation territoriale.

Figure 8 : Photographie prise en fin de « session *post-it* » (seconde vague d'entretien) avec un groupe d'experts.

Figure 9 : Le classement des facteurs de changement en différents rôles dans la dynamique du système d'étude selon un graphique d'influence-dépendance

Figure 10 : Méthode générale de co-construction de scénarios à partir d'entretiens et d'ateliers, illustrée avec 3 facteurs de changement.

Figure 11 : Organisation générale du manuscrit en lien avec le bilan des travaux réalisés pendant la thèse.

Figure 12 : Construction d'une cartographie corrigée d'usage des sols par combinaison de données spatiales existantes.

Figure 13 : Cartographie d'usage des sols corrigée pour l'année 2019 (CCUS-2019).

Figure 14 : Comparaison de la cartographie corrigée d'usage des sols en 2019 (CCUS-2019) avec d'autres cartographies tirées de la bibliographie, en termes de surface totale pour différents usages.

Figure 15 : Schéma d'organisation de l'algorithme du modèle *ProdAgri* en six modules.

Figure 16 : Balance des denrées disponibles et consommées sur le territoire d'étude selon 6 catégories alimentaires en 2019.

Figure 17 : Comparaison des résultats de simulation à la bibliographie pour les variables relatives à la production de biomasse dans *ProdAgri*.

Figure 18 : Usages du sol, biomasses disponibles et leurs voies de valorisation ainsi qu'indicateurs d'autosuffisance alimentaire-électrique simulés dans le modèle *ProdAgri* pour l'année 2019 à l'échelle du territoire d'étude.

Figure 19 : Classement des facteurs de changement identifiés sur un graphique d'influence-dépendance combiné.

Figure 20 : La conceptualisation du système d'étude comme un ensemble de facteurs de changement interconnectés révèle 5 processus clés.

Figure 21 : Carte du potentiel foncier où peut s'étendre l'urbanisation par extensions urbaines et constructions hors armature.

Figure 22 : Carte du potentiel de récupération des friches en zones agricoles et en zones protégées.

Figure 23 : Schéma d'organisation de l'algorithme du modèle *ProdRun* en huit modules.

Figure 24 : Ensemble des conversions de parcelles possibles via les 4 processus de changement d'usage des sols modélisés dans *ProdRun*.

Figure 25 : Les deux modes de simulation d'un changement d'usage d'une entité parcelle dans *ProdRun*.

Figure 26 : Aperçu des changements d'usage des sols simulés de façon spatialement explicite (paysage dans le sud du territoire d'étude).

Figure 27 : Amplitude des dynamiques simulées pour 4 usages du sol (canne à sucre, prairies, horticulture et tache urbaine) dans les 5 scénarios simulés.

Figure 28 : Evolution comparée des indicateurs d'autosuffisance (taux de couverture relatifs à l'alimentation en rouge et relatifs à l'électricité en bleu) dans les 5 scénarios simulés sous *ProdRun*.

Figure 29 : Distribution des changements d'usage des sols dans les 5 scénarios simulés.

Figure 30 : Comparaison de l'évolution de la part d'électricité asynchrone dans le mix électrique selon une extrapolation linéaire du mix électrique (S1), un respect des prescriptions de la PPE (S2 à S5) ou un scénario S2 modifié où toute la production bioélectrique (perdue par érosion du foncier cannier) est substituée par du photovoltaïque.

Figure 31 : Production électrique supplémentaire nécessaire à une substitution totale ou partielle pour compenser la perte de production bioélectrique due au recul de la canne dans les scénarios S4 et S5.

Figure 32 : Evolution du mix électrique selon le scénario S4 et S5.

Figure 33 : Comparaison de l'évolution du TC_{ahg} (taux de couverture en alimentation humaine global) entre le scénario S2 tel que simulé précédemment (sans changement d'habitudes alimentaires) et un scénario S2 modifié (avec changements d'habitudes alimentaires).

Figure 34 : Comparaison des taux de couverture des besoins en fourrages ($TC_{fourrages}$) et des besoins en alimentation globale du cheptel (TC_{acg}) avec le taux de couverture des besoins en concentrés ($TC_{concentrés}$).

Figure 35 : Taux de couverture des besoins par catégorie de denrée alimentaire tels que simulés à horizon 2040 sous *ProdRun*.

Figure 36 : Bilan des perspectives d'autonomisation alimentaire-électrique de l'île de La Réunion selon les scénarios S4 et S5.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Résumé du nombre d'experts et d'organisations enquêtées durant les différentes vagues d'entretiens semi-directifs.

Tableau 2 : Comparaison de six cartographies d'usage des sols de La Réunion.

Tableau 3 : Coefficients de calage correctifs des rendements et d'une partie des besoins en fertilisation azotée des cultures végétales dans le modèle *ProdAgri*.

Tableau 4 : Taux de couverture alimentaire simulés dans le modèle *ProdAgri* pour chaque catégorie de denrée alimentaire en 2019.


Tableau 5 : Les facteurs de changement identifiés comme ayant un impact sur l'autonomie alimentaire-électrique de La Réunion.

Tableau 6 : Liste des variables contextuelles considérées dans le calibrage des processus de changement d'usage des sols implémentés dans *ProdRun*.

Tableau 8 : Liste comparée des hypothèses qualitatives caractérisant les cinq scénarios du projet.

Tableau 9 : Comparaison des taux de couverture maximum estimés selon *ProdRun* avec deux autres territoires insulaires dont des études estiment qu'ils sont susceptibles d'atteindre (ou d'approcher de près) une autonomie alimentaire-électrique totale.

Tableau 10 : Comparaison de la production d'électricité à partir de canne à sucre entre les différents scénarios simulés.



Introduction générale :

L'île de La Réunion, un territoire contraint mais séduit par une plus grande autonomie alimentaire et énergétique

*« Wi mwin ladi monmon
Si bato marsandiz la kal déor
Wi mwin ladi monmon
Si bato livrézon i rant pi dann por*

Kas pa la tèt...

*Ma mèt zinzanm mang dann kari pwason
Sa lébon sa lébon
Ma manz ali sanm rougay mang
Sa lébon, sa lébon »*

Eno Zangoun, « Sa lé bon », Léspri santé, 2019.

Un territoire insulaire dans un contexte de « risques systémiques et globaux »

La fin du XXe siècle est marquée par une prise de conscience grandissante de la finitude des ressources naturelles à l'échelle planétaire (Meadows et al., 1972) tandis que depuis une dizaine d'années, se précisent les contours de nouveaux « risques systémiques et globaux » (Reghezza-Zitt, 2017) comme la réduction de la production en pétrole dit « conventionnel » (IEA, 2019), les profondes perturbations anticipées liées au changement climatique (IPCC, 2022), aggravant les enjeux économiques (Tverberg, 2012) et sociaux comme les inégalités et l'insécurité alimentaire (ONU, 2020). La pandémie de la COVID-19 suivie de la guerre en Ukraine et leurs conséquences sur les chaînes d'approvisionnement tant alimentaires qu'énergétiques (Farrell & Newman, 2022 ; Carlsson-Szlezak et al., 2020) sont une preuve récente que ces perturbations des sociétés humaines mondialisées sont susceptibles de se multiplier dans les années à venir et ne peuvent plus être considérées comme fantaisistes. Alors que nous entrons dans ce qui semble être une période durable de tarissements et de mutations, les réflexions se multiplient pour garantir la résilience des socio-écosystèmes (Folke et al., 2002) ce qui se décline souvent à l'échelle des territoires (Brunetta et al., 2019).

Située dans l'océan Indien, l'île de La Réunion sera au seuil du million d'habitants en 2035 (INSEE, 2018). Dans cette région ultramarine française (et ultrapériphérique européenne) de seulement 252 000 hectares, l'économie locale est extrêmement dépendante des importations. En 2014, la masse de produits importés était près de 8 fois supérieure aux produits exportés (Abington Advisory & EVEA, 2016). En 2019, c'est un autre indicateur, la balance commerciale, qui est déficitaire de près de 5 milliards d'euros (IEDOM, 2020), signe que la région est toujours fortement hétéronome. Dans un contexte de mondialisation instable, l'île de La Réunion apparaît structurellement vulnérable et peu résiliente face au risque de perturbations des chaînes d'approvisionnement. Dans cette situation, deux secteurs apparaissent comme particulièrement critiques : l'alimentation et l'énergie. En effet, ces deux secteurs, sont à la fois vitaux pour la population et largement dépendants de l'extérieur (DAAF Réunion, 2014 ; SPL Energies Réunion, 2018).

La promesse d'une plus grande autonomie alimentaire et énergétique malgré les contraintes du territoire

Face à ce constat, un discours local sur la nécessité de retrouver de « l'autonomie alimentaire » et de « l'autonomie énergétique » s'est peu à peu structuré depuis plusieurs décennies. Cette rhétorique autonomiste trouve initialement racine dans la pensée politique de la gauche réunionnaise des années 60, hostile à l'affermissement du processus de départementalisation (Labache, 2017). Mais depuis les

années 2000, la question de l'autonomie alimentaire et énergétique semble désolidarisée de toute velléité autonomiste puisque reprise plusieurs fois comme objectif stratégique dans plusieurs textes à portée législative. Une accélération notable s'est opérée autour de 2015. D'une part avec la loi de transition énergétique pour la croissance verte qui planifie pour les territoires d'outre-mer un objectif d'autonomie énergétique et de développement des énergies renouvelables pour substituer complètement les énergies fossiles en 2030 (Légifrance, 2015). Sa traduction opérationnelle est la Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE) qui planifie à horizon 2028 la politique en matière d'énergie, compétence de la région Réunion (Région Réunion, 2022). D'autre part, le dernier Schéma Régional Climat Air Energie mentionne l'ambition de sécurité alimentaire (Région Réunion, 2013) tandis qu'une initiative récente portée par le Département de La Réunion ("Plan AGRIPéi 2030") fixe des objectifs concrets pour aller vers l'autonomie alimentaire à horizon 2030 (Département de La Réunion, 2020).

Pourtant, malgré ce volontarisme politique affiché, la situation ne fait que se dégrader du point de vue de l'autonomie alimentaire et énergétique. L'île de La Réunion était autrefois proche de cette autosuffisance : probablement jusqu'au XIXe siècle pour l'alimentation (Piccin et al., 2019) et jusqu'aux années 80 pour l'électricité (Selosse et al., 2018). Or, sur les dernières décennies, la dépendance à l'alimentation et l'énergie importée s'est fortement accrue. Les données publiques indiquent que seulement 30% des besoins électriques (ou 12,5% des besoins énergétiques, c'est-à-dire en considérant les besoins totaux d'électricité, de chaleur et de carburants) sont satisfaits par des sources locales en 2019 (SPL Horizon Réunion, 2020). En parallèle, la part d'importations dans l'alimentation poursuit également sa progression (DAAF Réunion, 2017 a). Plusieurs contraintes inhérentes à l'île peuvent expliquer l'essentiel de cette difficile marche vers l'autosuffisance. Premièrement, des besoins qui augmentent au-delà de la capacité de l'île à les satisfaire : concrètement, une population à la croissance démographique très dynamique par le passé et qui bénéficie aujourd'hui de standards de vie occidentaux (INSEE, 2018), impliquant une consommation importante d'énergie et d'alimentation carnée par exemple (INSEE, 2015). Deuxièmement, une production insuffisante : en cause, le caractère insulaire, synonyme à la fois d'isolement (i.e. difficultés économiques) et de foncier limité, en particulier pour l'agriculture avec seulement environ 42 000 ha de surface agricole utile (SAU) en 2019 (DAAF Réunion, 2020 a).

La contrainte foncière semble particulièrement déterminante dans la capacité de l'île à améliorer son degré d'autonomie alimentaire, aussi bien qu'énergétique. En effet, entre 7% et 9% de la production électrique totale de La Réunion provient chaque année de la valorisation de coproduits de la culture de la canne à sucre (bagasse et bioéthanol). Mais cette part atteint 40% si l'on ne considère que les sources d'électricité locales, pilotables et renouvelables, ce qui donne à la canne une importance non


négligeable a priori dans le mix électrique de l'île. Il y a donc concurrence potentielle entre objectif d'autonomie alimentaire et objectif d'autonomie énergétique, alors que la canne à sucre occupe 54% de la SAU (DAAF Réunion, 2020 a). D'autres contraintes comme la pression de l'urbanisation viennent exacerber les tensions autour de l'usage des sols. Ainsi, l'arbitrage de l'utilisation des terres pour les prochaines années apparaît comme un enjeu essentiel vis-à-vis de la recherche d'autosuffisance, et cristallisant de vives controverses entre acteurs locaux.

Présentation du sujet de thèse et organisation du manuscrit

Par l'intrication de ces multiples enjeux sur un espace réduit, l'île de La Réunion constitue un véritable laboratoire. Face à ces contraintes, questionner l'autonomie alimentaire et énergétique à cette échelle représente un double défi : en termes d'actions publiques pertinentes de la part des décideurs locaux d'une part, et en termes d'objet d'étude et de méthodologies de la part de la recherche d'autre part. Dans cette thèse, différentes approches ont été utilisées de manière conjointes (entretiens, modélisation spatiale et dynamique, anticipation) afin de proposer une évaluation de plusieurs trajectoires d'autonomisation alimentaire et électrique du territoire et d'appuyer ainsi les acteurs locaux par des enseignements tirés de l'analyse de scénarios co-construits. En particulier, le croisement d'anticipation et de modélisation reste un champ d'étude largement inexploré. Par rapport au sujet de la thèse, il existe des exceptions : simulation des systèmes alimentaires (Poux & Aubert, 2018), des systèmes énergétiques (McDowall, 2014) ou des dynamiques d'usage des sols (Camara et al., 2019). A la différence de ces travaux, la thèse propose non seulement de croiser modélisation et anticipation, mais également de lier ces problématiques d'autonomie alimentaire et énergétique sous l'angle de l'usage des sols, trois thèmes qu'une seule étude (à notre connaissance) a explorés simultanément dans le cas d'une île de Hawaï (Kim et al., 2015).

Dans le premier chapitre, le cadre contextuel et scientifique de la thèse est posé avec une définition circonstanciée des termes principaux du sujet, une explicitation de l'objet d'étude ainsi que des questions de recherches et des hypothèses. Le second chapitre donne une vue d'ensemble de la méthodologie en décrivant de manière parallèle les outils et les méthodes employés ainsi que la manière d'articuler anticipation et modélisation tout au long de la thèse. Le troisième chapitre s'intéresse à l'estimation d'indicateurs d'autonomie alimentaire-électrique du territoire d'étude à partir d'une cartographie d'usage des sols et d'un modèle comparant les ressources produites aux besoins totaux. Le quatrième chapitre s'intéresse aux trajectoires possibles d'autonomisation alimentaire-électrique du territoire par la co-construction d'un modèle de dynamiques spatiales et de

scénarios contrastés. Le cinquième chapitre discute des perspectives d'autonomisation alimentaire-électrique de l'île à la lumière des résultats des simulations.



Chapitre I :

Cadre contextuel et scientifique

L'Introduction générale a permis de présenter dans les grandes lignes le cadre de cette thèse portant sur l'autonomie alimentaire-électrique territoriale de l'île de La Réunion. Le Chapitre I définit les concepts composant l'objet d'étude, présente le territoire d'étude et y explicite les enjeux de l'autonomisation. Cet état des lieux contextuel et théorique permet d'aboutir à la formulation de la question de recherche, des objectifs et des hypothèses de ce travail de recherche.

1. Définitions principales

1.1 Autonomie alimentaire et autonomie énergétique

Les différentes dimensions de l'autonomie alimentaire et énergétique

Le terme « autonomie » renvoie à une notion d'auto-gouvernance, d'indépendance ou plus simplement de « liberté face à un contrôle ou une influence extérieure » (Rae & Bradley, 2012). Appliquée à l'alimentation et à l'énergie, la notion d'autonomie décrit donc l'état d'un système pouvant fonctionner normalement sans besoin d'un support externe (sous la forme d'importations) grâce à ses capacités propres. Plus concrètement, l'autonomie ou l'autosuffisance alimentaire (« *food self-sufficiency* ») est généralement définie dans la littérature comme une situation où la production alimentaire domestique égale ou excède 100% des besoins alimentaires d'un espace géographique donné (Clapp, 2016). De façon analogue, l'autonomie énergétique (« *energy self-sufficiency* »), synonyme d'indépendance énergétique (« *energy independency* »), décrit une situation où la couverture des besoins énergétiques d'un espace géographique donné est exclusivement assurée à partir de sources d'énergie primaires¹ domestiques (Al Katsaprakakis & Voumvoulakis, 2018). A priori sans ambiguïté, ces deux définitions s'accompagnent en réalité de spécificités selon les études et les auteurs.

Premièrement, toutes les échelles peuvent être considérées dans les réflexions sur l'autonomie alimentaire et énergétique : le niveau micro local avec des travaux à l'échelle d'une ville ou d'une communauté d'habitants (Zasada, 2019 ; Rae & Bradley, 2012), le niveau local à l'échelle d'un « territoire » (voir définition dans le cadre de cette étude partie I.1.2) (Marzin et al., 2021 ; ADEME, 2018), le niveau national (O'Hagan, 1975 ; Sica & Huber, 2017), voire même l'échelle internationale (Poux & Aubert, 2018 ; Bompard et al., 2017).

¹ « L'énergie primaire est l'ensemble des produits énergétiques non transformés, exploités directement ou importés » (INSEE, 2016. Disponible sur insee.fr/fr/metadonnees/definition/ - consulté le 20/06/2022).

Deuxièmement, le fait de considérer des niveaux géographiques aussi différents amène à des nuances pour définir l'autonomie alimentaire et énergétique. Un débat se cristallise en particulier à partir des notions de sécurité alimentaire et énergétique (« *food security* » et « *energy security* »). Dimensions essentielles à l'autonomie, les notions de sécurité alimentaire et énergétique insistent sur des critères de disponibilité, d'accessibilité et de stabilité (FAO, 2008 ; Mutani & Todeschi, 2018), avec pour objectif une sécurité d'approvisionnement de long terme (Garcia-Gusano et al., 2017). Cependant, sécurité alimentaire et énergétique n'excluent pas le recours à un certain niveau d'importations grâce à un marché globalisé (Marzin et al., 2021 ; Chalvatzis et al., 2017) alors qu'autonomie alimentaire et énergétique insistent sur l'origine domestique de la production. Il en résulte que l'autonomie alimentaire et l'autonomie énergétique sont souvent présentées comme des degrés sur un continuum intégrant l'échelle locale au global. Sur le volet alimentaire, Clapp (2016) présente ainsi l'autonomie comme une stratégie qui est toujours à mi-chemin entre d'un côté, un pôle autarcique, et de l'autre, un pôle où le marché est totalement ouvert. Noireaux (2017) désigne par le terme de « coopération » une stratégie intermédiaire entre ces deux pôles. Sur le volet énergétique, Villar & David (2014) proposent que l'autonomie soit une stratégie d'intégration du local au global par « autonomie reliée », situation similaire à « l'autonomie nette ou équilibrée », et contrastant avec une situation d'autarcie ou « d'autonomie énergétique complète » (« *off-grid* ») (Weinand et al., 2019). Par rapport aux définitions initiales où l'autonomie alimentaire et énergétique désignaient des états théoriques proches de l'autarcie, il apparaît que ces définitions peuvent également renvoyer à un degré : la part de besoins que le territoire est capable de satisfaire par sa production domestique aussi bien en alimentation (FAO, 1999) qu'en énergie (Weinand et al., 2019).

Troisièmement, la notion de sécurité présentée dans le paragraphe précédent permet d'introduire une dimension qualitative lorsque l'on considère l'autonomie alimentaire ou énergétique. Sur le volet alimentaire, des exemples ont en effet démontré l'insuffisance du seul critère de la quantité pour garantir la sécurité alimentaire (Dury & Bocoum, 2012). La littérature vient aussi insister sur l'importance de la diversité de la production locale (Halldórsdóttir & Nicholas, 2016) afin de garantir un équilibre nutritionnel (Verger et al., 2019) dans le respect des préférences alimentaires (FAO, 2013). Halldórsdóttir & Nicholas (2016) rappellent en particulier qu'atteindre un certain degré d'autonomie alimentaire requiert une adéquation entre ce que consomme la population locale et ce que produit le territoire. Sur le volet énergétique, il est également question de qualité du système énergétique. Il s'agit essentiellement de garantir la stabilité de l'approvisionnement, notamment pour le système électrique : gestion de l'intermittence de l'électricité provenant de certaines sources renouvelables comme le photovoltaïque (EDF, 2019), mais aussi maîtrise de la demande en énergie (Garabedian &

Ricci, 2018) notamment quand le système électrique est soumis à d'importantes amplitudes journalières de la demande (ADEME, 2018).

Quatrièmement, la notion d'autonomie alimentaire ou énergétique est parfois teintée à tort d'une nuance d'autonomie politique (Yalçın-Riollet et al., 2014). Mais parfois, l'autonomie est véritablement une recherche d'indépendance politique (même relative) par le biais de la « souveraineté alimentaire » (Paré, 2012) ou de la « souveraineté énergétique » (Sica & Huber, 2017). Au cœur de cet enjeu de souveraineté, une dimension clé de l'autonomie se révèle : la maîtrise locale des moyens de production. Sur le plan alimentaire, cette maîtrise de la production se traduit par une attention à ce que le système alimentaire soit localisé (Rahman et al., 2022) et de manière générale, qu'il soit en capacité d'assurer une production suffisante ce qui fait préférer le terme de « *self-reliance* » plutôt que « *self-sufficiency* » (nuance intraduisible en français) pour Kloppenburg et al. (1996). En insistant sur cette capacité de production alimentaire plutôt que sur la production elle-même, Getz (1991) souligne également que la taille suffisante du bassin alimentaire (« *foodshed* ») est une condition primordiale. Sur le plan énergétique, on décèle un lien similaire entre territorialisation des moyens de productions et souveraineté : notion de « localisme » (Nadaï et al., 2014), « démocratie énergétique » où les consommateurs sont impliqués dans les stratégies de production énergétique (Al Katsaprakakis & Voumvoulakis, 2018), ou encore « énergie de la communauté » (« *community energy* ») (Weinand et al., 2019). Cette relocalisation des moyens de production alimentaire et énergétique s'accompagne également de nouveaux modes de gouvernance plus locale à l'image des exemples précédents, ou encore par le rôle particulier des collectivités territoriales dans ce processus (Serrano et al., 2021 ; Bourdin et al., 2019).

Enfin, l'autonomie alimentaire comme énergétique implique non seulement une production locale, mais également des intrants de production locaux selon certains auteurs. Pour la production alimentaire, trois types d'intrants ou « moyens de production importés » peuvent être considérés sous cet angle : l'énergie, l'alimentation du bétail et les nutriments pour la fertilisation (O'Hagan, 1975). Leur prise en compte donnerait lieu selon le même auteur au calcul d'une « autonomie alimentaire nette », mais qui est difficile à mesurer dans la pratique. Dans le cas de l'énergie, la question de l'électrification renouvelable se heurte à d'importants besoins en ressources importées comme les « terres rares » (Bilhouix, 2014). En outre de ces besoins matériels, on pourrait également mentionner que le degré d'autonomie énergétique, notamment pour un système électrique décentralisé, dépend d'une expertise extérieure pour le design, l'installation ou encore la maintenance (Rae & Bradley, 2012). Ce dernier exemple précise que les intrants de productions importés à considérer ne sont pas forcément matériels mais peuvent également être constitués de connaissances et de capitaux financiers.

L'autonomie alimentaire dans le cadre de la thèse : focus sur la production locale alimentaire et la provenance de certains intrants clés

Plusieurs approches, parfois complémentaires, coexistent dans la littérature pour quantifier l'autonomie alimentaire à l'échelle d'un espace géographique donné, comme par exemple : la balance commerciale alimentaire c'est-à-dire le rapport entre la valeur totale d'aliments produits sur un territoire et les achats d'aliments par les citoyens sur ce même territoire (Paré, 2012), le calcul pour des aliments consommés localement de leur distance parcourue depuis leur lieu de production (ou « *food miles* ») (Sirieix et al., 2008), les besoins alimentaires convertis en surface nécessaire et comparés à la surface disponible du territoire (Zasada I., 2019) ou similairement, la surface disponible convertie en population nourrie (Cassidy et al., 2013), la quantité de produits alimentaires locaux comparée aux besoins (Yuling et al., 2016), éventuellement ramenés à un besoin calorique moyen de 2 500 kcal/personne/jour (Porkka et al., 2013). Dans cet éventail, Shreiber et al. (2020) distingue des « *capacity studies* » qui s'intéressent à la capacité d'un espace géographique à nourrir sa population et des « *flow studies* » qui s'intéressent plutôt à quantifier les flux de matière et d'énergie. Ce travail de thèse s'intègre plutôt dans la première catégorie du fait d'un focus particulier sur les dynamiques spatiales du territoire détaillé en 1.2.2. Les « *capacity studies* » donnent généralement lieu au calcul d'un taux de couverture alimentaire ou ratio d'autosuffisance (« *self-sufficiency ratio* » ci-après désigné par le taux de couverture alimentaire ou $TC_{\text{alimentaire}}$) selon la formule générique ci-dessous tirée de FAO (2012), et mobilisée par exemple par Godenau et al. (2020), où toutes les variables sont mesurées sur un an :

$$TC_{\text{alimentaire}} (\%) = \text{Production locale} \times 100 / (\text{Production locale} + \text{Imports} - \text{Exportations})$$

Dans le reste de notre étude la « production locale » est définie comme ce qui est produit localement quelle que soit l'origine des intrants de production : ce critère est pris en compte séparément grâce à des indicateurs complémentaires comme cela est précisé dans les paragraphes suivants. Le $TC_{\text{alimentaire}}$ a l'avantage de capturer de manière concise et directe l'état de l'autonomie alimentaire à l'échelle d'un territoire donné et sera donc utilisé comme indicateur principal dans la suite de ce travail. Par ailleurs, il est déjà estimé par les services décentralisés de l'Etat pour suivre annuellement l'évolution de la dépendance alimentaire pour certaines denrées clés à La Réunion (DAAF Réunion, 2013) : ainsi, la comparaison des données existantes aux résultats de la thèse pourra être plus pertinente et mieux comprise par les acteurs du territoire. Une autre implication de l'utilisation du $TC_{\text{alimentaire}}$ est que le

terme « autonomie alimentaire » fera désormais référence à un degré (valeur en pourcentage du $TC_{\text{alimentaire}}$) et non à un état d'autarcie (voir cette distinction partie I.1.1.), état inatteignable en théorie comme en pratique (Rae & Bradley, 2012).

Néanmoins, comme souligné en I.1.1., le seul critère quantitatif est insuffisant pour rendre compte de toutes les dimensions de l'autonomie alimentaire. Une première précision concerne la diversité des denrées considérées dans le calcul du $TC_{\text{alimentaire}}$. A l'image d'autres travaux (O'Hagan, 1975 ; Poux & Aubert, 2018 ; Solagro, 2016 a), il apparaît plus efficace de raisonner par catégories de produits alimentaires similaires, ce qui permet notamment de confondre leurs masses pour calculer un $TC_{\text{alimentaire}}$ pour chaque catégorie. En effet, il serait autrement possible qu'un seul $TC_{\text{alimentaire}}$ globalement bon pour l'ensemble de la production alimentaire puisse en fait masquer d'importantes disparités (avec un faible $TC_{\text{alimentaire}}$ pour certaines catégories) et donc une faible diversité de l'offre alimentaire.

Une seconde précision concerne les intrants de production, dimension importante et souvent négligée de l'autonomie alimentaire (voir partie I.1.1.). Les taux de couverture (TC) pour deux types d'intrants seront pris en compte dans la suite de ce travail : (i) TC en azote ammoniacal (également dit « azote disponible ») endogène, un élément clé nécessaire à la fertilisation des cultures qui est la fraction de l'azote total rapidement mobilisable par les cultures (Chabalier et al., 2006), ainsi que (ii) TC en alimentation animale (en considérant séparément les besoins en fourrages des besoins en concentrés). En particulier, l'alimentation animale sous forme de concentrés est aujourd'hui entièrement importée sur l'île alors qu'elle est indispensable à l'élevage des monogastriques, mais est également incontournable dans la majorité des systèmes d'élevage de polygastriques (i.e. élevage de ruminants) (Croisier & Croisier, 2012), phénomène accru à La Réunion du fait d'une intensification de la production dans la période récente (voir partie I.2.1.). Disponibilité en azote endogène et en alimentation animale sont par ailleurs considérés dans certains travaux comme essentiels à mesurer lorsque l'on s'intéresse à l'autonomie alimentaire (O'Hagan, 1975 ; CIRAD et al., 2020 ; Yuling et al., 2016). Ces deux types d'intrants ont de plus déjà été identifiés comme des obstacles majeurs dans le cas particulier du développement de l'agriculture biologique à La Réunion (Guizard, 2021 ; Conrozier & Choisis, 2019) ce qui est un élément probant de leur importance pour le système alimentaire.

Enfin, il est important de s'intéresser à l'adéquation entre productions locales et préférences alimentaires des consommateurs du fait de deux caractéristiques particulières à l'île : l'inscription au patrimoine gastronomique local de denrées presque entièrement importées comme c'est le cas du riz (INSEE, 2015) et une occidentalisation générale du régime alimentaire qui augmente globalement le recours aux importations (Piccin et al., 2019).

L'autonomie énergétique dans le cadre de la thèse : focus sur la production locale d'électricité d'une zone non interconnectée

L'île de La Réunion est par définition une « zone non interconnectée » (ADEME, 2018), aussi appelée « système autonome d'énergie » (Al Katsaprakakis & Voumvoulakis, 2018) : son système énergétique, notamment son réseau électrique, ne peut être raccordé au continent du fait de l'éloignement géographique. L'île de La Réunion doit donc assurer seule la production et la distribution d'énergie à partir de ressources énergétiques primaires. Etant dépourvue d'énergies fossiles endogènes, l'ADEME (2018) résume la situation ainsi pour La Réunion : l'objectif de l'autonomie énergétique (au sens strict d'un état) correspondrait à un mix électrique 100% renouvelable et un parc automobile 100% électrique. Certains auteurs désignent cet objectif idéal, propre au contexte insulaire, « d'autarcie énergétique » (Garabedian & Ricci, 2018) ou « d'île zéro énergie » (« *zero energy island* ») (Bagci, 2009), les territoires insulaires constituant en effet des espaces de test grandeur nature pour imaginer d'ambitieux modèles de durabilité (Sanseverino et al., 2014).

Dans la suite de la thèse, on se concentrera sur l'autonomie électrique. Pour rappel, les trois formes d'énergie finale² utilisées sont les carburants pour la mobilité, la chaleur et l'électricité. A La Réunion, l'électricité ne représente que 22.6% des 1 056 ktep³ d'énergie finale utilisée en 2019 (contre 64.3% pour la mobilité et 13.1% pour la chaleur) (SPL Horizon Réunion, 2020). La part importante prise par la mobilité est liée à un nombre de véhicules qui a plus que doublé en 26 ans : de 139 000 en 1990 (IEDOM, 2004) jusqu'à 341 500 en 2016 (DEAL Réunion, 2017). Néanmoins, la question de l'autonomie énergétique repose en fait essentiellement sur le système électrique. En effet, hormis la production de biocarburants (dont le développement apparaît illusoire en raison de contraintes d'espace, voir partie I.2.2.), il n'existe aucune source primaire d'énergie pour faire fonctionner des moteurs thermiques sur l'île : aller vers l'autonomie énergétique en ce qui concerne les carburants revient donc à se passer d'énergies fossiles importées. Cela ne peut se faire que par deux voies : la sobriété (et l'efficacité dans une certaine mesure) ou la substitution par des véhicules électriques, ce qui revient dans le second cas à organiser une autonomie électrique, mais avec une consommation supplémentaire due au besoin de rechargement des batteries (ADEME, 2018). A noter que les termes « autonomie énergétique » et « autonomie électrique » sont parfois interchangeables (Selosse S. et al., 2018). Dans la suite de cette étude, il sera fait précisément référence à « l'énergie » ou « l'électricité » selon la situation pour éviter toute confusion.

² « L'énergie finale ou disponible est l'énergie livrée au consommateur pour sa consommation finale (essence à la pompe, électricité au foyer, etc.). » (INSEE, 2021. Disponible sur [insee.fr/fr/metadonnees/definition/](https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/) - consulté le 25/06/2022).

³ Unité de mesure énergétique, un « ktep » se lit « millier de tonne équivalent pétrole » (1 ktep = 11.63 GWh).

La grande majorité de la littérature consultée qui s'intéresse à l'autonomie électrique (à l'échelle insulaire ou non) voit également le sujet sous l'angle d'un degré plutôt que d'un état absolu (SPL Horizon Réunion, 2020 ; Praene et al., 2012 ; Al Katsaprakakis & Voumvoulakis, 2018). L'ensemble de ces études raisonne à partir du calcul d'un taux d'indépendance électrique (ou de dépendance électrique selon les cas) où toutes les variables sont mesurées sur un an. Cette formule de l'indépendance électrique aussi appelée taux de couverture électrique est notée ci-après $TC_{\text{électrique}}$ par cohérence avec le $TC_{\text{alimentaire}}$ présenté en I.1.1. :

$$TC_{\text{électrique}} (\%) = \text{Production électrique de sources primaires locales} \times 100 / \text{Production électrique nécessaire à la couverture des besoins totaux}$$

Comme pour le $TC_{\text{alimentaire}}$ présenté en I.1.1., des précisions doivent être apportées pour bien définir le périmètre considéré de l'autonomie électrique dans la suite de la thèse. D'abord, il convient de préciser les sources primaires considérées comme « locales » dans cette étude : la bioélectricité issue de biomasse produite localement (même si les intrants de production sont importés), l'hydroélectricité, le photovoltaïque, l'éolien (terrestre ou offshore), la géothermie et les énergies marines. De plus, sont ajoutées à cette liste la combustion de plusieurs ressources considérées comme locales par l'administration (SPL Horizon Réunion, 2020 ; Région Réunion, 2020) et ce, bien que la provenance des combustibles soit extérieure au territoire ce qui peut mettre en débat leur caractère de sources « locales ». Il s'agit de la combustion de bois de palettes, de combustibles solides de récupération (CSR) et d'huiles usagées.

Ensuite, plusieurs travaux (Garabedian & Ricci, 2018 ; Selosse et al., 2018) rappellent qu'au-delà d'un système de production d'électricité renouvelable, il est aussi important de considérer la maîtrise de la demande en électricité s'appuyant sur de l'efficacité et de la sobriété électrique. Pour ce travail, il convient donc d'analyser la possibilité de réduire la consommation électrique du territoire comme une dimension à part entière de l'autonomie électrique.

Ensuite, le système électrique doit être stable dans le temps pour garantir une sécurité d'approvisionnement. Il y a certes une question de qualité générale des infrastructures qui constituent le réseau électrique mais dans le cas d'une autonomie électrique nécessitant un déploiement massif des énergies renouvelables, le principal risque réside dans le caractère « stochastique et dans la disponibilité non garantie » des énergies renouvelables (Al Katsaprakakis & Voumvoulakis, 2018), plus communément dites « intermittentes » (Selosse et al., 2018). Des infrastructures de stockage de l'électricité deviennent ainsi indispensables (Bagci, 2009). En fonction des capacités de stockage

installées, le gestionnaire de réseau EDF est contraint de limiter le taux de pénétration des sources d'électricité intermittentes afin de garantir la stabilité du réseau : cette limite ou « seuil de déconnexion » est aujourd'hui fixée autour de 30% de sources intermittentes dans le mix électrique global selon Selosse et al. (2018).

Enfin, quelques remarques seront portées, à titre qualitatif, sur les importations « d'intrants » nécessaires au système de production électrique réunionnais. S'intéresser à ces ressources importées paraît pertinent dans le cas de la production de bioélectricité (valorisation électrique de la biomasse) et du photovoltaïque associé à du stockage (qui sont les deux principales sources locales d'électricité avec un important potentiel de croissance, comme décrit partie 1.2.2.) : béton, acier, panneaux photovoltaïques, batteries, etc. (Douanes Réunion, 2020).

1.2 « Territoire » : entité d'intégration de l'autonomisation alimentaire-électrique

La notion de « territoire » dans cette étude

Le sujet de l'autonomie alimentaire et énergétique se décline le plus souvent dans la littérature à une échelle locale, à la fois sur le volet alimentaire (Baysse-Lainé & Perrin, 2007 ; Praly et al., 2014) et électrique (Weinand et al., 2019). A cette échelle, parler de « territoire » permet de mieux définir notre objet d'étude en proposant une intégration des différentes dimensions qui traversent le sujet de l'autonomie alimentaire et électrique (présentées en 1.1.1.). En effet, au même titre que le « socio-écosystème », le « territoire » peut servir de « concept relais » ou « *bridging concept* » au sens de Beichler et al. (2014), permettant de relier différentes disciplines. Mais, ce qu'on entend par « territoire », encore relativement peu utilisé dans la littérature, requiert d'être explicité à chaque fois que le terme est mobilisé (Bassett & Gautier, 2022).

Une vision simple et partagée du territoire est qu'il s'agit d'une entité spatiale appropriée par un groupe humain (Le Berre, 1992). Différents auteurs ont proposé de nombreuses variantes à cette définition en soulignant qu'il est également question d'un espace de « représentations » (Moine & Faivre, 2011), « une entité administrative et juridique » et « un espace à aménager en urbanisme » (Paquot, 2011), « une entité relationnelle complexe [...] physique, biologique et humaine » (Berque, 1994), un ensemble d'acteurs et d'activités en interaction (Benoît et al., 2006), etc. Pour les besoins de notre étude, nous combinerons quatre dimensions principales pour définir le territoire : c'est un support de facteurs de production et de ressources (Deffontaines, 1973), dont on dépend pour

subsister (Charbonnier P. et al., 2017), et pour lesquels « l'accès, l'usage et la gestion » sont convoités (Audouin, et al., 2021), donnant lieu à une « géopolitique de l'aménagement » entre acteurs locaux (Subra, 2008). Concrètement, la définition retenue permet de s'intéresser simultanément aux ressources du territoire (en particulier les terres agricoles), leur conversion en productions pour satisfaire les besoins fondamentaux de la population (alimentation et énergie), leur mode d'appropriation c'est-à-dire l'usage de ces sols, ainsi que les controverses et possibles nouvelles stratégies d'aménagement qui en résultent (voir la partie I.2.2.).

On peut noter que le choix de l'île de La Réunion comme territoire d'étude (voir présentation partie I.2.1) semble contrevenir à la recommandation de certains auteurs invitant à « désencastrer toute idée de territoire de l'idée cartographique offerte par l'image fautive d'une surface colorée délimitée par une frontière » (Latour, 2010). En effet, le territoire d'étude retenu voit ses limites confondues avec le tracé géographique de La Réunion ce qui s'explique pour plusieurs raisons. D'abord, par la petite taille de l'île qui rendrait un découpage plus fin moins pertinent par rapport au sujet de l'autonomie alimentaire et électrique, alors que peuvent y circuler sans difficulté les denrées alimentaires (petites distances entre zones de production et de consommation) et l'électricité (réseau électrique couvrant toute l'île). Ensuite, parce qu'il est usuel dans les études portant sur l'autosuffisance d'autres systèmes insulaires de considérer l'île comme un tout, le reste venant de l'extérieur de ce périmètre constituant des importations (Kim et al., 2015 ; Halldórsdóttir & Nicholas ; Al Katsaprakakis & Voumvoulakis, 2018). Enfin, parce que les limites géographiques de La Réunion coïncident avec les limites du territoire au sens administratif, et ce, aussi bien par rapport au niveau national (l'île est à la fois Région et Département) qu'au niveau européen (Région Ultrapériphérique). Cela implique que la majorité des acteurs locaux qui ont une expertise et/ou une influence en lien avec l'autonomie alimentaire et électrique du territoire, agissent à cette échelle (collectivités notamment). On parlera de « complexe multi-acteurs » (Montbel et al., 1999) pour désigner cet ensemble d'acteurs territoriaux impliqués vis-à-vis de notre sujet d'étude. Leur inclusion à l'étude est essentielle. Cerdan et al. (2007) soulignent en effet que « l'activation des ressources territoriales » dépend du comportement des acteurs et de la qualité de leurs relations.

L'autonomisation alimentaire-électrique à l'échelle du territoire d'étude

Les notions de territoire et d'autonomie alimentaire et électrique s'articulent d'une manière tout à fait particulière. Charbonnier et al. (2017), dans leur vision du territoire comme un espace de subsistance pour une société, comparent ce dernier à l'empreinte écologique : « la quantité d'espace qu'il faut [...] pour produire des richesses [...] et pour absorber les déchets ». A travers le prisme de l'autonomie

alimentaire et électrique, c'est cette définition du territoire qui est mise en jeu dans notre travail : l'espace nécessaire à la satisfaction des besoins alimentaires et d'électricité pour une population et dans une région donnée. Ce que Getz (1991), nomme le « bassin alimentaire » (« *foodshed* ») et qu'on peut, par analogie, extrapoler à un « bassin de ressources », voire plus précisément à un « bassin de biomasses ». En effet, c'est bien de biomasses prises au sens large qu'il sera essentiellement question dans la suite de ce travail : biomasse alimentaire et biomasse valorisable en bioélectricité. Les questions alimentaires et électriques sont donc liées par un arbitrage dans la production de biomasses ce qui nous amène à adopter par la suite l'expression « autonomie alimentaire-électrique », postulant qu'il s'agit là d'un seul projet de territoire.

Il existerait donc deux définitions du territoire dans notre sujet. La première correspond à notre territoire d'étude, l'île de La Réunion avec sa géographie, ses sols, ses acteurs, institutions et ses trajectoires possibles d'aménagement. La seconde définition est la « liste des entités dont on dépend », non pas un territoire « au sens de surface cartographiable » (Latour, 2010) mais bien l'espace requis pour produire ce qui est consommé (Charbonnier et al., 2017), c'est-à-dire le bassin de ressources nécessaires à la satisfaction des besoins alimentaires et électriques d'une population donnée. Autrement dit, penser l'autonomie alimentaire-électrique c'est réfléchir aux conditions et moyens qui permettraient à notre territoire d'étude de converger avec l'emprise du bassin de ressources nécessaires aux besoins alimentaires et électriques de la population. Bassett & Gautier (2022) introduisent justement une vision dynamique du territoire grâce au concept de « territorialisation » qui « renvoie à des projets territoriaux spécifiques au sein desquels divers acteurs déploient des stratégies territoriales [...] pour produire des espaces délimités et contrôlés (territoire) pour atteindre certains buts ». Dans notre sujet, on s'intéresse donc à un potentiel processus de territorialisation vers le but d'autonomie alimentaire-électrique (notamment par une prise en charge par des politiques publiques, voir partie I.2.2.). Sous cet angle, il est donc possible de penser le territoire comme un espace en mouvement. On désignera par « autonomisation alimentaire-électrique » cette mise en mouvement stratégique (à la fois effective et potentielle) du territoire et de son complexe multi-acteurs vers l'autonomie alimentaire-électrique. Dans ce travail, l'autonomisation n'est donc pas à entendre comme un projet de rupture politique. Il s'agit plutôt d'une évolution en termes d'approvisionnement alimentaire et électrique, à statut et cadre institutionnel constant, par rapport aux dépendances héritées du modèle colonial (Marzin et al., 2021) entre La Réunion, un département et région d'outre-mer (DROM), et sa métropole ainsi que le reste du monde.

2. Problématisation du sujet d'étude

2.1 Contexte du territoire d'étude

L'île de La Réunion : contexte géographique et diversité microclimatique

Située dans l'océan Indien, l'île de La Réunion (voir **Figure 1.A**) est un jeune territoire à tout point de vue : résultat d'un volcanisme de point chaud, sa naissance géologique remonte à seulement 5 millions d'années (Oehler et al., 2008) tandis que sa colonisation par l'Homme a été tardive, dans la seconde moitié du XVII^e siècle. Aujourd'hui région et département d'Outre-mer français, l'île est isolée du reste du territoire national situé à près de 10 000 km. Les territoires à proximité immédiate sont l'île Maurice et l'île Rodrigues formant avec La Réunion l'archipel des Mascareignes, ainsi que Madagascar qui bien qu'étant une île possède une taille conséquente, mais est tout de même située à environ 750 km. Le territoire d'étude est donc isolé de toute réserve foncière importante à proximité immédiate.

La Réunion ne couvre que 252 000 hectares mais présente pourtant une variété remarquable de microclimats, allant de conditions favorables à des savanes et forêts tropicales sèches sur la côte ouest jusqu'à des forêts humides sur les pentes ainsi que dans l'est et le sud, en passant par des prairies subalpines sur les plus hauts reliefs (Cadet, 1977). Cette diversité de paysages s'explique premièrement par le relief prononcé du territoire qui donne lieu à une large gamme de températures (voir **Figure 1.B**) : en effet, d'étroites plaines littorales y encadrent deux massifs montagneux volcaniques culminant à 3 070 m et 2 632 m, entourés de trois profondes calderas (localement appelées « cirques ») ainsi que d'une succession de pentes et de rivières encaissées (« ravines ») (Caubet, 1934). Deuxièmement, une alternance d'une saison sèche et humide et des vents dominants qui concentrent la majorité des pluies sur l'est de l'île (Morel et al., 2014) sont responsables d'une inégale répartition de la ressource en eau dans l'espace et dans le temps (Comité de Bassin Réunion, 2016) (voir **Figure 1.C**).

Les microclimats de La Réunion ont un impact déterminant sur les outils de production alimentaire et électrique du territoire. C'est notamment vrai sur la répartition des activités agricoles : par exemple, la ressource en eau répartie inégalement implique des systèmes et des productions différentes pour le maraichage et les vergers (Sinico, 2021), tandis que la diversité de microclimats est un facteur important de différenciation des pratiques dans les élevages laitiers locaux (Alary et al., 2002). Cette influence sur la répartition des activités agricoles peut aussi avoir un effet sur la culture de biomasses valorisables en électricité, comme la canne à sucre qui ne pousse pas au-delà de 700 m d'altitude dans l'ouest et 600 m dans l'est (Lecaille M., 2012). Plus directement, la production photovoltaïque est

affectée par les microclimats locaux puisqu'ils se traduisent par des différences importantes de la ressource solaire (Tapaches et al., 2019).

Enfin, les microclimats ont également façonné l'aménagement du territoire depuis sa colonisation. Dalama (2005) rappelle ainsi la distinction propre à La Réunion entre « Bas », concentrant l'essentiel des activités humaines, et « Hauts » colonisés tardivement et encore largement occupés par la végétation indigène. Schématiquement, 80% de la population se concentre aujourd'hui dans les « Bas », à des altitudes inférieures à la ligne des 400 mètres, soit sur les terres les moins pentues et également les plus favorables à l'agriculture. La compétition foncière y est donc forte comme approfondi en I.2.1.

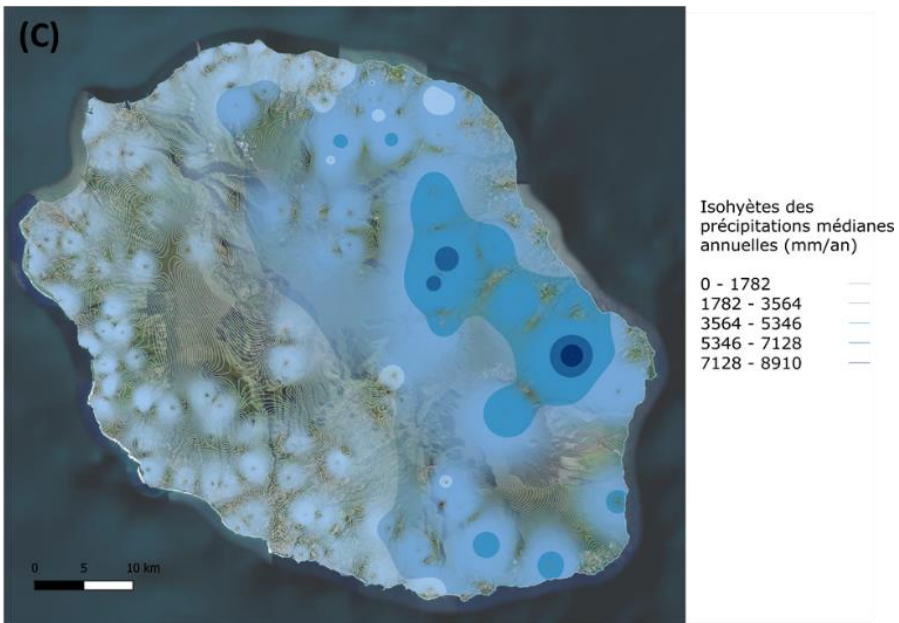
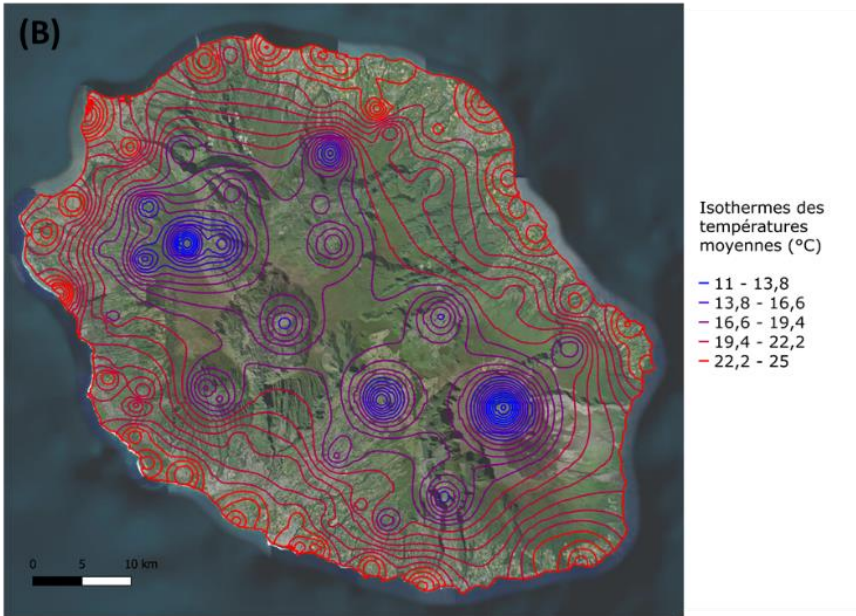


Figure 1 : Contexte géographique et diversité microclimatique de l'île de La Réunion. (A) : Situation géographique de La Réunion (source : wikipedia) ; (B) : Carte des températures (source : auteur / données : CIRAD) ; (C) : Carte de la pluviométrie (source : auteur / données : CIRAD).

Un territoire présentant de fortes contraintes vis-à-vis de l'autonomie alimentaire-électrique

Conséquence de son insularité et de son histoire, l'île de La Réunion présente un certain nombre de contraintes qui compliquent aujourd'hui la capacité du territoire à atteindre un haut degré d'autonomie alimentaire-électrique.

La première contrainte est celle de la croissance démographique dynamique à l'échelle d'une petite île, depuis sa colonisation (voir **Figure 2**), qui entraîne mécaniquement une augmentation des consommations de ressources et d'espace. Avec 861 210 habitants en 2019, en croissance de 0.5% par an depuis 2013, le territoire continue sa phase de croissance démographique au-dessus de la moyenne nationale (INSEE, 2019 a). Il s'agit aujourd'hui de la troisième région la plus densément peuplée de France (~342 habitants/km²) (INSEE, 2022). En conséquence, l'urbanisation empiète sur les espaces agricoles et naturels (DEAL Réunion & CAUE Réunion, 2015) : entre 1997 et 2016, la tache urbaine a ainsi progressé de 8 193 hectares, même si cette urbanisation semble ralentir ces dernières années (Agorah, 2017 a). En outre, avec 341 500 véhicules en circulation sur le territoire en 2016 (DEAL Réunion, 2017), le choix de la voiture individuelle occupe une place écrasante dans la mobilité et accentue l'étalement urbain et le besoin en infrastructures routières (Région Réunion, 2013). Cette compétition foncière, particulièrement intense dans les « Bas » de l'île comme expliqué en I.2.1.1, amenuise la surface disponible pour la production agricole.

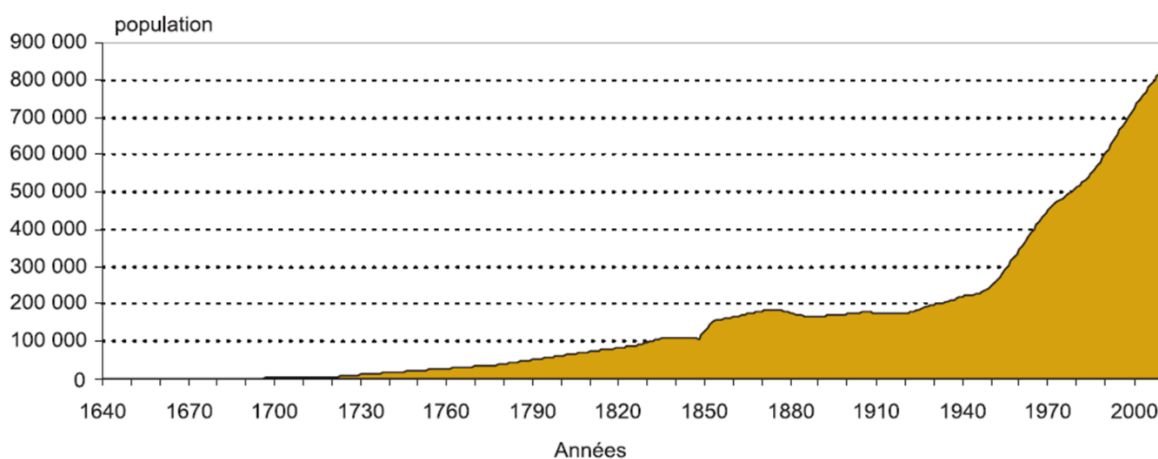


Figure 2 : Evolution démographique de l'île de La Réunion depuis sa colonisation (1665) jusqu'à 2014 (source du graphique : INSEE⁴).

En second lieu, l'évolution locale des habitudes de consommation se fait dans le sens d'un accroissement global des besoins en ressources, ce qui complique une trajectoire vers l'autonomie

⁴ INSEE (2014), Tableau économique de La Réunion.

alimentaire-électrique. Sur le plan alimentaire, le gaspillage alimentaire (REGAL Réunion, 2020), l'occidentalisation des régimes alimentaires qui contribue à augmenter la part d'aliments importés dans l'assiette des réunionnais (Piccin et al., 2019) et en parallèle, la consommation de viande (DAAF Réunion, 2013), s'accompagnent d'un besoin supplémentaire en ressources. Sur le plan électrique, on constate que la consommation par personne a augmenté de 3,05 MWh/habitant en 2000 à 3,23 MWh/habitant en 2019 (SPL Horizon Réunion, 2020). Cette augmentation est pour le moment imputable à la croissance du taux d'équipements des ménages mais le recours massif aux voitures individuelles aggravé par l'étalement urbain (Région Réunion, 2013) est susceptible d'accroître davantage les besoins en électricité totaux du territoire (ADEME, 2018).

Troisièmement, d'autres contraintes environnementales que la taille du territoire entrent en jeu. D'abord, du fait de son relief accidenté et d'une biodiversité fragile et unique au monde (haut taux d'endémisme), plus de la moitié de l'île n'est que peu ou pas exploitable par l'Homme, dont une partie (41% du territoire) est reconnue au titre de Parc National de la Réunion (PNR) et inscrite au patrimoine mondial de l'UNESCO (Jauze, 2019). Ensuite, La Réunion est exposée à sept des huit aléas naturels majeurs identifiés (Préfecture de La Réunion, 2012). Par exemple, s'il a été question des microclimats de l'île en I.2.1.1, il faut souligner que le climat réunionnais est aussi caractérisé par le risque cyclonique qui, comme pour d'autres systèmes insulaires tropicaux, est susceptible d'annihiler les récoltes et d'endommager les infrastructures (Sharma, 2006), menaçant de fait la sécurité alimentaire et électrique. De plus, d'autres risques naturels comme l'érosion intense due au relief accidenté associé à de potentiels événements météorologiques extrêmes (DAAF Réunion, 2017 b), ou encore le risque volcanique sont à prendre en compte dans l'aménagement du territoire et la gestion des terres agricoles.

Quatrièmement, des données de 2015 permettent de saisir les difficultés sur le plan socio-économique du territoire (Préfecture de La Réunion, 2019). Ainsi, malgré une croissance économique supérieure au reste de la France (3,1 % en 2015), La Réunion reste économiquement fragile, ce qui se traduit notamment par : un taux de chômage élevé (de l'ordre de 25%), 40% de la population sous le seuil de pauvreté métropolitain ou encore le niveau de formation des jeunes sous les standards de l'Hexagone. Plusieurs auteurs soulignent également la difficulté à relocaliser la production sur les îles en raison d'un défaut d'économie d'échelle (Kougias, 2019 ; Sharma, 2006), caractéristique qui est également partagée par La Réunion (Préfecture de La Réunion, 2019). Comme les autres départements et régions d'outre-mer, l'île de La Réunion souffre par ailleurs d'une perte de compétitivité-prix qui met notamment à mal sa production alimentaire. En cause, une dépendance historique aux transferts économiques depuis la métropole, responsables d'une hausse des salaires (dont un renchérissement du coût de la main d'œuvre) et donc d'une perte de compétitivité-prix accrue pour les produits

agricoles notamment, fortement concurrencés sur les marchés internationaux. La Réunion étant un marché trop petit, elle n'est pas en mesure d'influencer le cours des denrées : sa perte de compétitivité-prix s'accompagne ainsi d'une hausse des importations et de chômage (Marzin et al., 2021).

Enfin, plus largement, l'île de La Réunion souffre d'une vulnérabilité environnementale et économique accrue, à l'image d'autres territoires insulaires de petite taille désignés comme des « Petits Etats Insulaires Indépendants » (PEII) (Angeon & Saffache, 2008). La comparaison a ses limites, car l'île de La Réunion est une région ultramarine et non un état indépendant. Néanmoins, il apparaît que notre territoire d'étude partage de nombreuses vulnérabilités avec les PEII : ressources limitées, risques naturels, érosion, biodiversité unique et fragile, pression démographique, économie locale contrainte. Il a par ailleurs été estimé que les PEII importent en moyenne 60% de leurs besoins alimentaires (FAO & CDB, 2019). Comme les autres PEII, ces difficultés font de La Réunion un territoire où la production locale est plus difficile à développer et maintenir et où le recours aux importations est de plus en plus employé, pour répondre à des besoins toujours croissants. Ainsi, d'après l'ONG Global Footprint Network, le territoire accuse près de 2380% de déficit entre sa biocapacité et l'empreinte écologique de sa population totale, ce qui classe l'île en 3^e position des territoires les plus déficitaires vis-à-vis de cet indicateur dans le monde (Global Footprint Network, 2020).

Un appareil productif local qui assure néanmoins un niveau relatif d'autonomie sur un foncier limité

D'une part, sur le volet de la production alimentaire, une première mutation s'est opérée à partir des années 60 depuis la structure héritée du colonialisme de la « plantation » vers un modèle d'agriculture familiale (Paillat Jousseau, 1999). Un investissement public massif (Etat d'abord, aujourd'hui conjointement avec l'Union Européenne) a suivi, associé à la mobilisation d'instituts scientifiques (IRFA puis CIRAD), afin de moderniser et structurer la production en filières organisées (Piccin, 2019). Les objectifs revendiqués par ces filières sont de créer de la richesse sur le territoire, des emplois ainsi que de subvenir aux besoins de la population (Production locale réunie, 2019). On peut distinguer deux filières strictement alimentaires : l'élevage avec près de 30 000 tonnes produites en 2018 (DAAF Réunion, 2019 a) et les productions horticoles alimentaires (fruits et légumes) avec près de 90 000 tonnes produites en 2018 (DAAF Réunion, 2019 b). L'élevage constitue aujourd'hui une filière fortement intégrée et structurée (à l'exception notable de l'élevage caprin encore largement pratiqué de manière traditionnelle) par un nombre restreint d'organisations professionnelles, coopératives et SICA, un unique provendier (URCOOPA) et quelques abattoirs (Marzin et al., 2021 ; Le Merlus, 2021).

En revanche, le secteur de l'horticulture alimentaire, en raison notamment de la diversité des productions, la saisonnalité et la variabilité des contextes (Piccin, 2019) reste dominé à 75% par des producteurs indépendants. Le reste de la production est géré par 10 organisations de producteurs et une interprofession (ARIFEL) (DAAF Réunion, 2019 b). Les systèmes agricoles les moins structurés du territoire correspondent à de l'autoproduction et une « petite agriculture vivrière » diversifiée (Marzin et al., 2021). A La Réunion, un rapport de l'INSEE (2014) met en lumière la contribution à destination de la consommation locale de cette agriculture, à la fois sociale et souvent informelle (agriculteurs non professionnels), en chiffrant l'autoproduction alimentaire des ménages. Comme montré sur la **Figure 3**, sans compter la contribution de cette petite agriculture vivrière, les filières locales alimentaires occupent 53% du marché en moyenne en 2016 avec des disparités selon les productions (DAAF Réunion, 2017 a). Sur le marché du frais seul, les filières locales apparaissent très performantes avec presque 80% du marché couvert (Production locale réunie, 2019). Néanmoins, on constate que ce chiffre se dégrade régulièrement depuis plusieurs années (DAAF Réunion, 2017 a).

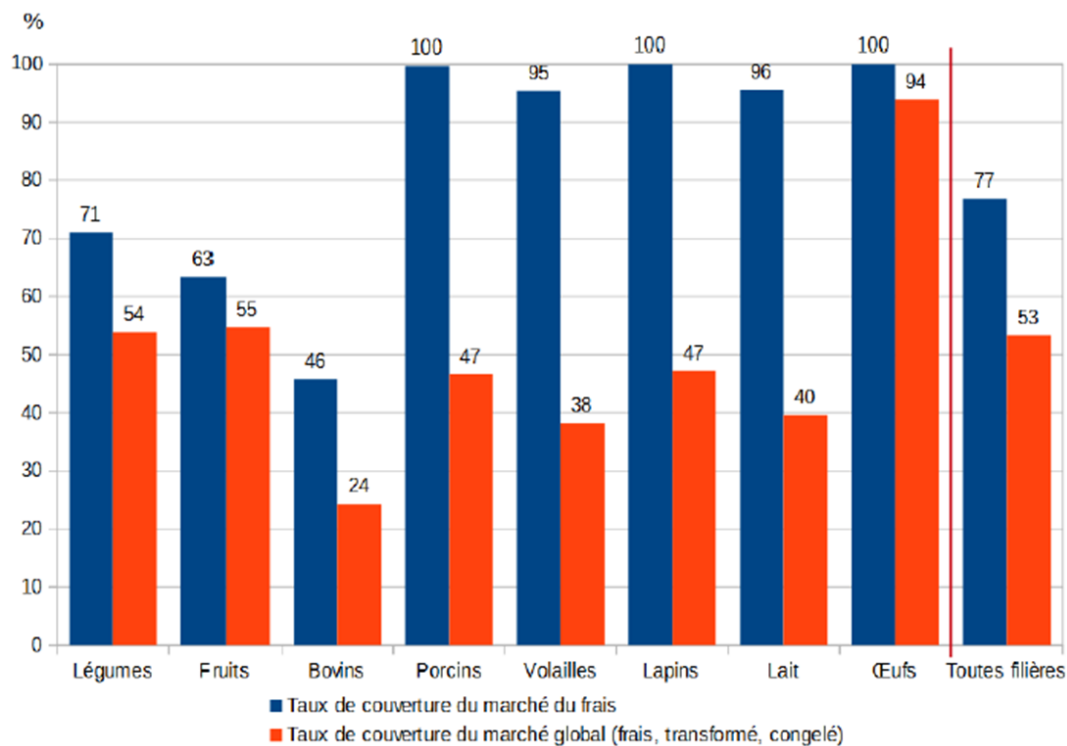


Figure 3 : Taux de couverture du marché par la production locale (%) en 2016 (source du graphique : DAAF Réunion, 2017 a)

D'autre part, sur le volet de la production électrique, le premier tournant en faveur d'un développement et d'une structuration des capacités de production est la loi de renationalisation des moyens de production de 1975 (Légifrance, 1975) afin de permettre une meilleure gestion des centrales hydroélectriques de l'île, alors les seules capacités de production installées (EDF, 2019). Dans les années suivantes, des capacités de production sont progressivement ajoutées pour suivre la demande en électricité avec notamment l'arrivée de la première des centrales à charbon en 1982. La valorisation électrique de la biomasse démarre avec l'incorporation de bagasse (fibres provenant de la canne à sucre pressée) comme combustible de centrale thermique à partir de 1989 (Albioma, 2020). Cela marque un tournant dans la structuration de la filière canne-sucre-rhum-énergie à la croisée d'enjeux agricoles et énergétiques (DAAF Réunion, 2019 c), notamment en générant près de 7% de l'électricité totale du territoire soit 46% de l'énergie renouvelable locale en 2018 (SPL Horizon Réunion, 2019). Cette double valorisation sucrière et bioélectrique de la canne à sucre est appuyée par des décisions récentes de développer une canne mixte, produisant davantage de sucre mais aussi de fibres valorisables en énergie (DAAF Réunion, 2020 b). La filière canne est aujourd'hui la première filière agricole du territoire en termes d'emplois mais aussi de subventions perçues (voir partie I.2.2.2). Comme dans les autres DOM, l'asymétrie productive est grande et ce sont les secteurs exportateurs héritiers du modèle de la plantation qui sont largement dominants, dont l'industrie sucrière réunionnaise est un parfait exemple. Cette filière agro-industrielle est organisée localement autour d'un unique industriel, TEREOS (Marzin et al., 2021). Mais pour assurer la production de bioélectricité, c'est l'industriel ALBIOMA qui valorise les résidus de l'industrie cannière dans ses deux centrales thermiques (fonctionnant à la bagasse et au charbon importé) ainsi que dans sa turbine à combustion (TAC) (fonctionnant au bioéthanol local et au fioul importé) (SPL Horizon Réunion, 2020). Même si ne sont valorisés que des coproduits, la canne à sucre sera considérée dans cette étude davantage sous l'angle de la bioélectricité que pour sa contribution à l'autonomie alimentaire (le sucre n'étant pas à proprement parler une denrée assurant la sécurité alimentaire) : cette considération permet de considérer la canne parmi les « cultures cellulosiques énergétiques » (Kim et al., 2015). A partir des années 2000, d'autres sources d'électricité renouvelable opèrent leur structuration sous l'effet d'importants investissements publics (Selosse et al., 2018). Le solaire notamment (thermique et photovoltaïque) a connu un développement spectaculaire avec 50% d'équipements de chauffage supplémentaires installés et une production électrique multipliée par 12 en une dizaine d'années (SPL Horizon Réunion, 2019). Ces installations renouvelables sont gérées par différentes entreprises, en majorité EDF et ALBIOMA, sous l'arbitrage d'une autorité publique indépendante, la Commission de la Régulation de l'Énergie. C'est par ailleurs à EDF qu'incombe la mission publique d'assurer la gestion de

l'électricité intermittente produite à travers le maintien de l'équilibre général du réseau (EDF, 2019). Comme souligné par Makolo et al. (2021), la présence d'hydroélectricité et de bioélectricité dans un mix électrique avec beaucoup d'intermittence est un atout pour atteindre l'autonomie électrique en contribuant à l'inertie du système électrique. Comme présenté sur la **Figure 4**, en 2019 le mix électrique de La Réunion reste fossile à 68.8% (charbon, huiles usagées, fioul et gazole) tandis que l'ensemble de la production bioélectrique (bagasse, bioéthanol et biogaz) couvre 8.1% des besoins du réseau, les 23.1% restants étant satisfaits par d'autres sources renouvelables, en majorité de l'hydroélectricité et du solaire (SPL Horizon Réunion, 2020). Ainsi, comme observé par certains auteurs, la stratégie énergétique de La Réunion, à l'image d'autres systèmes insulaires d'outre-mer repose sur une « pétro-dépendance » d'une part, associée à une technologisation poussée afin de valoriser un potentiel local varié d'énergies renouvelables d'autre part (Roche et al., 2018). Il apparaît que cette stratégie a un bénéfice limité en termes d'autonomie électrique puisque la couverture des besoins locaux par des sources locales d'électricité est en constant recul depuis les années 2000 (Praene et al., 2012).

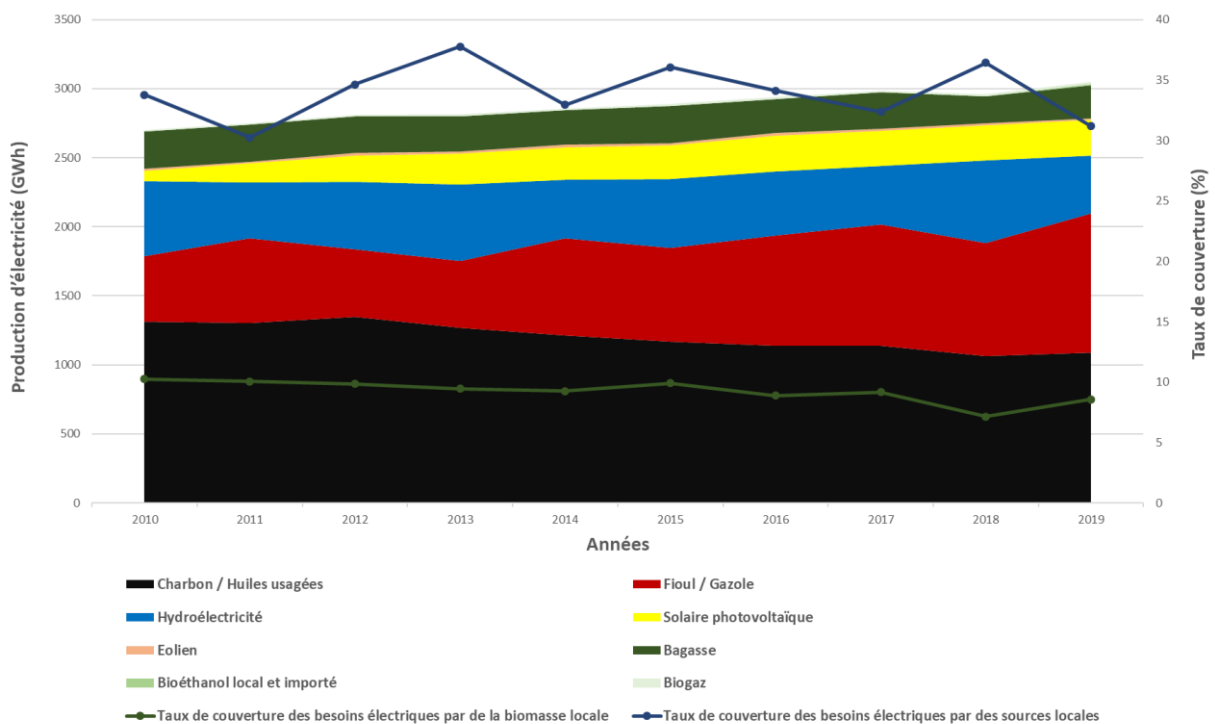


Figure 4 : Répartition des sources de production dans le mix électrique de La Réunion entre 2010 et 2019 (source : auteur / données : SPL Horizon Réunion, 2020).

Enfin, l'ensemble de l'appareil productif alimentaire ainsi que la production de bioélectricité repose sur la mobilisation de terres agricoles (voir partie I.2.2.3). De plus, ce foncier dédié à la production agricole s'accompagne d'opérations d'aménagement dans une optique d'augmentation de la

productivité : extension des périmètres irrigués (Comité de Bassin Réunion, 2016), installation de serres (Sinico, 2021), reconversion de friches en agriculture (Besançon, 2020), etc.

2.2 Enjeux de l'autonomisation alimentaire-électrique dans le cas de La Réunion

Un risque structurel de pénurie dans un contexte d'incertitude globale sur l'avenir

Souvent omis par certains auteurs comme argument en faveur de l'autonomie alimentaire et/ou électrique (Edwards-Jones et al., 2008 ; Al Katsaprakakis & Voumvoulakis, 2018 ; Weinand et al., 2019), le risque de pénurie s'est pourtant déjà largement invité dans le débat sur l'autosuffisance alimentaire en particulier à la suite de la crise des prix qui a suivie celle des *subprimes* de 2007 (Clapp, 2016). Avant cela, la FAO (1999) avait déjà compilé l'avis d'autres auteurs pour qui l'instabilité des marchés sur les matières premières alimentaires rendraient les importations incertaines sur le long terme, justifiant de fait un certain degré d'autonomie alimentaire. Cette question est cristallisée dans la controverse autour de la souveraineté alimentaire. En effet, certains voient une sécurité dans une production agricole avant tout locale et indépendante de l'extérieur. En retour, leurs détracteurs défendent une sécurité alimentaire qui donne la priorité à une vision d'équilibre alimentaire mondial reposant sur des outils de libéralisme économique, le marché et les échanges commerciaux (Sénat, 2012).

Les récents événements internationaux révèlent néanmoins les limites d'une stratégie reposant sur l'économie de marché mondialisée pour assurer une sécurité alimentaire et énergétique globale. La pandémie de COVID-19 et la guerre en Ukraine ont notamment perturbé les chaînes d'approvisionnement mondiales (Farrell & Newman, 2022 ; Carlsson-Szlezak et al., 2020). Le patron de l'Agence Internationale de l'Energie déclare ainsi en juillet 2022 que « le monde n'a jamais été témoin d'une telle crise énergétique en termes d'ampleur et de complexité » (Markets Insider, 2022). Sur le volet alimentaire, le Conseil de l'Union Européenne s'inquiète à la même période du « manque de nourriture qui devient une inquiétude grandissante pour des millions de personnes » dans le monde du fait de la situation en Ukraine (Conseil de l'Union Européenne, 2022) tandis que la FAO (2022 a) avertit que les importations alimentaires seront de plus en plus difficiles pour certains pays du fait des prix qui augmentent. Par ailleurs, si la guerre en Ukraine et les conséquences économiques de la COVID-19 sont susceptibles de provoquer des pénuries à court terme, d'autres « risques systémiques globaux » (Reghezza-Zitt, 2017) ont le potentiel de déclencher ou d'aggraver de telles pénuries à plus long terme : changement climatique et ses conséquences sur les rendements agricoles (IPCC, 2022),

instabilité financière mondiale (Tverberg, 2012), épuisement des gisements de pétrole conventionnel (The Shift Project, 2020), etc.

De plus, il est important de souligner que la question des pénuries ne concerne pas uniquement les denrées alimentaires et les ressources énergétiques primaires, mais également leurs intrants de production. Les intrants agricoles notamment (principalement les fertilisants, les produits phytosanitaires, le carburant et l'alimentation animale) sont souvent importés et sont donc également impactés par des marchés instables comme c'est le cas avec les marchés alimentaires (O'Hagan, 1975). D'autres ressources, essentielles cette fois-ci aux systèmes énergétiques, sont concernées par ces incertitudes : énergies fossiles, métaux et biomasse (Speirs et al., 2015 ; Capellan Perez I. et al., 2014). En particulier, la question des limites géologiques à l'extraction de métaux et d'énergies fossiles est un important sujet de débat (Tilton, 2018) qui est susceptible de mettre un frein à la transition énergétique en limitant la capacité d'installation d'unités de production renouvelables et de batteries par manque de ressources (Bilhouix, 2014).

Les contraintes sur les ressources et leurs intrants constituent des facteurs d'incertitudes d'autant plus critiques pour les systèmes insulaires qui possèdent déjà des « vulnérabilités d'approvisionnement » (Chalvatzis & Ioannidis, 2017). Une illustration de cette vulnérabilité à La Réunion s'est produite lors des importantes manifestations pendant le mouvement social des « gilets jaunes » fin 2018 : le simple blocage du principal port de livraison de l'île pendant quelques semaines a entraîné un début de pénurie pour certains produits alimentaires et énergétiques (Franceinfo, 2018). Dans ce contexte d'incertitude et de vulnérabilité, l'autonomisation alimentaire-électrique pourrait constituer un projet de territoire pour développer la résilience de l'île. Un territoire résilient est ici défini comme capable « d'anticiper des perturbations, [...] d'en minimiser les effets, de se relever [...] vers un nouvel état en équilibre dynamique préservant ses fonctionnalités et ce, de manière démocratique » (Villar & David, 2014).

Une prise en charge relative de l'autonomisation alimentaire-électrique par les politiques publiques locales

L'émergence de la rhétorique de « l'autonomie alimentaire-énergétique » est concomitante à celle d'un courant indépendantiste porté dans les années 60 par Paul Vergès. Alors à la tête du Parti Communiste Réunionnais (PCR), ce dernier va se positionner en faveur de l'autonomie politique, notamment par réaction à son principal opposant, Michel Debré, chef de file de la droite locale, qui lui est en faveur d'un affermissement du processus de départementalisation du territoire (Labache, 2017). Dans les années 80, avec son ascension à la tête de la Région, le PCR abandonne sa doctrine

indépendantiste au profit d'un discours autour de l'autonomie alimentaire (Témoignages, 2013) et énergétique (Groupe CRCE, 2009). A partir de 2007, l'objectif d'autonomie énergétique à la Réunion est reconnu et appuyé par des discours émanant de l'Etat, successivement par le Président Nicolas Sarkozy (La Tribune, 2007) et son gouvernement via Jean-Louis Borloo : « on veut qu'en 2030, l'île soit complètement autonome énergétiquement » (CIVIS, 2008). En 2012, c'est le Président François Hollande qui plaide pour que l'île atteigne l'autonomie énergétique et alimentaire (Témoignages, 2012). Enfin, Emmanuel Macron est venu exprimer une volonté politique similaire en mentionnant l'objectif « d'autonomie alimentaire d'ici 2030 » (Le Point, 2019). Par la suite, cette rhétorique de l'autosuffisance vient s'incarner à travers plusieurs textes. Concernant le volet alimentaire, l'inscription de « la volonté politique d'autonomie alimentaire » dans le Schéma Régional Climat Air Energie de La Réunion (Région Réunion, 2013) ou l'ambition de l'autonomie alimentaire pour les îles de l'océan Indien (Sénat, 2014) sont des premiers pas. Sur le plan électrique, c'est le vote de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) le 17 août 2015 qui vient inscrire dans la loi l'ambition de l'autonomie énergétique des territoires d'Outre-Mer à l'horizon 2030, avec, comme objectif intermédiaire, 50 % d'électricité renouvelable à l'horizon 2020 (Légifrance, 2015).

En termes d'instruments de politiques concrets, la question de l'autonomie énergétique a bénéficié dans les années 2000 d'un premier cadre stratégique avec des structures dédiées de la part de la Région, avec notamment : la création de l'Agence Régionale de l'Energie Réunion (2000) et l'élaboration du Plan Régional des Energies Renouvelables et de l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (2002) (Témoignages, 2007) et enfin le projet GERRI visant à rendre l'île autonome énergétiquement (CIVIS, 2008), mais qui sera néanmoins dissout en 2013 (Linfo.re, 2013). La politique publique d'autonomie électrique connaît des avancées à la suite de la LTECV de 2015 en se déclinant localement par une Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) de La Réunion, dont la première version est votée en 2020. Ce document fixe le cap pour un mix électrique totalement renouvelable à l'horizon 2030, ce qui représente un glissement par rapport à l'objectif initial d'autonomie inscrit dans la LTECV. En effet, la PPE prévoit non seulement le remplacement des ressources primaires fossiles importées pour la production électrique (charbon et fioul) par des installations renouvelables locales mais également par de la biomasse importée (bois-énergie et biocarburant) (Région Réunion, 2020). Par ailleurs, un organe spécifique est chargé de répondre aux objectifs de ces textes d'orientation : le comité de gouvernance Energie Réunion, faisant le pont entre les échelles de décision locale, nationale et européenne (Sawatzky & Albrecht, 2017).

Sur le volet alimentaire, deux législations nationales viennent contribuer à l'objectif d'autosuffisance par des instruments concrets : la loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt du 13 octobre 2014 dresse le contour des projets alimentaires territoriaux (Légifrance, 2014) qui peuvent être des

cadres pour la relocalisation des systèmes alimentaires. Plusieurs de ces projets sont d'ailleurs en gestation à La Réunion. Quelques années plus tard, la loi EGALIM de 2018 portée par le Ministère de l'Agriculture à la suite des Etats Généraux de l'alimentation, encourage la part de produits issus de circuits courts dans la restauration collective (Viepublique.fr, 2019). La traduction de la loi EGALIM est cependant toujours en cours au niveau local. Autre innovation à l'interface entre l'échelon national et les acteurs territoriaux, des comités de transformation agricoles des outre-mers voient le jour à la suite de la crise sanitaire et à l'initiative de l'Etat pour viser « l'autonomie alimentaire des départements ultramarins en 2030 » (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2020). Un dernier instrument entièrement local est le plan AgriPéi, un plan d'action porté par le Département et co-élaboré avec les acteurs locaux du monde agricole qui vise l'autonomie alimentaire à horizon 2030 en se fixant différents objectifs surfaciques à l'échelle du territoire : en termes de surface de friches reconverties en agriculture, surface agricole maintenue, surface convertie en agriculture biologique, etc. (Département de La Réunion, 2020)

Les financements publics constituent une composante à part entière et indispensable des politiques publiques en faveur de l'autonomie alimentaire-électrique. Pour le volet électrique on compte notamment des investissements publics massifs dans le développement des énergies renouvelables (Selosse et al., 2018) ou encore l'aide publique indirecte ayant trait au maintien du monopôle d'EDF pour le transport, la distribution et la commercialisation de l'électricité, ce qui permet de pallier des coûts de production plus élevés (IEDOM, 2020). Le secteur agricole est également fortement soutenu par une diversité de programmes nationaux (aides directes aux productions, catastrophes naturelles, etc.) et européens dans le cadre de la PAC (aides du « Programme d'Options Spécifiques à l'Éloignement et à l'Insularité » à la production et la transformation, FEADER, etc.) (Marzin et al., 2021). Cependant, ces aides ne sont pas distribuées également et tendent à bénéficier en priorité aux filières organisées, et essentiellement à la filière canne (y compris les industriels et donc en partie à la production bioélectrique à partir de bagasse et de bioéthanol) avec 142,1 millions d'euros versés en 2018, tandis que l'élevage perçoit 43,6 millions d'euros et les filières végétales 14,3 millions d'euros la même année (DAAF Réunion, 2019 a).

Enfin, la politique publique de préservation du foncier agricole est un levier central de l'autosuffisance pour garantir la capacité de production de biomasse valorisable sur le territoire. L'affirmation de l'objectif de la préservation du foncier agricole à 50 000 hectares est mentionnée depuis 2006 par le Département de La Réunion (Agorah, 2017 b) avant d'être affichée officiellement dans le Plan Régional de Développement Durable de l'Agriculture et de l'Agroalimentaire (PRAAD) en 2014 (DAAF Réunion, 2014). Cette ambition est reprise plus récemment dans le plan AgriPéi (Département de La Réunion, 2020) et le Schéma d'Aménagement Régional (SAR) (Région Réunion, 2020). Un ensemble

d'instruments appuie cette politique : séquence « éviter, réduire, compenser », Schéma d'Aménagement Régional, Schéma de cohérence territoriale et Plans locaux d'urbanisme, zones agricoles protégées et Périmètres de Protection et de Mise en Valeur des Espaces Agricoles et Naturels Périurbains (DAAF Réunion, 2015 ; Agorah, 2017 b). Néanmoins, force est de constater que malgré ces outils, les objectifs de protection du foncier agricole n'ont été que partiellement atteints et sont aujourd'hui sujets à controverse.

Des enjeux alimentaires et électriques couplés : l'arbitrage controversé de l'usage des sols à La Réunion

Toute biomasse valorisée correspond à l'appropriation d'une « phytomasse » initiale (Wirsenius, 2003). Autrement dit, la production de biomasse repose forcément sur un foncier mobilisé. Le territoire d'étude a une surface totale d'environ 252 000 hectares qu'occupent trois grandes catégories d'usage des sols. Premièrement, une tache urbaine de près de 25 000 hectares (10% du territoire), essentiellement concentrée sur la bande littorale (DAAF Réunion, 2015) où vit une population importante organisée selon une « armature urbaine » définie par quatre pôles urbains principaux (Saint Denis, Saint Paul, Saint Pierre et Saint Benoit) qui sont connectés à un sous-ensemble de pôles urbains secondaires, villes relais et bourgs de proximité (Région Réunion, 2020). Deuxièmement, 179 000 hectares (71% du territoire) sont occupés par des espaces naturels variés dont 100 000 hectares avec un statut de protection fort par l'existence d'un Parc National. Troisièmement, l'essentiel du foncier constituant le bassin de biomasse pouvant contribuer à l'autonomie alimentaire-électrique compte environ 48 000 hectares de terres agricoles (soit 19% de la surface totale de l'île). La canne à sucre y est la culture principale (22 850 ha soit 47% des terres agricoles), suivie des prairies pour l'élevage (12 750 ha soit 27%) et enfin les cultures horticoles dont en majorité du maraichage et des vergers (12 500 ha soit 26%) (DAAF Réunion, 2019 a). La **Figure 5** récapitule l'ensemble de ces données spatiales. Ainsi, hormis la production de bois à usage de matériau sur environ 2 440 hectares (Région Réunion, 2019) et les produits de la pêche (ADEME & ECO2 INITIATIVE, 2022), l'essentiel des biomasses locales utilisées proviennent uniquement de ces 42 095 hectares de SAU.

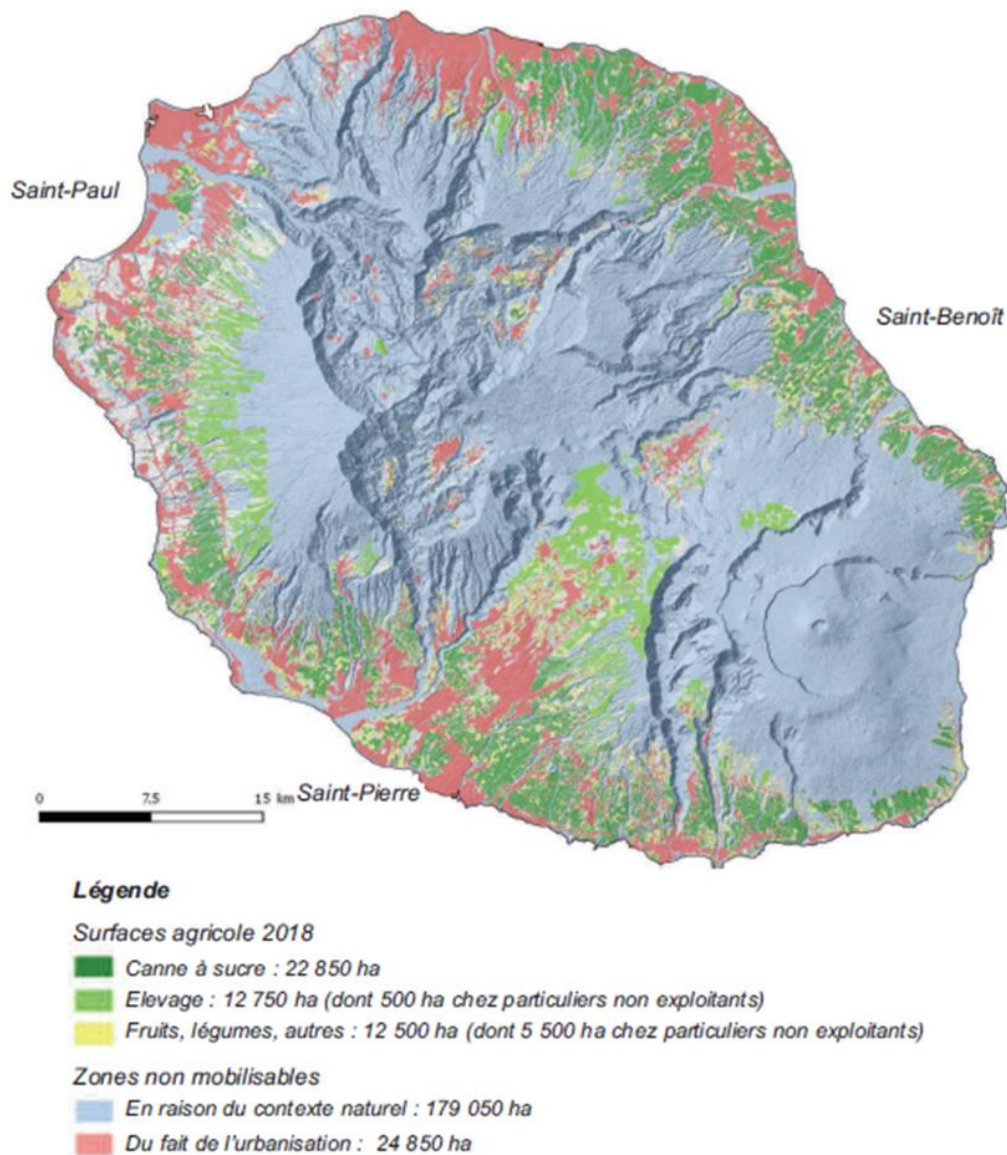


Figure 5 : Base d'occupation des sols officielle de La Réunion en 2018 (source du graphique : DAAF Réunion, 2019 a).

Cependant, cette ressource foncière est en tension car les surfaces avec le meilleur potentiel de production de biomasse se réduisent à l'échelle de l'île. Premièrement, à cause de l'urbanisation responsable de l'artificialisation des sols (voir partie I.2.1.). Deuxièmement, la déprise agricole dans certaines zones des hauts de l'île, la disparition progressive de la petite agriculture familiale (Martignac, 2006) et plus largement la baisse du nombre d'agriculteurs (DAAF Réunion, 2021) provoquent l'arrivée d'anciennes terres agricoles entre les mains de non-agriculteurs. Cela accélère leur morcellement souvent suivi de leur déclassement en terrain constructible, voire l'apparition de constructions illégales (DAAF Réunion, 2015 ; Agorah, 2017 b). Ainsi, même si l'urbanisation ne se fait pas directement aux dépens des surfaces agricoles, elle peut grignoter des friches autrefois cultivées

ou plus largement des espaces qui pourraient accueillir de l'agriculture, souvent au niveau de la plaine littorale, autrement dit là où les terres sont les plus fertiles (DAAF Réunion, 2015). Ces grignotages du potentiel agricole annihilent la capacité future du territoire à augmenter ses surfaces cultivées et donc sa production alimentaire et bioélectrique.

Par ailleurs, la SAU du territoire est déjà historiquement appropriée par de nombreux acteurs répartis en petites exploitations familiales de 6 hectares en moyenne (Martignac, 2006), ce qui rend sensible toute discussion portant sur l'évolution du paysage agricole. En particulier, la culture de la canne à sucre domine toujours le paysage agricole en occupant 55% de la SAU du territoire, et ce, malgré une érosion marquée de la sole cannière depuis 2010 (DAAF Réunion, 2021). Cette filière bénéficie en outre d'un ancrage territorial fort, ayant une force d'influence conséquente. Le premier SAR de l'île fixait ainsi l'objectif d'un maintien de la sole cannière à 30 000 hectares (Martignac, 2006), tandis que la feuille de route du plan AgriPéi a repositionné ce seuil à 22 000 hectares (Département de La Réunion, 2020). Dans tous les cas, l'agro-industrie cannière possède une emprise dominante sur le foncier du territoire, hérité du modèle des grandes propriétés coloniales, et qui a contribué largement à façonner l'ensemble du territoire : équilibre ville-campagne, localisation des principales cultures par rapport aux surfaces historiquement cultivées en canne à sucre, nouveaux quartiers installés sur d'anciennes propriétés cannières déclassées en terrains constructibles, etc. (Martignac, 2006). Malgré cette place pivot dans l'aménagement du territoire, doublée de vertus agronomiques en termes de résilience aux aléas climatiques et de prévention de l'érosion, un rapport commandé par l'Etat pointe que la stratégie de « fonder l'économie sucrière sur un produit fongible, soumis à une rude concurrence internationale [...], ne semble pas être un positionnement porteur d'avenir » (IGF et al., 2021). Aujourd'hui la canne à sucre fait régulièrement l'objet de polémiques, notamment à travers les journaux locaux, quant à sa pérennité économique, au vu des difficultés de négociations entre planteurs et industriels et face au choix de certains canniers de se détourner progressivement de cette culture au profit d'une diversification vers de l'horticulture alimentaire ou de l'élevage (Le Quotidien, 2021 ; Le Journal de l'île de La Réunion, 2021 ; Les Echos, 2022).

Prenant note de la contrainte pesant sur le foncier et des débats autour de l'avenir de la canne à sucre, les politiques publiques locales d'aménagement et agricoles tentent de minimiser les conflits d'usage des sols tout en promouvant une augmentation qualitative et quantitative des différentes productions : en particulier, une augmentation de la production locale alimentaire sans compétition avec la production de canne à sucre et l'urbanisation à travers les stratégies récentes développées dans le plan Agripéi (Département de La Réunion, 2020), la PPE (Région Réunion, 2022) et le SAR (Région Réunion, 2020). Cet équilibre est néanmoins difficile à maintenir comme le confirment les derniers recensements faisant état de la disparition de 4 000 hectares de terres agricoles depuis 2010 associée

à une forte diversification de la canne vers d'autres productions (DAAF Réunion, 2021). Par ailleurs, de nouvelles compétitions foncières se profilent comme le développement d'unités de production de grande puissance en solaire photovoltaïque (SPL Horizon Réunion, 2020) qui sont parfois installées au sol et qui participent donc à artificialiser le foncier du territoire.

En conclusion, les terres agricoles du territoire d'étude peuvent constituer des supports pour différents usages, dont ceux de contribuer à l'autonomie alimentaire ou électrique. Ces deux enjeux particuliers peuvent induire des compétitions comme cela est déjà analysé dans d'autres contextes (Muscat et al., 2020), phénomène encore accru pour un système insulaire où l'espace est une ressource précieuse. Les questions alimentaires et énergétiques sont ainsi liées, et l'autonomisation alimentaire-électrique suppose un difficile arbitrage d'une ressource foncière en tension et déjà largement appropriée.

2.3 Question de recherche, objectifs et hypothèses

Une question de recherche pour orienter le travail de thèse...

Alors que la littérature scientifique se concentre plutôt uniquement sur l'autonomie alimentaire ou énergétique (voir exemples en I.1.1), peu d'études s'intéressent conjointement aux enjeux alimentaires et énergétiques. Les exceptions incluent principalement les travaux de métabolisme social ou métabolisme territorial s'intéressant de manière exhaustive et détaillée aux flux de matières et/ou d'énergie (Barles, 2014 ; Gasparatos, 2011), ou encore les travaux considérant des nexus de processus interconnectés (Bazilian, 2011). De plus, seul un petit nombre d'études questionnent simultanément l'autonomie alimentaire et énergétique sous l'angle de l'usage des sols (Kim et al., 2015) ce qui constitue un aspect innovant de ce travail. Notre approche s'inscrit plutôt dans la catégorie de l'étude d'un nexus, sous l'angle spatial. En effet, il a été montré précédemment comment divers processus interconnectés de dynamique d'usage des sols, sous l'influence éventuelle d'instruments de politiques publiques (voir partie I.2.2.), sont susceptibles d'influencer le bassin local de production de biomasses et donc la trajectoire d'autonomisation alimentaire-électrique du territoire.

Les trajectoires possibles de notre territoire d'étude et, en conséquence, son degré d'autonomisation alimentaire-électrique, constituent l'objet d'étude de la thèse. En parallèle, la question de recherche de ce travail est d'estimer quelles sont les marges réalistes d'autonomisation alimentaire-électrique de l'île de La Réunion à moyen terme et quelles sont les conditions pour les atteindre. Ici, il est à noter que le choix d'un horizon de moyen terme correspond à une période d'environ 20 ans, ce qui permet

d'envisager une certaine continuité du contexte politique et environnemental (vis-à-vis du changement climatique par exemple).

...Avec trois objectifs de recherche et trois hypothèses pour y répondre

Une première hypothèse de travail est immédiatement posée, dans la continuité des enjeux autour de l'usage des sols exposés en I.2.2 : pour un système insulaire comme l'île de La Réunion, l'arbitrage du foncier est central dans la production suffisante de biomasses et donc dans la possibilité d'une trajectoire d'autonomisation alimentaire-électrique.

A partir de cette première hypothèse, on peut identifier trois objectifs principaux en lien avec la question de recherche posée. Premièrement, il est nécessaire de relier l'usage des sols du territoire à des indicateurs d'autonomie alimentaire-électrique. Deuxièmement, les processus pertinents qui interviennent dans la capacité d'autonomie alimentaire-électrique de l'île, notamment du point de vue spatial, doivent être identifiés. Troisièmement, il conviendra de sélectionner après évaluation, des conditions de scénarios réalistes permettant une autonomisation alimentaire-électrique du territoire.

Par ailleurs, tout comme les nexus (Zhang et al., 2018), les territoires sont des systèmes complexes (Leloup, 2010). Notre objet d'étude s'inscrit donc également dans ce paradigme de la complexité (Morin, 1990). Ainsi, il possède en théorie des caractéristiques de totalité (le tout est différent de la somme de ses parties), d'interactivité (la compréhension du système passe par une compréhension des relations entre entités et pas seulement des entités elles-mêmes), d'organisation (le système possède une organisation propre) et d'ouverture (le système influence et est influencé par son environnement) (Leloup, 2010). La modélisation apparaît alors comme une approche idéale pour offrir une représentation compréhensible de cet objet afin d'en comprendre la mécanique interne et d'anticiper ses évolutions futures (Le Moigne, 1977), mais aussi d'apporter un appui à la décision publique comme c'est souvent le cas dans la littérature similaire (Schubert et al., 2015 ; Zhang et al., 2018). Pour répondre à notre premier et notre second objectif, nous travaillerons ainsi avec une seconde hypothèse : la modélisation peut permettre de faire le lien entre des parcelles aux usages du sol donnés, sous l'effet simulé de différents processus spatiaux, et l'évaluation du degré d'autonomie alimentaire-électrique du territoire.

En parallèle, l'exploration de scénarios est nécessaire au regard de la complexité de l'objet d'étude et des incertitudes entourant ses trajectoires possibles d'évolution. L'anticipation (synonyme de « prospective » ou « *foresight studies* » en anglais) tient justement à « explorer systématiquement, créer et tester à la fois des avenir possibles et désirables pour améliorer les décisions » (Giaoutzi & Sapiro, 2013). A l'échelle territoriale, ces outils permettent de définir des scénarios avec les acteurs

locaux, d'analyser et de débattre de sujets complexes (Fourny & Denizot, 2007). Pour répondre à notre second et notre troisième objectif, nous travaillerons ainsi avec une troisième hypothèse : il existe des scénarios réalistes permettant d'aller vers l'autonomisation alimentaire-électrique de La Réunion que l'anticipation participative peut permettre de co-construire.

CONCLUSIONS DU CHAPITRE I :

L'autonomie alimentaire et énergétique peut s'entendre à toutes les échelles et recouvrir de multiples dimensions. Tout d'abord, c'est une notion de sécurité qui y est associée, c'est-à-dire le fait d'assurer un volume suffisant de denrées et d'énergie pour répondre à des besoins vitaux. Mais une dimension qualitative s'invite aussi dans cette définition : stabilité de la ressource, adéquation du type de ressource aux besoins, disponibilité, etc. Le terme véhicule par ailleurs une conception politique d'indépendance relative ou plutôt de souveraineté, notamment dans l'appropriation locale des moyens de production. Enfin, l'autonomie ne peut s'intéresser qu'aux seules ressources sans réflexion sur la provenance de leurs intrants de production (matières premières, eau, nutriments, alimentation animale, métaux, etc.). Dans ce travail de thèse, c'est **l'autonomie alimentaire et électrique** qui sera appréhendée, principalement **par le recours à des taux de couverture : taux de couverture des besoins alimentaire et électriques par la production locale, et également des besoins en deux intrants de l'alimentation** (l'azote ammoniacal ou azote « disponible » et l'alimentation animale). Plus précisément, nous parlerons « **d'autonomisation alimentaire-électrique** » **c'est-à-dire le projet d'augmenter le degré d'autonomie alimentaire et électrique de manière intégrée.**

L'île de La Réunion, notre territoire d'étude, est dans une situation de forte dépendance vis-à-vis de ressources extérieures importées. Dans un contexte mondial marqué par des risques systémiques et globaux accrus, **cette dépendance est une source de profonde vulnérabilité.** Le développement de l'appareil productif local serait à poursuivre mais fait face à **des contraintes liées à l'insularité, en particulier la disponibilité en foncier** pour la production de biomasses valorisables en alimentation et bioélectricité ainsi que, dans une moindre mesure, pour l'installation de centrales photovoltaïques au sol.

Quelles sont les marges réalistes d'autonomisation alimentaire-électrique de l'île de La Réunion à moyen terme et quelles sont les conditions pour les atteindre ? Pour répondre à cette question de recherche, nous postulerons d'abord que **la question de la disponibilité foncière est la principale limite qui empêche l'autosuffisance du territoire.** Nous chercherons ainsi à construire des scénarios de territoire qui intègrent des dynamiques d'usage des sols. Notre seconde hypothèse est que **la modélisation peut permettre de faire le lien entre dynamiques d'usage des sols et évolution du degré d'autonomie alimentaire-électrique du territoire.** Enfin, notre troisième hypothèse est **qu'il existe des scénarios réalistes permettant d'aller vers l'autonomisation alimentaire-électrique de La Réunion que l'anticipation participative peut permettre de co-construire.**



Chapitre II :

Méthodologie générale

Dans le Chapitre I, les contours du sujet d'étude ont été précisés. Cet état de l'art contextuel et scientifique a abouti à une question de recherche, des objectifs et des hypothèses. Le Chapitre II complète d'abord l'état de l'art scientifique, en se concentrant sur les deux grandes méthodes mobilisées dans ce travail : la modélisation spatiale et dynamique d'une part, et l'anticipation territoriale participative d'autre part. Enfin, la mise en application de ces méthodes est détaillée dans le contexte de notre étude. Le croisement des approches y tient une place prépondérante et concourt pour une grande part à l'originalité de cette thèse.

1. Principaux outils et méthodes mobilisés

1.1 Modélisation spatiale et dynamique

L'intérêt et les principes généraux des modèles de dynamiques spatiales

Il a été montré en I.2.3 que la modélisation s'impose comme un outil incontournable pour répondre aux objectifs de la thèse. La modélisation des systèmes s'est développée parallèlement à l'approche systémique, où l'objet d'étude est considéré dans son intégralité, comme un tout fonctionnel : les entités élémentaires, leurs interactions, voire les sous-systèmes hiérarchisés que ces entités en interaction composent. Avec cette vision systémique, il apparaît que la modification d'un seul élément peut impacter le reste de l'évolution du système par un jeu de relations (Von Bertalanffy, 1968). Alors que l'analyse réductionniste des constituants du système serait une opération « mutilatrice » pour notre objet d'étude, la modélisation a l'ambition d'en proposer une « représentation communicable » qui conserve ses propriétés de système complexe (Le Moigne, 1977).

Il est possible de regrouper les travaux de modélisation en trois grandes catégories principales : les approches descendantes qui décrivent la dynamique du système dans sa globalité, les approches ascendantes qui s'intéressent à l'émergence de phénomènes à grande échelle en simulant le fonctionnement d'entités élémentaires et enfin un ensemble d'autres approches qui opèrent le plus souvent une forme d'hybridation des deux premières (Jahel, 2016 ; Degenne & Lo Seen, 2016). Hormis quelques exceptions (Kim et al., 2015 ; Jahel, 2018 ; Crespin Boucaud, 2021), la littérature traitant de la modélisation d'enjeux alimentaires et énergétiques semble plutôt relever de la dynamique des systèmes, c'est-à-dire des approches descendantes mettant en jeu des stocks et des flux (Wirsenius, 2003 ; Zhang et al., 2018 ; Kaddoura, 2017 ; Kougiyas et al., 2019 ; Viesi et al., 2020). Dans le cas de La Réunion, plusieurs modèles du système énergétique territorial ont été développés, le plus souvent sous un angle technico-économique (Selosse et al., 2018 ; ADEME 2018), pouvant intégrer d'autres

dimensions comme l'effet de politiques publiques (Garabedian & Ricci, 2018) ou des questions d'aménagement (Bénard-Sora & Praene, 2016). En revanche, il n'existe pas à proprement parler de modèle du système alimentaire territorial. Certains travaux ont néanmoins modélisé plusieurs aspects centraux du secteur agricole réunionnais, en particulier : les rendements de canne à sucre (Todoroff, 2013) et l'intégration culture-élevage à l'échelle du territoire (Randrianasolo et al., 2010 ; Vayssières et al., 2011 ; Kleinpeter et al., 2023).

Or, notre première hypothèse de travail (présentée en I.2.3) selon laquelle l'arbitrage du foncier est central dans la trajectoire d'autonomisation alimentaire-électrique de l'île, implique un accent particulier sur les dynamiques spatiales dans notre modèle. De plus, de fortes hétérogénéités existent à l'échelle de notre territoire d'étude (voir notamment la partie I.2.1). Or, si les variables du système ont des valeurs dispersées, il devient impossible de les étudier de façon agrégée : la modélisation de dynamiques spatiales permet alors de tenir compte de ces hétérogénéités (Degenne & Lo Seen, 2016). En parallèle, cette approche permet de comprendre et d'appuyer les décisions concernant les dynamiques d'usage des sols en particulier dans le domaine des politiques d'aménagement (Vedkamp & Verburg, 2002).

Les modèles de dynamiques d'usage des sols sont classés selon Agarwal (2002) en combinant trois dimensions : une échelle spatiale, une échelle temporelle mais aussi une échelle de la place de la décision humaine. Les modèles de dynamiques d'usage des sols ont ainsi une étendue et une résolution plus ou moins fine, ainsi que des dimensions continues ou discrètes (Crespin Boucaud, 2021). Dans la littérature, la modélisation des dynamiques spatiales s'appuie sur deux étapes essentielles. Premièrement, il convient d'élaborer un modèle conceptuel qui objective les différentes entités, leurs relations, leur organisation en sous-systèmes au sein du système modélisé (Jahel, 2016 ; Crespin Boucaud, 2021), mais aussi des processus de changement permettant d'envisager la dynamique du système (Ruas & Sanders, 2015). Deuxièmement, ce modèle conceptuel est implémenté dans un modèle informatique, sous la forme d'un algorithme dans un certain langage de programmation (Chery & Smektala, 2004), bien plus flexible que la formulation par des équations différentielles par exemple (Garabedian, 2007). Cette dernière étape permet alors de simuler des scénarios, chacun correspondant à un ensemble défini de paramètres pour calibrer le modèle informatique.

Le choix d'Ocelet comme plateforme de modélisation spatiale et dynamique pour répondre aux particularités du sujet d'étude

Qu'ils soient spatiaux ou non, les travaux de modélisation sont généralement conduits selon un type unique d'approche ascendante ou descendante : dynamique des systèmes, automate cellulaire ou multi-agents (Degenne & Lo Seen, 2016). Néanmoins, notre objet d'étude intègre plusieurs de ces approches à différentes échelles. En particulier, la modélisation des productions du territoire dépend des caractéristiques de parcelles agricoles sous l'effet de processus modulés par des conditions très locales (voir IV.2.1). Il s'agit donc plutôt dans ce cas d'une approche ascendante qui rappelle les automates cellulaires. De telles approches ascendantes de modélisation spatiale ont d'ailleurs été utilisées plusieurs fois dans le contexte réunionnais sur la thématique de l'aménagement du territoire (Lajoie & Haken-Zanker, 2007 ; Lagabrielle et al., 2010). En revanche, dans notre sujet, certains processus constituent des contraintes relativement homogènes pour l'ensemble du territoire comme l'évolution du mix électrique : il s'agit dans ce cas plutôt d'une approche de dynamique des systèmes. Ce besoin d'hybrider des échelles et des approches de modélisation implique le recours à un langage de modélisation flexible.

Notre modèle est construit avec le logiciel *Ocelet Modelling Platform* (OMP) développé par l'UMR TETIS au CIRAD⁵, qui est à la fois un langage métier et une plateforme de modélisation de dynamiques spatiales (Degenne & Lo Seen, 2016). Selon la grammaire d'OMP, le territoire d'étude est conceptuellement composé de « graphes d'interaction » qui sont des complexes d'entités en interaction. Concrètement, des entités spatiales (parcelles, aires urbaines), définissant les « nœuds » de chaque graphe, sont interconnectées par des « arêtes » qui contiennent des fonctions (fonctions d'interaction) pouvant s'activer selon un scénario pour faire évoluer l'état du système. De nombreuses informations sur l'état du système sont détenues par les propriétés des entités modélisées (comme les usages du sol des parcelles ou la population du territoire global). L'évolution au cours du temps de ces propriétés sous l'effet de processus permet de représenter la dynamique du système. Grâce à ces éléments de grammaire de base, le modélisateur peut décider en toute flexibilité quelles entités spatiales modéliser, avec quelles propriétés, tout en définissant les relations entre ces entités et les fonctions qui peuvent intervenir pour modifier l'état du système. Enfin, il revient au modélisateur d'établir des scénarios qui vont permettre de cadrer l'évolution du système selon une durée et un pas de temps défini. Par ailleurs, OMP permet aisément l'intégration de données sous forme de vecteurs et de rasters (Castets, 2015) ce qui permet dans cette étude d'introduire des contraintes issues de

⁵ Plus d'informations sur <http://www.ocelet.fr/> (consulté le 16/08/2022)

données rastérisées à des processus interagissant avec une carte vectorisée (voir le fonctionnement des « variables contextuelles » en IV.2.1).

OMP a déjà été mobilisé dans des contextes similaires à celui de l'objet d'étude : à La Réunion pour simuler des scénarios de dynamiques d'étalement urbain (Lestrelin et al., 2017) et dans d'autres contextes tropicaux pour l'étude de systèmes agricoles (Jahel et al., 2018 ; Crespin Boucaud, 2021). Avec ce projet de thèse, c'est la première fois qu'OMP est mobilisé pour s'intéresser à des enjeux en lien avec l'énergie. En plus des différents travaux listés en II.1.1., il apparaît que l'île de La Réunion a fait l'objet de plusieurs modèles tant sur le volet agricole qu'énergétique. Ces différents travaux, ajoutés aux bases de données produites par les organismes administratifs locaux (DAAF, INSEE, SPL Horizon Réunion, etc.) et professionnels (instituts techniques des filières agricoles, EDF, etc.), assurent une bonne accessibilité de nombreuses données, point essentiel d'une démarche de modélisation à la fois pour la construction du modèle mais aussi la validité de ses résultats (Batty & Torrens, 2001).

1.2 Anticipation territoriale et participative

La prospective territoriale pour expliciter des avenir alternatifs sous forme de scénarios

Dans la partie II.1.1, la notion de scénarios a été introduite comme un ensemble particulier de paramètres de calibrage du modèle informatique permettant la simulation du système d'étude. Mais le scénario peut également désigner « la description cohérente du système à un moment donné et celle du cheminement conduisant à son état final » (Deslatte & Durance, 2009). Autrement dit, le scénario est à la fois un ensemble de paramètres pour cadrer la simulation de l'évolution du système et le narratif décrivant cette évolution. Si la première définition correspond à la pratique de la modélisation, la seconde s'accorde avec la pratique de la prospective.

La prospective se définit comme une « démarche indépendante, dialectique et rigoureuse, menée de manière transdisciplinaire et collective et destinée à éclairer les questions du présent et de l'avenir, d'une part, en les considérant dans leur cadre holistique, systémique et complexe et, d'autre part, en les inscrivant, au-delà de l'historicité, dans la temporalité. » (Destatte & Durance, 2009). La prospective est une manière de penser le monde de manière complexe et l'avenir comme ouvert à une multitude de futurs possibles, reconnaissant ainsi qu'il est possible d'infléchir l'avenir (Gonod & Gurtler, 2002). La démarche prospective, en introduisant cette idée d'avenir ouvert, reconnaît en parallèle qu'il existe différentes classes de radicalité des futurs alternatifs : d'un futur extrapolé à partir des tendances actuelles, en passant par des futurs probables, plausibles et possibles, jusqu'à des futurs pouvant apparaître absurdes tellement ils semblent éloignés de la trajectoire actuelle (Voros, 2003). Dans la

suite de ce travail, on s'intéressera à trois types de scénarios : un « scénario de référence » équivalent à une extrapolation du présent, des « scénarios tendanciels » correspondant à l'exploration de tendances identifiées en restant dans le domaine du plausible et enfin un « scénario de rupture » synonyme à la fois de futur possible mais intégrant des bifurcations importantes par rapport aux scénarios précédents. Deux spécifications particulières sont ajoutées à la définition de ce scénario de rupture dans notre travail : il doit correspondre dans la mesure du possible à un avenir préférable selon les acteurs du territoire (voir **Figure 6**) et viser de meilleurs résultats en termes d'autosuffisance que les autres scénarios. Ainsi, le scénario de référence et les scénarios tendanciels correspondent à une pratique exploratoire de la prospective, tandis que l'élaboration du scénario de rupture en est une déclinaison exploratoire mais aussi normative (Destatte & Durance, 2009). En réalité, les autres scénarios peuvent également apparaître comme désirables pour certains acteurs du territoire mais ils n'ont pas été élaborés avec cette consigne affichée.

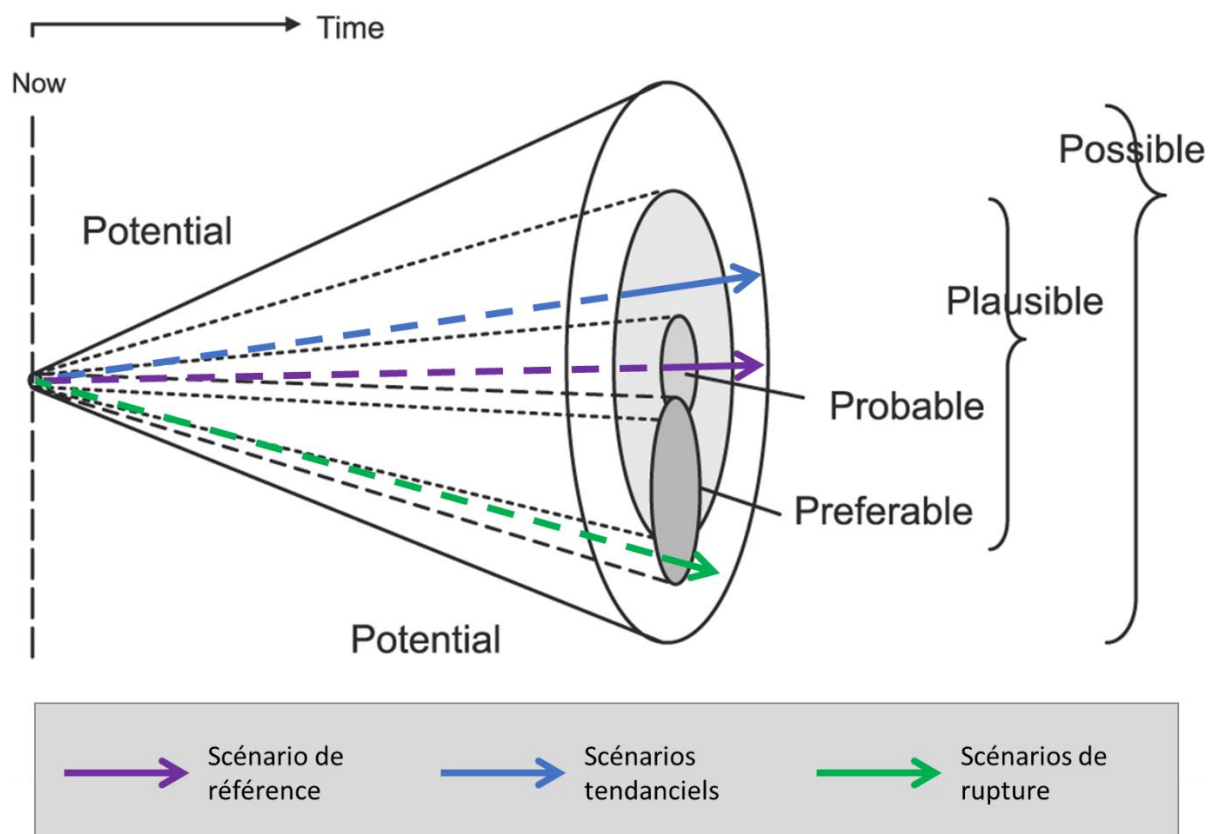


Figure 6 : Les différents degrés des scénarios élaborés dans le cadre de la thèse selon le « cône des futures » (source : adaptation d'un graphique tiré de Voros, 2003).

Déclinée à l'échelle d'un territoire, on parle de prospective territoriale. Cette dernière constitue un dispositif à la fois rationnel et créatif en plusieurs dimensions : cognitive, technique et pratique, discursive, opérationnelle et organisationnelle, ainsi que programmatique. La démarche de prospective territoriale comporte deux volets : un volet « analytique » qui vise à étudier le système territorial, ses trajectoires en cours et ses évolutions possibles, ainsi qu'un volet « opératoire » qui s'appuie sur une implication active des acteurs dans la construction d'un dessein commun, comme cela est abordé dans la partie suivante (Agence d'urbanisme pour le développement de l'agglomération lyonnaise, 2015). Comme mentionné, la phase analytique de la prospective qui aboutit à la construction de scénarios s'appuie en amont sur une analyse du système d'études, et tout particulièrement des forces internes qui sont motrices de son évolution (Bourgeois, 2017), comme cela est détaillé en II.2.2. La littérature fournit plusieurs exemples d'études prospectives dont le volet analytique aboutit à des scénarios d'évolutions de systèmes alimentaires (Billen, 2019 ; Serraj & Pingali, 2019) comme énergétiques (ADEME, 2016 b). Le plus souvent, les études se composent d'un ou plusieurs scénarios tendanciels et développent quelques scénarios de rupture, tout comme l'approche privilégiée dans cette thèse. Les horizons temporels sont variés, la grande plus-value de la prospective étant sa capacité à appréhender le temps long (Le Fur, 2018).

L'anticipation territoriale pour concilier différentes visions d'acteurs locaux et éclairer l'action présente

Comme mentionné précédemment, les démarches de prospective permettent d'envisager collectivement des évolutions futures du système étudié. En particulier, la « montée en puissance » dans les deux dernières décennies de la prospective territoriale « tend à être fondée sur une participation des citoyens, et à renforcer la démocratie » (Gonod & Gurtler, 2002). Cette participation d'acteurs du territoire au processus vise alors généralement à « aider une organisation ou une communauté à planifier et se diriger vers un futur désiré » (Dator, 2009). Cela correspond au second volet dit opératoire, introduit dans la partie précédente. De plus, comme cela est détaillé en II.2.2, la participation permet également la mise en place de méthodes particulières d'analyse du système prospectif, qui peuvent répondre aux besoins de la première phase du travail, dite analytique. La thèse se place ainsi dans le cadre d'une prospective prédictive, descriptive et de débat : c'est-à-dire, réfléchir de manière participative à des scénarios à partir de tendances (Fourny & Denizot, 2007).

De telles démarches de prospective territoriale participative ont également déjà été déployées pour traiter simultanément de questions alimentaires et électriques (Vergriete et al., 2018 ; Loos en Gohelle, 2014). Sur l'île de La Réunion, plusieurs travaux de prospective ont été conduits de manière

participative : sur les trajectoires globales du territoire (ACADIE, 2013), sur la vulnérabilité du littoral au changement climatique (Magnan & Duvat, 2016), concernant le futur de l'agriculture avec un enjeu sous-jacent d'autonomie alimentaire (Département de La Réunion, 2020) ou encore pour l'optimisation des flux inter-filières dans l'optique d'une économie circulaire (Wassenaar et al., 2015).

Au sein des approches prospectives, le cadre conceptuel de l'anticipation est utilisé dans la suite de ce travail. En effet, le terme d'anticipation permet d'insister sur le processus de renouvellement de l'action présente à partir d'un détour par le futur. En effet, l'anticipation questionne à la fois les états possibles du futur et l'état du présent, à la différence de la prospective qui met l'accent sur des visions de l'avenir et le moyen d'y parvenir. L'anticipation est à ce titre plus large, en reconnaissant plusieurs usages à la compréhension du futur (« littératie du futur ») : la poursuite et l'optimisation de processus connus, l'adaptation contingente à des forces externes mais surtout l'exploration de nouveaux futurs pour mieux « comprendre et questionner le présent » (Poli, 2015). C'est en particulier ce dernier usage qui est mobilisé dans ce projet par l'élaboration du scénario de rupture co-construit en réaction à la simulation de scénarios tendanciels, comme cela est décrit en II.2.1.

Ainsi, en combinant le souci de l'inclusion des acteurs locaux avec celui d'utiliser le futur comme un moyen d'agir sur le présent, on parlera dans la suite de ce travail, « d'anticipation territoriale » pour désigner le cadre conceptuel de notre approche prospective. La notion d'anticipation territoriale présente en outre l'intérêt d'agréger plusieurs démarches similaires d'intelligence territoriale comme la prospective, la planification ou le projet de territoire (Le Fur, 2019).

2. Méthodologie à l'interface entre approches de modélisation et d'anticipation

2.1 Phases participatives communes

Les phases participatives permettent d'affiner et de faire le lien entre résultats de modélisation et résultats d'anticipation

Le croisement de la modélisation et de la construction de scénarios par des approches prospectives demeure un champ scientifique peu exploré. Quelques exceptions en lien avec notre objet d'étude sont à signaler, comprenant des simulations du système alimentaire (Poux & Aubert, 2018), du système énergétique (McDowall, 2014) ainsi que des dynamiques d'usage des sols (Camara et al., 2019). Mais au vu du peu de références existantes sur le sujet, une méthode sur-mesure pour croiser modélisation des dynamiques spatiales et anticipation territoriale est à développer dans le cadre de notre étude.

Or, étant donné son orientation spatiale, appréhender l'objet d'étude est indissociable de la prise en compte des acteurs qui fabriquent ce territoire (voir définition partie I.1.2) et se l'approprient : leur inclusion au projet est indispensable. D'une part, sur le volet de la modélisation spatiale, plusieurs travaux reconnaissent qu'il ne s'agit pas uniquement d'étudier le complexe multi-acteurs mais d'agir avec lui, avec plus ou moins d'inclusivité : collecte de données spatiales par entretiens (Jahel et al., 2018), cartographie à dire d'acteurs (Benoît et al., 2006) ou encore modélisation d'accompagnement (Etienne, 2010). En particulier, un projet de modélisation spatiale dans le contexte réunionnais s'est appuyé sur un modèle OMP nourri d'échanges avec les acteurs locaux autour de la modélisation et de la scénarisation de l'étalement urbain (Lestrelin et al., 2017). D'autre part, il a été montré en II.1.2. le caractère éminemment participatif de l'anticipation territoriale.

La participation peut ainsi servir de trait d'union, ou plutôt de fil conducteur, entre modélisation des dynamiques spatiales et anticipation territoriale. La méthode développée dans ce travail propose de commencer par l'élaboration d'un premier modèle spatial statique (« *ProdAgri* ») permettant de faire le lien entre usages du sol et indicateurs d'autosuffisance à l'échelle de l'île, à partir de quelques entretiens exploratoires. Ensuite, on conduit une première vague d'entretiens pour identifier les forces qui influencent le système d'étude afin d'en proposer une conceptualisation comme préalable à la modélisation dynamique (voir partie IV.1) : une fois implémenté, ce second modèle de dynamiques spatiales est appelé « *ProdRun* ». En parallèle, un scénario de référence et un ensemble de scénarios tendanciels sont élaborés à partir du retour de la première vague d'entretiens et des entretiens exploratoires (voir partie IV.2.2 et IV.3). Dans une dernière phase, les simulations des scénarios tendanciels sont discutées pendant une seconde vague d'entretiens auprès des acteurs précédemment enquêtés afin d'apporter des améliorations à la structure de *ProdRun* et de générer de nouvelles hypothèses permettant l'élaboration et la simulation d'un scénario de rupture (voir partie IV.3). La **Figure 7** présente une vue graphique de la méthodologie décrite, mettant ainsi en exergue le rôle de la participation tout au long du projet via des enquêtes. Cette participation permet non seulement de faire le lien entre modélisation et anticipation mais également de mettre en place une « boucle d'apprentissage » entre le modélisateur et les experts enquêtés. L'inclusion des participants et donc la viabilité du processus est assurée par une relative continuité de la composition du panel d'enquêtés tout au long du projet (voir partie suivante).

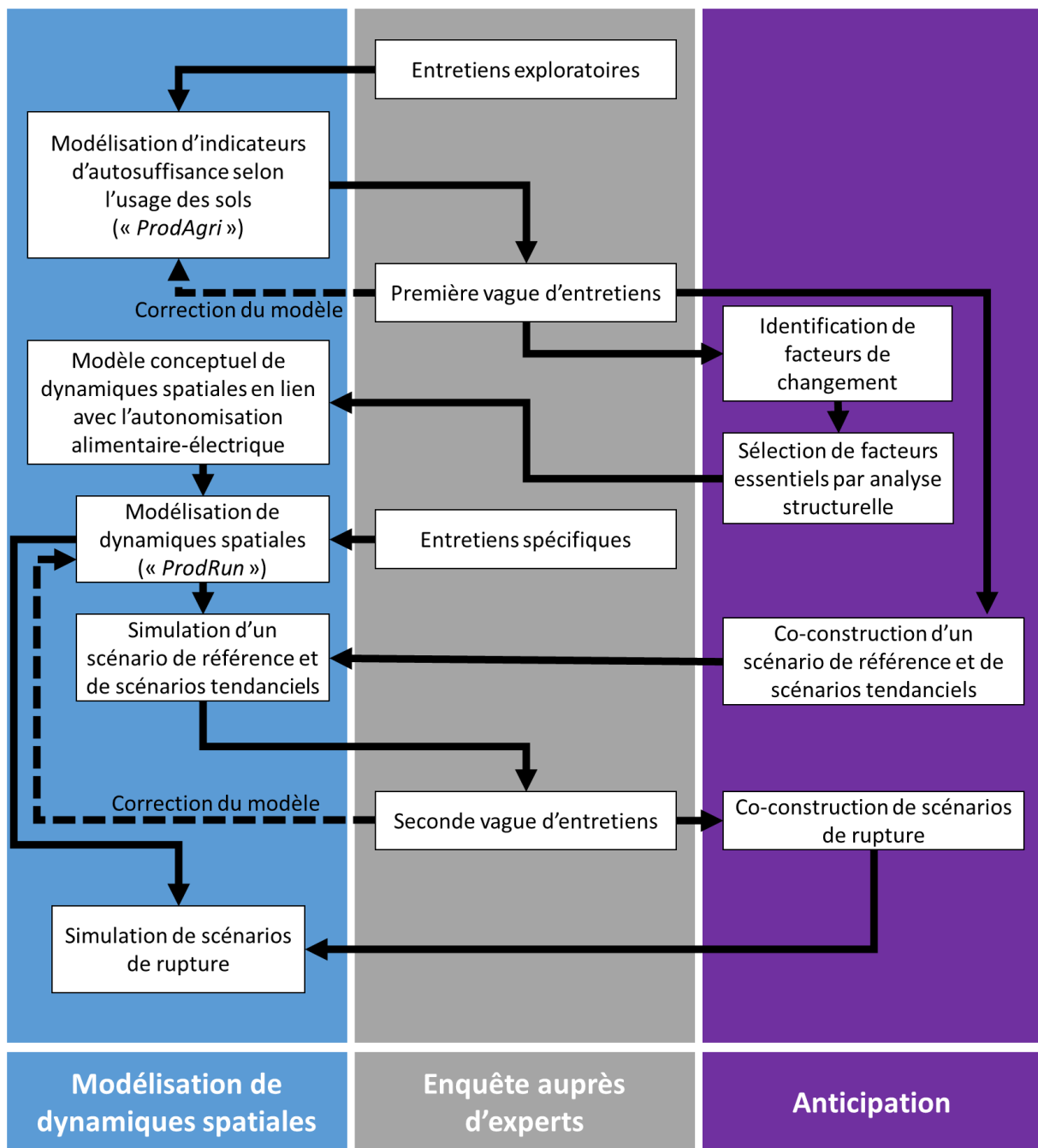


Figure 7 : Deux vagues d'entretiens articulent et nourrissent le flux d'informations entre différentes étapes de modélisation de dynamiques spatiales et d'anticipation territoriale (source : auteur).

Un choix des participants et une conduite des entretiens en plusieurs vagues

L'importance de la participation tout au long de la méthodologie repose sur la conduite d'entretiens semi-directifs auprès d'un panel d'acteurs du territoire. Les entretiens semi-directifs ont été menés soit de manière individuelle, soit face à des groupes d'experts. Comme présenté précédemment, les enquêtés ont été consultés durant deux vagues, ponctuées d'entretiens spécifiques selon le besoin, et

précédées d'une phase d'entretiens exploratoires. Le panel d'experts a été élaboré en combinant trois caractéristiques d'échantillonnage tirées de Miles & Huberman (1994). La première caractéristique est celle de la « variation maximale » où plusieurs catégories d'experts ont été considérées pour produire des connaissances pluridisciplinaires de notre objet d'étude. Concrètement, quatre catégories pertinentes ont été identifiées : l'administration, les filières agricoles et agroalimentaires, les filières de production et distribution d'électricité ainsi que la société civile et la recherche. La seconde caractéristique est qualifiée « d'effet boule de neige » où la liste d'experts à enquêter s'allonge au fil du temps en fonction des sujets qui émergent des premières enquêtes. Enfin, la troisième caractéristique est celle de la « réputation » : sur demande si ce n'est spontanément, les enquêtés recommandent d'autres experts pour approfondir certains sujets. Au total, 75 experts de 33 organisations différentes ont été enquêtés sous forme d'entretien semi-directif durant la thèse. Le résumé des organisations enquêtées est donné dans le **Tableau 1** (une liste plus détaillée est disponible en **Annexe 1.A**).

Catégorie d'expert	Entretiens exploratoires (décembre 2019 et janvier 2020)	Première vague d'entretiens (novembre et décembre 2020)	Seconde vague d'entretiens (décembre 2021 et janvier 2022)	Entretiens Spécifiques (mars à avril 2021)
Administration et recherche	8 experts / 4 organisations	6 experts / 6 organisations	32 experts / 8 organisations	2 experts / 1 organisation
Filières agricoles et agroalimentaires	aucun	7 experts / 6 organisations	9 experts / 6 organisations	10 experts / 6 organisations
Filières de production et distribution d'électricité	aucun	2 experts / 2 organisations	2 experts / 1 organisation	aucun
Société civile	1 expert / 1 organisations	3 experts / 3 organisations	10 experts / 4 organisations	aucun

Tableau 1 : Résumé du nombre d'experts et d'organisations enquêtées durant les différentes vagues d'entretiens semi-directifs. Chaque vague d'entretiens est codée de la manière suivante pour être cité dans ce travail : exploratoire [EXP/...] ; première vague [PRV/...] ; seconde vague [SCV/...] ; spécifique [SPE/...] (source : auteur).

A deux exceptions près (à la demande des enquêtés), tous les entretiens semi-directifs exploratoires et de la première vague sont enregistrés et retranscrits. Les résultats des entretiens de la seconde vague, dont le format était plus encadré, sont recueillis par simple prise de notes. Dans la suite de ce document, des verbatim⁶ seront ponctuellement mobilisés en utilisant la notation suivante : « [code de la vague d'entretien / numéro de l'enquêté] ». Dans un souci d'anonymisation, seul l'auteur de ce document dispose des enregistrements et de la clé permettant de relier un numéro à l'identité de la personne enquêtée.

L'approche privilégiée pour l'exploitation des entretiens retranscrits est l'analyse de discours (Schneider, 2001). Les thèmes abordés lors des entretiens dépendent de la vague correspondante mais portent globalement sur les quatre thèmes suivants : (i) la définition et le périmètre de l'autonomie alimentaire et électrique ; (ii) la prise en charge politique du sujet ; (iii) les forces qui influencent la capacité d'autosuffisance du territoire et dont l'analyse est faite par une méthodologie particulière décrite en II.2.2. ; (iv) les scénarios d'évolution possibles et/ou souhaitables du territoire en fonction des forces précédemment identifiées ; (v) la manière de modéliser concrètement ces forces sous forme de processus (les entretiens spécifiques sont dédiés à ce thème). Les **Annexes 2.A, 2.C et 2.E** présentent les différents guides d'entretien utilisés pendant les vagues d'enquête. Les entretiens spécifiques ont fait l'objet de guides rédigés au cas par cas portant sur la modélisation des processus de diversification de la canne et de l'étalement urbain d'une part (voir en IV.1.2) et de la spatialisation des cultures horticoles alimentaires d'autre part (voir en III.2.2).

En parallèle des guides, plusieurs supports graphiques ont été mobilisés lors des entretiens pour appuyer les enquêtés dans leurs réflexions (voir les **Annexes 2.B, 2.D et 2.F**). La première vague notamment, s'appuie sur deux éléments graphiques : (i) d'une part, la simulation d'indicateurs d'autonomie alimentaire et électrique issue de *ProdAgri*, ici utilisée comme « objet intermédiaire » (au sens de Lestrelin et al., 2017) afin de partager le diagnostic de l'autosuffisance du territoire ; (ii) d'autre part, une carte vierge et des feutres pour inviter l'expert à spatialiser de manière illustrée les processus et les usages du sol qu'il est amené à décrire lors de l'entretien. Lors de la seconde vague, la méthodologie et l'analyse des simulations issues de *ProdRun* sont présentées sous forme d'un poster. Présentant des indicateurs dynamiques d'autosuffisance et des visuels d'un paysage simulé pour illustrer les tendances du territoire, le poster permet de déclencher des réactions chez les enquêtés pour construire des scénarios. En effet, s'inspirant de la co-élaboration participative de scénarios (Bourgeois et al., 2017), les experts sont invités à exprimer des hypothèses d'évolution pour différents facteurs de changement identifiés sous la forme d'étiquettes et de *post-it* dont un exemple est montré

⁶ Citation fidèle des propos prononcés par un enquêté.

sur la **Figure 8**. Cette dernière phase de travail est réalisée pour environ deux tiers des entretiens, lorsque les conditions et le temps disponible le permettent.



Figure 8 : Photographie prise en fin de « session *post-it* » (seconde vague d’entretien) avec un groupe d’experts. Les participants choisissent des facteurs de changement pré-identifiés par le modélisateur (étiquettes blanches) et indiquent pour chacun d’eux un ensemble d’hypothèses d’évolution perçues comme négatives (rose), neutres (jaune pâle) ou positives (vert) (source : auteur).

Aux entretiens semi-directifs s’ajoute la conduite de trois ateliers en novembre 2021 durant un comité annuel d’échanges (« CST SIAM ») entre une partie du Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) et ses partenaires et bailleurs. Les ateliers rassemblent environ 60 participants afin d’envisager des trajectoires désirées pour le territoire selon des facteurs de changement proposés (la liste des participants à ces ateliers n’est pas connue avec exactitude mais la liste de toutes les organisations participantes inscrites à l’ensemble de la journée est disponible à l’**Annexe 1.B**). Ces ateliers s’inscrivent dans la seconde phase d’entretiens car les

thèmes abordés sont identiques même si leur format est différent (voir le détail du déroulement des ateliers en **Annexe 2.G**).

2.2 Facteurs de changement, processus, hypothèses d'anticipation et scénarios

De l'identification des facteurs de changement à la sélection de facteurs essentiels

Lorsque l'on cherche à décrire un système complexe composé d'un mélange de variables quantitatives et qualitatives, « l'analyse structurelle » est une méthode souvent employée dans les approches prospectives pour analyser le système d'étude. Cette méthode se déroule en trois étapes : « l'inventaire des variables, la description des relations entre variables et identification des variables essentielles » (Arcade et al., 2009). Dans la suite de ce travail, nous préférons l'emploi du terme « facteur de changement » (*driver* en anglais) plutôt que « variable » que nous réservons à la modélisation. La définition utilisée nous vient de la prospective où un facteur de changement se réfère précisément à « toute force qui est source de changement, influençant et modifiant le futur, et donc également la constitution et l'évolution du système d'étude » (Bourgeois et al., 2017 ; Zahraei et al., 2020 ; Bourgeois & Jesus, 2004).

La première étape, l'inventaire des facteurs de changement, est basée sur l'analyse des retranscriptions de la première vague d'entretiens semi-directifs ainsi que des entretiens exploratoires. Tout facteur de changement apparaissant dans au moins deux entretiens distincts est ajouté à la liste. La formulation définitive de chaque facteur de changement est réalisée par le modélisateur en suivant les recommandations de Bourgeois et al., 2017 : chaque facteur est une expression et non une phrase, qui doit être formulée positivement et donner lieu à plusieurs états possibles du futur. L'analyse des entretiens de la seconde vague permet a posteriori de valider et d'apporter quelques corrections à la liste de facteurs de changement ainsi établie. Dans les facteurs de changement identifiés par les enquêtés, seuls ont été considérés les facteurs de changement « internes », c'est-à-dire uniquement les facteurs se trouvant dans le champ d'action potentiel des acteurs territoriaux, comme conseillé dans la méthodologie sur la co-élaboration participative de scénarios (Bourgeois et al., 2017). La liste finale des facteurs de changement identifiés est détaillée en IV1.1.

Deuxièmement, l'étape de description des relations entre facteurs de changement est basée sur les entretiens exploratoires, les entretiens de la première vague ainsi que quelques entretiens spécifiques,

complétés par une revue bibliographique. Le logiciel dédié à l'analyse structurelle Micmac⁷ (Arcade et al., 2009) est utilisé pour implémenter les données analysées de cette étape et calculer les indicateurs nécessaires dans l'étape suivante. La description des relations entre facteurs de changement prend la forme d'une matrice d'influence directe (MID), c'est-à-dire une matrice croisée d'influence-dépendance où chaque élément (a^{ij}) vaut 1 si le facteur de changement de la ligne (i) exerce une influence sur le facteur de changement de la colonne (j). La somme de toutes les valeurs de la ligne (i) permet de calculer un score d'influence global pour le facteur (i) tandis que la somme des éléments de la colonne (j) donne un score de dépendance globale pour le facteur (j). Une seconde matrice est calculée à partir de MID, la matrice des influences indirectes (MII). Cette dernière rend compte de la propagation à moyen et long terme d'influences indirectes au travers du réseau de relations directes entre les facteurs de changement (Delgado-Serrano et al., 2015). Le logiciel Micmac calcule la MII en élevant la MID à des puissances successives (1 puis 2, puis 3, etc.) jusqu'à ce que ces opérations matricielles permettent d'atteindre une MII stable (Arcade et al., 2009). La MID et la MII correspondantes à l'analyse du système d'étude sont présentées à l'**Annexe 5**.

Pour la troisième étape, l'identification des facteurs de changement dits « essentiels », un graphique d'influence-dépendance calculé avec Micmac est mis à profit. Sur ce graphique figurant l'ensemble des facteurs de changement, la position relative de chacun des facteurs dépend de son score total d'influence et de dépendance selon la MID et la MII. Chaque facteur apparaît ainsi sous la forme d'un couple de points (les coordonnées d'influence-dépendance du facteur selon la MID et la MII) qu'on peut aussi figurer par un vecteur pour montrer qu'il y a transition entre le rôle du facteur dans la dynamique du système à court terme et à plus long terme. En effet, comme décrit sur la **Figure 9**, ce graphique d'influence-dépendance permet de grouper les facteurs de changement en différents secteurs et de les associer à un certain rôle dans la dynamique du système d'étude : les facteurs « moteurs » (« *input* ») ont une influence élevée et une dépendance faible, les facteurs « leviers » (« *stakes* ») ont une influence et une dépendance élevées, les facteurs « régulateurs » (« *regulators* ») ont des valeurs relativement moyennes, les facteurs « autonomes » (« *autonomous* ») ont une faible dépendance et influence, enfin, les facteurs « résultants » (« *output* ») ont une faible influence et une forte dépendance. Les facteurs de changement catégorisés comme « moteurs » et « leviers » ainsi que dans une moindre mesure les facteurs « régulateurs » sont ceux dont l'évolution a le plus d'impact sur le système d'étude (Delgado-Serrano et al., 2015 ; Bourgeois et al., 2017). Ils constituent *a priori* les facteurs essentiels du système d'étude dont la liste finale est expliquée en IV.1.1. Les facteurs non essentiels sont dénommés « secondaires » dans la suite de ce travail.

⁷ Plus d'informations sur <https://www.micmacprospective.com/fr>

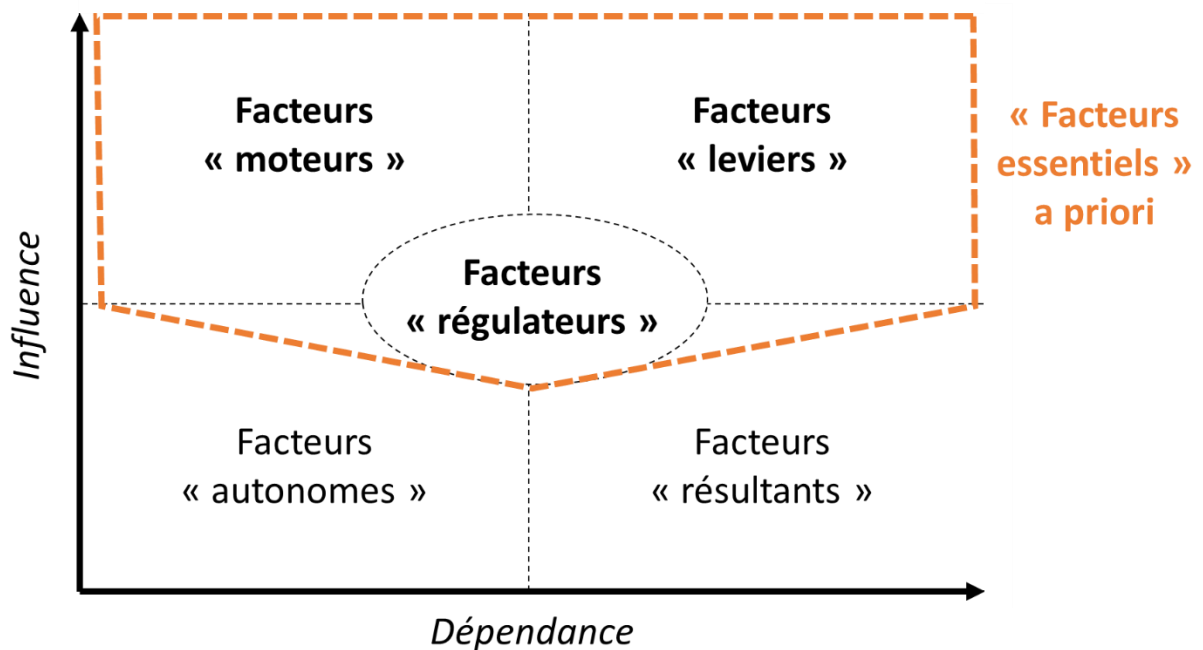


Figure 9 : Le classement des facteurs de changement en différents rôles dans la dynamique du système d'étude selon un graphique d'influence-dépendance. Les facteurs « moteurs », « leviers » et « régulateurs » correspondent *a priori* à des facteurs essentiels (source : auteur, d'après Delgado-Serrano et al., 2015 et Bourgeois et al., 2017).

De la détermination de processus clés modélisables à la construction de scénarios par combinaison d'hypothèses

L'élaboration d'un modèle conceptuel est un préalable indispensable à l'implémentation informatique du modèle comme expliqué en II.1.1. Pour faciliter l'implémentation dans OMP, le modèle conceptuel à élaborer doit faire apparaître des « processus » modélisables et les principales ressources mises en jeu. Un tel modèle conceptuel est construit en 4 étapes : (i) les facteurs de changement essentiels retenus (selon la méthodologie développée précédemment) sont interconnectés de manière fonctionnelle par des relations simples qui s'appuient sur les liens d'influence-dépendance entre facteurs ; (ii) des facteurs de changement secondaires sont ajoutés et connectés pour compléter ce premier système ; (iii) des flux de ressources sont indiqués pour expliciter les liens entre facteurs de changement ; (iv) il devient possible de grouper l'ensemble des facteurs de changement en plusieurs processus distincts mais en interrelation. En particulier, chaque périmètre ainsi défini correspondant à un processus doit permettre d'isoler des facteurs de changement entretenant des relations

privilégiées et mettant en relation des ressources communes. La liste des processus modélisables selon cette approche est détaillée en IV.1.2.

Une fois le modèle conceptuel achevé, certains processus apparaissent plus importants dans le fonctionnement du système car ils mettent en jeu davantage de facteurs de changement essentiels et sont donc désignés comme des « processus clés » sur lesquels un soin particulier doit être apporté pendant la phase d'implémentation informatique sous OMP. En particulier, les entretiens spécifiques introduits en II.2.1. servent essentiellement à produire de la connaissance en vue de la modélisation spatiale et dynamique de ces processus clés.

Une fois le modèle de dynamiques spatiales implémenté, trois types de scénarios sont construits comme détaillé en II.1.2. Hormis le scénario de référence qui est élaboré par le modélisateur seul, les scénarios tendanciels et celui de rupture sont co-construits à partir des entretiens avant leur simulation informatique. Premièrement, les scénarios tendanciels sont basés sur le retour des enquêtés, lors des entretiens exploratoires et de la première vague, concernant les grandes tendances à l'œuvre exerçant une influence sur le degré d'autonomie alimentaire-électrique de l'île. Les différentes hypothèses formulées par les enquêtés sont assemblées pour former plusieurs scénarios appartenant au domaine du plausible. Deuxièmement, le scénario de rupture est basé sur les entretiens de la seconde vague ainsi que la journée d'ateliers de co-construction de scénarios de novembre 2021. Les hypothèses d'évolution des facteurs de changement sont ici assemblées en se concentrant sur les trajectoires identifiées par les enquêtés comme positives. Par ailleurs, les experts sont mis face aux premiers résultats en termes d'autonomisation obtenus via la simulation des scénarios de référence et tendanciels, par le biais de supports graphiques. Ces consignes permettent d'orienter les acteurs vers la formulation de futurs préférables et ambitieux à intégrer dans le scénario de rupture. Il n'a cependant pas été possible de retenir toutes les hypothèses positives dans le scénario de rupture et toutes les hypothèses finalement retenues ne sont pas forcément vues comme positives par tous les acteurs enquêtés.

Qu'ils soient tendanciels ou de rupture, la formulation définitive des scénarios est réalisée en combinant une hypothèse d'évolution pour chaque facteur de changement du système d'étude comme décrit sur la **Figure 10**. L'ensemble de toutes les hypothèses combinées doit constituer un ensemble cohérent. Cette méthode de construction de scénarios s'inspire de la co-élaboration participative de scénarios, où chaque facteur de changement est susceptible d'évoluer en différents « états du futur » (Bourgeois et al., 2017). Notre méthode diffère cependant car bien que la collecte de données s'appuie sur des entretiens, les formulations définitives des facteurs de changement et des scénarios ne sont pas participatives. Deux raisons expliquent ce choix : (i) la difficulté logistique de

rassembler le même jour de nombreux experts, ce qui est néanmoins partiellement mis en place lors des ateliers de novembre 2021 (voir II.2.1) et (ii) le besoin d'un espace de parole libre pour les participants au vu des controverses qui entourent le sujet.

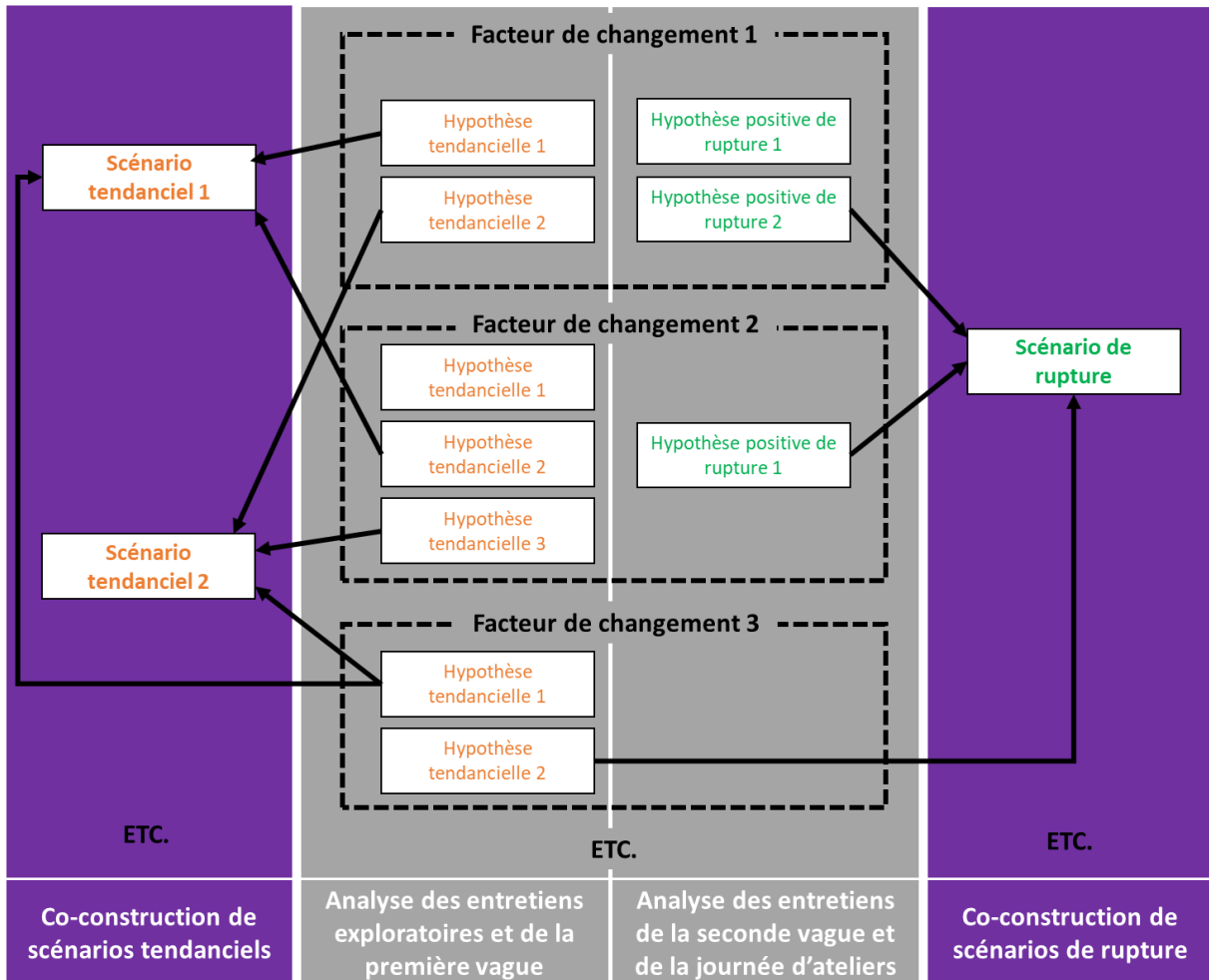


Figure 10 : Méthode générale de co-construction de scénarios à partir d'entretiens et d'ateliers, illustrée avec 3 facteurs de changement. Chaque scénario est une combinaison d'hypothèses (tendancielle ou de ruptures). Les règles de construction (en partie issues de Bourgeois et al., 2017) sont les suivantes : (i) chaque facteur de changement du système d'étude est représenté sous la forme d'une seule hypothèse dans chaque scénario ; (ii) une même hypothèse peut être utilisée dans plusieurs scénarios ; (iii) certaines hypothèses restent inutilisées ; (iv) une hypothèse tendancielle peut servir dans un scénario de rupture (mais une hypothèse de rupture ne peut servir dans un scénario tendanciel) (source : auteur).

CONCLUSIONS DU CHAPITRE II ET ORGANISATION GÉNÉRALE DE LA THESE :

En conclusion du Chapitre I, trois objectifs de recherche se dégagent pour répondre à notre question de recherche. Pour atteindre ces objectifs, le Chapitre II présente les deux axes méthodologiques principalement mobilisés dans la thèse. D'une part, **la modélisation de dynamiques spatiales** permettant de relier les changements d'usage des sols du territoire à des indicateurs d'autonomie alimentaire-électrique. D'autre part, **l'anticipation territoriale participative**, qui s'inscrit dans les approches prospectives, et qui permet d'une part d'analyser le système d'étude pour permettre sa modélisation, et d'autre part de produire des hypothèses d'évolution de ce même système, sous la forme de scénarios.

Ce travail propose une approche originale pour **faire le lien entre modélisation et anticipation** par le recours à plusieurs phases d'enquêtes mobilisant tour à tour des résultats de modélisation au service de l'anticipation, puis l'inverse. Ces allers-retours entre le modélisateur et les experts enquêtés définissent une véritable « **boucle d'apprentissage** » permettant in fine : (i) **l'analyse de l'objet d'étude comme une somme articulée de facteurs de changement**, sortes de briques élémentaires intervenant avec plus ou moins d'influence dans la dynamique du système ; (ii) **la description du système d'étude en collaboration avec les acteurs** sous la forme d'un **modèle conceptuel composé de processus modélisables**, eux-mêmes mettant en jeu des ressources et des facteurs de changement ; (iii) **la co-construction de scénarios tendanciels et de rupture (auxquels s'ajoute un scénario de référence défini par le modélisateur)** pour simuler des trajectoires alternatives du système d'étude modélisé et implémenté informatiquement avec le logiciel OMP.

Les chapitres suivants détaillent concrètement la mise en œuvre de ce cadre méthodologique interdisciplinaire ainsi que les résultats obtenus et les discussions qui en découlent par rapport aux objectifs initiaux. La Figure 11 (page suivante) dresse un bilan de la structuration générale du présent document, en lien avec la méthodologie générale développée au cours de la thèse.

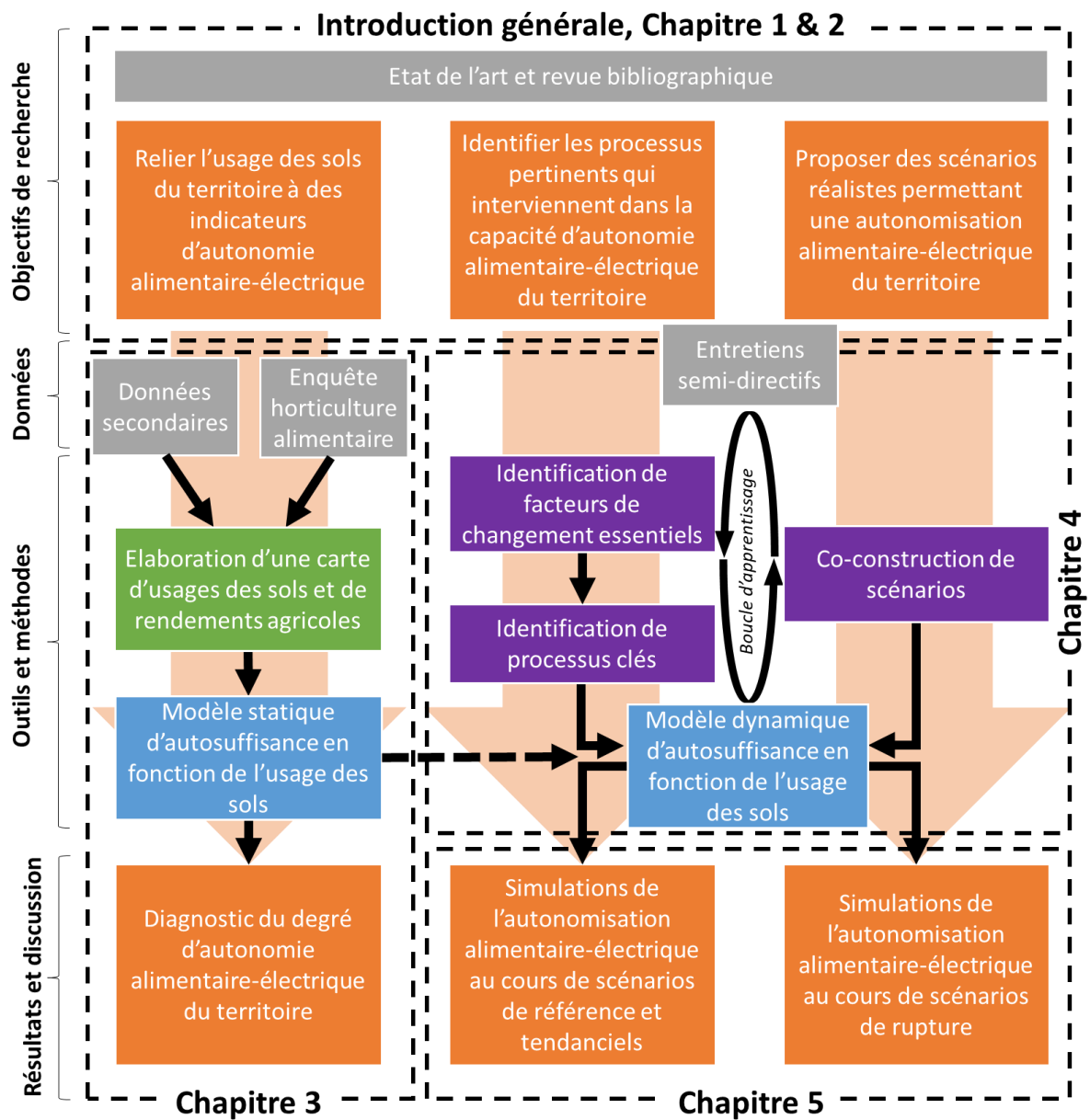



Figure 11 : Organisation générale du manuscrit en lien avec le bilan des travaux réalisés pendant la thèse (source : auteur).



Chapitre III :
**De l'usage des sols de chaque
parcelle à la couverture des besoins
du territoire**

Le Chapitre II a permis de dresser l'organisation générale de la méthodologie employée dans cette étude, au croisement de la modélisation spatiale et dynamique ainsi que de l'anticipation participative. Dans le Chapitre III, les bases de la modélisation spatiale sont posées afin de répondre au premier objectif de recherche de la thèse (« Relier l'usage des sols du territoire à des indicateurs d'autonomie alimentaire-électrique »). Pour cela, ce chapitre détaille l'élaboration d'une cartographie d'usage des sols, les différents usages du sol et ressources prises en compte ainsi que le calcul des indicateurs de sortie relatifs au degré d'autosuffisance. Enfin, les simulations de ce premier modèle servent de diagnostic initial du degré d'autonomie alimentaire-électrique du territoire d'étude.

1. Elaboration d'une cartographie d'usage des sols de La Réunion en 2019

1.1 Etat de l'art des travaux de cartographie d'usage des sols

La discipline s'appuie sur des définitions importantes

Par contraste avec « l'occupation des sols » qui est « déterminée par observation directe » par imagerie aérienne ou satellite, l'usage des sols (ou l'utilisation des sols) « représente la manière dont sont utilisées les surfaces » et « nécessite une interprétation socio-économique des activités qui s'y exercent » (Fisher & Comber, 2005). A la différence de l'occupation des sols qui opère une « objectivation de l'information » par des catégories directement observables (eau, forêt, sol artificiel, etc.), l'usage des sols s'appuie sur une classification des surfaces selon « un vocabulaire spécifique » qui dépend du sujet traité et de l'objectif de la carte, en distinguant par exemple différents types de cultures pratiquées (Crespin Boucaud, 2021). Comme introduit dans les chapitres précédents, nous préférons le terme d'usage des sols dans notre travail, pour la finesse avec laquelle il permet de décrire les activités du territoire en lien avec notre objet d'étude.

La cartographie de l'usage des sols est une discipline qui a connu des progrès spectaculaires, notamment grâce à une démocratisation et une diversification croissante des imageries satellites (Oppelt et al., 2015) associées à un perfectionnement des algorithmes de traitement d'images (Chughtai et al., 2021). En outre, la combinaison de telles méthodes de photo-interprétation avec d'autres données thématiques souvent collectées par des services publics (déclarations, enquêtes, statistiques agricoles) permet de multiplier les référentiels d'usage des sols disponibles (Observatoire NAFU, 2019). Originellement orientée vers l'aménagement et la planification, la cartographie de l'usage des sols s'intéresse aujourd'hui plutôt aux dynamiques spatiales, analysant plus

particulièrement les facteurs responsables des changements d'usages ainsi que leurs conséquences (Chang et al., 2018). C'est également dans ce cadre que s'inscrit ce travail de thèse.

Dans tout travail de cartographie, il est essentiel de clarifier la question de l'échelle et celle de la résolution. Gibson et al. (2000) précise la distinction entre ces deux termes : d'une part, l'échelle est la « magnitude de la dimension » ou plus concrètement l'emprise spatiale considérée pour mesurer un phénomène, d'autre part, la résolution ou le grain désigne la « précision utilisée dans la mesure ». Il est utile de compléter cette notion avec celle, souvent plus commode, d'unité minimale de collecte qui désigne « la plus petite surface collectée et donc représentée » sur la carte (Observatoire NAFU, 2019).

Le choix d'une source de données spatiales de référence parmi les précédents travaux de cartographie du territoire d'étude

L'île de La Réunion a fait l'objet de plusieurs travaux de cartographie d'usage des sols : la photo-interprétation et la classification automatisée accélèrent son développement dans les années 2000 avec des travaux comme celui de Lagabrielle (2003). Six sources principales établissant une cartographie d'usages du sol, totalement ou partiellement, à l'échelle du territoire d'étude sont comparées dans le **Tableau 2**. L'année de référence choisie est 2019, ou une année proche si la donnée n'est pas disponible. Il apparaît que les différentes sources à disposition ont des caractéristiques contrastées et aboutissent à des résultats différents en termes d'usage des sols : l'amplitude entre la valeur minimale et maximale est de 9 123 ha pour les surfaces artificialisées, 27 297 ha pour les terres agricoles et 33 891 ha pour les espaces naturels. La surface totale du territoire varie également selon les cartes ce qui peut s'expliquer par de légères superpositions des polygones ou des tracés imprécis, dont l'accumulation à l'échelle de l'île aboutit à plusieurs centaines d'hectares de différence.

La source de donnée choisie comme référence est la cartographie Moringa de niveau 2 développée par l'UMR TETIS du CIRAD. La méthode utilisée pour l'élaboration de cette carte combine des images à Très Haute Résolution Spatiale de l'ordre du mètre (Spot6/7 ou Pléiades) avec des séries temporelles d'images optiques à haute résolution spatiale de l'ordre de la dizaine de mètres (*Sentinel-2* et *Landsat-8*). Des groupes de pixels homogènes sont alors segmentés en polygones et classés par un algorithme *Random Forest* (Dupuy & Gaetano, 2019).

Notre choix est motivé par la précision de cette dernière carte (résolution spatiale et unité minimale de collecte faible) permettant une description fine mais totale du territoire (tous les usages du sol sont classés). Par ailleurs, il y a 5 classes d'usages agricoles dans le niveau 2 ce qui permet de spatialiser

différentes productions agricoles. De plus, contrairement aux autres sources de données, un travail de vérification est mené en parallèle de l'élaboration de la carte permettant de renseigner les usages du sol les mieux correctement classés dans Moringa. Enfin, la carte est mise à jour annuellement depuis 2016 ce qui permet d'envisager un suivi des évolutions récentes, particulièrement utile pour le calibrage du scénario de référence par extrapolation de certaines tendances (voir partie IV.2.2).

Nom de la cartographie d'usage des sols	Corine Land Cover (CLC) ⁸	Base agricole de l'occupation des sols (BOS) ⁹	Agreste La Réunion ¹⁰	Plans locaux d'urbanisme (PLU) ¹¹	Moringa niveau 2¹²	Tache urbaine intermédiaire (TUI) ¹³
Année	2018	2019	2019	2007 à 2021	2019	2019
Organisme responsable	Ministère en charge de l'environnement	DAAF Réunion	DAAF Réunion	Communes	CIRAD	Agorah (agence régionale d'urbanisme)
Termes de diffusion	Libre	Libre sur demande	Restreint	Libre	Libre sur demande	Libre
Couverture du territoire d'étude	Totale	Partielle ¹⁴	Totale	Partielle ¹⁵	Totale	Partielle ¹⁶
Unité minimale de collecte	10 000 m ²	Parcelle agricole	Parcelle agricole	Parcelle cadastrale	2.25 m²	Poche de 5 bâtiments espacés les uns des autres de moins de 20 m
Origine des données	Photo-interprétation	Registre parcellaire graphique, observations <i>in situ</i>	Registre parcellaire graphique, observations <i>in situ</i>	Réglementaire	Classification automatisée	Base de données topographiques de l'IGN, SIG
Total surfaces artificialisées	28 358 ha (11.3%)	Sans objet	25 000 ha (9.9%)	24 953 ha (11.0%)	21 323 ha (8.5%)	30 446 ha
Total surfaces agricoles	69 285 ha (27.7%)	41 988 ha	47 950 ha (19.0%)	61 495 ha - 64 905 ha ¹⁷ (26.2% - 27.6%)	52 469 ha (21.0%)	Sans objet
Total surfaces naturelles	152 593 ha (61.0%)	Sans objet	179 050 ha (71.1%)	145 159 ha - 148 600 ha ¹⁰ (62.8% - 61.4%)	176 530 ha (70.5%)	Sans objet
Surface totale du territoire	250 236 ha	Sans objet	252 000 ha	235 048 ⁸	250 321 ha	Sans objet
Nombre de classes d'usages agricoles	8	4	3	1	5	Sans objet

Tableau 2 : Comparaison de six cartographies d'usage des sols de La Réunion. La couche Moringa niveau 2 (**en gras**) est choisie comme carte de référence pour notre étude (source : auteur).

⁸ Plus d'informations sur <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/corine-land-cover-0?rubrique=348&dossier=1759>

⁹ Plus d'informations sur <https://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/la-base-agricole-de-l-occupation-du-sol-bos-2019-a1034.html>

¹⁰ Plus d'informations sur <https://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/memento-agricole-et-graphagri-r48.html>

¹¹ Plus d'informations sur <http://peigeo.re/index.php/catalogue/>

¹² Dupuy & Gaetano (2020)

¹³ Plus d'informations sur <http://peigeo.re/index.php/catalogue/>

¹⁴ Uniquement les parcelles agricoles déclarées au registre parcellaire graphique.

¹⁵ Le PLU de la commune de Saint Philippe n'est pas inclus car il est en cours d'approbation.

¹⁶ Seules les zones bâties sont concernées par cette carte.

¹⁷ Selon que les zones « AU » (à urbaniser) soient comptabilisées en zones agricoles ou naturelles.

1.2 Correction de la cartographie de référence

Des données complémentaires nécessaires pour certains usages du sol

Comme expliqué précédemment, la carte Moringa de niveau 2 constitue la base de la cartographie d'usage des sols utilisée dans ce projet (voir en III.1.1). Cette carte présente néanmoins plusieurs limites face auxquelles des corrections sont nécessaires, grâce à des données complémentaires.

La principale limite concerne les productions horticoles, notamment alimentaires (maraichage et vergers), pour lesquelles la carte Moringa de niveau 2 présente la précision de classement la moins élevée parmi toutes les classes d'usage des sols. En effet, en 2019 le F1-score (indicateur de précision) n'est que de 62,38% pour le maraichage en plein champ et 63,39% pour les serres, tandis que les vergers sont un peu mieux classés avec un score de 80,32%, ce qui reste néanmoins en-deçà des autres classes agricoles (92,18% pour la canne à sucre et 93,79% pour les prairies) (Dupuy, 2020). En outre, la dernière étude s'intéressant à la répartition de l'horticulture alimentaire réunionnaise (Saint Macary et al., 2002) semble obsolète du fait des évolutions récentes de la filière, qui reste néanmoins méconnue tant en termes de surfaces que de production. Dans le cadre du projet de thèse, un stage de 6 mois (niveau master) est ainsi supervisé en 2021 afin d'améliorer la connaissance des surfaces occupées par des productions horticoles alimentaires à La Réunion, ainsi que les produits alimentaires associés, les rendements de leur production et les apports en azote nécessaires. Ce stage confirme une surestimation des surfaces horticoles par la cartographie Moringa et permet d'estimer par photo-interprétation des coefficients correctifs de surfaces par grands bassins de production : dans certains d'entre eux, les surfaces horticoles sont bien détectées à près de 94% tandis que pour d'autres, cette valeur ne dépasse pas 20%. Cette étude fait par ailleurs ressortir que les usages du sol les plus souvent confondus avec des productions horticoles sont principalement : de la canne à sucre, d'autres productions horticoles (du verger pour du maraichage ou l'inverse) et des friches (Sinico, 2021). Dans ce contexte, d'autres sources de données spatiales sont utilisées en complément de la cartographie Moringa afin d'établir une « cartographie corrigée d'usage des sols de 2019 » ou CCUS-2019.

Tout d'abord, on reproduit la méthode utilisée pour calculer la TUI (voir **Tableau 2**) mais en considérant tous les bâtiments du cadastre de janvier 2019 (car la TUI ne prend pas en compte les poches de moins de 5 bâtiments). Cette méthodologie implique un tampon de 20 m autour de l'emprise des bâtiments, ce qui permet de considérer un effet de bord de l'usage urbain sur les autres usages du sol (notamment agricoles). En parallèle, d'autres surfaces artificialisées comme des parkings qui ne figurent pas comme bâtiments dans le cadastre sont intégrés grâce à Moringa niveau 2. Enfin, le réseau routier est ajouté manuellement, car il est souvent mal classé sur Moringa.

Deuxièmement, on corrige les surfaces cannières et celles des productions horticoles grâce à la BOS (voir **Tableau 2**). On considère en effet que ces données, bien qu'incomplètes, possèdent un haut niveau de confiance : toutes les parcelles de la BOS sont conservées dans la CCUS-2019. Quant aux prairies, on prend comme référence le parcellaire établi par Lorré et al. (2020), pour lesquelles on estime également un meilleur niveau de confiance que Moringa.

Troisièmement, une partie des parcelles agricoles et naturelles de Moringa sont identifiées comme des friches par croisement avec des données spatiales fournies par la Société d'Aménagement Foncier et d'Établissement Rural (SAFER) locale ainsi qu'une étude du Parc National de La Réunion (Besançon, 2020). Les friches sont ici définies comme « des terres anciennement cultivées et abandonnées » ou des « pacages abandonnés ou en voie d'abandon » (Périgord, 1994). De manière plus générale, il s'agit donc de tous les espaces à usage anciennement agricole mais aujourd'hui à l'abandon « *parce qu'il y a eu déprise dans certaines zones où... pas de mécanisation, pas d'eau, l'agriculture était assez difficile* » [PRV/11]. Ces derniers peuvent donc se trouver à l'intérieur des espaces agricoles identifiés par le PLU (c'est le cas des données spatiales issues de la SAFER), mais également en milieu naturel, voire en zones protégées, qui ont été autrefois cultivées comme c'est le cas pour certaines parcelles identifiées par le Parc National : « *la notion de friche si on regarde écologiquement : c'est un terrain qui était cultivé qui a été abandonné ; pour la Chambre d'agriculture, la DAAF, le Département c'est une zone qui est classée agricole dans les documents d'urbanisme* » [PRV/07].

Enfin, les surfaces restantes en horticulture d'après Moringa sont conservées si elles ne sont ni en superposition avec des parcelles identifiées comme des friches d'après la SAFER, ni des cultures non horticoles d'après la BOS (canne ou prairie), ni trop réduites sous l'effet de bord de la tache urbaine (on ne conserve que les parcelles supérieures à 250 m²). Les surfaces horticoles sont elles-mêmes divisées entre 3 usages du sol dans la CCUS-2019 : vergers, maraichage et horticulture non alimentaire. Les catégories « vergers » et « maraichage » dépendent de la classification de niveau 2 sous Moringa (la classe « arboriculture » devient « vergers » et les classes « maraichage » et « culture sous serre » deviennent « maraichage »), corrigée éventuellement par les usages indiqués dans la BOS (considérée comme ayant un degré de confiance supérieur). Enfin, la classe horticulture non alimentaire correspond à une fraction convertie aléatoirement de parcelles de maraichage. D'après le recensement Agreste (DAAF Réunion, 2020 a), cette fraction composée essentiellement de plantes médicinales, aromatiques et à parfum, de fleurs ornementales ainsi que de quelques pépinières, peut s'évaluer à 13.31 % des surfaces maraichères recensées.

Les détails des étapes de combinaison avec des outils de SIG

Afin d'élaborer la CCUS-2019, les différentes sources de données spatiales listées précédemment sont combinées entre elles sur les logiciels ArcGIS (10.6) et QGIS (3.16.8) tel que schématisé sur la **Figure 12**.

Premièrement, 7 couches sont élaborées séparément : 6 correspondent à des usages du sol pertinents dans le cadre de l'étude (voir partie III.2.1) (cultures horticoles, prairies, canne à sucre, friches, forêts et landes, zones urbaines) et la dernière couche contient des informations spatiales, souvent administratives, utiles par la suite dans le fonctionnement du modèle *ProdRun* (voir IV.2.1).

Ensuite, les 6 couches d'usage des sols sont assemblées grâce à la fonction « *Update analysis* » de ArcGIS. En disposant de plusieurs couches A, B, C, etc., cet outil permet de forcer successivement le collage de la couche B sur la couche A, puis de la couche C sur la couche assemblée AB, etc. Ainsi, la couche finale ne présente pas d'erreurs géométriques (superpositions ou trous). L'ensemble des couches combinées sont alors intersectées par la couche d'informations administratives (fonction « *Intersection* » sur QGIS). Enfin, la carte obtenue est nettoyée d'erreurs géométriques et sa géométrie est simplifiée par suppression des polygones inférieurs à 10 m² pour les espaces urbains (afin de conserver les éventuelles petites maisons individuelles) et inférieurs à 200 m² pour les autres usages du sol.

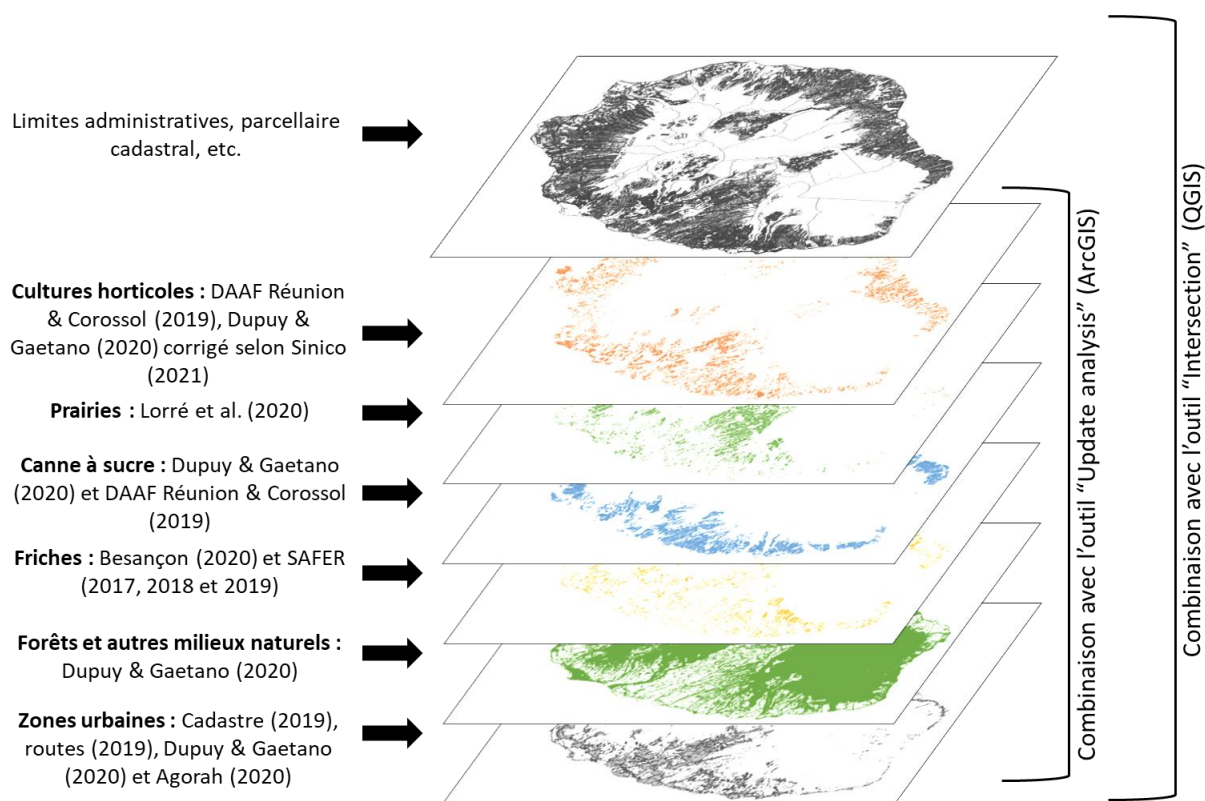


Figure 12 : Construction d’une cartographie corrigée d’usage des sols par combinaison de données spatiales existantes (source : auteur). La source Cadastre (2019) est une extraction du cadastre¹⁸ pour l’année 2019 ; la source routes (2019) contient la localisation des routes¹⁹ ; la source SAFER (2017, 2018 et 2019) est un fichier de données spatiales confidentielles fournies par la SAFER.

1.3 Apports et limites de la carte complétée

Comparaison des usages du sol recensés entre la nouvelle carte et les données existantes

La **Figure 13** présente la cartographie corrigée d’usage des sols de 2019 (CCUS-2019) élaborée selon la méthode décrite en III.1.2. La carte obtenue couvre la totalité de l’île (237 689 polygones pour une aire globale de 250 256 hectares). Dans le détail des usages du sol recensés, la tache urbaine occupe 35 424 hectares (14% du territoire), les forêts et autres milieux naturels 161 719 hectares (65% du territoire), les friches 8 347 hectares (4% du territoire), la canne à sucre 23 244 hectares (9% du territoire), les prairies (5% du territoire) et l’horticulture (5% du territoire). Par rapport aux cartographies existantes, les volumes totaux alloués par la CCUS-2019 aux principaux usages du sol semblent cohérents, le plus souvent à l’intérieur des valeurs extrêmes recensées (voir **Figure 14**). La

¹⁸ Voir sur : <https://www.geoportail.gouv.fr/donnees/parcelles-cadastrales#>

¹⁹ Voir sur <https://geoservices.ign.fr/ressource/158200>

carte élaborée possède donc un bon niveau de confiance en proposant une synthèse des meilleures données existantes. Deux usages du sol invitent néanmoins à quelques remarques.

D'une part, pour les surfaces artificialisées où la CCUS-2019 donne une estimation plus haute que tous les précédents travaux, trois raisons peuvent être avancées : (i) la mobilisation de la même méthode que celle utilisée pour l'élaboration de la TUI qui dilate les espaces artificialisés par une zone tampon de 20 mètres, ce qui est utile dans notre cas pour renseigner sur « l'usage » urbain car ce dernier affecte souvent le parcellaire au-delà des espaces strictement artificialisés ; (ii) la combinaison avec des espaces artificialisés non bâtis de Moringa niveau 2 ainsi que les bâtiments isolés du cadastre, ce qui n'est pas considéré dans la TUI ; (iii) l'ajout manuel des routes, souvent mal classées par Moringa et non prises en compte par la TUI. D'autre part, beaucoup d'incertitudes existent quant aux surfaces occupées par les cultures horticoles (voir III.1.2.) mais la CCUS-2019, notamment grâce à la distinction entre friches et surfaces effectivement cultivées, propose une estimation intermédiaire par rapport aux travaux existants. De plus, Sinico (2021) montre par photo-interprétation que Moringa (niveau 2 en 2019) surestime les surfaces horticoles : 10 293 hectares après correction (contre 19 106 hectares initialement), ce qui converge avec la valeur selon la CCUS-2019 (9 937 hectares).

Les limites de la cartographie d'usage des sols corrigée

La cartographie produite présente pendant un certain nombre de limites qu'il convient de signaler. Premièrement, la part non professionnelle des cultures horticoles, souvent synonyme de petite agriculture vivrière et sociale reste méconnue même si elle est non négligeable : « *je suis sûr qu'on frôlerait le millier de personnes [...] la petite agriculture, uniquement vivrière [...] il y en a partout ! [Le paysan type qui pratique cette agriculture] il cultive, il a des savoir-faire, il produit et parfois il commercialise en misouk²⁰* » [PRV/07]. Par ailleurs, la nomenclature de la SAFER contient une catégorie « sous-exploité » ce qui pourrait conduire à classer certaines zones d'agriculture vivrière comme des « friches », notamment parce que les surfaces concernées sont souvent petites (« *[au sujet de l'agriculture vivrière] gratter 2000 m²* » [PRV/07] ; « *[au sujet de l'agriculture vivrière urbaine] c'est des surfaces qui sont trop petites* » [PRV/14]) et composées de productions diversifiées ce qui en complique la détection et la classification automatisée par des approches comme Moringa ou provoque leur effacement comme c'est le cas pour les jardins urbains dans la TUI. Ainsi, il est probable que beaucoup de ces surfaces soient invisibles sur la CCUS-2019. Deuxièmement, plusieurs sources sont hybridées dans notre approche ce qui complique le calcul de la résolution spatiale exacte de la carte obtenue. Il est cependant possible de souligner que l'unité minimale de collecte est de 200 m².

²⁰ Créole réunionnais signifiant « en cachette » : dans ce cas-ci, il s'agit de vente informelle et non déclarée.

Enfin, cette hybridation des données ainsi que le choix d'une unité minimale de collecte à 200 m² implique des modifications géométriques du parcellaire cadastral utilisé comme référence dans les espaces agricoles. Ainsi, on ne peut utiliser cette carte pour tirer des conclusions à l'échelle de parcelles mais au minimum à l'échelle du paysage.

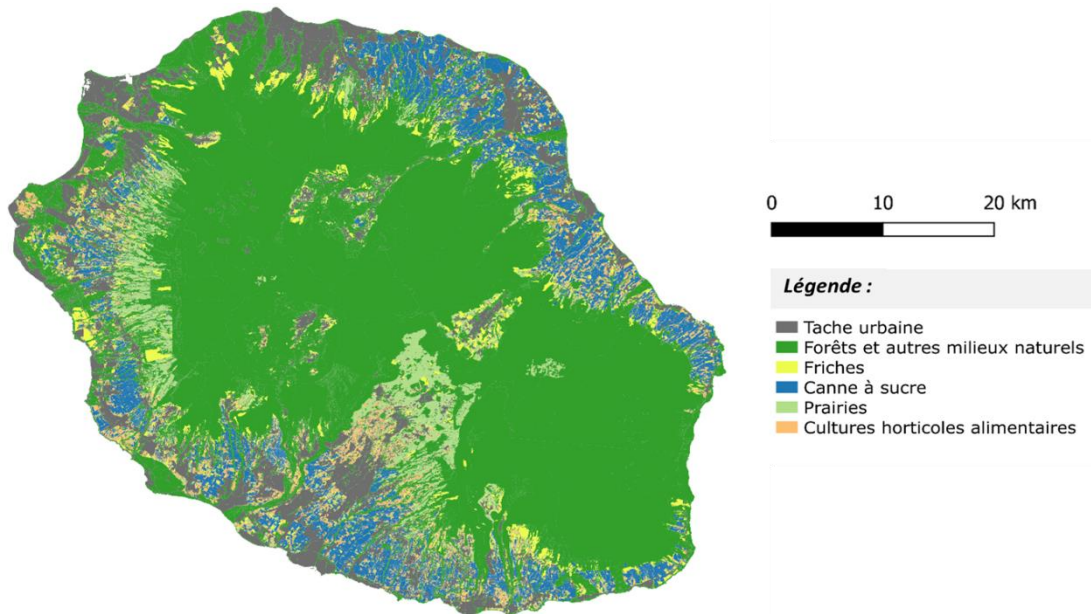


Figure 13 : Cartographie d'usage des sols corrigée pour l'année 2019 (CCUS-2019). Les limites administratives et le parcellaire cadastral sont ici masqués pour plus de visibilité sur la répartition des usages du sol (source : auteur).

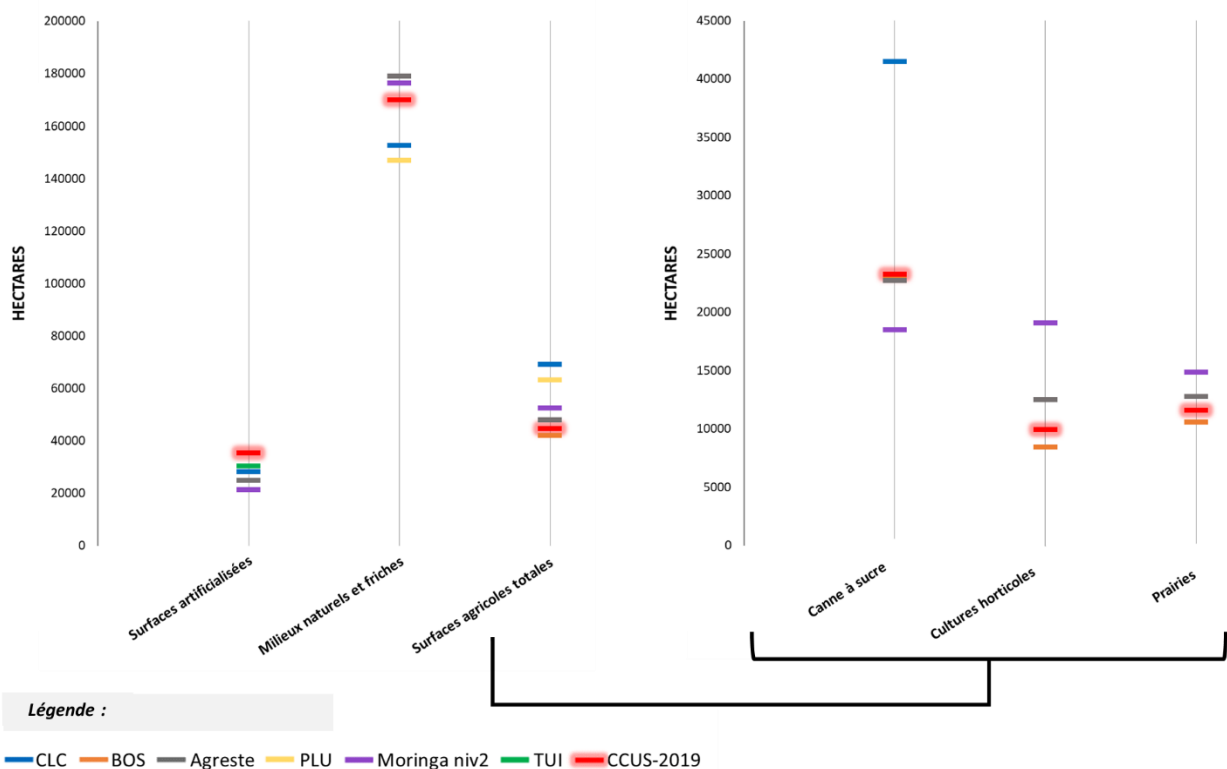


Figure 14 : Comparaison de la cartographie corrigée d’usage des sols en 2019 (CCUS-2019) avec d’autres cartographies tirées de la bibliographie, en termes de surface totale pour différents usages. Les acronymes de la légende se réfèrent aux données présentées dans le **Tableau 2** : CLC = *Corine Land Cover* ; BOS = Base agricole d’occupation des sols ; PLU = Plan locaux d’urbanisme ; TUI = Tache urbaine intermédiaire (source : auteur).

2. *ProdAgri* : de l’usage des sols aux indicateurs d’autonomie alimentaire-électrique

2.1 Principes généraux du modèle *ProdAgri*

Des ressources produites aux usages pour le territoire

Le modèle *ProdAgri* permet d’estimer des indicateurs d’autosuffisance à l’échelle du territoire d’étude à partir d’un ensemble de données d’entrée dont une carte de ses usages du sol. Comme schématisé sur la **Figure 15**, ce modèle est organisé en six modules.

Lors de l’initialisation, chaque polygone de la CCUS-2019 est modélisé sous OMP comme une entité « parcelle » avec un ensemble d’attributs, notamment : une propriété de géométrie, une surface en

hectares et un code précisant son usage du sol. Quatre usages du sol avec un caractère agricole sont pris en compte dans ce modèle : la canne à sucre, les vergers, le maraichage et les prairies.

Dans le second module, chacune de ces parcelles agricoles ainsi que les parcelles de tache urbaine produisent un certain nombre de biomasses correspondant à autant de ressources potentielles pour le système alimentaire et/ou électrique. La production de chaque parcelle est calculée comme le produit de sa surface par une propriété de rendement qui dépend de son usage des sols.

Les modules 3 à 5 aboutissent à la somme à l'échelle territoriale de ressources participant à l'autosuffisance de l'île selon six voies de valorisation. La **Figure 18** explicite l'ensemble des voies de valorisation existantes selon les biomasses considérées en 2019 : trois participent à l'autonomie alimentaire (fertilisation azotée, alimentation animale et alimentation humaine) et trois participent à l'autonomie électrique (production par turbine à combustion, par méthanisation et par combustion).

Le sixième et dernier module de *ProdAgri* exporte l'ensemble des résultats du modèle, et en particulier la résultante de ces 6 voies de valorisation, sous la forme de taux de couverture qui correspondent aux indicateurs de sortie du modèle.

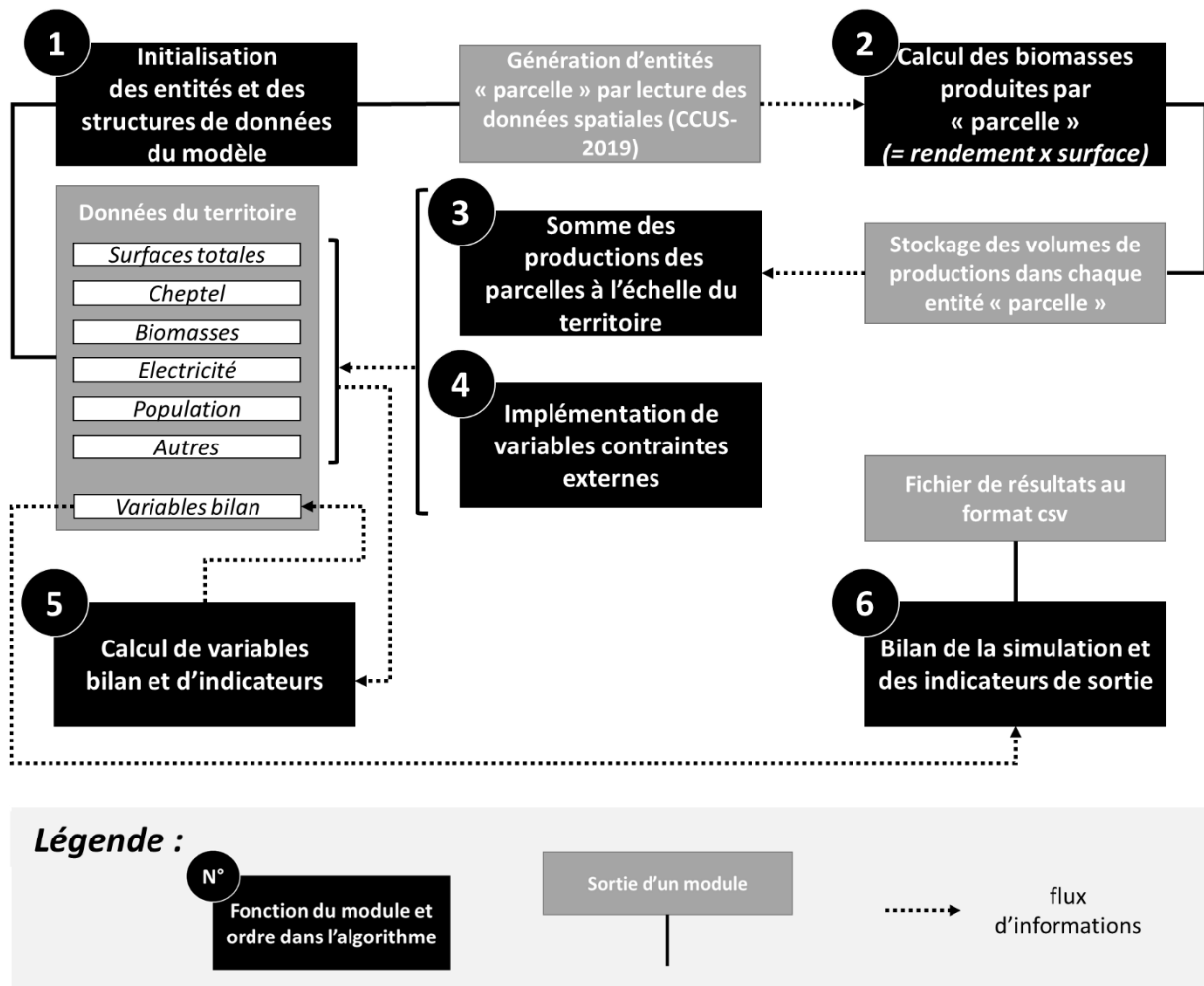


Figure 15 : Schéma d'organisation de l'algorithme du modèle *ProdAgri* en six modules (source : auteur).

Le calcul des indicateurs de sortie

Comme présenté en I.1.1, plusieurs dimensions sont importantes à considérer dans le projet de thèse pour quantifier la complexité de la notion d'autonomie alimentaire-électrique. Le modèle *ProdAgri* tient compte de ses dimensions, sous la forme de taux de couverture (TC) qu'il calcule comme indicateurs de sortie.

Sur le volet alimentaire, 3 TC globaux sont ainsi calculés pour : l'alimentation humaine, l'azote disponible pour les cultures et l'alimentation animale. Premièrement, pour l'alimentation humaine, 6 catégories alimentaires sont considérées et un TC est calculé pour chacune selon la formule présentée en I.1.1. : $TC_{\text{viandes, poissons et œufs}}$, $TC_{\text{produits laitiers}}$, $TC_{\text{fruits et légumes frais}}$, TC_{huiles} , $TC_{\text{féculents}}$ et $TC_{\text{protéagineux}}$. Bien que consommé, le sucre n'est pas considéré dans notre étude comme une denrée alimentaire au sens qu'il ne participe pas à la sécurité alimentaire. Il n'est d'ailleurs pas considéré dans les études de ce champ

disciplinaire. De plus, plusieurs acteurs ont une analyse similaire, par exemple : « *c'est une production de biomasse, mais pas de biomasse alimentaire qui va nous aider à atteindre l'autonomie [alimentaire]* » [EXP/02]. Un $TC_{\text{alimentation humaine globale}}$ est calculé en parallèle selon la formule ci-dessous qui permet de tenir compte du fait qu'une production alimentaire locale ne peut peser dans le taux global au-delà de ce que la population consomme effectivement de cette catégorie alimentaire :

$$TC_{ahg} = \frac{100 \times \sum_{ci} \text{minimum}(Consommation_{ci}, Production_{ci})}{\sum_{ci} Consommation_{ci}}$$

TC_{ahg} : $TC_{\text{alimentation humaine globale}}$ (%)

$Consommation_{ci}$: consommation totale du territoire pour la catégorie alimentaire i (masse)

$Production_{ci}$: production locale totale du territoire pour la catégorie alimentaire i (masse)

Deuxièmement, le $TC_{\text{azote disponible}}$ correspond au rapport entre l'azote disponible valorisé localement par rapport aux besoins totaux des cultures en azote. L'azote valorisé localement étant exclusivement issue de matières organiques fertilisantes, il convient de le convertir en azote disponible en faisant le produit de son contenu en azote total par un coefficient de minéralisation (Chabalier et al., 2006).

Troisièmement, le $TC_{\text{concentrés}}$ et le $TC_{\text{fourrages}}$ correspondent respectivement à la part de concentrés ou de substituts de concentrés ainsi que la part de fourrages produits localement par rapport aux besoins totaux du cheptel du territoire. Concernant les concentrés et leurs substituts, c'est l'origine des ingrédients qui est prise en compte pour déterminer si un aliment pour le cheptel est local ou non. De plus, une distinction de ces aliments est faite en deux grandes catégories : la part glucidique et la part protéique. En revanche, tous les fourrages sont considérés comme une ressource uniforme. Par analogie avec l'alimentation humaine, un $TC_{\text{alimentation cheptel globale}}$ est calculé en parallèle en séparant l'alimentation animale en 3 catégories (concentrés glucidiques, concentrés protéiques et fourrages) selon la formule suivante :

$$TC_{acg} = \frac{100 \times \sum_{ci} \text{minimum}(Consommation_{ci}, Production_{ci})}{\sum_{ci} Consommation_{ci}}$$

TC_{acg} : $TC_{\text{alimentation cheptel globale}}$ (%)

$Consommation_{ci}$: consommation totale du cheptel pour la catégorie d'alimentation animale i (masse)

$Production_{ci}$: production locale totale du territoire pour la catégorie d'alimentation animale i (masse)

Sur le volet électrique, deux TC sont calculés en sortie de *ProdAgri* : le premier ($TC_{\text{électrique}}$) est relatif à la part d'électricité issue de sources primaires locales dans le mix et se rapporte ainsi à la définition et la formule proposée en 1.1.1.3, tandis que le second ($TC_{\text{bioélectrique}}$) se concentre sur la part de bioélectricité issue de biomasses locales dans le mix par rapport à la consommation totale du territoire. Le choix de ce second indicateur s'explique par l'influence de la production bioélectrique sur l'usage des sols et donc le lien avec notre objet d'étude. En 2019, l'année simulée dans *ProdAgri*, seules 3 sources de bioélectricité existent : la combustion de la bagasse de canne à sucre (résidu fibreux de la fabrication de sucre), la méthanisation d'une partie de la fraction fermentescible des ordures ménagères en décharge ainsi que la valorisation dans une turbine à combustion d'une partie de la mélasse (résidu liquide de la fabrication de sucre) après l'avoir distillé en bioéthanol.

2.2 Calibrage du modèle *ProdAgri*

Les besoins de la population

Le calibrage des besoins alimentaires et électriques du territoire d'étude en 2019 est décomposé dans le modèle comme le produit de besoins individuels moyens multipliés par la taille totale de la population soit 861 210 habitants selon l'INSEE (2022).

D'abord, on raisonne en termes de balance disponibilité/consommation pour estimer les besoins alimentaires de la population, grâce à la formule suivante :

$$Q_{\text{alimentaire}} = P_{\text{pro}} + P_{\text{npro}} + I - E$$

$Q_{\text{alimentaire}}$: besoins alimentaires de la population du territoire d'étude comportant la part d'aliments consommés localement et le gaspillage alimentaire

P_{pro} : production locale professionnelle (tonne matière brute)

P_{npro} : production locale non professionnelle (tonne matière brute)

I : Importations (tonne matière brute)

E : Exportations (tonne matière brute)

Les denrées disponibles sont réparties entre productions locales de l'agriculture professionnelle et non professionnelle ainsi que produits d'importation. Par opposition à l'agriculture professionnelle, l'agriculture non professionnelle recouvre les activités de non-agriculteurs, la petite agriculture vivrière ainsi que l'autoproduction. Le terme d'autoproduction au sens large peut recouvrir un mélange de ces activités informelles et ses volumes de production ont été estimés pour certaines

denrées par ménage (INSEE, 2015) avant d'en déduire une estimation des volumes à l'échelle du territoire (ADEME & ECO2 INITIATIVE, 2022). En revanche, pour estimer les volumes d'importation, une analyse approfondie des données des douanes est nécessaire : chaque produit y est recensé selon un code à 8 caractères qui permet de l'associer à l'une des 6 catégories alimentaires définies dans le modèle (voir en III.2.1.). Cependant, certains produits listés, notamment des plats préparés, peuvent être rattachés à deux, voire trois catégories ce qui aboutit à un double, voire triple comptage de ces derniers. On estime donc que les volumes importés de chaque catégorie alimentaire sont la moyenne entre les volumes importés de produits non transformés et les volumes importés de produits transformés et non transformés.

L'étude de la balance entre denrées disponibles et consommées permet d'en déduire le volume des besoins alimentaires de la population comme présenté sur la **Figure 16**. Ce volume se compose de la part effectivement ingérée (consommation locale) mais également du gaspillage alimentaire. Ce dernier phénomène est évalué à partir de résultats transposés de France métropolitaine (ADEME, 2016 a). On prend alors en compte la somme des pertes liées à la distribution et à la consommation des ménages (10,6% de pertes). Des pertes complémentaires sont ajoutées pour la transformation des produits animaux (15,1% de pertes au total). Dans tous les cas, on estime que le gaspillage alimentaire lié aux pertes lors des étapes de production est intégré dans les données de production des filières. A noter qu'à titre de vérification, la masse estimée des denrées ingérées d'après notre raisonnement a été convertie en énergie grâce aux tables de données nutritionnelles des aliments de l'ANSES²¹ (3045 kcal/jour/habitant, cohérent avec la moyenne nationale qui est de 3502 kcal/jour/habitant sans compter le gaspillage, d'après FAO, 2022 b).

Enfin, la consommation électrique totale du territoire a été divisée par la population de 2019 pour estimer une consommation par habitant d'après les données de l'Observatoire de l'énergie de La Réunion (SPL Horizon Réunion, 2020). Le détail des besoins alimentaires et électriques par habitant est présenté dans l'**Annexe 3.A**.

²¹ <https://ciqua.anses.fr/>

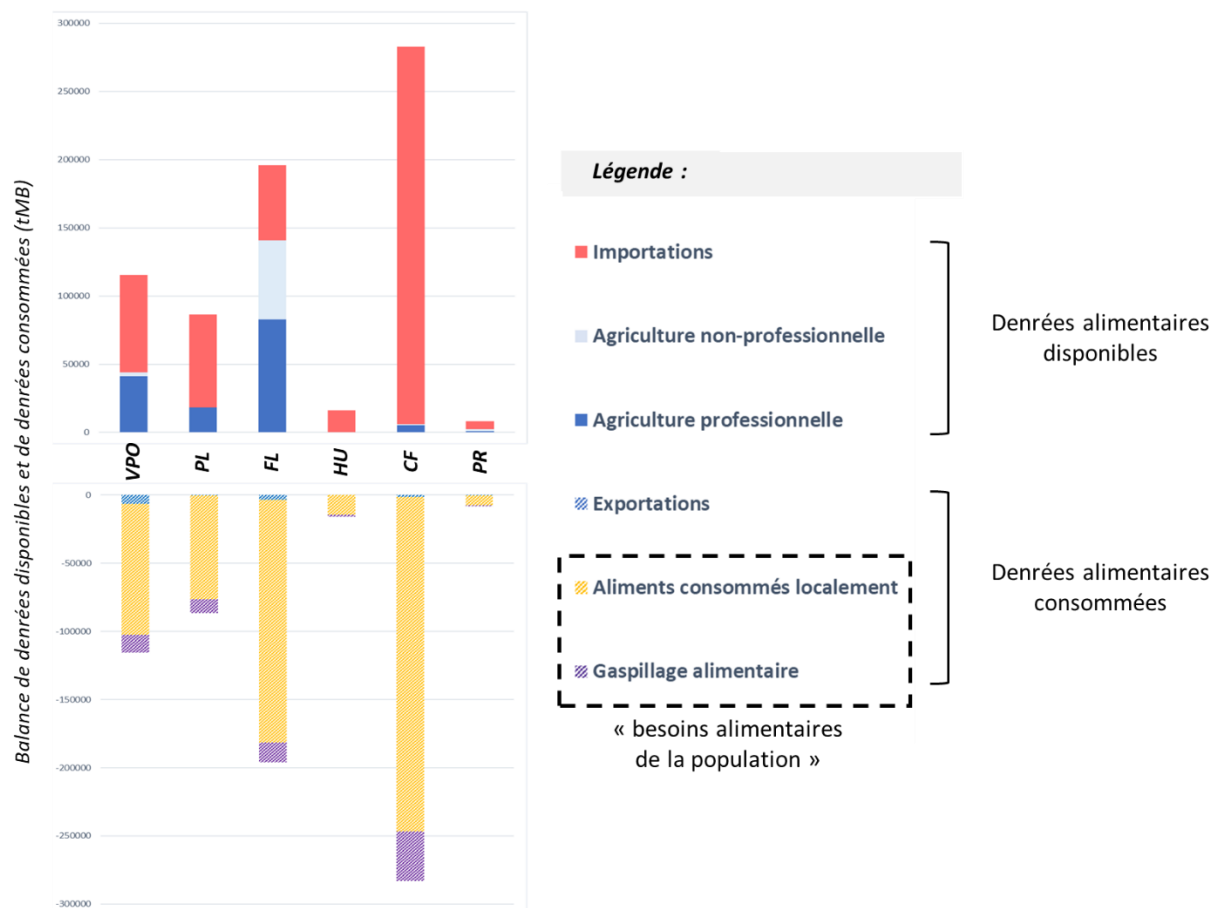


Figure 16 : Balance des denrées disponibles et consommées sur le territoire d'étude selon 6 catégories alimentaires en 2019. VPO : viandes, poissons et œufs ; PL : produits laitiers ; FL : fruits et légumes frais ; HU : huiles ; CF : céréales et autres féculents ; PR : protéagineux (source : auteur ; données : DAAF Réunion, douanes Réunion, IEDOM, INSEE, ADEME).

Les besoins et les productions du cheptel

Le cheptel est implémenté dans le modèle *ProdAgri* sous la forme d'un jeu de données au sein d'une structure qui dépend de l'entité territoire comme décrit sur la **Figure 15**. Les informations relatives au cheptel ne sont donc pas géolocalisées comme le sont les productions végétales. L'ensemble du cheptel est défini par plusieurs paramètres : (i) le nombre et la diversité des animaux d'élevage ; (ii) les besoins alimentaires par catégorie animale ; (iii) les productions alimentaires par catégorie animale et (iv) les productions d'effluents par catégorie animale.

Premièrement, afin de faciliter les calculs du modèle relatifs à l'élevage, le cheptel est défini comme un ensemble de 9 catégories animales et la taille pour chacun de ces sous-cheptels est mesurée en unité de gros bétail (UGB). Les différentes catégories sont : les bovins laitiers, les bovins viande, les porcins, les poulets de chair, les poules pondeuses, les lapins, les ovins/caprins, les cervidés ainsi que

les chevaux. Le calibrage des tailles de sous-cheptel est tiré pour les polygastriques ruminants de l'étude de Magnier (2019). La taille de cheptel pour les autres catégories est estimée en croisant des valeurs moyennes d'UGB/animal (Institut de l'agriculture durable, 2021) avec des données des filières locales et de la DAAF Réunion.

Deuxièmement, en ce qui concerne l'alimentation, les besoins en fourrages sont directement tirés de Magnier (2019) mais les besoins en concentrés protéiques et glucidiques sont calculés au cas par cas pour chaque catégorie animale. Dans ce cas, le principe est le même : d'une part, disposer des apports totaux de concentrés par animal, d'autre part, renseigner la fraction protéique et la fraction glucidique de ces apports afin de calculer un besoin annuel pour chaque catégorie en concentrés protéiques et glucidiques. Pour les poulets de chair et les porcins, l'estimation de la quantité de concentrés apportée par animal est réalisée en utilisant la formule générique :

$$Q_{concentrés} = I_c * (P_{abattage} - P_{entrée})$$

$Q_{concentrés}$: Quantité de concentrés apportée en tonne matière sèche

I_c : Indice de consommation

$P_{abattage}$: Poids à l'abattage (kg)

$P_{entrée}$: Poids de l'animal à son entrée dans la phase d'apport de concentrés (kg)

Pour les autres catégories, les pratiques d'apports totaux de concentrés sont tirés des référentiels de la chambre d'agriculture de La Réunion ou le cas échéant, de recommandations pour d'autres contextes tropicaux pour les lapins (Djago et al., 2012), les cervidés (Grimaud, 2007) et pour les poules pondeuses (Chambre d'agriculture de Guadeloupe & Chambre d'agriculture de Guyane, 2021). Les compositions moyennes des rations permettant de distinguer fraction glucidique et fraction protéique sont généralement tirées de données d'élevage de France métropolitaine (Devun et al, 2014 ; Réseaux équins de Normandie, 2011 ; Camilla, 2022 ; Celagri, 2021 ; Lebas & Menini, 2017) sauf pour les cervidés car il s'agit de l'espèce tropicale *Cervus timorensis russa* (Grimaud, 2007).

Troisièmement, les productions alimentaires du cheptel sont de 3 types : de la viande (quantifiée en tonne équivalent carcasse), des œufs (convertis en tonne équivalent ovoproduit) et du lait (quantifié en tonne matière brute). Les masses de ces productions à l'échelle du territoire sont tirées de recensements administratifs (DAAF Réunion, 2020 a), exceptés pour les cervidés dont les estimations de production sont recueillies de Grimaud (2007). On ramène dans tous les cas les valeurs à l'échelle du territoire ou par animal à des valeurs par UGB pour chaque catégorie animale.

Quatrièmement, on utilise les volumes d'effluents calculés par Kleinpeter & Vayssières (2019) à l'échelle du territoire : en supposant que le cheptel a peu évolué entre 2016 et 2019, on estime ainsi une production d'effluents par UGB en utilisant les tailles du cheptel de 2019. Les lapins et les cervidés ne sont pas couverts par l'étude de 2016. Pour les premiers, on utilise les volumes de fumiers de lapins recensés par Chabalier et al. (2006) qu'on adapte pour l'année 2019 en fonction de la baisse observée de production de carcasses de lapins (en estimant qu'il s'agit du reflet de la taille du cheptel) (DAAF Réunion, 2020 a). On néglige la contribution des seconds dans la mesure où leurs effluents ne sont ni mobilisables pour être exportés (aucune mention de valorisation de ces effluents pour la fertilisation), ni fertilisant directement une prairie par pâturage car cela ne correspond pas au mode d'élevage de ces animaux (Grimaud, 2007).

L'ensemble des valeurs calibrées pour l'année 2019 utilisées dans le modèle afin de simuler le cheptel du territoire et les biomasses qu'il produit sont disponibles dans **l'Annexe 3.B**.

Une analyse spatialisée nécessaire pour les différentes productions végétales

En raison de la diversité microclimatique du territoire (voir en I.2.1), il n'est pas possible d'attribuer un rendement et un besoin en azote de manière uniforme aux productions végétales de l'île pour faire fonctionner le modèle *ProdAgri*. Hormis la mélasse dont la production totale est quantitativement négligeable par rapport à d'autres biomasses, une réflexion sur la spatialisation des rendements et des besoins d'apport en fertilisation azotée a été conduite pour 3 types de productions végétales du territoire : (i) la bagasse de canne à sucre, (ii) les fourrages, incluant également la paille de canne à sucre et (iii) les productions horticoles alimentaires (issues du maraichage et des vergers).

Premièrement, la bagasse de canne à sucre qui constitue une fraction fibreuse de la récolte totale de canne à sucre dite « usinable » est une ressource qui est mesurée en différents points du territoire (« balances de canne ») lors de la pesée des chargements avant livraison aux deux usines sucrières de l'île. En faisant l'hypothèse que les exploitations cannières réalisent la pesée de leur production à la balance la plus proche, un programme simple sous Ocelet a été établi pour affecter à toutes les parcelles de canne de la CCUS-2019 le taux de fibres moyen mesuré à la balance la plus proche. Une moyenne de ce taux de fibres est calculée sur les 5 dernières années avant 2019 (CTICS, 2019). En parallèle, grâce à une carte des rendements prédictifs de la canne à sucre à l'échelle de l'île (Martiné & Todoroff, 2002) intersectée par une carte des périmètres irrigués afin d'associer la valeur pluviale ou irriguée du rendement de canne (Département de La Réunion, 2016), il est possible de reconstituer une nouvelle carte des rendements de bagasse (disponible à **l'Annexe 3.C**) selon la formule suivante [SPE/03] :

$$R_{bagasse} = \frac{R_{canne} * T_{fibres}}{T_{humidité}}$$

$R_{bagasse}$: Rendement de bagasse (tonne de matière brute / hectare)

R_{canne} : Rendement en canne usinable (tonne de matière brute / hectare)

T_{fibres} : Taux de fibres

$T_{humidité}$: Taux d'humidité de la bagasse (50% selon [SPE/03])

Par la suite, pour estimer les besoins en fertilisation azotée des parcelles à partir de leur rendement moyen, on s'appuie sur la recommandation « moins que proportionnelle » tirée de Fillols & Chabaliér (2007) qu'on supplémente éventuellement pour compenser l'azote contenu dans la paille de canne exportée (voir au paragraphe suivant) en considérant 1,355 kg d'azote disponible par tonne de matière sèche d'azote selon la source précédente. La spatialisation des recommandations d'apport en azote « disponible » pour les parcelles de canne à sucre du territoire est présentée en **Annexe 3.D**.

Deuxièmement, on se base sur les données spatiales de Lorré et al. (2020) pour attribuer des rendements de production de fourrage aux prairies du territoire. De plus, la paille de canne, qui est un résidu de culture de la canne à sucre, peut être utilisée dans l'élevage, à la fois comme litière et comme ressource fourragère complémentaire (Kleinpeter & Vayssières, 2019). Le plus souvent laissée au sol dans les exploitations par bénéfice agronomique et/ou difficulté de mobilisation de la ressource, le rapport de Lorré (2019) identifie les parcelles exportatrices ainsi que les volumes globaux de paille : ceci nous permet d'estimer des rendements pour les parcelles de prairies de la CCUS-2019. Concernant la fertilisation azotée des prairies, on se base sur les recommandations de Chabaliér et al. (2006) en corrigeant la fertilisation de certaines parcelles, nulle selon Lorré et al. (2020).

Troisièmement, les rendements et les besoins en fertilisation azotée à associer aux surfaces de cultures horticoles alimentaires (maraichage et vergers) sont des valeurs complexes à estimer en raison de la diversité et de la méconnaissance des espèces cultivées. Cette question a ainsi fait l'objet d'un encadrement de stage en parallèle de la seconde année de thèse (Sinico, 2021) aboutissant à la publication de cartes de zones de production maraichères et fruitières (en fonction des espèces majoritairement cultivées) avec estimations moyennes de rendements et de recommandations d'apports en azote (Sinico et al., 2022). De plus, dans chaque zone de production on distingue 3 rendements : la production de fruits et légumes frais, la production de féculents et la production de protéagineux. Ces données sont attribuées aux parcelles horticoles de la CCUS-2019 en fonction de leur position géographique, les éventuelles parcelles hors zones de production identifiées étant rattachées à la zone la plus proche. On prend soin de corriger rendements et recommandations

d'apport en azote par la part de surfaces horticoles annuellement en jachère, c'est-à-dire « entre la récolte d'une culture et le moment de la mise en place de la culture suivante » (Sébillote, 1977). On estime que 25,2% de la surface d'horticulture alimentaire est annuellement en jachère à partir du recensement des surfaces agricoles de la DAAF Réunion (2020 a).

Les biomasses non agricoles et la production électrique

Un certain nombre de biomasses non agricoles sont prises en compte dans les calculs d'indicateurs d'autosuffisance de *ProdAgri*. Dans le modèle, une partie seulement de ces biomasses est corrélée, parfois indirectement, à l'usage des sols. Les autres possèdent des valeurs prédéterminées et correspondent à des variables contraintes externes (voir **Figure 15**).

Premièrement, les biomasses corrélées à l'usage des sols sont soit des biomasses industrielles (vinasses de distillerie et écumes de sucrerie), soit des biomasses d'origine urbaine (biodéchets aussi désignés comme fraction fermentescible des ordures ménagères, et déchets végétaux). On renseigne les volumes produits en 2019 à partir des estimations des gisements mobilisables de la SPL Horizon Réunion (2017 a ; 2017 b). Pour les biomasses d'origine urbaine, on calcule une valeur par hectare de tache urbaine en faisant l'hypothèse, pour la suite de notre travail, qu'une évolution de la tache urbaine entraînerait une évolution des volumes produits de ces biomasses urbaines.

Deuxièmement, un ensemble d'autres biomasses ne sont pas liées dans le modèle à un quelconque usage des sols. D'abord, l'affouragement vert qui correspond à une ressource de fourrage glanée sur les bords de routes et dans certaines zones de friches. Son emprise spatiale étant difficile à établir, on considère simplement cette ressource comme un supplément à la ressource fourragère produite par les prairies et on utilise l'estimation de son volume réalisée par Magnier (2019). Ensuite, les produits de la pêche qui constituent une ressource alimentaire pour le territoire sont quantifiés par l'ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022). De plus, on ajoute une ressource de bois de palette qui est un déchet industriel en se basant sur les estimations de la SPL Horizon Réunion (2017 a ; 2017 b). Enfin, en se basant sur les mêmes sources, on calibre la production de boues de STEP qu'on ramène à la population en faisant l'hypothèse pour la suite de notre travail que cette biomasse est corrélée à la taille de la population.

Enfin, un ensemble de facteurs de conversion sont utilisés dans le modèle pour calculer les quantités d'électricité issue des biomasses considérées comme valorisables en électricité selon la SPL Horizon Réunion (2017 a ; 2017 b) : bagasse, biodéchets et mélasse distillée en bioéthanol. Les mêmes rapports ont été utilisés pour implémenter dans le modèle les valeurs de la production électrique locale hors bioélectricité (les sources majoritaires étant, par ordre décroissant : l'hydroélectricité, le solaire

photovoltaïque et l'éolien). On peut souligner par ailleurs, que d'autres gisements de biomasses valorisables en électricité sont identifiés dans lesdits rapports. Néanmoins, ces gisements ont été considérés comme quantitativement négligeables et ne sont pas pris en compte dans notre étude. L'ensemble des valeurs calibrées des volumes de biomasses non agricoles pour l'année 2019 et les coefficients de conversion en bioélectricité sont présentés dans l'**Annexe 3.E**.

3. Simulation de taux de couverture alimentaire et électrique en 2019

3.1 Résultats comparés à d'autres données secondaires

Comparaison des grandeurs simulées aux données existantes

Les variables simulées dans *ProdAgri* correspondent à des volumes disponibles et consommés de matière et d'énergie à l'échelle du territoire. Lors d'une première phase de test du modèle, on cherche à comparer ces grandeurs simulées à des données de référence lorsque ces dernières existent. Dans d'autres cas, des variables de sortie du modèle sont construites directement à partir de quelques données de référence et il n'existe aucune autre donnée pour vérification.

Ainsi lorsque cela est possible, on compare les données simulées dans *ProdAgri* à des données de référence ou calculées à partir d'autres données de la bibliographie pour l'année 2019 ou une année proche le cas échéant. La **Figure 17** présente ces comparaisons pour 10 variables du modèle. Notons que sur ce graphique, seules sont représentées les variables relatives à la production de biomasse. En effet, le reste des grandeurs calculées dans le modèle dépend de leur valeur : par exemple, le volume des gisements de biomasse est d'abord simulé avant d'être converti en bioélectricité.

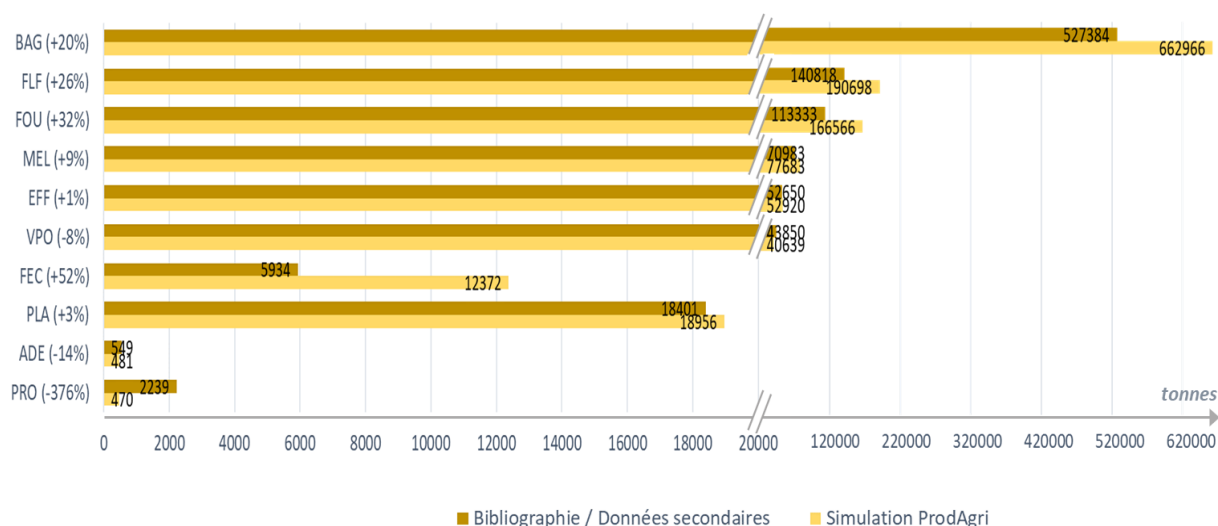


Figure 17 : Comparaison des résultats de simulation à la bibliographie pour les variables relatives à la production de biomasse dans *ProdAgri*. Pour chaque variable, le pourcentage de différence entre la valeur simulée et la valeur « bibliographie / données secondaires » est indiquée entre parenthèses. Sources pour valeur « Bibliographie / Données secondaires » : BAG (bagasse) (SPL Horizon Réunion, 2020) ; FLF (fruits et légumes frais), VPO (viandes, poissons, œufs), FEC (féculents), PLA (produits laitiers), PRO (protéagineux) (DAAF Réunion, douanes Réunion, IEDOM, INSEE, ADEME) ; FOU (fourrages) (Kleinpeter & Vayssières, 2019 ; Magnier, 2019 ; Lorré, 2019) ; MEL (mélasse) (Cultures sucre, 2020) ; (EFF) effluents et ADE (azote disponible des effluents) (Kleinpeter & Vayssières, 2019). Les valeurs pour MEL et FOU sont en tonne matière sèche, la valeur pour la catégorie VPO est en tonne équivalent carcasse, la valeur de ADE des effluents est en tonne équivalent engrais minéral (téq.NH3) et les autres valeurs sont en tonne matière brute (réalisation : auteur).

Un calage des rendements nécessaire pour les productions végétales

D'après la **Figure 17**, les données simulées montrent généralement un faible écart avec les valeurs de référence hormis pour 5 biomasses avec un écart à la référence supérieur à 10% : l'azote disponible des effluents d'élevage (-14%) et 5 autres productions végétales, la bagasse (+20%), les fourrages (+32%), les fruits et légumes frais (+26%), les féculents (+52%) et les protéagineux (-376%). Hormis cette dernière biomasse, on remarque que *ProdAgri* surestime généralement les productions végétales disponibles et ces écarts sont analysés dans les paragraphes suivants. En ce qui concerne l'azote disponible des effluents d'élevage, la différence s'explique par la prise en compte dans notre étude d'une fraction non manipulable de lisier porcin orienté en filière de dénitrification plutôt qu'en valorisation agronomique.

Premièrement, cela peut s'expliquer par des incertitudes sur les surfaces allouées à ces différents usages du sol, notamment sur les cultures horticoles alimentaires comme souligné en III.1.3. Les données simulées surestimées sembleraient indiquer que les surfaces réelles sont moindres que celles

identifiées dans la CCUS-2019, mais cette explication est incertaine car d'autres facteurs peuvent expliquer cette différence. Deuxièmement, il y a une forte incertitude sur la production de référence de protéagineux pour 2019 : la valeur fournie a été déduite du rythme d'évolution de la consommation alimentaire de légumes (INSEE, 2015) appliquée à une consommation de référence de « légumes à cosse » datant de 2010 (IEDOM, 2011). Troisièmement, le caractère « *sous-exploité* » de beaucoup de surfaces dédiées à l'horticulture alimentaire a été souligné en entretien : « *on est loin des rendements optimaux* » [SCV/10]. La différence entre production simulée et production de référence reflèterait donc aussi, en partie, cette sous-utilisation des terres horticoles associées à des pratiques agricoles qui auraient tendance à maintenir des rendements inférieurs à leur potentiel. Quatrièmement, la production de fourrage simulée est supérieure aux estimations de Lorré (2019) qui reposent pourtant sur les mêmes données de parcellaire et de rendements que ceux implémentés dans notre modèle (voir III.1.2). Le différentiel de 32% constaté semble réaliste au regard de l'amplitude des pourcentages possibles de pertes par parcelle recensés dans l'étude susmentionnée et non intégrés dans nos calculs.

En raisonnant de manière similaire sur les autres productions végétales, on réalise un calage des données implémentées dans *ProdAgri* permettant de prendre en compte les pertes dues aux différents facteurs évoqués dans les paragraphes précédents. Les facteurs correctifs implémentés dans le modèle sont rassemblés dans le **Tableau 3** et permettent de faire coïncider les productions végétales simulées avec leur valeur de référence. Pour une partie des productions végétales concernées, on estime au vu des discussions précédentes que le différentiel constaté entre simulation et référence est dû à un différentiel de surfaces : le coefficient de calage s'applique alors à la fois au rendement et au calcul des besoins en fertilisation azotée. On n'applique pas de coefficient de calage à la production de protéagineux, estimant qu'il y a trop d'incertitudes sur la valeur de référence : on conserve donc la valeur simulée pour cette variable.

Variable (production de)	Bagasse	Fruits et légumes frais	Fourrages	Féculents
Coefficient de calage	0,80	0,74	0,68	0,48
Azote concerné ?	non	oui	non	oui

Tableau 3 : Coefficients de calage correctifs des rendements et d'une partie des besoins en fertilisation azotée des cultures végétales dans le modèle *ProdAgri* (source : auteur).

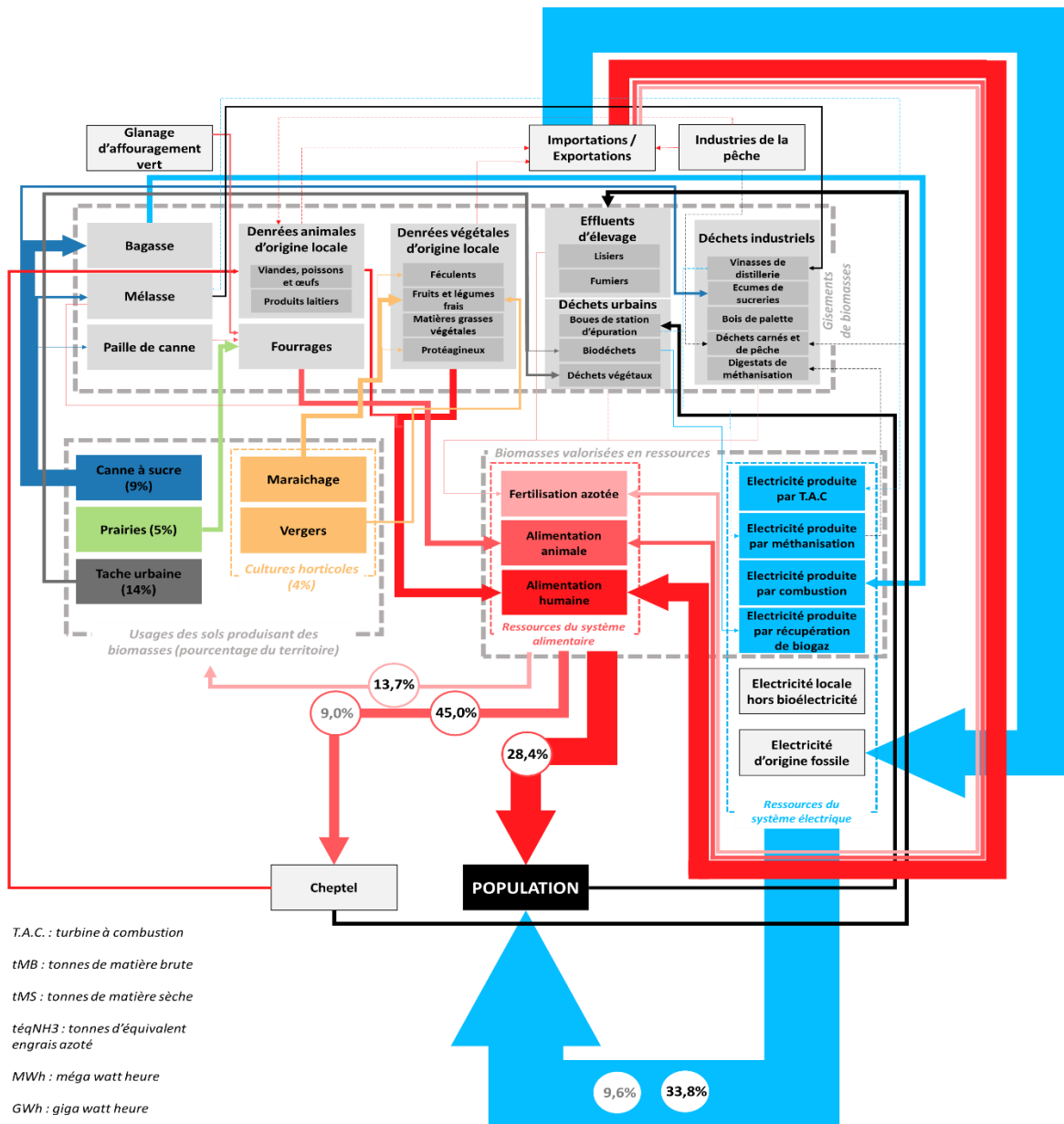
Bilan des biomasses produites et des indicateurs d'autosuffisance simulés par ProdAgri pour 2019

Une fois les coefficients de calage implémentés, on peut simuler une image définitive du territoire dans *ProdAgri* pour l'année 2019. Les variables simulées sont comparées aux besoins du territoire et permettent de dresser un diagnostic du degré d'autonomie alimentaire-électrique du territoire sous la forme d'indicateurs décrits en III.2.1. Ainsi en 2019 et sur le plan alimentaire, l'île de La Réunion couvre par sa production locale (en masse) : (i) 28,4% des besoins alimentaires de sa population, (ii) 45,0% des besoins en alimentation de son cheptel global mais seulement 9,0% des aliments se substituant à des concentrés glucidiques et protéiques et (iii) 18.5% des besoins recommandés en azote disponible (ou équivalent engrais minéral) pour l'agriculture. Sur le plan électrique, l'île de La Réunion couvre par sa production locale (en masse) : (i) 29,1% de ses besoins électriques, toutes sources de productions locales confondues, et (ii) 9,2% de ces mêmes besoins par sa seule production bioélectrique.

L'ensemble de ces indicateurs ainsi que les masses de biomasses et les volumes d'électricité mis en jeu dans le modèle *ProdAgri*, avec ses calibrages définitifs, sont présentés dans la **Figure 18**. De plus, le chiffrage des flux de matière et d'électricité représentés sur ce schéma sont détaillés dans **l'Annexe 4**. Par ailleurs, Les $TC_{\text{alimentaire}}$ simulés pour chaque catégorie de denrée alimentaire ne figurent pas sur le schéma et sont indiqués en complément dans le **Tableau 4**.

Catégorie de denrée	Féculents	Fruits et légumes frais	Viandes, poissons, œufs	Produits laitiers	Huiles végétales	Protéagineux
Taux de couverture (%)	2,1	71,5	31,3	22,0	0,0	5,8

Tableau 4 : Taux de couverture alimentaire simulés dans le modèle *ProdAgri* pour chaque catégorie de denrée alimentaire en 2019 (source : auteur).



T.A.C. : turbine à combustion
 tMB : tonnes de matière brute
 tMS : tonnes de matière sèche
 téqNH3 : tonnes d'équivalent engrais azoté
 MWh : méga watt heure
 GWh : giga watt heure

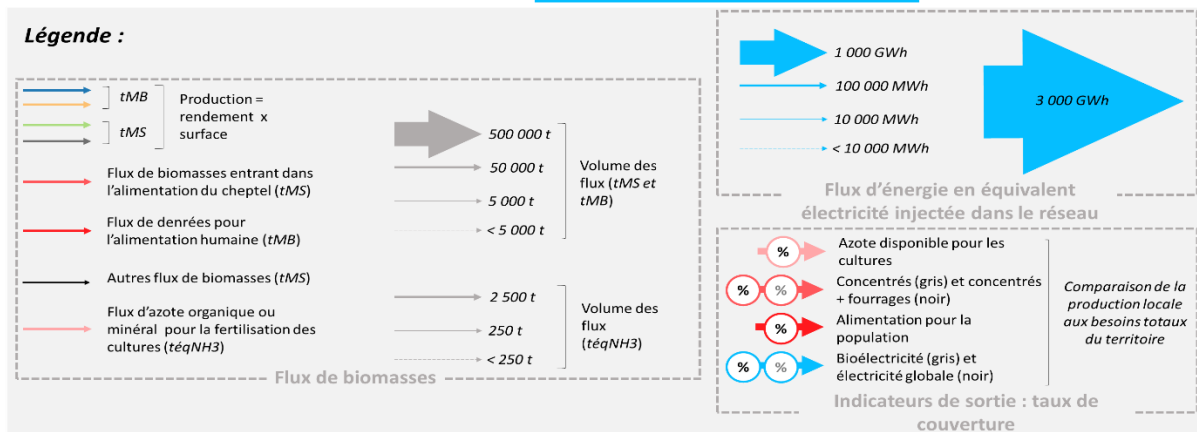


Figure 18 : Usages du sol, biomasses disponibles et leurs voies de valorisation ainsi qu'indicateurs d'autosuffisance alimentaire-électrique simulés dans le modèle *ProdAgri* pour l'année 2019 à l'échelle du territoire d'étude (source : auteur).

3.2 Apports et limites de *ProdAgri* pour estimer des indicateurs d'autonomie alimentaire-électrique

Le modèle *ProdAgri* présente plusieurs originalités par rapport à des travaux similaires. Premièrement, en raisonnant à partir de différents types de flux simultanément (énergie, masse de matière, équivalent azote disponible), le modèle s'intéresse à plusieurs dimensions de l'autosuffisance alimentaire-électrique grâce à une palette d'indicateurs présentés en III.2.1. Les autres travaux traitant d'autosuffisance s'organisent généralement autour d'un seul ou d'un petit nombre d'indicateurs, traitant uniquement de la question alimentaire ou énergétique (Clapp J., 2016 ; Al Katsaprakakis D. & Voumvoulakis M., 2018) et plus rarement des deux dimensions. Dans ce second cas, Kim et al. (2015) font le lien entre usages du sol et indicateurs d'autosuffisance alimentaire-électrique à l'échelle insulaire mais sans prendre en compte un certain nombre d'autres biomasses urbaines et industrielles considérées dans notre cas d'étude. En revanche, leur étude englobe une acception plus large de l'énergie par la prise en compte de la question des carburants alors que notre travail se limite à l'électricité.

Les indicateurs choisis dans notre étude s'appuient par ailleurs sur 3 différentes unités (tonnes, tonnes équivalent azote disponible et mégawatt heures), au contraire d'autres travaux semblables qui convertissent les différents flux en une unité unique comme la masse d'azote (Kleinpeter et al., 2023 ; Billen et al., 2019) ou l'énergie (Gasparatos A., 2011). Le choix de manier différents flux exprimés dans différentes unités dans *ProdAgri* donne un avantage de communicabilité aux résultats lors des différentes phases participatives (voir en II.2.1.). Par exemple, convertir les masses d'aliments en unités énergétiques auraient certainement représenté une barrière à la compréhension pour une partie des acteurs du secteur de l'alimentation. En revanche, ce choix complique la comparaison entre ces flux exprimés dans des unités différentes (ce point est également discuté en V.3.1).

De manière générale, les travaux de métabolisme territorial qui questionnent l'autosuffisance se distinguent de notre approche par leur prise en compte exhaustive des flux existants sur un espace géographique donné (Kleinpeter et al., 2023 ; Barles, 2014 ; Gasparatos, 2011). Cette exhaustivité est aussi de mise dans les études des couplages des processus alimentaires et énergétiques, dans le cadre de nexus alimentation-énergie (Bazilian, 2011). Or, dans notre étude un certain nombre de flux de biomasses considérées comme négligeables ne sont pas étudiés (voir en III.2.2), de même que l'essentiel des pertes, hors gaspillage alimentaire. De plus, certains couplages entre alimentation et

énergie sont absents de notre étude, en particulier, le coût énergétique de la production agricole (direct pour les carburants par exemple, ou indirect comme pour les engrais).

Néanmoins, en dépit de ses limites en termes d'exhaustivité, notre modèle apporte une dimension neuve vis-à-vis des approches présentées ci-dessus de métabolisme territorial et de nexus : une composante spatialement explicite dans l'origine d'une partie des flux de matières et d'énergie en fonction de l'usage des sols.


Enfin, une dernière limite de *ProdAgri* concerne son exclusive validité au cas de l'île de La Réunion en raison des calibrages réalisés et des usages du sol considérés. De fait, le contrôle du fonctionnement du modèle ne peut s'opérer que par confrontation à des études locales. Un sujet de stage (Hittner-Sanchez, 2022) ayant porté sur le métabolisme territorial de l'île peut néanmoins être utilisé comme point de comparaison avec une partie des indicateurs produits dans notre modèle. Dans cette étude le taux de couverture alimentaire calculé est de 17% pour la population (32,0% dans notre étude) et de 39% pour le cheptel (45,0% dans notre étude). Le taux de couverture des besoins en fertilisation azotée y est de 11% pour la seule contribution des effluents d'élevage (10,0% dans notre étude en ne considérant que l'élevage également, 16,3% toutes sources considérées). Les différences de résultats observées pour les taux de couverture alimentaire sont compréhensibles dans la mesure où l'étude citée raisonne en termes de coût énergétique. Ainsi, des productions locales qui sont importantes en termes de masses (fruits et légumes pour l'alimentation humaine d'une part, fourrages d'autre part) mais avec un contenu énergétique relativement faible, apparaissent mieux contrebalancer l'import dans notre étude que des denrées avec un contenu énergétique élevé pour leur masse (féculents de l'alimentation humaine par exemple et concentrés glucidiques et protéiques de l'alimentation animale). D'autres travaux raisonnant en masse comme dans notre étude ont proposé d'autres estimations du taux de couverture alimentaire : 23% selon ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022) et 53% selon DAAF Réunion (2017 a). On peut expliquer l'écart avec notre résultat par la différence avec la composition de l'assiette et la non prise en compte du gaspillage alimentaire dans le premier cas, tandis que seule une partie des denrées consommées sont considérées dans le second cas. Sur le plan électrique, les valeurs obtenues dans *ProdAgri* sont proches des observations de SPL Horizon Réunion (2020) : 31,2% de taux de couverture électrique global (31,6% dans notre étude) et 8,6% de taux de couverture par de la bioélectricité (9,0% dans notre étude).

CONCLUSIONS DU CHAPITRE III :

Dans ce chapitre, on a détaillé l'élaboration et les résultats de *ProdAgri*, un modèle déterministe qui évalue plusieurs aspects de l'autosuffisance alimentaire-électrique de notre territoire d'étude, pour une année précise (2019 dans notre cas). Ce modèle repose sur un ensemble de données d'entrée, dont une **cartographie corrigée d'usage des sols** qui constitue un apport original de notre travail. Cette carte, construite par compilation de données spatiales existantes permet de faire le **lien entre l'usage des sols d'une part, et un ensemble d'indicateurs simulés d'autosuffisance d'autre part**. Ces indicateurs recouvrent plusieurs dimensions de notre objet d'étude alimentaire-électrique : **l'alimentation humaine et animale, la fertilisation azotée des cultures et la satisfaction des besoins en électricité**. En complément des données spatiales, un ensemble d'autres paramètres, calibrés essentiellement selon la bibliographie, permettent le calcul de ces indicateurs de sortie. Ce travail correspond au premier objectif de cette thèse tel que défini au Chapitre I.

Les premières simulations montrent un écart important pour certains flux de biomasses entre les données de la bibliographie et les données simulées. Cela donne lieu à une **phase circonstanciée de calage** pour les biomasses concernées, permettant de corriger des imprécisions du modèle. Les résultats définitifs de *ProdAgri* permettent de prendre la mesure des différents flux de matières et d'énergie ayant un rôle dans le degré d'autosuffisance du territoire. Les indicateurs d'autosuffisance qui en découlent illustrent une situation contrastée selon la dimension d'autosuffisance qui est analysée. Malgré ces disparités, **l'image globale reste cependant celle d'un territoire avec un faible degré d'autonomie alimentaire-électrique en 2019**.

Ces premiers résultats sont un point de départ, un **diagnostic de la situation initiale de notre territoire d'étude**. Cette situation initiale est susceptible d'évoluer d'année en année, sous l'effet de processus, et permettre ainsi au territoire de s'inscrire dans une dynamique d'autonomisation. Dans les deux derniers chapitres de cette thèse, c'est ce potentiel d'autonomisation du territoire qui va être questionné.



Chapitre IV :
Co-construction et modélisation de
scénarios d'autonomisation à
horizon 2040

Le Chapitre III a abouti à l'élaboration d'un premier modèle spatial statique (*ProdAgri*) permettant de relier une carte de l'usage des sols du territoire d'étude à des indicateurs d'autosuffisance alimentaire-électrique. Dans le Chapitre IV, nous nous intéressons aux processus qui apportent de la dynamique à cet état initial du territoire à partir de « facteurs de changement » préalablement identifiés à dire d'acteurs. Cela rend possible la construction d'un nouveau modèle spatial et dynamique pour simuler et explorer des trajectoires possibles d'autonomisation alimentaire-électrique de l'île. La méthodologie générale centrée sur des enquêtes et permettant d'aboutir successivement à une liste de facteurs de changement, processus, hypothèses d'anticipation et enfin scénarios est détaillée dans le Chapitre II.

1. Modèle conceptuel de l'autonomisation alimentaire-électrique à La Réunion à partir de facteurs de changement

1.1 Identification des facteurs de changement essentiels

Vingt facteurs de changement spécifiques au contexte local...

Comme décrit en II.2.2, c'est la méthode de « l'analyse structurelle » qui est employée pour identifier, au travers d'entretiens et d'ateliers avec des acteurs du territoire, les différents facteurs de changement responsables des dynamiques de notre objet d'étude. Pour rappel, un facteur de changement correspond à « toute force qui est source de changement, influençant et modifiant le futur, et donc également la constitution et l'évolution du système d'étude » (Bourgeois et al., 2017 ; Zahraei et al., 2019 ; Bourgeois & Jesus, 2004).

Ainsi, le **Tableau 5** décrit les 20 facteurs de changement identifiés comme exerçant une influence avérée ou potentielle sur le degré futur d'autonomie alimentaire-électrique du territoire d'étude.

Nom	Code	Définition
Morcellement et spéculation foncière	FRAGL	Phénomènes de spéculation et de morcellement ou au contraire de conservation du foncier et impact sur les usages du sol dans le temps.
Enrichissement / récupération de friches agricoles	FALCO	Gain net de surfaces agricoles par conversion de friches agricoles, caractéristiques des friches et devenir agricole de ces zones.

Protection des espaces naturels	NATCO	Impact des dispositifs de protection des espaces naturels (dits naturels au titre d'un statut de protection ou de gestion) sur les possibilités d'usages du sol (exemple : remise en cultures de friches actuellement classées N dans le Parc).
Photovoltaïque au sol et agrivoltaïsme	SOLAR	Part d'installation de photovoltaïque sur des surfaces agricoles et caractéristiques de la production agricole éventuellement associée.
Systèmes de cultures horticoles alimentaires	FOSYS	Toute évolution des systèmes horticoles alimentaires (maraichers et vergers) se traduisant par un impact sur les rendements, le type et le besoin en fertilisation, la nature nutritionnelle des productions, la surface occupée, les zones d'implantation, l'impact sur les ressources naturelles, etc.
Systèmes fourragers	PASYS	Toute évolution dans la conduite des prairies se traduisant par une évolution de leurs rendements ou de leur localisation.
Systèmes canniers	CASYS	Toute évolution des systèmes canniers se traduisant par une modification des rendements en biomasse valorisables en énergie, des surfaces occupées, la fertilisation ou les ressources naturelles.
Etalement urbain	URBAN	Conséquence de l'urbanisation en termes d'artificialisation des terres agricoles et des espaces naturels.
Ressources (eau et sol) pour l'agriculture	NATRE	Qualité des sols ainsi que disponibilité en eau (retenues collinaires, périmètres irrigués) pour l'agriculture.
Autres réglementations et politiques publiques	OPPOL	Toute réglementation ou politique publique impactant les pratiques agricoles (fertilisation, rendement, etc.), le foncier (dispositifs de protection du foncier, etc.) ou les taux de couverture (réglementation sur les importations par exemple) et ne pouvant être associée à aucun autre facteur de changement.

Valorisation électrique des biomasses	BIOEL	Part de bioélectricité dans le mix électrique ainsi que ses caractéristiques : nature des gisements locaux, taille de leur empreinte au sol le cas échéant.
Habitudes de consommations individuelles	CONSO	Consommation individuelle en électricité, en aliments (par catégorie nutritionnelle), en aliments locaux pour une catégorie nutritionnelle donnée et gaspillage alimentaire par personne.
Démographie	POGRO	Evolution de la population globale du territoire.
Contraintes de réseau et composition du mix électrique hors biomasse	ELMIX	Toute évolution des ratios des différentes sources primaires dans le mix électrique global du territoire en tenant compte de différentes contraintes (économique, technique comme le seuil de déconnexion, etc.).
Gestion des effluents et autres matières fertilisantes	WASMA	Devenir global des matières fertilisantes produites sur le territoire (effluents et déchets agricoles, industriels ou urbains) et conséquence sur la disponibilité locale de matières fertilisantes pour les cultures, ou valorisables en énergie ainsi que sur le besoin en grandes cultures pour l'épandage.
Systèmes d'élevages	LISYS	Toute évolution de l'élevage en termes de taille, composition ou caractéristiques (consommation alimentaire et production d'effluents par exemple) à échelle territoriale.
Ressources et freins du monde agricole face à la transition	ADAPT	Capacité des acteurs agricoles à faire évoluer l'ensemble de l'agriculture sous l'action combinée d'enjeux économiques, d'opinions, de formation, de main d'œuvre, etc.
Discours politiques et opinion publique	POLDI	Discours politiques associé à une opinion publique dominante ainsi que leurs impacts sur l'objet d'étude, notamment en termes d'usage des sols.
Gouvernance territoriale et relations entre acteurs	GOVET	Capacité des acteurs territoriaux à s'entendre sur un projet global de territoire et conséquences de ce projet sur l'objet d'étude, notamment en termes d'usage des sols.

Caractéristiques de la transformation et de la distribution alimentaire	DISTR	Etat des chaînes locales de transformation et de distribution des denrées alimentaires faisant le lien entre production locale et importations d'une part, et besoins des consommateurs d'autre part
---	-------	--

Tableau 5 : Les facteurs de changement identifiés comme ayant un impact sur l'autonomie alimentaire-électrique de La Réunion. Les facteurs en gras correspondent aux facteurs finalement mobilisés dans l'étude, soit parce qu'ils sont reconnus « essentiels » (voir IV.1.1), soit parce que leur implémentation apparaît indispensable à la logique du modèle conceptuel a posteriori (voir IV.1.2) soit parce qu'ils sont qualitatifs mais mobilisés indirectement via la co-construction à dire d'acteurs de scénarios (voir IV.1.1) (source : auteur).

...Dont dix apparaissent essentiels dans le cadre de notre étude

Comme expliqué dans la méthodologie en II.2.2, on utilise un graphique d'influence-dépendance pour analyser le rôle de chaque facteur de changement dans la dynamique du système d'étude. Les facteurs de changement qui y apparaissent classés comme « *Input* », « *Stakes* » et « *Regulators* » constituent a priori des facteurs dits essentiels. D'après la **Figure 19**, les facteurs de changement essentiels de notre objet d'étude sont au nombre de 14 (en y incluant également les facteurs à l'interface entre 2 classes dont l'une à caractère essentiel) : OPPOL, POLDI, ADAPT, NATCO, GOVET, FALCO, SOLAR, BIOEL, NATRE, URBAN, FOSYS, CASYS, PASYS et LISYS. Par ailleurs, les matrices d'influences (MID et MII), construites à dire d'acteurs et servant à composer le graphique combiné d'influence-dépendance de la **Figure 19**, sont présentées à l'**Annexe 5**.

Néanmoins, nous décidons d'un second tri dans cette liste pour ne garder que les facteurs avec une composante spatiale et/ou caractère quantitatif marqué. Ce choix est motivé par la nécessité de transposer les facteurs de changement en un ensemble lisible de processus quantifiables par la suite dans notre modèle. Quatre facteurs avec un haut score d'influence sont concernés par cette mise à l'écart : OPPOL, POLDI, GOVET et ADAPT. En réalité, ces 3 facteurs restent impliqués indirectement dans le travail puisque l'essentiel des calibrages réalisés par la suite dans le modèle, notamment pour l'élaboration de scénarios (voir IV.3), sont réalisés à dire d'acteurs. Les scénarios intègrent ainsi des effets de politiques publiques (OPPOL) et des opinions d'acteurs sur leur capacité à évoluer (POLDI, GOVET et ADAPT), ce que capturent ces 4 facteurs de changement.

Finalement, 10 facteurs sont conservés comme « essentiels » pour la construction du modèle quantitatif par la suite : NATCO, FALCO, SOLAR, BIOEL, NATRE, URBAN, FOSYS, CASYS, PASYS et LISYS.

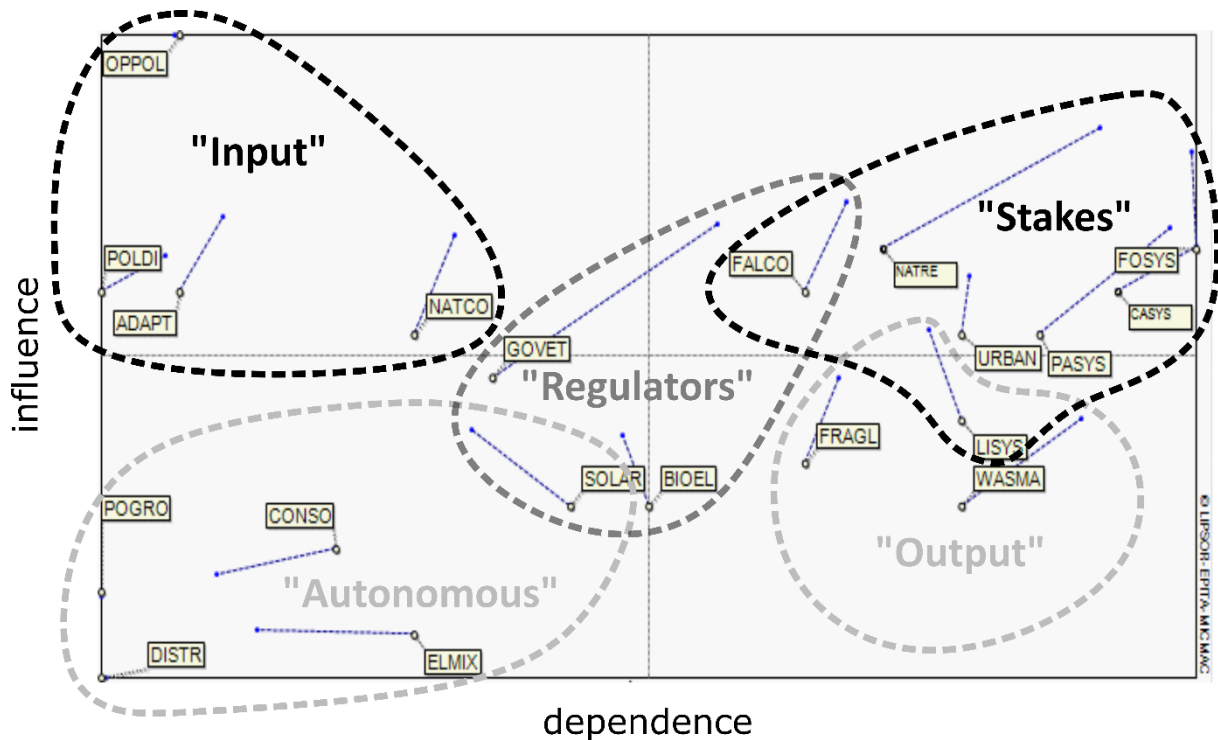


Figure 19 : Classement des facteurs de changement identifiés sur un graphique d'influence-dépendance combiné. Les vecteurs bleus correspondent aux coordonnées d'influence-dépendance de chaque facteur de changement d'après la MID et la MII. La longueur et la position d'un vecteur s'interprètent comme la différence entre la contribution directe du facteur de changement à la dynamique du système, et sa contribution lorsque l'on considère le jeu des relations indirectes entre facteurs. Les codes utilisés sur les étiquettes sont explicités dans le **Tableau 5** (source : auteur ; mise en forme avec le logiciel Micmac).

1.2 Modèle conceptuel du système d'étude faisant apparaître 5 processus clés à modéliser

L'identification de cinq processus clés par combinaison des facteurs de changement

On élabore un modèle conceptuel qui repose essentiellement sur les facteurs de changement essentiels identifiés dans la partie précédente. Ces derniers sont mis en relation grâce aux liens d'influence-dépendance répertoriés à dire d'acteurs selon la méthodologie décrite en II.2.2. En outre, quatre facteurs non essentiels sont intégrés car leur présence est indispensable à l'équilibre logique du modèle conceptuel : ELMIX, WASMA, CONSO et POGRO. Cette conceptualisation rend compte des dynamiques spatiales interreliées qui influencent l'autonomisation alimentaire-électrique selon les acteurs du territoire d'étude. Le résultat de ce travail est présenté sur la **Figure 20** et fait apparaître en particulier 5 processus clés sur lesquels se concentrer dans l'implémentation informatique du modèle sous OMP. Les liens d'interconnexion présentés ne sont pas exhaustifs de tous les liens et tous les flux

considérés dans les différents scénarios présentés en IV.3.1. Le contour de chacun des processus clé est détaillé dans la suite de cette partie.

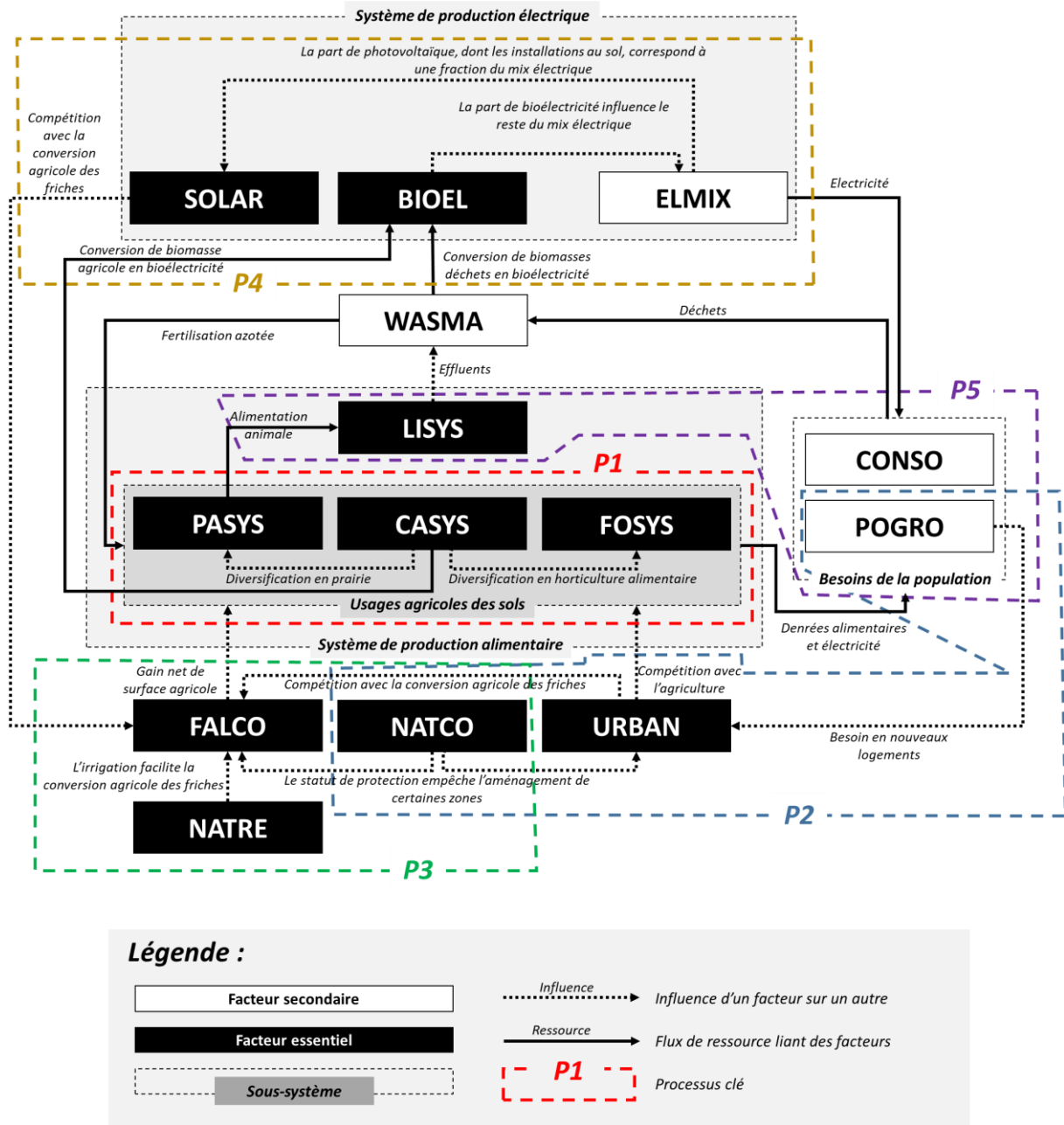


Figure 20 : La conceptualisation du système d'étude comme un ensemble de facteurs de changement interconnectés révèle 5 processus clés. Les codes utilisés sur les étiquettes sont explicités dans le **Tableau 5**. P1 : La diversification de la canne à sucre en horticulture et en prairies ; P2 : l'étalement urbain qui entre en compétition avec l'espace pour l'agriculture ; P3 : le gain net de terres agricoles par conversion de friches ; P4 : le développement d'installations photovoltaïques au sol qui entrent en

compétition avec l'espace pour l'agriculture ; P5 : l'évolution des besoins en ressources alimentaires et électriques du territoire (source : auteur).

Le processus de diversification de la canne à sucre

Le premier processus clé est « la diversification de la canne à sucre en horticulture et en prairies » (P1). En effet, la canne à sucre subit la conjonction de pressions économiques (situation de faible compétitivité compensée par d'importantes aides publiques décrite en I.2.2) et d'un manque de main d'œuvre : « les planteurs (de canne à sucre) n'ont pas un revenu suffisant et ont un problème de main d'œuvre » [SCV/10]. En conséquence, de plus en plus de planteurs se tournent vers d'autres cultures « généralement en diversification, voire en substitution » [SCV/04] pour « sécuriser la viabilité de leur exploitation » [PRV/03]. Cela se traduit par une conversion partielle (mais parfois totale), des parcelles plantées en canne vers des cultures horticoles (alimentaires, c'est-à-dire du maraichage ou du verger, ou non alimentaires) et en prairie [SPE/01].

Les principaux facteurs qui expliquent la diversification de la canne à sucre sont agronomiques et reflètent la difficulté de poursuivre cette culture sur certaines parcelles (voir en IV.2.2). C'est l'ensemble du foncier cannier qui est susceptible de se diversifier (voir en III.1.3 pour une vue du foncier concerné). Pour certains acteurs, la diversification de la canne est naturellement plafonnée car il y a trop d'intérêt à son maintien tandis que pour d'autres, cette érosion massive du foncier cannier est irréversible (voir comment ces différences sont implémentées en IV.3).

A noter qu'il existe également un phénomène de conversion des prairies et des cultures horticoles en canne à sucre, ainsi que des phénomènes plus complexes de rotation ou des parcelles de canne sont momentanément remplacées par une culture alimentaire par exemple, lors des replantations (Ionescu, 2022). On se concentre cependant dans notre étude sur la diversification « nette » de la canne. En effet, sur la période récente, davantage de canne s'est convertie que l'inverse, à hauteur de « 200 hectares par an vers l'horticulture et les prairies » [SCV/06].

Le processus d'étalement urbain

Le second processus est « l'étalement urbain qui entre en compétition avec l'espace pour l'agriculture » (P2). Les principaux déterminants de l'étalement urbain sont le besoin en logement des nouveaux foyers, la diminution de la taille moyenne des foyers ainsi que le besoin d'autres infrastructures routières, commerciales ou industrielles (Agorah, 2017 a). Un ensemble de dispositifs limite l'étalement urbain, en particulier le zonage des plans locaux d'urbanisme (PLU) au niveau

communal qui réserve les nouvelles constructions aux parcelles classées en zone AU (pour « à urbaniser ») et enfin le SAR qui s'applique à l'échelle régionale et définit des zones prioritaires à urbaniser (ZPU). Ces différents périmètres réglementaires, associés à une classification des différents pôles urbains de l'île (caractérisés notamment par leurs densités urbaines), définissent une « armature urbaine hiérarchisée » où les « extensions urbaines » sont possibles (Agorah, 2017 a).

En s'appuyant sur un modèle conceptuel analogue d'étalement urbain réalisé par Lestrelin et al. (2017), on considère également dans notre étude que l'urbanisation revêt 3 formes : (i) la « densification urbaine » c'est-à-dire la verticalisation de la ville qui se traduit par un accroissement de la densité logement sans étalement urbain (Agorah, 2017), (ii) la construction d'extensions urbaines au sein des schémas d'aménagement, décrites ci-dessus et (iii) la construction de logements qu'on peut qualifier de « hors armature » par opposition à la catégorie précédente, c'est-à-dire correspondant à une combinaison de constructions légales sur terrains déclassés en AU, de constructions illégales hors zones AU, de bâtiments agricoles, etc. On considère que pour répondre au besoin en logement, les actions (i) puis (ii) et enfin (iii) sont mobilisées successivement : en particulier, le besoin en constructions hors armature (iii) correspond au besoin résiduel en logement non satisfait par (i) et (ii).

Un certain nombre de variables spatiales augmente la probabilité du phénomène d'urbanisation, le plus souvent lié à des questions d'accessibilité et de disponibilité du foncier. Soulignons par exemple que les friches sont des espaces particulièrement vulnérables à l'urbanisation quand ce n'est pas la promesse d'un déclassé de zone agricole à zone AU qui n'incite pas les agriculteurs à abandonner leur activité car « la retraite agricole est insuffisante et pousse à la spéculation foncière » [SCV/10]. Cette vulnérabilité des friches au déclassé permet d'intégrer implicitement à notre modèle le facteur « Morcellement et spéculation foncière » (FRAGL), identifié en IV.1.1 mais classé comme facteur non essentiel. Heureusement, des dispositifs de protection forts comme le zonage du cœur du PNR, mais aussi la propriété publique de certaines parcelles, constituent des zones d'exclusion de l'urbanisation. La **Figure 21** dresse un bilan spatial des parcelles de cadastre où peuvent s'implanter les extensions urbaines et les constructions hors armature en tenant compte respectivement des zonages administratifs (PLU et SAR) d'une part, et de la distance aux routes ainsi que des parcelles publiques et/ou protégées d'autre part.

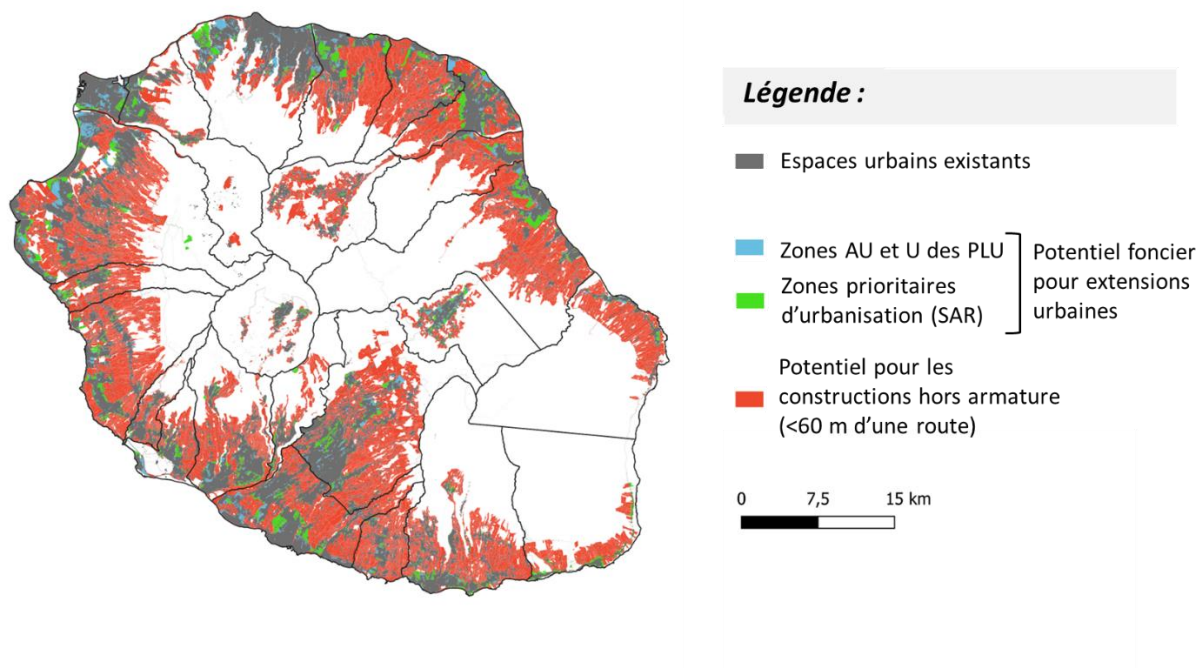


Figure 21 : Carte du potentiel foncier où peut s'étendre l'urbanisation par extensions urbaines et constructions hors armature (source : auteur / données issues de la plateforme *Peigéo*²²).

Le processus de récupération des friches

Les friches telles que définies en III.1.2 constituent une réserve foncière convoitée par plusieurs usages concurrents des sols : l'urbanisation dont il a été question, le photovoltaïque abordé au paragraphe suivant et la production agricole. Les friches cristallisent en effet beaucoup d'espoir en termes de nouveau foncier mobilisable pour l'agriculture (« il faut mettre l'accent sur la récupération des friches » [SPE/04]) : le processus de « gain net de terres agricoles par conversion de friches » (P3) est donc clé à modéliser.

Cependant, une partie des friches ne pourra pas être mobilisée sans évolution du cadre réglementaire car se trouvant sur des parcelles protégées, notamment en cœur de parc (PNR). Bien que leur aménagement agricole soit considéré « très difficile » [SCV/09] notamment à cause de risques érosifs importants [SCV/07], beaucoup d'acteurs reconnaissent l'importance de ce potentiel foncier supplémentaire [PRV/11]. Un dernier point sur la faisabilité de la conversion des friches concerne la disponibilité en ressources des parcelles candidates pour accueillir de l'agriculture, notamment la

²² Voir sur : <http://peigeo.re/>

présence ou non d'irrigation (« permettre l'installation d'agriculteurs (sur des friches) depuis l'arrivée de l'eau » [PRV/11]). La **Figure 22** cartographie le potentiel des friches potentiellement récupérables pour l'agriculture en distinguant les friches situées en zone agricole de celles situées en zones protégées.

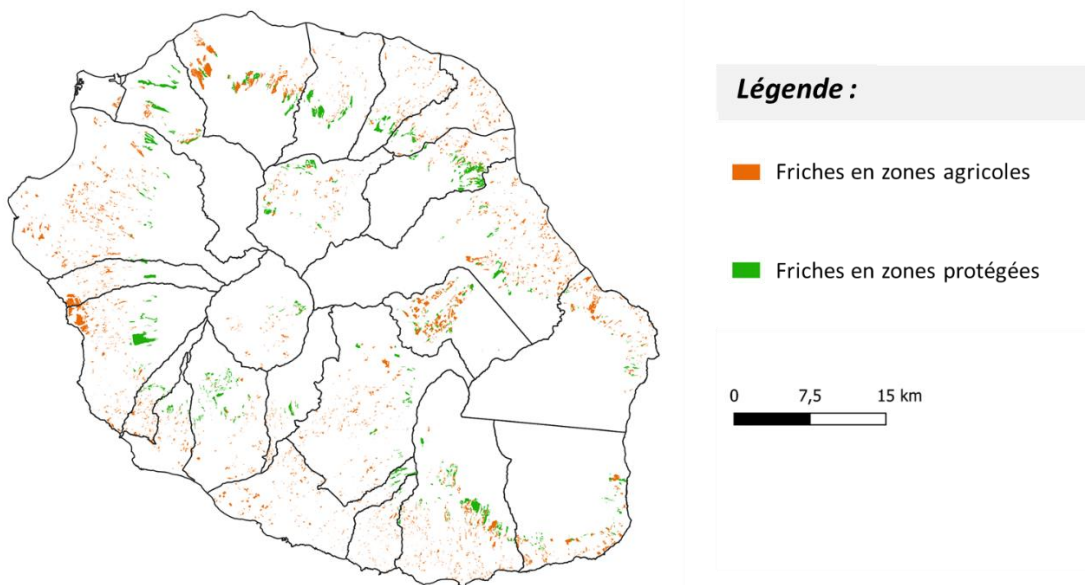


Figure 22 : Carte du potentiel de récupération des friches en zones agricoles et en zones protégées. Le potentiel foncier total est de 5100 hectares pour les friches en zones agricoles et de 3159 hectares pour les friches en zones protégées (source : auteur / données : SAFER (2019) et Besançon (2020)).

Il est important de noter que si l'on se concentre dans notre étude sur la récupération des friches, il existe également un important processus d'enfrichement sur le territoire d'étude (DAAF Réunion, 2021), mais la récupération de friches reste aujourd'hui au moins égale aux parcelles qui s'enfrichent (voir IV.2.2). De plus, les scénarios simulés par la suite vise à tester les limites de la capacité d'autosuffisance du territoire d'étude : les différents scénarios tendent donc à tester des hypothèses de mobilisation des friches et d'augmentation de leurs surfaces (voir IV.3).

Le processus de développement de photovoltaïque au sol

« Le développement d'installations photovoltaïques au sol qui entrent en compétition avec l'espace pour l'agriculture » (P4) est un processus émergent. En effet, le développement du photovoltaïque est

un levier majeur d'autonomisation électrique pour un système insulaire tropical comme La Réunion. Mais la lenteur du déploiement du photovoltaïque sur les toitures des bâtiments par rapport aux objectifs affichés, associée aux gains d'économie d'échelle et de rendement des grandes installations photovoltaïques (EDF, 2017), sont susceptibles de provoquer une multiplication de l'installation de ces dernières dont une partie pourrait entrer en compétition avec d'autres usages notamment agricoles.

Bien que cette trajectoire ne soit souhaitée par aucun enquêté, il existe ainsi un risque exploré dans certains scénarios que le photovoltaïque s'installe aux dépens des cultures (voir IV.3), certains acteurs observant « une évolution du discours » en faveur du photovoltaïque au sol [SCV/21]. D'autres scénarios, au contraire, misent sur un abandon des installations au sol car les parcelles concernées « ne reviennent jamais à l'agriculture » [SCV/01]. On peut noter qu'à la différence des autres processus, la question du photovoltaïque est la seule qui relève d'une dynamique anticipée, car ne concernant pas à l'heure actuelle de surface importante.

Dans le modèle, un certain nombre de paramètres déterminent la probabilité d'apparition de photovoltaïque au sol sur une parcelle donnée (voir IV.2.2) : on citera notamment l'équilibre du réseau par poste source ainsi que l'ensoleillement comme variables importantes (Tapachès et al., 2020). Selon les prescriptions du scénario, le photovoltaïque peut se développer sur tout ou partie des types de parcelles suivants : friches agricoles, terrains classés U ou AU selon le PLU et parcelles agricoles. Par ailleurs, les installations photovoltaïques sont considérées comme identiques du point de vue de leur production qu'ils s'agissent de panneaux montés, de serres, d'ombrières, etc. En particulier, les éventuelles parcelles en agrivoltaïsme, c'est-à-dire combinant des cultures et des panneaux solaires ne sont pas modélisées différemment. En effet, l'ensemble des acteurs estiment que la production agricole en agrivoltaïsme « ne marche pas très bien » [SCV/20]. De plus, les tests menés à ce jour ne permettent dans le meilleur des cas que d'y envisager de l'horticulture essentiellement non alimentaire [SCV/01].

Le processus d'évolution des besoins alimentaires et électriques du territoire

« L'évolution des besoins en ressources alimentaires et électriques du territoire » (P5) est le cinquième processus clé qui correspond à la somme des besoins alimentaires (de la population et du cheptel) ainsi que des besoins électriques. Les besoins de la population comme du cheptel sont calculés en multipliant des consommations individuelles par une taille de population. Pour le cheptel, la quantité d'animaux dans chacune des catégories existantes est une variable contrainte tandis que les besoins alimentaires sont des constantes d'entrée. En revanche, pour la population, les consommations individuelles alimentaires et électriques sont des variables contraintes aussi bien que

la taille de l'effectif. Cela permet de considérer les besoins humains comme dynamiques et sujets à hypothèses selon le scénario considéré.

En particulier, les préférences de consommation alimentaire par habitant et par catégorie alimentaire sont prises en compte au croisement de deux dimensions : (i) "inter-catégories" car la part de chaque catégorie alimentaire est dynamique dans le régime alimentaire moyen des réunionnais et (ii) "intra-catégorie" car la population accepte plus ou moins d'intégrer des denrées locales au sein d'une catégorie alimentaire donnée. Le premier aspect est modélisé par des variables contraintes qui déterminent la part de chaque catégorie alimentaire dans le régime. En revanche, pour modéliser le second aspect, chaque catégorie alimentaire s'accompagne d'un « seuil de saturation du marché ». Cette variable, également potentiellement dynamique selon les scénarios, représente un taux de couverture au-delà duquel, pour une catégorie alimentaire donnée, la production locale commence à surcharger le marché local en raison de la préférence des consommateurs pour une part de denrées importées qui ne peuvent être produites localement. Il s'agit par exemple de la capacité limitée (i) des tubercules locaux à substituer les féculents importés (riz, blé, etc.) [PRV/14] ou encore (ii) de la production locale de viande à être concurrentielle face à des produits importés à bas coût (« Il y a des choses qu'on ne peut pas concurrencer : les produits de dégagement de la volaille (par exemple) » [PRV/04]). Pour les productions végétales, lorsque ce seuil est dépassé, les parcelles produisant la catégorie alimentaire en question commencent à s'en détourner (proportionnellement au dépassement du seuil) pour favoriser d'autres cultures qui existent dans le voisinage de leur zone de production selon la cartographie de Sinico et al. (2022).

Il est important de souligner que ce cinquième processus est le seul qui n'ait pas de composante spatiale forte, à partir du moment où l'on considère la population totale de manière agrégée à l'échelle du territoire. Par la suite, les questions de spatialisation des processus se concentrent donc sur les 4 premiers processus clés présentés ici.

2. *ProdRun* : de l'implémentation de processus clés à un premier scénario de référence

2.1 Organisation générale du modèle *ProdRun*

L'architecture générale du modèle : modules, constantes d'entrée, variables contraintes, variables calculées et indicateurs de sortie

Une fois le modèle conceptuel établi, on l'implémente sous OMP en utilisant comme base le modèle *ProdAgri* (dont l'architecture générale est présentée en III.2.1). Appelé *ProdRun*, ce nouveau modèle a pour objectif de faire évoluer le territoire d'étude avec un pas de temps annuel, à partir de la CCUS-2019 (élaborée en III.1.3), prise comme état initial. Chaque année, le modèle simule des dynamiques spatiales sous l'effet combiné des 5 processus clés présentés précédemment. En parallèle, un ensemble d'indicateurs renseignant le degré d'autosuffisance alimentaire-électrique du territoire d'étude est calculé chaque année. Ces indicateurs (décrits en III.2.1) sont identiques à ceux de *ProdAgri*, à une exception près : afin de vérifier la capacité du gestionnaire à assurer l'équilibre du réseau (impératif introduit en I.1.1), on calcule un nouvel indicateur égal à la part d'électricité issue de sources de production asynchrones par rapport à l'ensemble de la production électrique locale. *ProdRun* est un modèle spatial et dynamique qui s'étale sur une période de simulation de plusieurs années et renvoie donc en sortie, pour chaque indicateur d'autonomie alimentaire-électrique, une série temporelle composée de valeurs annuelles.

L'architecture générale de *ProdRun* est présentée sur la **Figure 23** en 8 modules successifs mettant en relation différents types de données : (i) des constantes d'entrée et des variables contraintes qui sont des données externes et prédéfinies servant à calibrer le modèle (dont la description et le calibrage sont détaillés en IV.2.2), (ii) des variables calculées qui correspondent à des résultats internes du modèle dont une part est traduite en indicateurs de sortie et enfin, (iii) des données spatiales (géométrie de parcelles et leurs attributs) sous la forme d'une cartographie d'usage des sols parcellisée, externes au modèle la première année (CCUS-2019) puis internes au modèle les années suivantes (puisque les usages du sol évoluent dans le modèle). A noter qu'au sein du modèle, la carte d'usage des sols est dite « parcellisée » car chaque parcelle qui la compose est convertie en une entité à part entière du modèle et les attributs de la carte deviennent des propriétés de cette entité (au sens du langage de OMP).

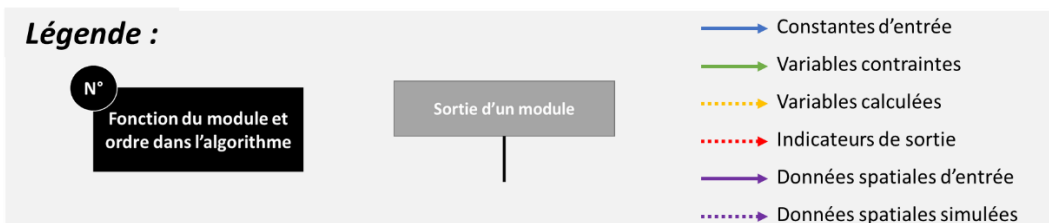
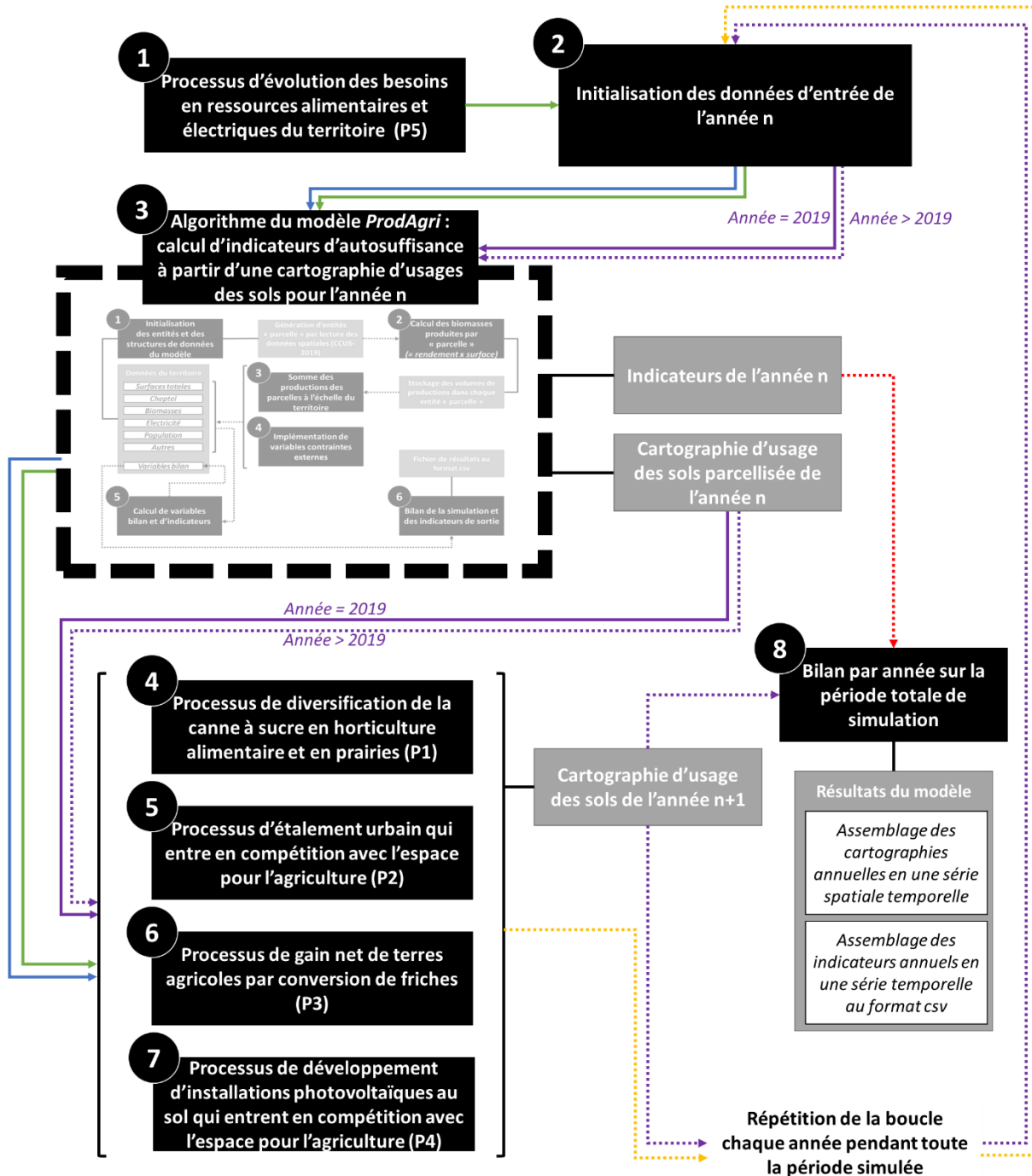


Figure 23 : Schéma d'organisation de l'algorithme du modèle *ProdRun* en huit modules. Le module 3 correspond au modèle *ProdAgri* tel que représenté sur la **Figure 14** en III.2.1 (source : auteur).

Le fonctionnement général des processus clés de changement d'usage des sols

Dans *ProdAgri* comme *ProdRun*, chaque parcelle du territoire correspond à une entité affectée de plusieurs propriétés (surface, rendement de différentes cultures possibles, statut dans les documents d'urbanisme, etc.). L'une de ces propriétés est le « *lct* » pour « *land cover type* », un code de deux chiffres qui renvoie à un usage des sols parmi la liste suivante : « tache urbaine », « forêts et autres milieux naturels », « friches », « canne à sucre », « plantations forestières », « prairie », « maraichage », « vergers », « horticulture non alimentaire » et « nouveau photovoltaïque au sol ». Par rapport aux usages du sol initialement renseignés dans la CCUS-2019 pour *ProdAgri* (voir en III.1.3), deux nouveaux usages entrent en jeu dans *ProdRun* : les « plantations forestières » tirées de ONF & ALBIOMA (2018) et le « nouveau photovoltaïque au sol », initialement non compté à part, car intégré aux surfaces de bâti de la cartographie Moringa et donc à la tache urbaine de la CCUS-2019. Ainsi, ce dernier usage du sol ne tient compte que des surfaces converties après 2019. Par ailleurs, la production d'électricité photovoltaïque à partir de la cartographie d'usage des sols n'est pas prise en compte dans *ProdAgri*, à la différence de *ProdRun* qui calcule la production annuelle photovoltaïque supplémentaire des nouvelles installations photovoltaïques au sol qui se développent après 2019. Pour calculer cette production, le modèle estime une puissance installée pour chaque nouvelle centrale solaire au sol à partir de sa surface (voir le coefficient utilisé et sa méthode d'estimation dans l'**Annexe 6.C**) qu'il multiplie par une prédiction spatialisée de rendement (production électrique/puissance installée) tirée de la carte interactive réalisée par Solargis (2022).

Parmi les 5 processus clés identifiés, P1, P2, P3 et P4 possèdent une composante spatiale forte et correspondent, une fois implémentés, aux modules 4 à 7 de la **Figure 23**. A partir de l'état initial (CCUS-2019), la carte d'usage des sols parcellisée va ainsi visuellement évoluer au fil de la simulation sous l'effet de ces 4 processus, dont les algorithmes sont similaires et se déroulent en 2 grandes étapes. Premièrement, pour chaque processus, l'objectif de surface à convertir chaque année est défini dans le cadre d'un scénario sous forme de variable contrainte. Deuxièmement, des parcelles sont aléatoirement sélectionnées sur tout le territoire d'étude pour être converties selon les transitions possibles résumées sur la **Figure 24**. A cette étape, un ensemble de variables dites « contextuelles » permettent de contrôler que la distribution spatiale des parcelles qui changent d'usage suit au mieux une distribution de référence estimée (voir IV.2.2).

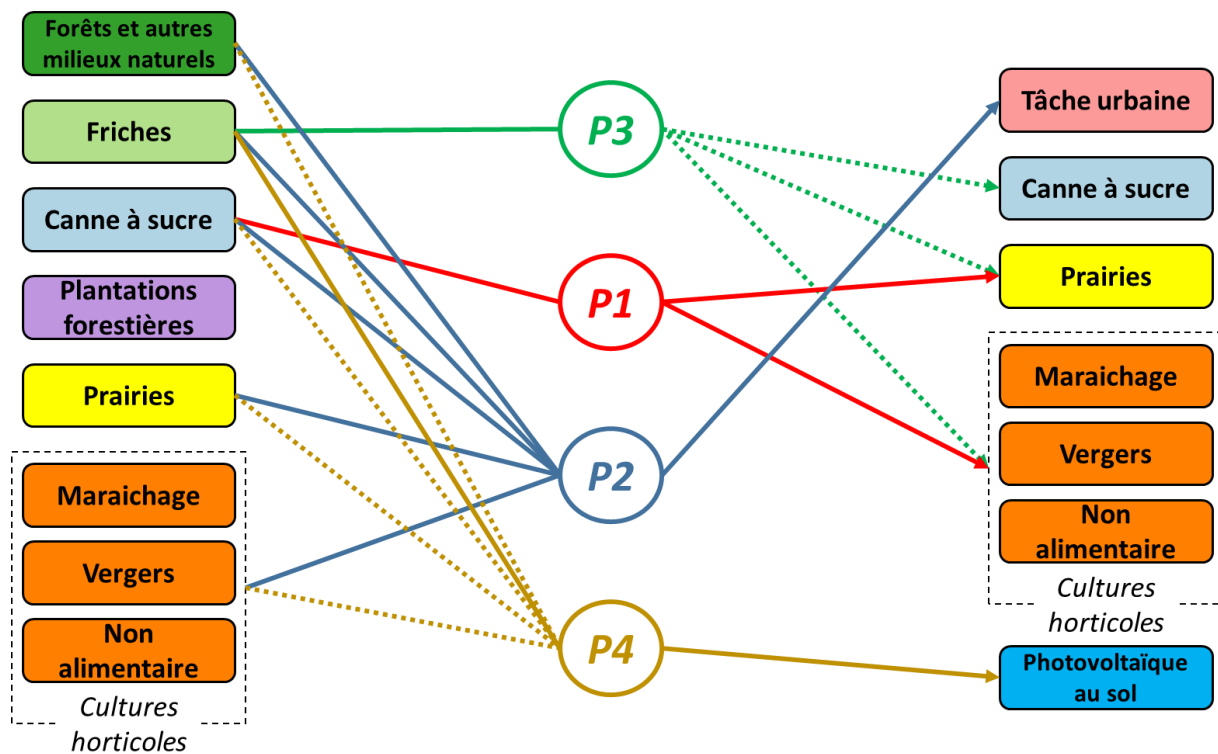


Figure 24 : Ensemble des conversions de parcelles possibles via les 4 processus de changement d'usage des sols modélisés dans *ProdRun*. P1 : La diversification de la canne à sucre en horticulture alimentaire et en prairies ; P2 : l'étalement urbain qui entre en compétition avec l'espace pour l'agriculture ; P3 : le gain net de terres agricoles par conversion de friches ; P4 : le développement d'installations photovoltaïques au sol qui entrent en compétition avec l'espace pour l'agriculture. Les lignes pointillées indiquent des liens qui n'existent que dans certains scénarios (voir IV.3.3) (source : auteur).

La prise en charge des changements d'usage des sols dans *ProdRun* : une modification des propriétés de l'entité avec ou sans impact sur la géométrie du parcellaire

Selon les processus simulés, les changements induits d'usage des sols peuvent se traduire de 2 façons pour une ou plusieurs parcelles : soit une modification de leur propriété d'usage du sol « *lct* » sans modification de leur géométrie, soit une modification de leur propriété « *lct* » avec modification de la géométrie du parcellaire. Dans le premier cas, la taille de la parcelle sujette au changement correspond aussi bien à son usage initial qu'au nouvel usage du sol. Dans le second cas, la parcelle initiale est trop grande pour être convertie d'un seul tenant en un nouvel usage du sol : dans la géométrie de départ, le modèle vient alors découper un nouveau polygone qui changera d'usage, tandis que le reste de la parcelle voit son usage inchangé. Cette nouvelle parcelle découpée est par défaut un carré de surface prédéfinie selon chaque processus (voir IV.2.2), découpé et pivoté aléatoirement au sein du polygone initial. La logique de ces changements d'usage des sols est résumée dans la **Figure 25**.

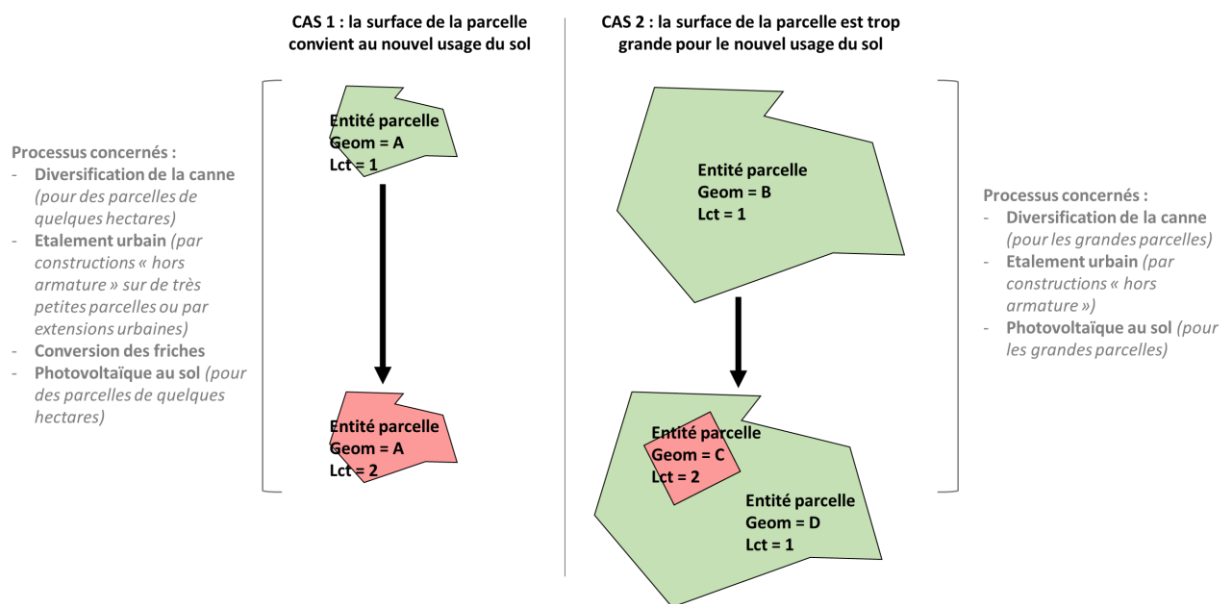


Figure 25 : Les deux modes de simulation d'un changement d'usage d'une entité parcelle dans *ProdRun*. Dans le cas 1, le changement d'usage entraîne une modification de la propriété *lct* mais la propriété de forme géométrique (*geom*) reste inchangée. Dans le cas 2, le changement d'usage entraîne la création de deux parcelles de géométries C et D dont l'union est égale à la géométrie initiale B. Le changement d'usage ne concerne alors que la géométrie C donc seulement une fraction de la parcelle de départ a changé d'usage (par exemple, la construction d'une habitation sur une parcelle agricole) (source : auteur).

Enfin, lorsqu'une parcelle change de « *lct* » pour un nouvel usage du sol, ses autres propriétés sont modifiées conséquemment. S'il s'agit d'une nouvelle parcelle de prairie ou de canne, son nouveau rendement et son besoin recommandé d'apport en azote disponible sont copiés par défaut sur la culture identique la plus proche géographiquement, puisqu'elle a toutes les chances de pousser dans des conditions analogues. Dans le cas d'une nouvelle parcelle horticole, le classement en maraichage, verger ou non alimentaire est réalisé selon des probabilités qui dépendent du processus concerné et du scénario (voir IV.3.3). Ses propriétés (rendement et besoins azotés) dépendent de la zone de production la plus proche, dont la nouvelle parcelle adopte les cultures principales (voir III.2.2).

2.2 Premier calibrage de *ProdRun* selon un scénario de référence (S1)

Une première estimation des constantes d'entrée et extrapolation des variables contraintes

Comme expliqué en IV.2.1, on distingue 3 types de données d'entrée dans *ProdRun* qui doivent être calibrées en amont de toute simulation : des constantes d'entrée, des variables contraintes et des

données spatiales. Ces dernières sont déjà calibrées sous la forme de la CCUS-2019 (complémentée des parcelles de plantations forestières) ainsi que d'autres données nécessaires au fonctionnement des processus, notamment pour le calcul des variables contraintes (voir plus bas) : pente, altitude, densité logement, réglementation foncière appliquée, présence d'irrigation, etc. Le paramétrage des constantes d'entrée et variables contraintes doit donc être précisé ici.

Premièrement, les constantes d'entrée ont une valeur définie et fixée tout au long de la simulation. De plus, ces constantes partagent la même valeur pour l'ensemble des scénarios. Il s'agit par exemple des paramètres de conversion entre biomasse et électricité, des potentiels fertilisants de biomasses, des valeurs de production d'effluents par UGB animal, etc. Une partie de ces constantes partagées sont déjà mobilisées pour le fonctionnement de *ProdAgri* et listées dans l'**Annexe 3**. Les constantes d'entrée complémentaires utilisées dans *ProdRun* sont listées à l'**Annexe 6** avec les références et/ou les hypothèses utilisées pour estimer leur valeur.

Deuxièmement, les variables contraintes forment un ensemble cohérent qui permet de définir chaque scénario décrit en IV.3. Dans le modèle, ces variables prennent des valeurs successives qui sont planifiées à l'avance par un certain nombre d'hypothèses explicitées dans chaque scénario. Ces variables se présentent donc sous la forme d'une série de valeurs (une valeur par an). Certaines variables utilisées dans *ProdAgri* et présentées dans l'**Annexe 3** sont en réalité des variables contraintes mais leur valeur indiquée n'est que celle pour l'année 2019. Par ailleurs, lorsqu'une variable est constante sur la période de simulation mais revêt différentes valeurs selon les scénarios, elle est plutôt classée comme variable contrainte.

Afin de bénéficier d'une référence pour les différentes variables contraintes, on travaille dans un premier temps à l'élaboration d'un scénario de référence (S1). Ce dernier est défini comme une poursuite linéaire des tendances observées avant 2019, jusqu'à 2040. Narrativement, S1 correspond à un *statu quo* sans bifurcation économique, sociale ou politique. Les périodes de référence utilisées varient en fonction des données disponibles pour chaque donnée d'entrée : de 4 ans (2016 – 2019) à 10 ans dans le meilleur des cas (2010 – 2019). En faisant l'hypothèse que toutes les variables contraintes suivent une évolution continue dans ce scénario, on procède à leur extrapolation linéaire (méthode des moindres carrés) sur toute la période simulée. La définition chiffrée du scénario de référence, associant extrapolations linéaires pour les variables contraintes et calibrage des objectifs des processus spatiaux, est présentée dans l'**Annexe 7. B**. Les hypothèses principales du scénario de référence sont résumées dans le **Tableau 8** (voir IV.3.3).

Le calibrage de la spatialisation des processus clés selon les tendances observées par des « variables contextuelles »

Les paramètres des processus clés spatiaux (P1, P2, P3 et P4) sont des données d'entrée particulières qui s'appuient sur une phase propre de calibrage, portant sur 3 aspects : (i) les variables contextuelles pour localiser où se produisent les changements d'usage des sols, (ii) la surface des parcelles qui changent d'usage du sol et (iii) les objectifs de surface totale convertie chaque année par processus spatial (implémentés sous forme de variables contraintes). Ce travail de calibrage en fonction de tendances observées, par analyse spatiale ou non, permet l'identification de tendances récentes qui s'inscrivent dans le cadre du scénario de référence tel que défini dans la partie précédente. Plus précisément, le calibrage pour (i) et (ii) est conservé pour S1 et les autres scénarios tandis que le calibrage pour (iii) est spécifique à S1 et sert de base pour fixer les objectifs de conversion dans les autres scénarios.

Le calibrage de P1 et P2 s'adosse à un travail d'analyse spatiale tandis que P3 et P4 s'appuient sur des données secondaires et des hypothèses, essentiellement par manque de données spatiales permettant de réaliser une analyse approfondie sur plusieurs années. En revanche, des données d'entretien ont été mobilisées pour la spatialisation de tous les processus.

Premièrement, on désigne par « variables contextuelles » des variables dont les valeurs sont spatialement hétérogènes et dont il est possible de relier la dispersion à la localisation des parcelles qui changent d'usage des sols selon les processus clés identifiés en IV.2.1. Pour chaque processus, on commence par identifier (généralement d'après les entretiens) une liste de ces variables contextuelles. Ensuite, on estime l'effet des valeurs possibles de chaque variable contextuelle sur un paramètre du processus (le plus souvent, la localisation des parcelles qui changent d'usage). Par exemple, pour les processus de diversification cannière, on compare les données de Moringa niveau 2 de 2016 et de 2019 afin d'établir une carte des parcelles de canne qui se sont diversifiées sur cette période de 3 ans. On peut alors estimer les valeurs des variables contextuelles pour ces parcelles diversifiées : pente et altitude. Ces valeurs sont alors organisées en gammes associées à des fréquences d'occurrence. On peut enfin calibrer le processus de diversification dans *ProdRun* en forçant la répartition des parcelles diversifiées à imiter la distribution observée sur la période de référence. On prend néanmoins soin d'ajouter un paramètre de déviation qui autorise une marge d'erreur croissante avec le temps (généralement 1% de surface par an par rapport à la distribution initiale). En effet, le paysage simulé évolue au fil du temps et essayer de répliquer continuellement la dispersion initiale de chaque variable contextuelle n'aurait pas de sens et risquerait de bloquer la simulation. On procède de même pour évaluer les valeurs des variables contextuelles concernant le processus d'étalement urbain et les

implémenter dans *ProdRun* pour contrôler la distribution d’extensions urbaines et de constructions hors armature dans les simulations. Pour les variables contextuelles associées aux processus de conversion de friches et d’installation de photovoltaïque au sol, les valeurs ont été estimées par données d’entretien ou hypothèses. Les différentes variables contextuelles estimées sont présentées dans le **Tableau 6**. L’ensemble des valeurs des paramètres ainsi calibrés dans *ProdRun* selon les variables contextuelles est détaillé en **Annexe 8.A**.

Processus	Paramètre calibré	Variable contextuelle	Méthode d’estimation et/ou source(s)
Diversification de la canne à sucre (P1)	Localisation de la diversification en horticulture	Altitude	Entretiens [SPE/01] et [SCV/16] ; Analyse spatiale (auteur)
		Pente	Entretiens [SPE/01] et [SCV/16] ; Analyse spatiale (auteur)
	Localisation de la diversification en horticulture (maraichage)	Présence d’irrigation	Entretien [PRV/11] ; SAFER & Chambre d’Agriculture de La Réunion (2020) ; Ionescu (2022) ; hypothèse de l’auteur
	Localisation de la diversification en prairie	Altitude	Entretiens [SPE/01] et [SCV/16] ; Analyse spatiale (auteur)
		Pente	Entretiens [SPE/01] et [SCV/16] ; Analyse spatiale (auteur)
	Etalement urbain (P2)	Placement des extensions urbaines	Usage du sol initial
Classement réglementaire selon les PLU et le SAR			Entretiens [SCV/15] et [SPE/02] ; Agorah (2017 a)
Placement des constructions hors armature		Usage du sol initial	Entretiens [SCV/15] et [SPE/02] ; Analyse spatiale (auteur)
		Pente	Entretiens [SCV/15] et [SPE/02] ; Analyse spatiale (auteur)
		Distance à la route la plus proche	Entretiens [SCV/15] et [SPE/02] ; Analyse spatiale (auteur)

		Distance au pôle urbain la plus proche	Entretiens [SCV/15] et [SPE/02] ; Analyse spatiale (auteur)
		Distance à la construction hors armature la plus proche	Entretiens [SCV/15] et [SPE/02] ; Analyse spatiale (auteur)
		Zones protégées	Hypothèse de l'auteur
Conversion de friches (P3)	Localisation des friches converties	Présence d'irrigation	Entretiens [PRV/11] et [PRV/06] ; Ionescu (2022) ; hypothèse de l'auteur
	Nature de la nouvelle culture	Altitude	Analyse spatiale (auteur) ; Ionescu (2022)
		Pente	Analyse spatiale (auteur)
Installation de photovoltaïque au sol (P4)	Localisation des installations	Harmonisation des capacités installées par poste source	Tapachès et al. (2020)
		Pente	Hypothèse de l'auteur
		Classement réglementaire selon les PLU	Sénat (2015) ; Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement (2011)
		Altitude	Tapachès et al. (2020)

Tableau 6 : Liste des variables contextuelles considérées dans le calibrage des processus de changement d'usage des sols implémentés dans *ProdRun* (source : auteur).

Deuxièmement, la surface des parcelles qui changent d'usage des sols est estimée pour pouvoir être implémentée dans le modèle. Pour P1, on s'appuie sur la méthode d'analyse spatiale décrite précédemment et on établit des gammes de taille de parcelles diversifiées associées à leur fréquence d'occurrence qu'on transpose dans le modèle sous forme de probabilité. Les gammes obtenues pour ce processus apparaissent cohérentes avec les résultats de Ionescu (2022). Pour P4, on recense les surfaces de 13 installations existantes par croisement de données secondaires et d'analyse spatiale sur la donnée libre *Open Street Map*²³. Pour les autres processus, on s'appuie sur des données secondaires ou des hypothèses. L'ensemble de ces calibrages de tailles de parcelles avec les sources utilisées est détaillé dans l'**Annexe 8.B**. Ces tailles de parcelles sont utilisées dans le modèle pour déterminer si lors d'un changement d'usage, toute la parcelle se convertit ou seulement une fraction de celle-ci comme

²³ Pour une vue du territoire d'étude : <https://www.openstreetmap.org/#map=11/-21.1148/55.5321>

expliqué en IV.2.1. Par hypothèse, on ne fixe pas de limite à la taille des parcelles de friches converties et d'extensions urbaines construites : ces dernières sont donc simplement limitées par la géométrie du cadastre. Par la suite et sauf mention contraire, ces paramétrages issus de l'analyse de tendances observées sont conservés pour tous les scénarios simulés.

Troisièmement, les objectifs de surface totale convertie (si les tendances se poursuivent) sont déduits de l'analyse spatiale pour P1 et P2 : les surfaces converties sur la période 2016-2019 sont ramenées à une moyenne de conversion annuelle pour être implémentées dans S1. Ces deux processus se poursuivent donc au même rythme dans S1 que dans les années précédentes. Pour P3, on s'appuie sur le dernier recensement qui fait état d'une avancée mitigée de la récupération de friches DAAF Réunion (2021). On mobilise des données d'entretiens en complément. D'une part, des acteurs qui accusent l'inefficacité de la politique de récupération des friches, par exemple : « *Les procédures "terres en friches" n'aboutissent jamais* » [PRV/01]. D'autre part, des enquêtés qui pointent que l'enfrichement concerne à peu près autant de surface que les friches remises en culture ([SCV/04], [SCV/10]). Ces éléments nous font émettre l'hypothèse que la tendance actuelle est un gain net nul de surface agricole sur les friches. Ce processus n'est donc pas actif dans le scénario de référence. Enfin, concernant P4, on se base sur les recensements de deux sources participatives en ligne^{24,25} croisées avec le nombre et la production cumulée des installations photovoltaïques locales selon SPL Horizon Réunion (2020). L'ensemble des installations au sol analysées à partir de ces recensements est présenté dans les notes de l'**Annexe 8.B**. Il ressort de cette analyse qu'environ 31% de la production photovoltaïque actuelle totale est issue de centrales installées au sol. Dans S1, cette part de photovoltaïque est maintenue constante.

3. Co-construction de trois scénarios tendanciels et d'un scénario de rupture

3.1 Narratifs de chaque scénario

« Priorité à l'alimentaire » (S2)

Ce premier scénario tendanciel rassemble des hypothèses d'acteurs enquêtés ainsi qu'une minorité d'hypothèses de l'auteur qui, prises ensemble, définissent un avenir plausible du territoire où, à partir

²⁴ Voir sur : <https://openinframap.org/stats/area/R%C3%A9union/plants>

²⁵ Voir sur :

http://www.fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Grandes_centrales_solaires_photovolt%C3%AFques/_/R%C3%A9union

d'une trajectoire tendancielle, l'ensemble des terres agricoles et des biomasses disponibles sont progressivement mobilisées au service de l'autonomisation alimentaire. Cette autonomisation se traduit par la priorité donnée à la production alimentaire humaine et de fourrages ainsi que la valorisation des biomasses locales pour la fertilisation azotée des cultures. Les principales hypothèses de ce scénario concernent premièrement la priorisation de la production alimentaire en « ne tenant pas compte de la canne à sucre » [SCV/12], ce qui se traduit par P1 qui accélère. De plus, en-deçà d'une certaine limite de production de canne usinable, « la fermeture brutale des usines est possible » [SCV/04] : la filière n'est plus rentable et disparaît rapidement. La diversification devient en conséquence exponentielle. Deuxièmement, la vitesse de P2 est modérée mais bénéficie entièrement à l'horticulture alimentaire et aux prairies. Troisièmement, les terres agricoles sont protégées du photovoltaïque au sol dont la part décroît, l'installation de photovoltaïque sur toitures étant suffisante (« en ne mobilisant que les toits, on dépasse déjà nos besoins » [SCV/20]). Quatrièmement, hormis les besoins électriques qui sont davantage maîtrisés en accord avec la PPE, les habitudes de consommation et les modes d'urbanisation suivent la trajectoire extrapolée de S1 sans bifurcation. En revanche, on fait l'hypothèse que la taille du cheptel est maximisée pour subvenir aux besoins alimentaires de la population. Enfin, une autre hypothèse est que les biomasses profitent en priorité aux enjeux alimentaires : les biodéchets sont massivement valorisés en alimentation animale, les autres biomasses qui le peuvent sont d'abord valorisées en fertilisants des cultures, les autres étant préférentiellement méthanisées pour employer les digestats résultants comme fertilisants à leur tour.

« Priorité à l'électricité » (S3)

Ce second scénario tendanciel opère un renversement du scénario précédent en s'appuyant également sur des hypothèses d'acteurs ainsi que quelques hypothèses de l'auteur. Ce scénario explore un avenir plausible du territoire où, à partir d'une trajectoire tendancielle, l'ensemble du foncier disponible et les biomasses sont progressivement mobilisés au service de l'autonomisation électrique. Cela se traduit premièrement par une protection forte des surfaces de canne à sucre, P1 étant plafonné pour ne pas les réduire sous 22000 hectares, seuil correspondant à l'un des objectifs du plan *AgriPéi* et souligné par certains acteurs comme déjà « une surface critique » pour la filière [SCV/06]. Cette protection est doublée deuxièmement d'une reconquête de foncier avec P2 qui se déroule à la même vitesse que dans le scénario précédent mais au profit cette fois des surfaces de canne à sucre. Troisièmement, le potentiel bioélectrique de la canne à sucre est accru par une augmentation progressive de son taux de fibres de 2% pour aller vers une « canne mixte à l'échelle de tout le territoire » [SCV/20]. En outre, la paille de canne est massivement mobilisée pour compléter la bagasse dans les centrales thermiques : (i) la quantité de paille disponible sur chaque

parcelle de canne est estimée selon la méthode décrite par Lorré (2019), (ii) la part envoyée vers les élevages comme fourrage est retranchée, (iii) 5 tMS/ha sont laissées au sol pour les besoins agronomiques et (iv) la quantité restante sur la parcelle est valorisée électriquement si elle est supérieure ou égale à 1 tMS pour des raisons logistiques, toujours selon Lorré (2019). Quatrièmement, la part de photovoltaïque au sol augmente sous l'impulsion de « gros projets car le territoire est trop loin de la trajectoire PPE » [SCV/19] et parce que « c'est le moyen le plus facile d'atteindre les objectifs de photovoltaïque » [SCV/21]. Cinquièmement, par hypothèse, les consommations de la population et la taille du cheptel suivent une évolution sans bifurcation, identique à S1, sauf pour la consommation électrique qui respecte la PPE. Enfin, également par hypothèse, toutes les biomasses qui le peuvent sont valorisées en bioélectricité.

« Planification et compromis » (S4)

Ce troisième scénario tendanciel est construit différemment des deux premiers : en plus de mobiliser des hypothèses d'acteurs et de l'auteur, il met largement l'accent sur la mise en place combinée de stratégies de différents acteurs « dominants » du territoire. Par « dominant », il est entendu qu'il s'agit d'acteurs ayant un pouvoir direct sur la formulation d'objectifs et/ou l'évolution du territoire, et donc l'évolution des paramètres du scénario. Le concours des acteurs « dominants » dans l'élaboration des différents plans directeurs du territoire fait aussi de ce scénario, à l'image du plan *AgriPéi* qui est l'un de ses constituants, une trajectoire relativement « consensuelle avec tout le monde » [SCV/12]. Ce scénario explore ainsi un avenir plausible du territoire où à partir d'une trajectoire tendancielle, les principaux objectifs planifiés sont progressivement atteints et participent à un compromis négocié entre acteurs « dominants », en termes d'enjeux alimentaires et électriques. Il y a un argument supplémentaire que l'ensemble de ces plans participent d'une vision partagée : la combinaison de leurs différents objectifs chiffrés n'a pas donné lieu à d'incohérences particulières dans la formulation du scénario.

Premièrement, on fait l'hypothèse que les objectifs du plan *AgriPéi* relatifs au foncier agricole sont largement atteints, à la fois sur la préservation du foncier cannier mais surtout en termes de friches agricoles récupérées à un rythme plus ambitieux que S2 et S3, au bénéfice de la production alimentaire. Deuxièmement, les prescriptions du SAR pour limiter l'étalement urbain sont également respectées dans le fonctionnement de P2. De même, le foncier agricole est préservé du photovoltaïque au sol comme dans S2. Troisièmement, le potentiel bioélectrique de la canne augmente par le passage à une « canne mixte » comme dans S3. Quatrièmement, les consommations électriques s'inscrivent dans la PPE comme S2 et S3. En revanche, les habitudes alimentaires évoluent pour à la fois (i) correspondre aux recommandations nutritionnelles, en particulier celles du Plan National Nutrition

Santé (PNNS) (Santé Publique France, 2019) et (ii) mieux accepter la substitution des importations par des denrées locales dans une même catégorie alimentaire (par exemple, pour les féculents, les farines de céréales importées sont remplacées en partie par des « farines de tubercules locaux » [SCV/10]). Cinquièmement, le cheptel suit les projections des filières animales via leur « plan DEFI » (ARIBEV & ARIV, 2019). Enfin, par hypothèse, les biomasses sont orientées dans la mesure du possible à 50% vers une valorisation alimentaire et 50% vers une valorisation électrique.

Par ailleurs, le caractère « plausible » de ce scénario pourrait être discuté, notamment du fait de la réalisation des ambitieux objectifs *d'Agripéi* concernant les friches, des prescriptions en termes de densification et d'extensions urbaines du SAR ou encore de l'évolution des habitudes alimentaires suivant le PNNS. Donc bien que restant dans le domaine du « possible », on pourrait émettre des réserves sur la plausibilité de S4 par rapport à S2 et S3 car il requiert des efforts supérieurs ce qui le rapprocherait d'un scénario de rupture.

« Planification, nouvelle canne et localisme alimentaire »

Le scénario de rupture combine un ensemble d'hypothèses parmi les plus ambitieuses proposées par les acteurs enquêtés, tout en étant compatibles entre elles, afin de viser une autonomisation alimentaire-électrique supérieure à tous les autres scénarios. Certains éléments de S5 sont complétés par des hypothèses de l'auteur. Premièrement, ce scénario intègre la plupart des hypothèses de S4 en termes d'objectifs de planification : prescriptions relatives à la densification et aux extensions urbaines du SAR, maîtrise de la demande en énergie selon la PPE, régime alimentaire plus sain et plus local et photovoltaïque au sol défavorisé. S5 intègre également la même logique que S4 en termes de répartition équitable des biomasses entre valorisations au service de l'autonomisation alimentaire et électrique. Deuxièmement, une différence majeure avec les autres scénarios est l'hypothèse qu'une nouvelle filière canne se développe et remplace l'actuel modèle. Cette nouvelle canne vise à la fois une production moindre mais à plus haute valeur ajoutée (rhums de qualité, sucres labellisés, etc.), le tout via « une unité de transformation à part » [SCV/12]. Cela se traduit par P1 qui fait chuter la sole cannière à environ 6000 hectares [EXP/04]. La diversification, bien que poussée, reste « plafonnée car il y a trop d'intérêts à la maintenir (la canne) » [SCV/14]. De plus, on fait l'hypothèse que cette nouvelle canne qui valorise son sucre différemment, produit également plus de fibres comme dans S3 et S4. Cependant, la mobilisation de paille de canne pour la production électrique est moindre (10 tMS/ ha laissées au champ) que dans S3, pour être « sans dommage » vis-à-vis de l'intérêt agronomique d'un reliquat de matière organique [SCV/11]. Troisièmement, la récupération de friches est encore plus ambitieuse que les objectifs *d'AgriPéi* [SPE/04]. Cela passe notamment par la mobilisation de terrains aujourd'hui classés comme espaces naturels mais présentant peu d'enjeu de biodiversité, et pour

lesquels « les collectivités sont favorables à une valorisation agricole » [SCV/08]. Quatrièmement, l'évolution du cheptel est le résultat d'hypothèses de l'auteur pour rechercher un optimum en termes de rendement de la production alimentaire. Concrètement, on priorise les polygastriques producteurs de denrées alimentaires (les chevaux ne sont donc pas retenus) au détriment des monogastriques, hormis ceux qui semblent avoir un meilleur rendement de production de carcasse par rapport à leurs besoins alimentaires (porcins et lapins). Enfin, S5 met en œuvre le développement de cultures de féculents, protéagineux et oléagineux sur toute l'île. Ces cultures répondent à un besoin de « se sécuriser d'un point de vue alimentaire » [SCV/12] en permettant de substituer les importations par une « diversité de productions locales issues de polyculture » [SCV/14]. Le processus spatial spécifique de développement de ces nouvelles cultures alimentaires est décrit dans la partie suivante. Parmi les nouvelles cultures, toutes ne sont pas alimentaires : P1 et P3 s'accompagnent en particulier d'un accroissement de la part dédiée aux cultures de rente à haute valeur ajoutée mais intégrées en systèmes poly-cultureaux pour une diversité de revenus et une meilleure santé économique des exploitations agricoles : chanvre, vanille, cacao, plantes médicinales, plantes aromatiques pour huiles essentielles, etc. [SCV/12]

Un processus spécifique : le développement à grande échelle de nouvelles espèces cultivées pour l'alimentation humaine et animale

Le scénario de rupture S5 met en œuvre un processus d'enrichissement de la palette des cultures végétales alimentaires cultivées sur le territoire afin d'apporter une meilleure couverture en production locale pour les catégories alimentaires « féculents », « protéagineux » et « huiles » (voir III.2.1). Chaque parcelle d'horticulture alimentaire a une probabilité de développer la culture d'espèces végétales complémentaires tout en conservant ses cultures actuelles ainsi que son usage du sol initial (verger ou maraichage). Cette probabilité vaut 0 la première année puis croît régulièrement pour atteindre 1 en fin de scénario : la totalité des parcelles de maraichage et de vergers adopte ainsi une nouvelle palette d'espèces cultivées d'ici la fin de la période simulée. Dans le modèle, le processus conserve la délimitation des zones de production (selon Sinico et al., 2022) mais leur ajoute 7 cultures maraichères et 2 espèces d'arbres fruitiers en respectant les exigences écologiques de ces nouvelles espèces (eau et altitude). Les exigences et les calibrages (rendement et besoins en azote) de ces nouvelles espèces sont détaillés en **Annexe 8**. Par ailleurs, l'assolement (part dédié à la production de féculents, de protéagineux et de légumes frais) des parcelles qui se convertissent à la nouvelle palette de cultures évolue également vers une répartition issue d'une hypothèse de l'auteur et qui met l'accent sur la production de féculents, largement déficitaire dans les précédents scénarios. Ce nouvel assolement répartit 50% de la surface des parcelles converties vers la production de féculents, 30% en

protéagineux et 20% en légumes, alors que cette dernière part est très souvent largement majoritaire dans l'état initial des zones de production d'après Sinico et al. (2022).

3.2 Bilan comparé des différents scénarios

Le **Tableau 8** ci-dessous récapitule et compare les différentes hypothèses qui définissent les scénarios de référence, tendanciels et de rupture qui ont été co-construits pendant la thèse. Les informations présentées dans le tableau sont qualitatives. Pour un calibrage quantitatif, se reporter au détail chiffré des variables contraintes par scénario en **Annexe 7**. Par ailleurs, des conditions et limites sont discutées à la lumière des entretiens en V.2 afin d'ajouter des éléments de comparaison et pour enrichir le narratif de chacun des scénarios présentés en IV.3.1 et IV.3.2.

Ensemble de variables contraintes (processus clé le cas échéant)	S1 : Référence	S2 : Priorité à l'alimentaire	S3 : Priorité à l'électricité	S4 : Planification et compromis	S5 : Planification, nouvelle canne et localisme alimentaire
Pourcentage de surface de canne à sucre diversifiée par an (P1)	Pourcentage observé sur la période 2017-2019 ; constant	Comme S1 puis croissance linéaire ; croissance exponentielle à partir d'un seuil d'effondrement de la filière	Comme S1 puis décroissance linéaire ; 22000 hectares minimum de canne à sucre	Comme S1 ; 22000 hectares minimum de canne à sucre	Comme S2 ; 6000 hectares minimum de canne à sucre
Cultures de diversification (P1)	Observé sur 2017-2019 : vergers puis prairies et enfin maraichage	Comme S1 avec une part croissante de maraichage	Comme S1	Comme S1 avec une part croissante de maraichage	Comme S1 avec une part croissante de maraichage et de cultures non alimentaires dans une moindre mesure
Densification et extensions urbaines (P2)	Poursuite de tendances observées : croissance lente de la densification et surface constante de nouvelles extensions chaque année			Prescription du SAR : 70% des nouveaux logements	

Gain net de terres agricoles sur les friches par an (P3)	Nul (autant de gain que de perte)	Croissance du gain jusqu'à la prévision minimale du plan <i>AgriPéi</i>		Croissance du gain jusqu'à la prévision maximale du plan <i>AgriPéi</i>	Croissance du gain au-delà de la prévision maximale du plan <i>AgriPéi</i> ; friches en zones protégées récupérables
Cultures en remplacement des friches (P3)	Aucune (autant de gain que de perte)	Horticulture alimentaire et prairies en priorité	Canne à sucre en priorité	Horticulture alimentaire et prairies en priorité	Horticulture alimentaire et prairies en priorité ; cultures non alimentaires dans une moindre mesure
Mix électrique hors bioélectricité (P4)	Extrapolation linéaire de tendances observées sur 2010-2019	Objectifs fixés par la PPE jusqu'en 2028 puis extrapolation linéaire de tendances			
Evolution du potentiel électrique de la canne à sucre (P4)	Non	Non	Augmentation du taux de fibres ; forte mobilisation des pailles de canne	Non	Augmentation du taux de fibres ; faible mobilisation des pailles de canne
Part d'installations au sol dans la capacité totale installée de photovoltaïque (P4)	Pourcentage observé en 2019 ; constant	Comme S1 puis décroissance linéaire	Comme S1 puis croissance linéaire ; 50% maximum	Comme S1 puis décroissance linéaire	
Evolution des régimes alimentaires (P5)	Extrapolation linéaire de tendances observées (2011 et 2017) ; seuils de saturation du marché fixés à (i) 80% pour les « viandes, poissons, œufs », « produits laitiers », « fruits et légumes frais » et (ii) 20% pour les « huiles », « féculents » et « protéagineux »			Evolution vers un régime alimentaire suivant les recommandations nutritionnelles ; les seuils de saturation du marché augmentent lentement jusqu'à 95% au maximum	
Evolution de la consommation électrique individuelle (P5)	Scénario tendanciel AZUR selon EDF (2022)	Scénario EMERAUDE selon EDF (2022), mobilisant davantage de maîtrise de la demande en énergie conformément à la PPE			
Taille du cheptel (P5)	Extrapolation linéaire de tendances sur 2010-2019	Maximum entre S1 et les projections des filières animales	Comme S1	Projections des filières animales	Augmentation du cheptel polygastrique (sauf chevaux) ;

		pour chaque catégorie animale			baisse des monogastriques (sauf porcs et lapins)
Croissance démographique (P5)	Projection officielle de l'INSEE corrigée de la différence observée avec le dernier recensement de la population				
Voies prioritées pour la valorisation des biomasses	Constant et conforme aux observations pour 2019	Fertilisation et alimentation animale prioritaires face à la production électrique ; méthanisation prioritaire face à la combustion	Production électrique prioritaire face aux autres valorisations possibles	Equilibre entre valorisations alimentaires (alimentation animale et fertilisation) et électriques ; méthanisation prioritaire face à la combustion	
Développement de nouvelles cultures alimentaires	Non	Non	Non	Non	Féculents : maïs, riz, sorgho, manioc, fruit à pain ; Protéagineux : soja, pois cajan ; Oléagineux : moringa ; Protéagineux / oléagineux : arachide

Tableau 8 : Liste comparée des hypothèses qualitatives caractérisant les cinq scénarios du projet. Le calibrage quantitatif est présenté à l'Annexe 7.


CONCLUSIONS DU CHAPITRE IV :

Le Chapitre IV détaille l'élaboration et le fonctionnement de *ProdRun*, un modèle spatial et dynamique permettant de simuler des trajectoires d'autonomisation alimentaire-électrique à l'échelle du territoire d'étude. Il est construit à partir de l'identification de facteurs de changement en interdépendance. Ces derniers constituent un système complexe et dynamique, que l'on peut décomposer en 5 processus clés principaux. Ces processus clés servent d'architecture de base pour l'implémentation de *ProdRun* sur la plateforme de modélisation Ocelet.

Une fois le modèle spatial et dynamique établi, un scénario dit de référence est élaboré pour un premier calibrage du modèle à partir d'observations et d'extrapolations sur la période récente précédant 2019. Ce calibrage donne lieu en particulier à (i) l'identification de « variables contextuelles » qui contrôlent la distribution spatiale des changements d'usage des sols opérés par les processus clés, (ii) l'estimation de la taille des objets qui changent d'usage dans le modèle et (iii) l'évaluation d'un ensemble de variables contraintes déterminant un environnement pour le déroulement de la simulation.

En s'appuyant sur la méthodologie générale présentée au Chapitre II, les résultats d'entretiens sont mobilisés pour générer des hypothèses alternatives à celle du scénario de référence. Cette phase donne naissance à 4 nouveaux scénarios : (i) 2 scénarios tendanciels explorant respectivement un futur où le territoire priorise soit la production alimentaire, soit la production électrique, (ii) un troisième scénario tendanciel qui compile les principales stratégies de territoire mises sur la table par les acteurs locaux « dominants » et enfin (iii) un scénario de rupture qui vise à mettre en œuvre un ensemble cohérent d'hypothèses à la fois positives pour une majorité d'acteurs et ambitieuses, visant une autonomisation alimentaire-électrique davantage poussée que dans les autres scénarios.

Dans le dernier Chapitre, les résultats de la simulation de ces 5 scénarios sous *ProdRun* sont présentés et discutés à la lumière de nos objectifs de recherche de départ.



Chapitre V :
Discussion des simulations et
perspectives

Le Chapitre IV a donné lieu à l'élaboration d'un modèle spatial et dynamique (*ProdRun*) et au calibrage de 5 scénarios de territoire. Ces scénarios, une fois simulés, permettent d'explorer la capacité d'autosuffisance du territoire d'étude à travers différents avènements possibles. Dans ce chapitre, les résultats de ces simulations sont d'abord présentés avec un accent sur leur comparaison en termes de taux de couverture des besoins alimentaires et électriques du territoire. Ensuite, deux scénarios sont identifiés comme les plus intéressants à la lumière de ces indicateurs : leurs conditions de mise en œuvre, notamment en termes de mesures de planification territoriale, sont alors discutées à la lumière des entretiens. D'importantes perspectives sont enfin dressées pour approfondir la recherche sur l'autonomisation des territoires insulaires, en prenant note des enseignements de cette étude et de ses limites.

1. Perspectives d'autonomisation modestes malgré des changements importants d'usage des sols

1.1 Changements d'usage des sols simulés susceptibles de radicalement transformer l'aspect du territoire

La simulation spatialement explicite permet de visualiser de possibles transformations majeures du paysage

La **Figure 26** illustre avec un aperçu de quelques kilomètres carrés dans le sud du territoire d'étude comment les processus modélisés influencent les usages du sol à l'échelle de tout le territoire pendant les simulations entre 2019 et 2040. Premièrement, l'impact de P1 est visuellement le plus flagrant. En effet, la disparition des champs de canne à sucre, substitués par de l'horticulture et des prairies est bien visible exceptée dans S4 et S5. Les changements d'usage des sols en faveur de la production alimentaire (prairies et horticulture essentiellement constituée de maraichage et de prairies) sont déjà visibles dans S1 mais apparaissent massifs dans S2 et S5. Néanmoins, à la différence de S2 on voit clairement que S5 priorise l'horticulture au détriment des prairies pour les nouvelles parcelles agricoles converties.

Tous les scénarios montrent ensuite l'ampleur du phénomène d'étalement urbain le long des routes et des espaces urbains existants : ici, l'est de l'aperçu semble particulièrement affecté où la menace de cette urbanisation en compétition avec les terres agricoles de la zone est bien visible. Seul le paysage simulé de S4 présente visuellement un meilleur contrôle sur cet étalement.

Enfin, l'impact du photovoltaïque au sol reste limité sur tous les paysages simulés, bien que plus sensible (avec quelques parcelles bien visibles) dans le cas de S3 ainsi que S1 dans une moindre mesure.

Il est important de souligner que du fait d'algorithmes intégrant de l'aléatoire, deux simulations d'un même scénario produisent deux images du territoire qui ne sont pas rigoureusement identiques. L'échelle d'interprétation des résultats ne peut donc pas être la parcelle mais bien le paysage, en considérant des ensembles de parcelles géographiquement proches, avec des valeurs d'attributs similaires (pente, altitude, irrigation, distance aux centres urbains, etc.) et qui sont affectées de manière semblable par les processus modélisés.

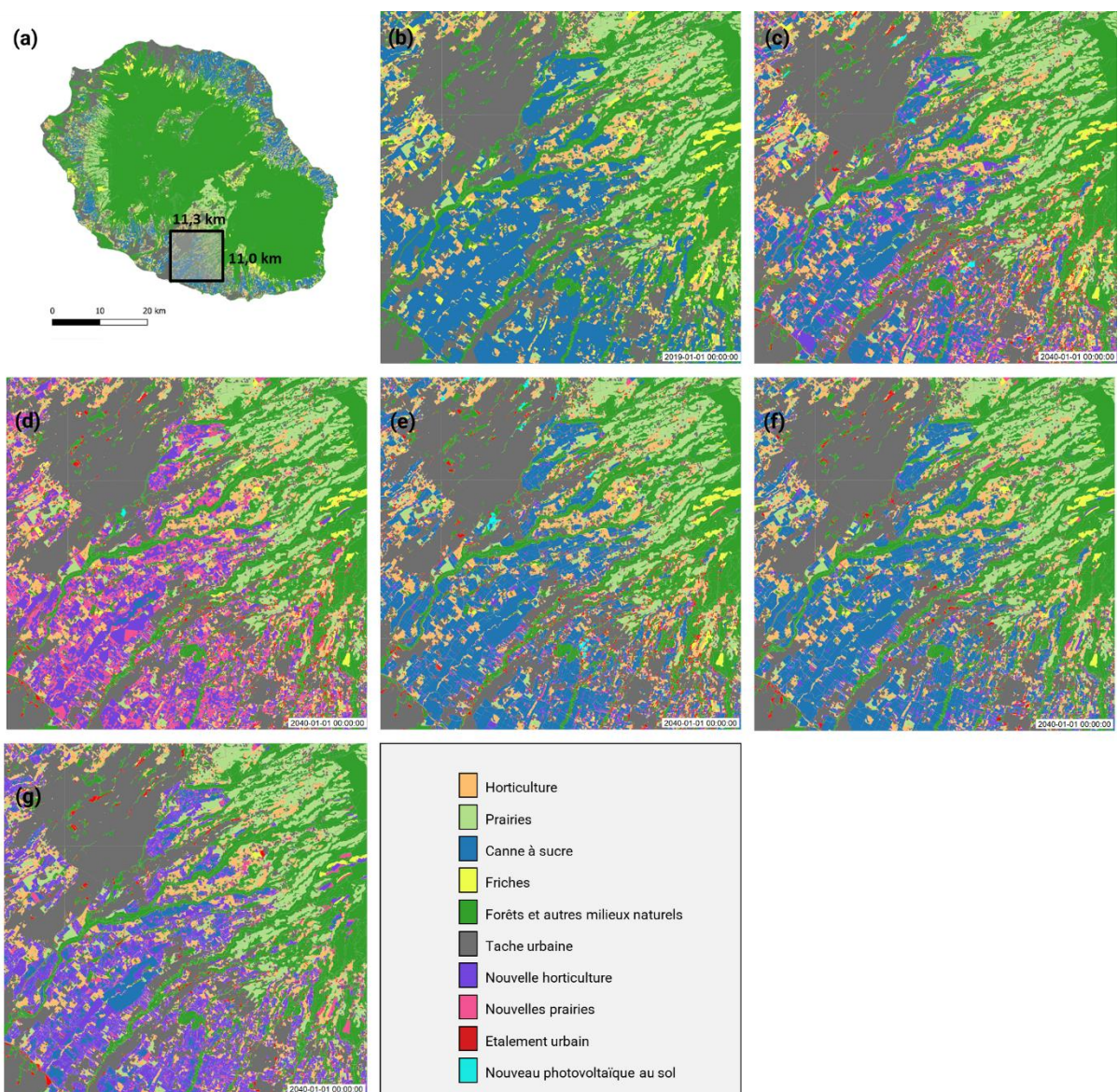


Figure 26 : Aperçu des changements d'usage des sols simulés de façon spatialement explicite (paysage dans le sud du territoire d'étude). A partir de l'état initial de 2019 (a, b), de nouveaux paysages sont simulés selon les 5 scénarios : S1 « Extrapolation » (c), S2 « Priorité à l'alimentaire » (d), S3 « Priorité à l'électricité » (e), S4 « Planification et compromis » (f) et S5 « Planification, nouvelle canne et localisme alimentaire » (g) (source : auteur).

La diversification de la canne à sucre apparaît comme le processus simulé qui présente le plus d'influence sur les usages du sol

ProdRun étant un modèle probabilistique, deux simulations successives d'un même scénario peuvent aboutir à des images spatiales différentes comme expliqué dans la partie précédente. En revanche, des tests conduits par l'auteur montrent que d'une simulation à une autre, les variables intégrées à l'échelle du territoire (comme la surface totale de chaque usage du sol) restent très proches de la même valeur. Par la suite, de telles variables intégrées seront donc préférées pour comparer les résultats de nos simulations afin de faire abstraction au maximum de la variabilité spatiale locale des simulations.

En s'intéressant aux surfaces cumulées par usage du sol à l'échelle de tout le territoire, comme montré dans la **Figure 27** ci-dessous, les scénarios simulés présentent une variété de dynamiques entre 2019 et 2040 : de -23999 hectares à -174 hectares pour la canne à sucre, de +498 hectares à +6811 hectares pour les prairies, de +1608 hectares à +9204 hectares pour l'horticulture et de +3069 hectares à +5492 hectares pour la tache urbaine. On peut remarquer qu'une trajectoire globale se dégage de l'ensemble des scénarios simulés. D'une part, globalement, les surfaces de canne à sucre déclinent pour laisser la place aux prairies et à l'horticulture (essentiellement alimentaire s'agissant de maraichage et de vergers). D'autre part, la tache urbaine continue à croître dans tous les scénarios, bien que présentant une amplitude possible dans son rythme de croissance. Quel que soit le scénario, l'emprise du nouveau photovoltaïque au sol est trop faible pour être représentée sur la **Figure 27** (+216 hectares dans S2, le seul scénario où ce processus s'accélère).

Cependant, il apparaît clairement que ce sont les surfaces de canne qui témoignent de la plus grande amplitude d'évolution entre les différents scénarios simulés (entre un maintien et un effondrement total des surfaces concernées). Ce résultat souligne la place pivot de la diversification de la canne à sucre comme processus largement déterminant du foncier disponible entre tous les scénarios simulés, et donc dans l'avenir du territoire d'étude.

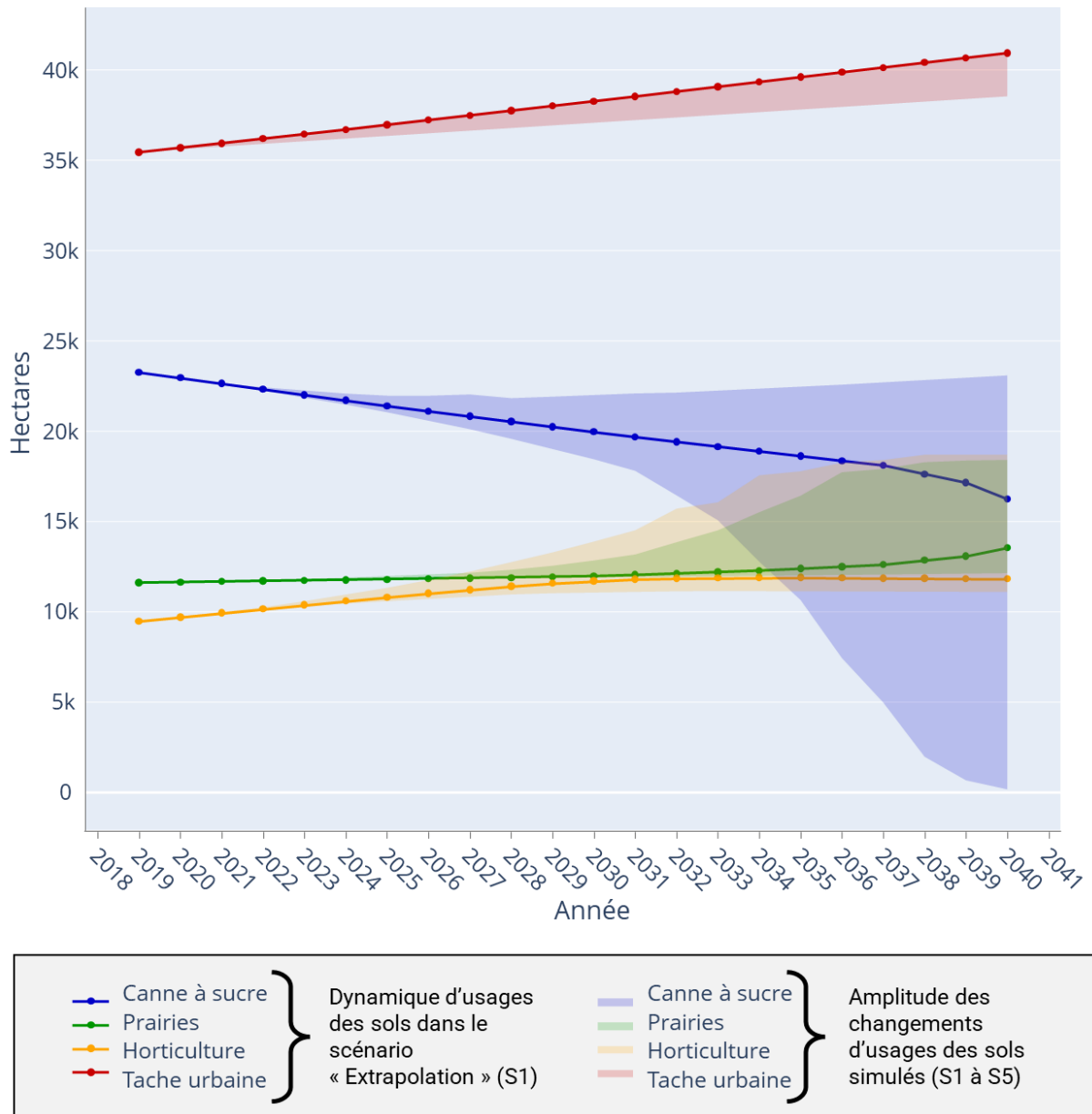


Figure 27 : Amplitude des dynamiques simulées pour 4 usages du sol (canne à sucre, prairies, horticulture et tache urbaine) dans les 5 scénarios simulés. Les courbes en plein correspondent à l'évolution des usages du sol d'après le scénario "Extrapolation" (S1) tandis que les aires colorées montrent l'amplitude des surfaces simulées en considérant tous les scénarios (source : auteur).

1.2 Taux de couverture plafonnés : l'autonomisation est possible mais la contrainte foncière exerce une pression forte

Présentation des taux de couverture simulés : l'autonomisation est possible mais l'autonomie n'est pas atteinte

Présentés en III.2.1, les TC implémentés dans le modèle expriment la part des besoins satisfaits par la production locale et constituent des indicateurs privilégiés du degré d'autonomisation de l'île. La **Figure 28** expose l'évolution comparée des 6 TC calculés au cours des simulations : pour chacun, la trajectoire des 5 scénarios est présentée.

Un premier niveau d'analyse concerne le scénario de référence (S1) dont les tendances en termes de taux de couverture sont relativement stables. Dans le détail, on note que TC_{ahg} (taux de couverture pour l'alimentation humaine globale) croît légèrement tandis que les taux relatifs à l'électricité ($TC_{bioélectrique}$ et $TC_{électrique}$) sont en déclin à l'image des surfaces de canne à sucre. Mais l'impact des différents processus reste globalement modeste lorsque l'on poursuit linéairement les tendances actuelles. Ces conditions ne permettent aucune autonomisation du territoire d'étude. Par ailleurs, on peut voir l'importance de l'implémentation de la PPE indépendamment des autres variables pour expliquer l'écart de $TC_{électrique}$ chez S1 avec les autres scénarios.

Un second niveau d'analyse consiste à comparer les trajectoires des indicateurs selon les 3 scénarios tendanciels (S2, S3 et S4). On se concentre d'abord sur les scénarios S2 et S3, construits comme deux variantes extrêmes l'une de l'autre selon que l'on mobilise un maximum de terres et de ressources pour la production alimentaire ou pour la production bioélectrique. On peut voir qu'ils correspondent également aux deux extrêmes en ce qui concerne la part de bioélectricité dans le mix électrique ($TC_{bioélectrique}$) ce qui se reporte naturellement sur le $TC_{électrique}$. Ce dernier résultat en particulier permet de visualiser le rôle de la canne à sucre dans un mix électrique, entre un scénario de légère augmentation (S3) et un scénario d'effondrement total de la filière (S2). En revanche, S2 et S3 ne définissent plus le maximum et le minimum pour le TC_{ahg} . Malgré une hypothèse de plafonnement de la diversification, S4 fait ici mieux avec 3 avantages face à S2 sur le plan alimentaire : (i) un contrôle de l'étalement urbain, (ii) un meilleur taux de conversion des friches et (iii) un régime alimentaire plus local. Par ailleurs, le TC_{acg} et le $TC_{azote\ disponible}$ sont de nouveau bornés par S2 et S3. Pour l'alimentation animale, la valorisation importante des biodéchets pour substituer une partie des concentrés à destination du cheptel semble ici efficace en combinaison avec une extension des prairies, même si sur ce dernier point strictement, S3 fait mieux que S4 ($TC_{fourrages}$), probablement dû à la taille supérieure du cheptel de polygastriques dans ce dernier scénario. Pour le $TC_{azote\ disponible}$ cependant, le meilleur

taux est obtenu par S3 et le pire par S2 alors que c'est ce dernier qui mobilise largement les ressources du territoire en faveur de l'autosuffisance alimentaire, dont la fertilisation des cultures. Ce résultat inattendu invite à considérer avec prudence l'indicateur $TC_{\text{azote disponible}}$ comme cela est détaillé en V.3.1.

Un troisième niveau d'analyse convoque les résultats du scénario de rupture S5 en comparaison des trajectoires précédentes. Sur le plan alimentaire d'abord, S5 parvient à presque doubler le TC_{ahg} (de 28% à 55%), bien au-delà des autres scénarios. A noter que l'indentation visible sur la courbe de TC_{ahg} pour S5 est un artefact du modèle dont il est question en V.3.1. Cette courbe croissante s'accompagne d'un statu quo, voire d'une légère augmentation sur l'alimentation animale. S5 fait également partie des 3 scénarios qui se détachent avec un fort $TC_{\text{azote disponible}}$. A la différence de S4, S5 parvient à engager le territoire dans l'autonomisation alimentaire humaine sans provoquer une érosion sur l'autonomie alimentaire du cheptel. Par rapport aux autres scénarios, notamment S4, ce succès semble dû à la combinaison de plusieurs facteurs : (i) une production alimentaire supérieure grâce à la diversification, aux friches reconverties et à de nouvelles cultures permettant de mieux couvrir les besoins en féculents, protéagineux et en huiles dans une moindre mesure, (ii) un cheptel réduit, notamment pour certains monogastriques semblant moins « efficaces » en alimentation à la lumière des données à notre disposition (poulets de chair et poules pondeuses) et (iii) tout en conservant les hypothèses fortes de planification de S4, en particulier sur l'urbanisation et le régime alimentaire plus local et équilibré. Sur le plan électrique en revanche, S5 aboutit logiquement à une baisse de $TC_{\text{bioélectrique}}$ (et en conséquence de $TC_{\text{électrique}}$) malgré des hypothèses d'amélioration du potentiel bioélectrique de la canne. Mais la baisse observée sur les indicateurs électriques reste contenue par rapport à S2 et permet même d'égaliser la trajectoire de référence pour la bioélectricité. En revanche, on voit qu'aucun scénario mettant en œuvre la PPE (S2 à S5) ne permet d'éviter une « courbe en cloche » se traduisant par une chute de $TC_{\text{électrique}}$ en fin de simulation, probablement du fait de la croissance continue des besoins électriques bien au-delà de la capacité du territoire à les satisfaire à partir de ses seules ressources locales.

En conclusion, les scénarios qui se différencient essentiellement par des hypothèses sur l'usage des sols et des ressources tels que S2 et S3 illustrent l'arbitrage entre autonomisation alimentaire d'un côté et électrique de l'autre. En effet, en se concentrant sur TC_{ahg} et $TC_{\text{bioélectrique}}$, les deux enjeux semblent opposés et irréconciliables puisque le meilleur scénario pour un taux est aussi le pire pour l'autre. Heureusement, les hypothèses d'optimisation (notamment par la planification) apportées par S4 et S5, permettent une sortie relative de cette opposition entre enjeux d'usage des sols et des ressources alimentaires contre électriques. Cela est visible car S4 et surtout S5 permettent à la fois une autonomisation alimentaire meilleure que les autres scénarios tout en permettant une autonomisation électrique supérieure aux autres scénarios (à l'exception de S3). Ce dernier résultat

souligne que même dans le meilleur des cas, l'autonomisation alimentaire-électrique reste relative dans nos simulations et pose la question d'un nécessaire arbitrage entre ces deux enjeux.

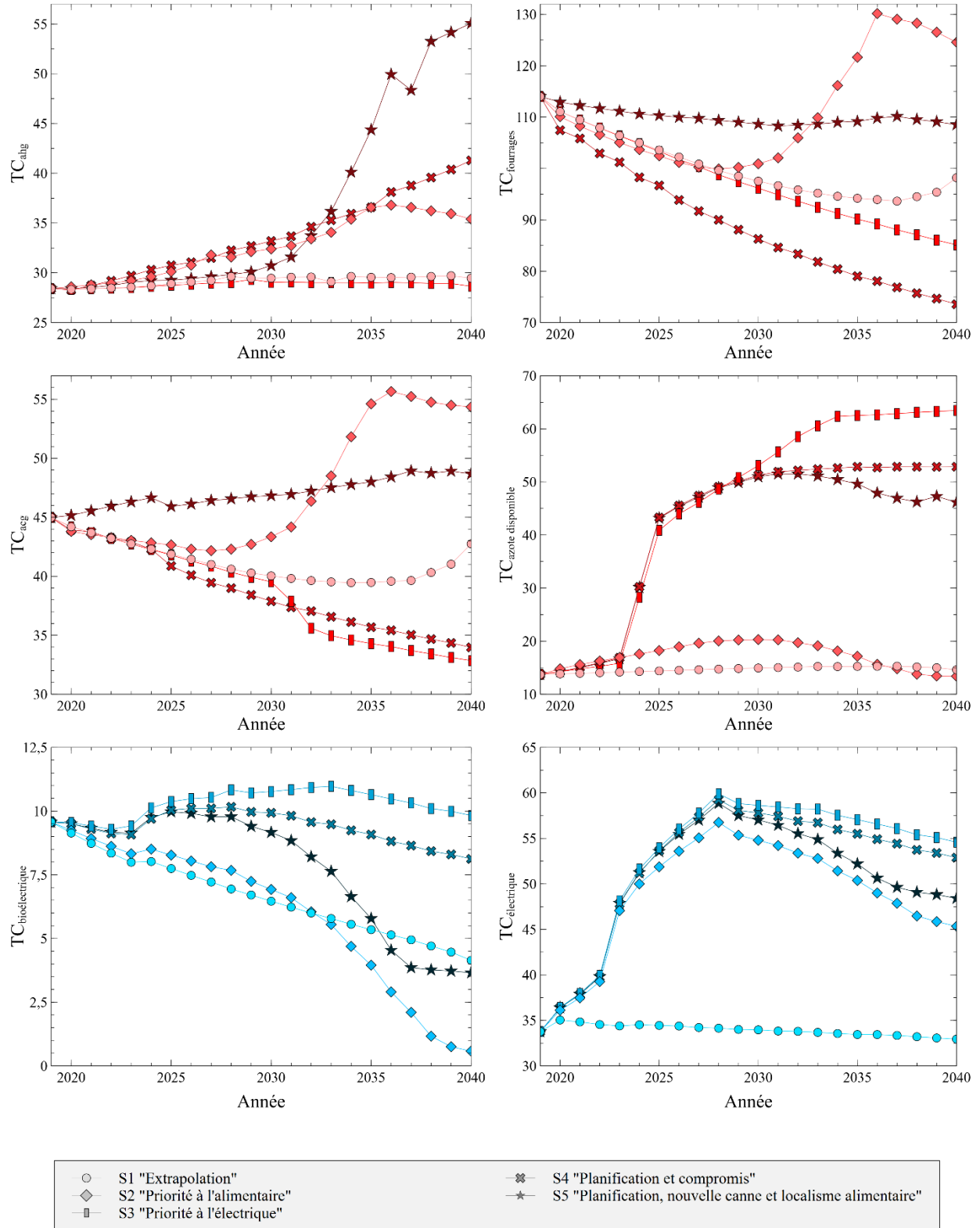


Figure 28 : Evolution comparée des indicateurs d'autosuffisance (taux de couverture relatifs à l'alimentation en rouge et relatifs à l'électricité en bleu) dans les 5 scénarios simulés sous *ProdRun*.
 $TC_{ahg} = TC_{\text{alimentation humaine globale}}$ et $TC_{acg} = TC_{\text{alimentation cheptel global}}$ (source : auteur).

La contrainte foncière apparaît comme le principal frein à l'autonomisation alimentaire-électrique des systèmes insulaires

Comme expliqué précédemment, aucune simulation ne permet d'augmenter de manière importante à la fois le degré d'autosuffisance alimentaire et la part de bioélectricité dans le mix électrique. En effet, les résultats soulignent la difficulté d'accroître simultanément la production de nourriture et de bioélectricité. Le manque de foncier semble être la principale limite pour notre territoire d'étude comme en témoignent les nombreux facteurs de changement essentiels identifiés avec une composante spatiale, par exemple : « Enfrichement et récupération de friches agricoles », « Etalement urbain », « Valorisation électrique des biomasses », etc.

La disponibilité physique de foncier est déjà identifiée comme une condition pour la relocalisation de systèmes alimentaires du fait de compétitions possibles avec les cultures énergétiques (Yuling Leung Pah Hang et al., 2016) ou l'urbanisation (Zasada, 2019). Mais pour un système insulaire où le foncier est une ressource encore plus limitée, la littérature confirme que dans d'autres contextes le manque de foncier représente aussi la principale limite à l'autonomisation alimentaire (Rahman Set al., 2022 ; Halldórsdóttir & Nicholas, 2016) et à la recherche d'un éventuel équilibre entre autonomisation alimentaire et électrique (Kim et al., 2015), comme c'est le cas dans notre sujet d'étude. Dans cette dernière étude cependant, les auteurs parviennent à estimer un potentiel d'autonomie alimentaire et électrique combiné de 100% en mobilisant la majeure partie des terres disponibles à l'échelle d'une île d'Hawaii. Sur le seul volet alimentaire, Halldórsdóttir et Nicholas (2016) estiment qu'en Islande, le taux de couverture peut dépasser largement 50% (jusqu'à atteindre une valeur bien plus élevée puisqu'ils prévoient qu'une couverture totale des besoins en féculents dans l'alimentation humaine). Face à ces résultats témoignant de perspectives excellentes pour d'autres territoires insulaires, on pourrait penser que notre territoire d'étude atteint un niveau de couverture décevant. Or, comme le montre le **Tableau 9** ci-dessous, la comparaison d'indicateurs d'autosuffisance entre territoires est délicate : le ratio entre nombre d'habitants et surface agricole disponible est en effet très défavorable pour La Réunion (près de 10 fois inférieur). De plus, dans le cas de l'Islande, l'abondance de potentiel géothermal donne un net avantage pour l'autonomie électrique sans que le territoire n'ait besoin d'envisager de produire de la bioélectricité (IRENA, 2022).

Territoire d'étude	Surface agricole actuelle (ha)	Surface agricole potentielle (ha)	Population	Disponible agricole actuel (ha / habitant)	Disponible agricole potentiel (ha / habitant)	TC _{ahg} maximum estimé	TC _{elec} maximum estimé
Ile de La Réunion	44766	53113	861210	0,05	0,06	55,06	54,6
Kauai (Ile d'Hawaii)	nc	55407	72190	nc	0,77	100	100
Islande	120000	200000	320000	0,38	0,63	>50	100

Tableau 9 : Comparaison des taux de couverture maximum estimés selon *ProdRun* avec deux autres territoires insulaires dont des études estiment qu'ils sont susceptibles d'atteindre (ou d'approcher de près) une autonomie alimentaire-électrique totale. Pour l'île de La Réunion : TC_{ahg} maximum est issu de S5 et TC_{elec} est issu de S2 ; pour Kauai, les données proviennent de Kim et al. (2015) de la plateforme usafacts.org²⁶ ; pour l'Islande, les données sont estimées par Halldórsdóttir & Nicholas (2016) et IRENA (2022).

Enfin, sur l'île de La Réunion, la contrainte foncière est d'autant plus forte que l'essentiel des potentiels changements d'usage des sols concernent une frange réduite du territoire, essentiellement dans « Les Bas » de l'île comme souligné par la **Figure 29**. Cela illustre visuellement là où se déroule la « géopolitique de l'aménagement » (Subra, 2007), autrement dit l'essentiel des conflits d'usage.

²⁶ <https://usafacts.org/data/topics/people-society/population-and-demographics/our-changing-population/state/hawaii/county/kauai-county?endDate=2019-01-01&startDate=2010-01-01>

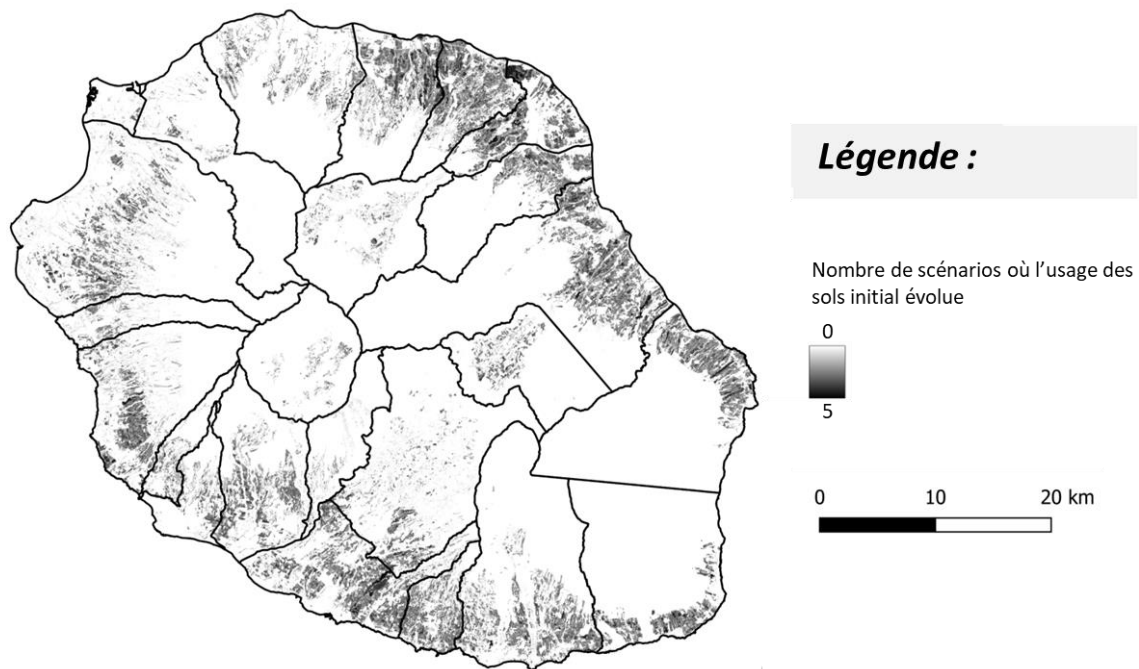


Figure 29 : Distribution des changements d’usage des sols dans les 5 scénarios simulés. Tous les changements d’usages simulés quels que soient les processus mis en jeu sont ici considérés (source : auteur)

PREMIÈRE CONCLUSION PARTIELLE DU CHAPITRE V :

Les scénarios simulés illustrent combien l’autonomisation du territoire d’étude repose sur la mobilisation de parcelles situées essentiellement sur une frange littorale. **Cette réserve foncière limitée**, associée à une population importante, ne permet qu’une **autonomisation relative** où se pose la **question de l’arbitrage entre l’enjeu alimentaire ou électrique**. Heureusement, **S4 et S5 convoquent des hypothèses d’optimisation** permettant d’envisager **deux compromis possibles**, bien que chacun d’eux privilégie soit l’alimentaire, soit le maintien de la canne à sucre valorisée en électricité.

2. Autonomisation alimentaire-électrique et importance de la planification territoriale

2.1 Deux scénarios sont à retenir parmi ceux simulés en raison des incertitudes sur le caractère stratégique de la bioélectricité à l'avenir

Conserver une production de bioélectricité est-il stratégique pour le territoire d'étude ?

Les résultats de la **Figure 28** indiquent que la production bioélectrique peut localement être légèrement augmentée dans le meilleur des cas, à environ 15% des besoins électriques dans S2. Cette part peut sembler faible mais pourrait jouer un rôle essentiel pour deux raisons.

Premièrement, la production de bioélectricité, par exemple grâce à la canne à sucre, a le potentiel d'augmenter l'autosuffisance énergétique, surtout pour les îles en zone non interconnectée où elle constitue souvent la seule source locale synchrone d'électricité, participant ainsi à la stabilité du réseau (Chary et al., 2018 ; Kim et al., 2015). Nos résultats confirment cet enseignement : parmi les scénarios mobilisant la PPE (S2 à S5), recourir ou non à la valorisation de la bagasse de canne à sucre augmente $TC_{\text{électrique}}$ de 45,34 % (S2) à 54,58% (S3).

Deuxièmement, les scénarios misant sur un déploiement important de photovoltaïque tel que planifié par la PPE (S2 à S5) pourraient ne pas être atteignables si la quantité totale d'électricité asynchrone injectée sur le réseau dépasse un « seuil de déconnexion » (tel qu'expliqué en I.1.1) dont le maintien, voire l'augmentation repose notamment sur du stockage en batteries [PRV/09]. Or Vidal (2018) documente un phénomène de raréfaction géologique qui concerne à la fois des « terres rares » (cobalt dans les systèmes de stockage sur batteries par exemple), mais aussi des « métaux structurants » comme l'acier et le cuivre. Cette criticité métallique complique donc simultanément l'élévation du seuil de déconnexion (difficulté à produire des batteries) et la construction même des moyens de production d'électricité renouvelable.

Au contraire, on peut objecter que la production de bioélectricité a un potentiel limité et n'est pas stratégique pour le territoire pour deux raisons.

Premièrement, le potentiel de la bioélectricité est localement limité à cause de la disponibilité du foncier ce qui est également relevé dans d'autres contextes insulaires (Chary et al., 2018). Cette production bioélectrique entre en conflit avec la production alimentaire comme explicité en V.1.2 ce qui rend nécessaire la recherche d'alternatives sans conflit d'usage comme le solaire (préférentiellement en toiture). Sur ce point, nos résultats (voir **Tableau 10**) montrent en outre qu'en

allant vers de la canne dite « mixte » associée à une hypothèse de récupération massive du gisement de paille de canne (à l’instar de S3), le gain de production électrique par unité de surface peut aller jusqu’à 13,96% mais resterait vraisemblablement proche de 2% dans un scénario de mobilisation modeste de la paille de canne comme S5 : l’intensification ne permet donc que d’éviter partiellement le conflit d’usage.

Deuxièmement, pour certains auteurs les progrès récents en termes de stockage et de gestion du réseau ont le potentiel d’augmenter la part de renouvelable intermittent dans le mix électrique des systèmes insulaires (Al Katsaprakakis & Voumvoulakis, 2018), comme celui de La Réunion (Maïzi et al., 2018). En dépit de la criticité métallique précédemment évoquée, la **Figure 30** rappelle que le seuil de déconnexion actuel se situe entre 30 et 35% de part d’électricité asynchrone dans le mix électrique, tandis que des améliorations technologiques et davantage de moyens de stockage permettraient d’augmenter ce seuil à 45% dans les prochaines années [SCV/21]. A moyen terme, il paraît donc improbable que la croissance du photovoltaïque se retrouve plafonnée et ne permette pas de compenser la baisse de production bioélectrique, même dans un scénario de disparition de la filière cannière comme S2. Par ailleurs, plusieurs enquêtés soulignent que d’autres moyens de stockage pourraient être envisagés afin d’élèver le seuil de déconnexion : par exemple, des stations de transfert d’énergie par pompage (STEP) (qui pourraient même être jumelées avec des retenues collinaires pour l’irrigation) mais dont le potentiel global semble limité [SCV/20].

Simulations en 2040	S1	S2	S3	S4	S5
Tonnage de bagasse (tMB)	376173	3659	539359	500280	154409
Tonnage de mélasse (tMB)	55182	540	77284	73303	20565
Tonnage de paille de canne (valorisée en électricité)	0	0	30550	0	98
Electricité équivalente totale (MWh)	199877	1945	319950	265790	81424
Electricité équivalente totale sans canne mixte et sans paille de canne (MWh)	199877	1945	280764	265790	79832
Intensification grâce à la canne mixte et la mobilisation de paille de canne (%)	0	0	13,96	0	1,99

Tableau 10 : Comparaison de la production d’électricité à partir de canne à sucre entre les différents scénarios simulés (source : auteur).

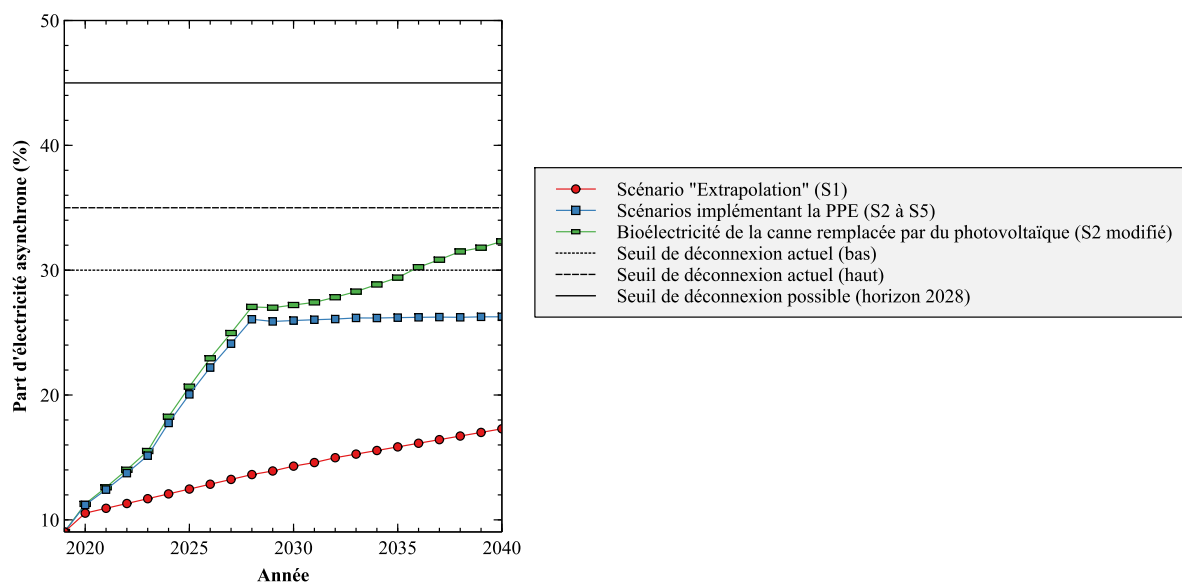


Figure 30 : Comparaison de l'évolution de la part d'électricité asynchrone dans le mix électrique selon une extrapolation linéaire du mix électrique (S1), un respect des prescriptions de la PPE (S2 à S5) ou un scénario S2 modifié où toute la production bioélectrique (perdue par érosion du foncier cannier) est substituée par du photovoltaïque. Différents niveaux de seuils de déconnexion sont également indiqués pour préciser les limites actuelles (une opinion « basse » et une opinion « haute » sur le sujet) ainsi que future qui pourraient plafonner la part d'électricité asynchrone sur le réseau (source : auteur / valeurs des seuils de déconnexion : Selosse, 2018, [PRV/09] [SCV/21]).

La décision de conserver les sources locales de bioélectricité impacte le mix électrique à horizon 2040

Conserver des réserves de biomasse pour la production bioélectrique constitue une assurance pour faire face à des temps d'incertitudes sur les ressources énergétiques. Dans le cas contraire, d'autres sources d'électricité synchrone, vraisemblablement de la biomasse importée selon la PPE (et tel que simulé dans nos scénarios), viendraient substituer la production électrique manquante. Cela se ferait néanmoins au détriment de l'autosuffisance électrique du territoire et l'exposerait à des crises d'approvisionnement dans un contexte mondial de demande croissante de biomasse valorisable en électricité (IEA, 2021).

Mais d'autre part, si le photovoltaïque peut être déployé massivement à l'avenir, ce qui suppose un certain nombre de conditions techniques et économiques, alors la canne à sucre (éventuellement remplacée à terme par une autre culture énergétique plus performante) cesserait d'être stratégique et les terres agricoles pourraient être dédiées à la production alimentaire comme dans les scénarios S2 ou S5. En effet, la **Figure 30** suggère que les prévisions d'évolution du seuil de déconnexion rendent

possible de substituer la bioélectricité locale manquante si la canne disparaît par de l'installation supplémentaire de sources asynchrones comme le photovoltaïque. Malgré l'approximation de comparer un mix électrique annuel au seuil de déconnexion (on ne prend pas en compte de potentielles variations ponctuelles), on peut ainsi envisager de corriger les simulations de $TC_{\text{électrique}}$ (précédemment présentées sur la **Figure 28**) pour qu'elles intègrent cette substitution par de l'électricité asynchrone locale (qui serait vraisemblablement issue majoritairement de photovoltaïque). La **Figure 31** visualise pour S5 la quantité supplémentaire d'électricité à injecter dans le réseau pour substituer partiellement ou totalement la bioélectricité manquante à cause de la baisse des surfaces cannières.

Enfin, les deux mix électriques à horizon 2040 selon S4 et S5 sont présentés sur la **Figure 32** : dans S5, davantage de biomasse importée vient équilibrer le mix électrique en raison de la baisse des surfaces cannières mais une substitution par une source asynchrone comme du photovoltaïque était également possible (comme décrit sur au paragraphe précédent).

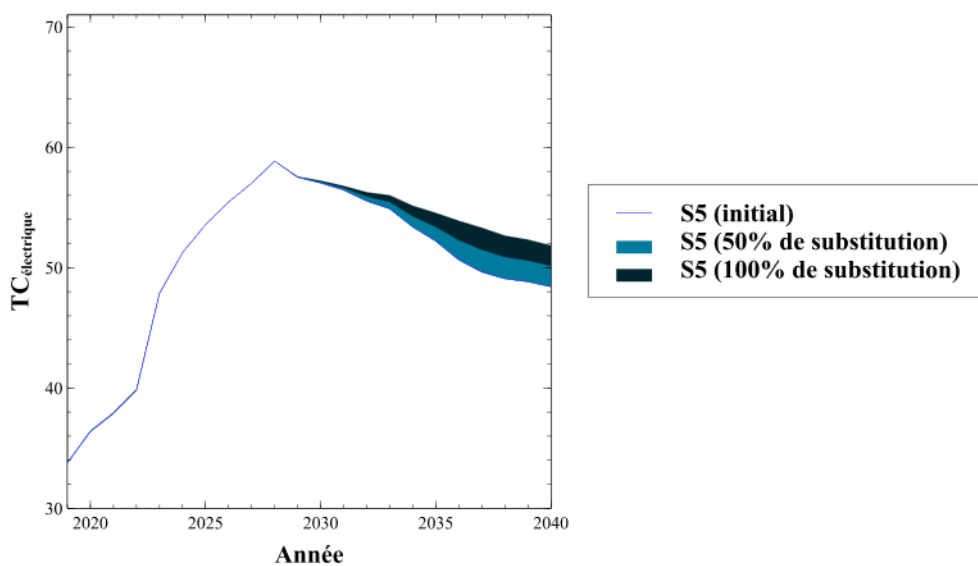
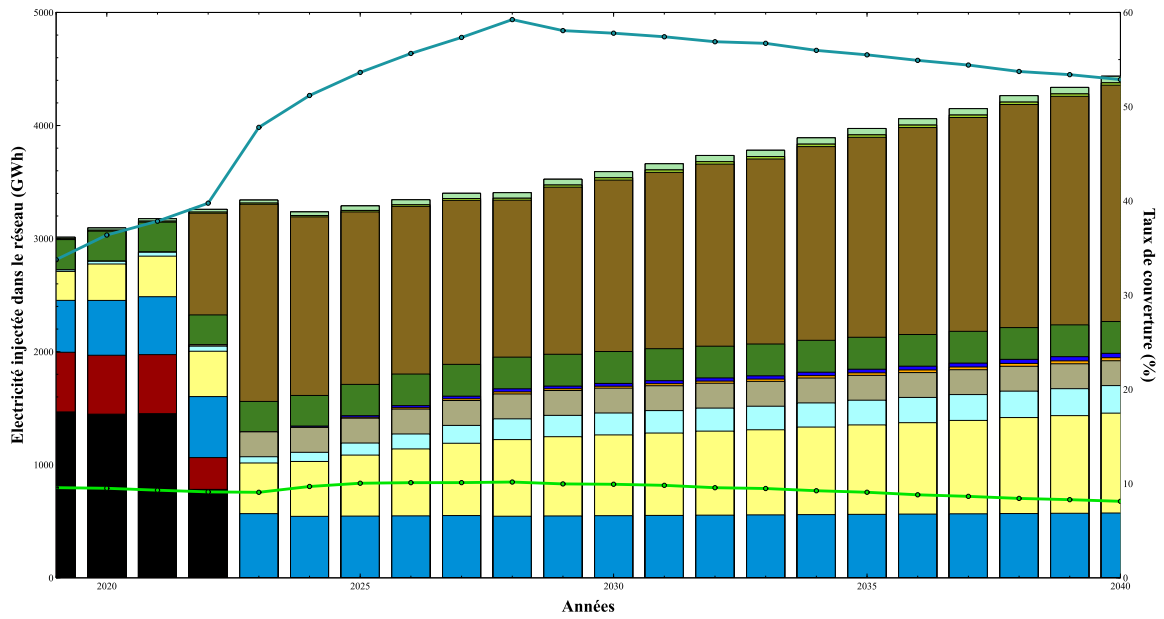


Figure 31 : Production électrique supplémentaire nécessaire à une substitution totale ou partielle pour compenser la perte de production bioélectrique dû au recul de la canne dans le scénario S5. La substitution correspond à une production injectée supplémentaire de 76,9 GWh (substitution partielle) ou 153,9 GWh (substitution totale) (source : auteur).

S4 "Planification et compromis"



S5 "Planification, nouvelle canne et localisme alimentaire"

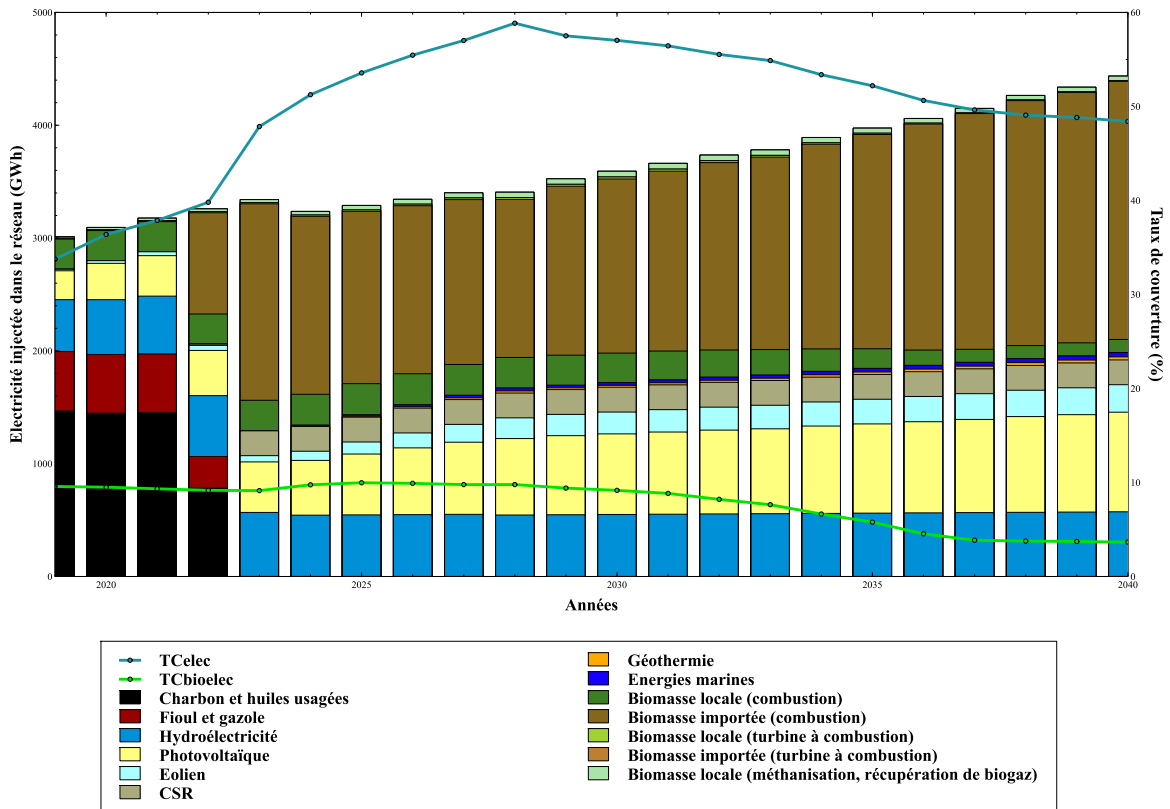


Figure 32 : Evolution du mix électrique selon le scénario S4 et S5. La part de production injectée issue des énergies fossiles (charbon, huiles usagées, fioul et gazole), de l'hydroélectricité, du photovoltaïque, de l'éolien, de la combustion de CSR, de la géothermie ainsi que des énergies marines suit la PPE jusqu'à 2028 (Région Réunion, 2022) puis est extrapolée. Les valeurs électriques pour les biomasses

locales valorisées par combustion, turbine à combustion, méthanisation ou récupération de biogaz sont issues des simulations sous *ProdRun*. Les volumes d'électricité injectés par la valorisation de biomasses importées par combustion d'une part (bois énergie importé) et turbine à combustion d'autre part (bioéthanol importé) sont modifiés par rapport aux prévisions de la PPE pour que le total d'électricité injectée soit égale aux besoins, suivant le scénario de consommation Emeraude selon EDF (2022) (source : auteur).

SECONDE CONCLUSION PARTIELLE DU CHAPITRE V :

A ce stade, **deux scénarios se révèlent particulièrement intéressants à explorer pour le territoire** : (i) **S4** car il permet une **augmentation sensible du taux de couverture en alimentation humaine global** tout en conservant un **foncier cannier important**, dans le cas où de telles réserves de biomasses seraient utiles notamment si l'augmentation de la part du photovoltaïque dans le mix se retrouvait contrainte et (ii) **S5** car il permet un **fort accroissement de l'autosuffisance alimentaire** tout en conservant **une petite réserve de canne à sucre** et, si les conditions techniques et économiques le permettent, présente la **possibilité de contrebalancer le manque de bioélectricité par du photovoltaïque supplémentaire**. Au final, la valeur de $TC_{\text{électrique}}$ à horizon 2040 apparaît faiblement affectée par le maintien ou non de la canne à sucre

2.2 Planification territoriale au service de l'autonomisation : des mesures ambitieuses d'aménagement, de sobriété, de politique agricole et de gouvernance sont nécessaires

Les hypothèses des simulations mettent en évidence l'importance d'outils de planification pour aménager le territoire tout en protégeant ses espaces agricoles

Comme détaillé en V.1.2, les résultats des simulations montrent que les meilleurs taux de couverture sont obtenus dans les scénarios qui implémentent un certain nombre de mesures à échelle régionale, autrement dit participant d'une planification territoriale. Une partie de ces outils de planification concerne directement l'aménagement du foncier mais s'appuient sur des conditions qu'il convient d'explicitier.

Premièrement, il faut rappeler le besoin d'accompagner la substitution de la canne par de l'horticulture et des vergers dans S1 mais surtout dans S2 et S5. En effet, certains enquêtés soulignent que c'est d'abord « l'urbanisation qui remplace la canne qui disparaît si effondrement (de la filière) » [SCV/17]. Ainsi, dans ces scénarios où la diversification est très importante, pour que le recul de la canne se traduise plutôt par de nouvelles cultures qu'une perte de foncier agricole, on fait l'hypothèse que ce

dernier est protégé par de nouveaux outils plus stricts et de long terme comme des Zones d'Agriculture Protégées (ZAP) ou des périmètres de protection et mise en valeur des espaces agricoles et naturels (PAEN). Néanmoins, à l'heure actuelle sur ce sujet, quelques acteurs déplorent qu'il n'y ait « pas une volonté politique forte » [SCV/04].

Deuxièmement, le contrôle de l'étalement urbain dans S4 et S5 requiert la mise en œuvre des prescriptions du SAR telles que décrites dans Région Réunion (2020). Le point le plus délicat semble aujourd'hui concerner la « difficulté à densifier » [SCV/09] : concrètement, respecter les objectifs de densité urbaine (pour les nouvelles extensions) mais surtout de densification (pour les aires urbaines existantes) selon l'armature urbaine territoriale décrite dans le SAR [SCV/15].

Troisièmement, la récupération massive de friches à un niveau égal ou supérieur aux projections d'AGriPéï (dans S4 et S5) passe par le déploiement supérieur de moyens humains et financiers pour (i) « mener à bien les enquêtes ciblées sur chaque commune » [SCV/15] pour déterminer la localisation des friches, (ii) réaliser les procédures de terres incultes (qui « doivent permettre de remettre en cultures (les friches) » [SCV/15]) et enfin (iii) achever la récupération des parcelles par maîtrise foncière (terrassements éventuels, irrigation, etc.) [PRV/11]. La mise en valeur agricole des friches en zone protégée telle que nécessaire dans S5 est beaucoup plus difficile [SCV/09]. Pour des difficultés logistiques (pente, éloignement, irrigation, etc.) mais aussi parce qu'elle se heurte à des risques d'érosion [SCV/07] et de dommages sur la biodiversité [SCV/14] bien que les enjeux de conservation y soient moindres (parcelles essentiellement envahies par des espèces exotiques envahissantes, dont la destruction est vue comme un bénéfice pour la qualité du milieu par les gestionnaires). La récupération de friches en Espace Naturel Sensible ou sur certaines parcelles du PNR suppose donc l'élaboration de techniques agronomiques douces pour l'écosystème : « l'agroforesterie est bien adaptée » [SCV/09].

Quatrièmement, la diminution de la part de photovoltaïque installé au sol dans S2, S4 et S5 suppose que le photovoltaïque au sol est vivement découragé par les politiques publiques d'aménagement. Et cela, bien que nos résultats montrent qu'il aurait une empreinte spatiale très faible même dans S2 où il se développe (voir V.1.1). Les enquêtés ont en effet rappelé « l'irréversibilité » de la conversion de terres en panneaux solaires [SCV/01], alors même que des alternatives existent. Cela passe par exemple par la reconnaissance réglementaire du photovoltaïque installé au sol comme une « artificialisation » du sol, une opération à éviter donc pour aller vers le « zéro artificialisation nette », objectif fixé par les politiques publiques nationales [SCV/07]. En parallèle, tout cela implique que les objectifs de photovoltaïque soient satisfaits par le potentiel des toitures, même si cela prend plus de temps et coûte plus cher d'après plusieurs acteurs [SCV/11], car on passe d'une installation centralisée

à une multitude de petites installations que le réseau doit ensuite prendre en charge et répartir entre les différents postes sources électriques du territoire (Tapachès et al., 2019).

Ainsi, ces hypothèses implicites à nos scénarios soulignent le besoin de mettre en place des mesures pour aménager le foncier du territoire de manière planifiée tout en protégeant ses espaces les plus sensibles, notamment du risque d'urbanisation comme la littérature le souligne pour les autres SIDS (Batra & Norheim, 2022). Ces conditions sont nécessaires à l'atteinte des taux de couverture les plus ambitieux simulés sur la **Figure 28**. Par ailleurs, alors que nos simulations illustrent les bénéfices de la planification territoriale pour améliorer l'autosuffisance, la portion de foncier concerné telle que décrite en V.1.2 (frange essentiellement côtière) se compose majoritairement de parcelles fragmentées, de petites tailles et privées. Cet état du foncier vient au contraire compliquer toute politique d'aménagement de grande ampleur. Concernant la récupération des friches par exemple, plusieurs acteurs prônent une évolution réglementaire du droit de propriété pour accélérer leur remise en culture, permettant par exemple de passer outre sous certaines conditions le statut d'indivision d'une parcelle [SCV/01].

La sobriété planifiée dans la consommation alimentaire et électrique est une voie prometteuse

La PPE implémentée comme hypothèse dans tous les scénarios simulés sauf S1 repose pour partie sur une modération des besoins électriques de la population grâce à des actions de maîtrise de la demande en énergie (MDE). Mais comme le relèvent Villalba et Semal (2018), les politiques énergétiques s'appuient essentiellement sur de l'efficacité énergétique, autrement dit sur un « imaginaire techniciste [qui] coexiste difficilement avec l'imaginaire de la finitude et du délai qui donne sens à la notion de sobriété ». La sobriété énergétique peut être définie simplement par « consommer moins [d'énergie] » via une réduction des besoins en énergie utile, consentie au niveau des consommateurs (Ministère de la Transition Énergétique, 2022). Les mesures locales de MDE ne font pas exception et hormis quelques actions de sensibilisation portant sur les usages, l'ensemble des gisements identifiés de réduction des consommations se traduisent par des adaptations techniques (isolation, solaire thermique, gestion de l'éclairage, réseaux de chaleur, etc.). La réduction des consommations individuelles par la mise en place d'actions de MDE a pourtant un impact net sur l'autosuffisance du territoire en réduisant le besoin à satisfaire comme montré sur la **Figure 32**. Le levier de la réduction des consommations est donc efficace mais pour aller plus loin, les politiques publiques doivent mobiliser davantage la sobriété. C'est en particulier le cas avec la politique de mobilité qui, selon la PPE, vise une substitution importante du parc de voitures thermiques par des voitures électriques, augmentant ainsi les besoins électriques totaux du territoire (Région Réunion, 2022). Au contraire, une

politique de mobilité intégrant davantage de sobriété pourrait être mise en œuvre pour « diminuer la voiture électrique » en développant les alternatives au « tout voiture » [SCV/19]. Le levier de la sobriété est d'autant plus important qu'il a été montré que le taux de couverture électrique tend à décroître en fin de simulation en raison de l'accroissement soutenu des besoins électriques (voir V.1.2).

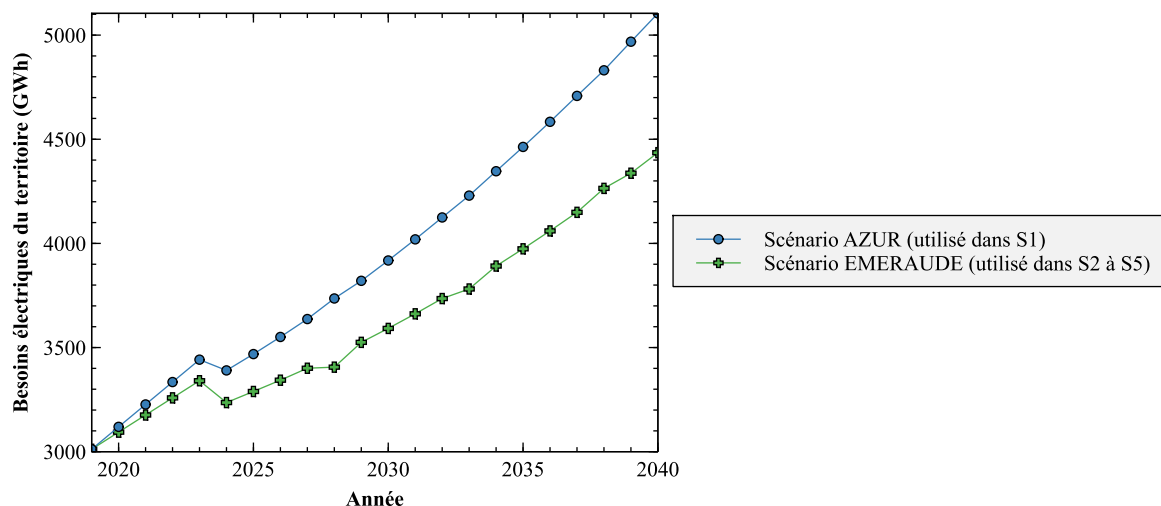


Figure 32 : Comparaison des trajectoires des besoins électriques du territoire d'étude (en besoins d'électricité injectée dans le réseau) selon les prévisions d'EDF (2022) ; d'une part, une poursuite tendancielle du mix électrique selon le scénario AZUR (sans mise en place d'actions de MDE) et d'autre part, une projection des besoins selon le scénario EMERAUDE avec des actions de MDE conformes à la PPE (source : auteur).

Deuxièmement, des hypothèses d'évolution forte des habitudes alimentaires sont mises en œuvre dans certains scénarios (S4 et S5). Ces hypothèses pourraient dessiner les contours de ce qu'il serait possible de nommer une « sobriété alimentaire » se traduisant dans notre sujet par deux comportements. D'une part, c'est un refus délibéré d'une partie d'aliments importés pour se reporter vers des denrées différentes d'un point de vue gustatif mais équivalentes sur le plan des macronutriments. Par exemple, substituer délibérément des céréales par des « ravaz » (tubercules traditionnels en créole réunionnais comme le manioc, le taro localement appelé « songe » ou l'igname localement dénommé « cambarre ») [SCV/02]. Il s'agit aussi de respecter la saisonnalité des productions végétales [SCV/05]. D'autre part, c'est adopter un régime se rapprochant des recommandations nutritionnelles. A une plus grande échelle, il a ainsi été montré qu'une telle évolution avec une tendance au végétarisme permettrait, entre autres bénéfiques, une agriculture européenne plus autosuffisante (Poux & Audebert, 2018). Le lien entre habitudes alimentaires et autosuffisance est également partagé à l'échelle du territoire d'étude comme l'illustre la **Figure 33**. D'après les enquêtes, l'évolution des comportements alimentaires permettant un accroissement de

l'autonomie du territoire peut s'appuyer sur un ensemble de mesures : (i) la diversification de l'offre de denrées produites localement comme le soulignent Halldórsdóttir et Nicholas (2016), (ii) la transformation pour substituer les ingrédients importés dans l'agroalimentaire, par exemple en développant la « conserverie, préparation, découpe » de fruits locaux [PRV/03] ou la production de farines à partir des tubercules tropicaux [SCV/10], ce qui permet aussi d'éviter les « crises de sur et sous-production pour les coopératives » en augmentant la durée de vie des denrées [SCV/14], (iii) une « orientation des consommateurs » reposant sur de la sensibilisation et de l'éducation même si certains acteurs déplorent que « les tendances ne vont pas dans le bon sens », (iv) la mobilisation de la restauration collective, déjà en cours et soulignée dans plusieurs entretiens doit être maintenue, et enfin (v) un certain degré de « protectionnisme agricole », jugé insuffisant pour plusieurs acteurs [SCV/14] et entraînant une « concurrence déloyale » appelant à davantage encadrer la libre circulation des produits alimentaires [SCV/12].

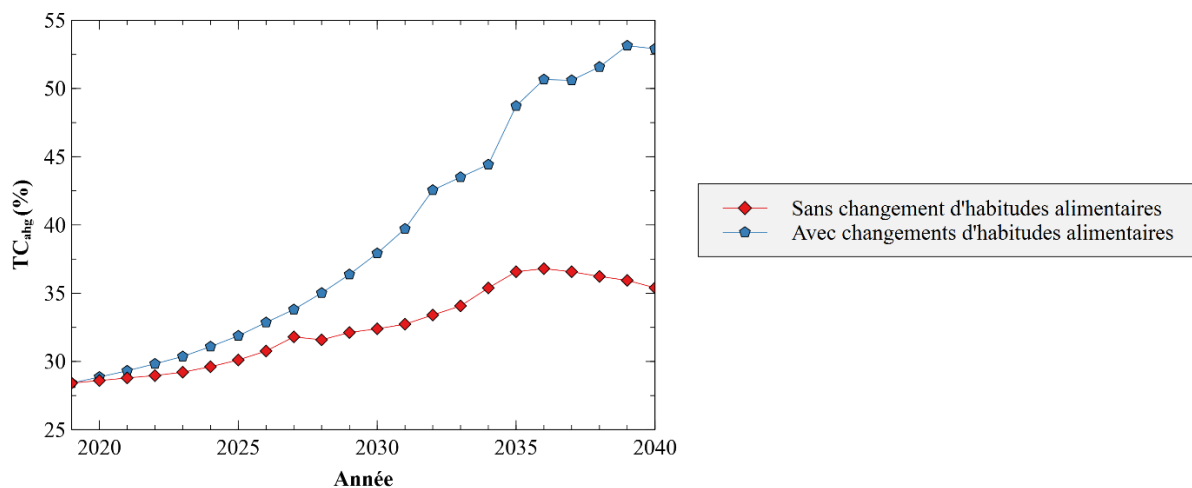


Figure 33 : Comparaison de l'évolution du TC_{ahg} (taux de couverture en alimentation humaine global) entre le scénario S2 tel que simulé précédemment (sans changement d'habitudes alimentaires) et un scénario S2 modifié (avec changements d'habitudes alimentaires). Les changements alimentaires sont les mêmes que ceux implémentés dans S4 et S5 (voir en IV.3.3) (source : auteur).

Pour conclure, ces éléments mettent en lumière l'importance de la sobriété comme levier de l'autosuffisance dans le territoire d'étude, mais surtout l'importance de la mise en place de politiques publiques pour soutenir cette sobriété, qu'elle vise la consommation électrique ou les habitudes alimentaires. A la distinction proposée par Villalba et Semal (2018) entre d'un côté une sobriété volontaire et choisie, et une autre sobriété contrainte et subie, on pourrait introduire une troisième catégorie : une sobriété planifiée. Cette acception reconnaît que le poids de la sobriété ne peut et ne

doit pas peser sur des individus mais être organisée collectivement, planifiée notamment à l'échelle territoriale.

Des mesures à toutes les échelles du secteur agricole sont indispensables

Dans l'optique d'un avenir désirable pour le territoire, les parties précédentes orientent le choix vers les scénarios S4 ou S5. Pour que l'un de ces deux scénarios soit suivi, cela implique un ensemble de politiques agricoles ambitieuses. Les hypothèses décrites en IV.3.3 décrivent déjà plusieurs mesures importantes de planification agricole en termes d'aménagements de l'espace. Mais plusieurs entretiens permettent d'envisager un certain nombre de mesures complémentaires.

Le premier et principal volet de mesures concerne la place de la canne à sucre et sa substitution éventuelle par de l'horticulture alimentaire. S5 soutient qu'il est possible de maintenir cette culture sur une fraction de son foncier actuel, au prix d'un changement de modèle de la filière tout en doublant le taux de couverture alimentaire. Ici, le recul du foncier cannier doit s'accompagner de l'émergence d'alternatives ou risquer l'enfrichement, voire l'urbanisation. Concrètement, le volume des aides à la canne est considérablement réduit dans ce scénario alors que la filière se réoriente vers une production de moindre volume, davantage qualitative et à forte valeur ajoutée, se positionnant ainsi dans un environnement moins concurrentiel et industriel ce qui réduit le besoin d'aides financières, dans l'esprit des recommandations du rapport commandé par l'IGF et al. (2021). Les aides pourraient ainsi être redirigées vers d'autres cultures alimentaires ainsi que des cultures de rente non alimentaires (ces dernières accroissent la résilience économique des exploitations) [SCV/12]. Ces aides pourraient soutenir l'augmentation des rendements, non prise en compte dans notre étude sur les productions horticoles. En parallèle, une voie aujourd'hui négligée est l'agriculture définie comme « non professionnelle » dans ce travail (voir I.2.1). Or, même si elle est vraisemblablement pratiquée sur une emprise totale de petite taille, le diagnostic a montré la capacité productive de cette forme d'agriculture pour les fruits et légumes frais (voir en II.2.2). Une reconnaissance de cette agriculture permettrait de développer ce potentiel également pour les féculents et les protéagineux locaux et pourrait s'appuyer sur plusieurs mesures : création d'un statut particulier pour ces agriculteurs « non professionnels » [PRV/07], formations agricoles pour augmenter leur niveau de compétences et de responsabilité environnementale [SCV/05], mise à disposition de foncier agricole (notamment des petites surfaces morcelées, difficilement valorisables pour des exploitations conventionnelles) [SCV/14], développement de l'agriculture urbaine [PRV/14], évolution réglementaire pour permettre l'abattage délocalisé favorisant ainsi une polyculture paysanne [PRV/16], etc. Un autre aménagement indispensable dans les scénarios de forte diversification/substitution du foncier cannier est l'extension des périmètres irrigués au risque de provoquer une déprise agricole [SCV/10].

Deuxièmement et pour plusieurs enquêtés, l'accélération de la transition agroécologique, notamment pour l'horticulture alimentaire, constitue un objectif majeur de la planification agricole future dans une perspective d'autonomisation alimentaire. Bien que non explorée dans nos scénarios, cette accélération se traduirait à la fois par une augmentation des surfaces labellisées officiellement en « agriculture biologique » [PRV/12] mais aussi par un encouragement d'une « agriculture *lontan* » (« traditionnelle » en créole), paysanne et consommant peu d'intrants [SCV/02] et de formes d'agricultures non professionnelles. Certains enquêtés émettent néanmoins des inquiétudes sur l'impact potentiel de la transition agroécologique sur la capacité productive des exploitations, par exemple à cause de la mise en place du plan Ecophyto [SCV/18] ou de zones de non-traitements aux produits phytopharmaceutiques sur les parcelles proches des habitations [SCV/01]. D'autres au contraire, soutiennent que l'agroécologie est une condition pour une agriculture plus autosuffisante sur le plan des intrants [PRV/02].

Troisièmement, les scénarios simulés ont mobilisé différentes hypothèses pour le futur de l'élevage en termes de taille et de composition du cheptel. Les résultats des simulations montrent logiquement qu'un cheptel en croissance permet d'atteindre une meilleure couverture des besoins alimentaires en produits carnés et laitiers. De tels scénarios (S1 à S4) infléchissent cependant fortement les taux de couverture en alimentation animale (fourrages et concentrés) sauf dans les scénarios avec une importante diversification de la canne en prairie (comme S1 et surtout S2). Or, comme souligné par plusieurs enquêtés, toute planification agricole future visant l'autonomisation alimentaire devrait aussi se préoccuper de développer « une alimentation du bétail sur l'île » [SCV/05]. Les résultats de S5 proposent une voie en ce sens : (i) augmenter globalement la part de polygastriques par rapport à la part de monogastriques afin de réduire le besoin de concentrés (au profit des fourrages) dans un scénario où il y a justement beaucoup de diversification cannière en prairies, et (ii) réduire la consommation de viande pour améliorer le taux de couverture en produits carnés dans l'alimentation humaine. Cependant, même dans S5 qui consacre 20% de la production de protéagineux et féculents à l'alimentation d'un cheptel ainsi modifié, on constate une stagnation du taux de couverture en équivalent concentrés entre 9 et 10%, ce qui pénalise la couverture des besoins globaux du cheptel (voir **Figure 34**). Cela prouve la grande difficulté à accroître l'autonomie alimentaire de l'élevage. Par ailleurs, au-delà de la composition globale du cheptel, certains enquêtés critiquent la répartition actuelle de l'élevage qui, bien que désireux de conserver des exploitations familiales de taille modérée, aboutit à une concentration du cheptel dans certaines zones de l'île. Au contraire, ces mêmes acteurs soulignent qu'une autonomisation de la fertilisation associée à une érosion du foncier cannier (donc de grandes surfaces où peuvent être épandus les effluents d'élevages) appellent à une meilleure interconnexion des zones d'élevage et d'horticulture autrement dit un retour vers un modèle de

polyculture élevage (« ça veut dire qu'on change les modes de culture, [...] on revient à l'ancienne entre guillemets, c'est-à-dire, de la polyculture d'élevage, c'est-à-dire que les animaux servent à fertiliser les sols » [PRV/14].

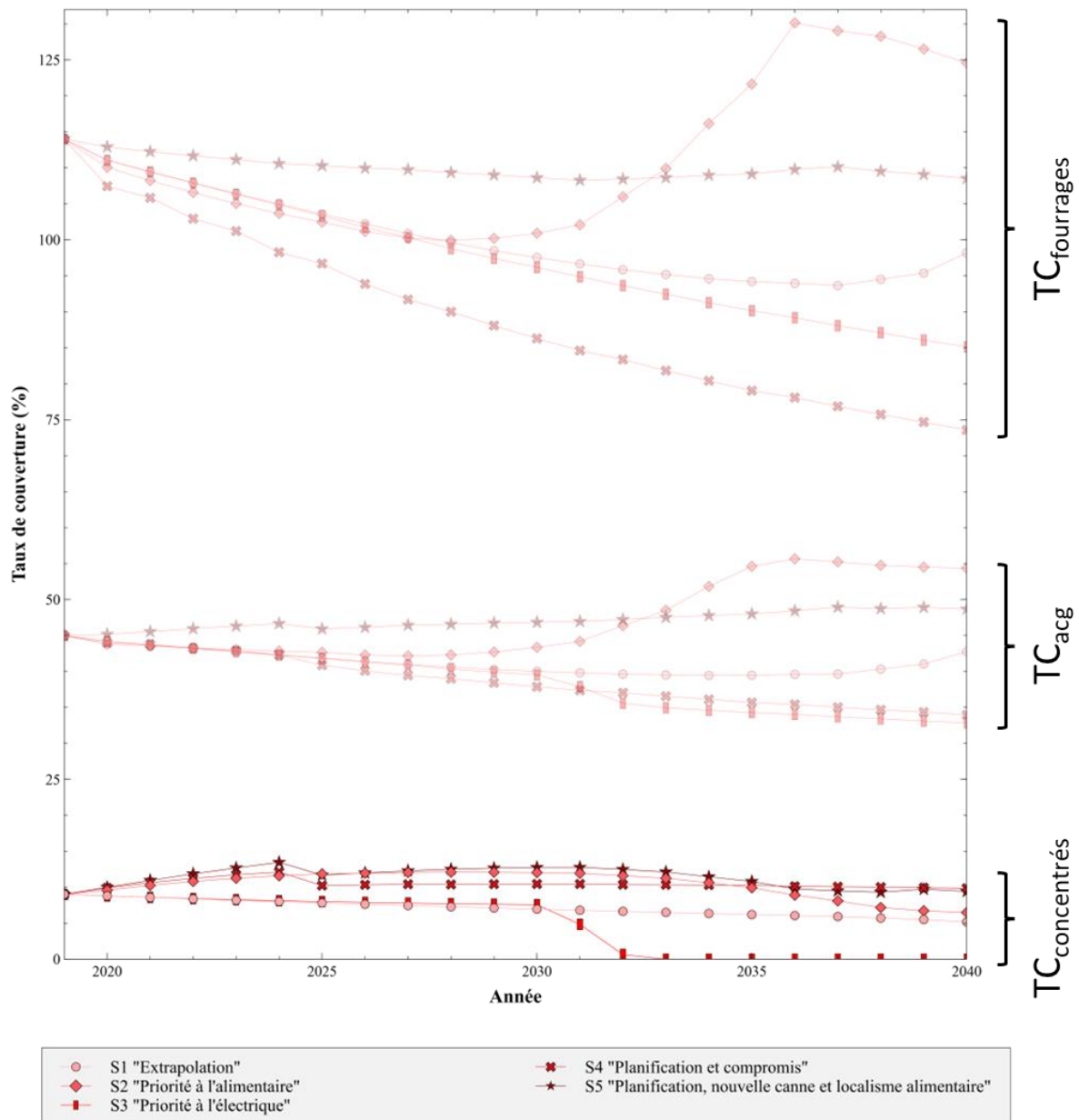


Figure 34 : Comparaison des taux de couverture des besoins en fourrages (TC_{fourrages}) et des besoins en alimentation globale du cheptel (TC_{acg}) avec le taux de couverture des besoins en concentrés (TC_{concentrés}).

Un quatrième volet devrait permettre de marier production alimentaire et bioélectrique sur le foncier agricole. Les simulations de S4 et S5 soutiennent à ce titre qu'il est possible d'augmenter l'autosuffisance alimentaire tout en maintenant tout ou partie de la production bioélectrique des espaces agricoles. L'arbitrage entre une trajectoire similaire à S4 ou plutôt à S5 implique un certain nombre de mesures contrastées. D'un côté, pour un maintien important des surfaces cannières comme dans S4, il est possible de s'appuyer sur une revalorisation du prix de la bagasse pour mieux reconnaître la contribution de la filière à l'autonomisation électrique. Cela pourrait aussi permettre « une augmentation de 30% du revenu des agriculteurs » [SCV/11] et ainsi sécuriser la filière. D'un autre côté, une trajectoire comme S5 semble plutôt hostile à la production bioélectrique. Pourtant, le gisement de bois énergie pourrait y être développé par des « synergies d'usages » comme l'essor de l'agroforesterie et notamment du sylvopastoralisme (le potentiel foncier des prairies étant très important) [SCV/11], voire de la sylviculture de bois-énergie [SCV/01]. Dans ce cas comme dans d'autres, la valorisation électrique n'est cependant pas prioritaire au titre de la réglementation « RED II », rétrogradée derrière les usages alimentaires, puis « matière », et enfin d'amendement du sol : le développement de plantations de bois-énergie induit des risques en termes de durabilité de la ressource [SCV/07] qu'il conviendrait d'approfondir dans le contexte local.

Enfin, deux derniers leviers ont été abondamment cités par les acteurs enquêtés concernant l'autonomisation alimentaire. D'une part, il y a « un vrai problème de main d'œuvre surtout sur le maraichage » [SCV/10]. Toute politique agricole future devra ainsi réussir à attirer de nouveaux agriculteurs à exercer « le métier le plus difficile au monde » [SCV/14], condition indispensable à la poursuite de S4, mais surtout de S5 qui développe massivement de nouvelles cultures horticoles. D'autre part, toute politique soutenant l'autonomisation territoriale devra se poser la question du protectionnisme. Bien que disposant d'outils de taxation, ces derniers sont limités par les règles du libre marché [PRV/04] mais des évolutions réglementaires seraient envisageables (sous réserves d'études dédiées, voir V.3.2). D'autres leviers indirects pour encadrer le flux de produits importés sont envisageables comme « l'interdiction de la publicité sur les produits de dégagements » [SCV/04].

De nouvelles instances de gouvernance pour débattre de projets contrastés de territoire puis piloter leur mise en place

Pour être implémentées, les mesures de planification présentées dans les parties précédentes requièrent la mise en place d'entités de gouvernance dédiées. Ces dernières devraient permettre à la fois de discuter ces outils, voire de les piloter le plus démocratiquement possible et ainsi renforcer la

coordination des acteurs locaux pour permettre la poursuite d'un projet de territoire (Angeon & Saffache, 2008).

D'abord, des modèles existent et pourraient être développés à l'avenir. Il peut s'agir de la mise en place de stratégies de développement agricole à l'échelle de microrégions comme les plans alimentaires territoriaux (PAT). Ces derniers permettent de doter de moyens les collectivités (souvent des communes) afin de les impliquer dans l'ajustement de leur capacité de production alimentaire vis-à-vis des besoins de leur territoire [EXP/02]. Les différentes réalités locales doivent néanmoins s'inscrire dans une vision globale, indispensable pour donner un cap clair et cohérent au territoire. Il existe par exemple un représentant « interPAT » pour faire le lien entre les 6 PAT existant sur l'île. De plus, créés récemment dans le contexte du Plan de relance, les comités de transformation agricole (CTA) sont une autre instance transversale réfléchissant à la stratégie agricole à poursuivre et rassemblant organismes de recherche, responsables de filières et syndicats agricoles ainsi que représentants de l'Etat (DAAF Réunion, 2020 b). Sur le volet énergétique, le comité « Gouvernance Energie » (voir I.2.2) joue un rôle analogue d'espace de définition partagée des politiques locales et de leur mise en action.

Cependant, ces modèles existants sont critiqués alors que certains enquêtés appellent à une meilleure inclusion d'opinions alternatives, par exemple portées par la société civile, dans ces espaces de gouvernance. Dans le cas contraire, ces acteurs anticipent une géopolitique de l'aménagement au profit d'une minorité d'acteurs puissants à l'avenir. Cela pourrait se faire parce que « les terrains en friches vont aller à des groupes dominants » [SCV/05] ou que dans le cas où le foncier cannier continuerait à diminuer, de nouvelles cultures industrielles d'exportation se développeraient massivement en remplacement [SCV/12]. Ces évolutions ne sont pas négatives en soi mais apparaissent comme touchant à l'avenir de tout le territoire, et en tant que telles, devraient faire l'objet d'un débat démocratique. La sous-représentation de la société civile peut également conduire à une « colonisation des imaginaires » (au sens de Sardar, 1993) par la vision du futur désirée par les acteurs dominants, négligeant d'autres voies. Sur le sujet de l'avenir de la canne, de nombreux acteurs ont ainsi reconnu la difficulté à imaginer d'autres avenir possibles que la poursuite du modèle existant au sein des instances existantes : « j'ai participé à un atelier où quand on a dit réfléchissez à une Réunion sans canne il y en a qui ont quitté la salle » [PRV/11]. Dans les enquêtes, un exemple d'instance de gouvernance inclusive permanente au service de l'autonomisation serait la création d'une « Agence de l'Alimentation » sous l'égide d'une collectivité (Région ou Département) ou de l'Etat et rassemblant toutes les parties prenantes [SCV/05].

Enfin, une autre limite des entités existantes de gouvernance est qu'elles ont rarement pour mandat de réfléchir conjointement aux enjeux alimentaires et énergétiques. Afin d'inscrire ces réflexions dans la durée, il a par exemple été proposé dans les enquêtes la « mise en place d'une intersyndicale de la biomasse pour mieux optimiser les flux » [SCV/11]. Cela permettrait de créer une assemblée permanente faisant la jonction entre des enjeux alimentaires et énergétiques à l'échelle du territoire avec la question de l'arbitrage des biomasses. De manière analogue, une autre instance devrait permettre de donner un cap clair sur l'arbitrage de l'usage des sols entre production alimentaire pour le marché local, valorisation énergétique, matière, exportations, etc. Une telle hiérarchie devrait, selon la plupart des acteurs soulevant ce point, « orienter vers l'alimentaire en priorité » [SCV/03].

TROISIÈME CONCLUSION PARTIELLE DU CHAPITRE V :

Les scénarios S4 et S5, identifiés précédemment comme les plus intéressants vis-à-vis de l'autonomisation alimentaire-électrique, sont également très ambitieux. **Viser ces trajectoires implique le déploiement de mesures** (surtout pour S5) : (i) **d'aménagement du territoire** pour préserver au maximum les terres agricoles les plus fertiles, garantes de la capacité productive de l'île, (ii) **de sobriété planifiée** pour réduire à la fois les besoins en électricité et en denrées alimentaires difficiles à produire sur le territoire ou nécessitant beaucoup d'intrants, (iii) **de mesures transformatives à toutes les échelles du secteur agricole** et (iv) **d'évolution de la gouvernance** afin de disposer d'instances de débat, d'élaboration et de pilotage de projets de territoire, au croisement des enjeux d'alimentation et d'énergie.

3. Apports et limites de l'approche participative croisant modélisation et anticipation

3.1 Croisement délicat de la modélisation et de l'anticipation dans un cadre de recherche participative

L'originalité de la méthode adoptée tient à l'intégration de l'autonomie alimentaire et électrique dans l'espace et dans le temps ainsi que la modélisation spécifique au contexte tenant compte d'hétérogénéités spatiales

La première et principale nouveauté de la méthodologie de cette thèse consiste à intégrer de l'anticipation et de la modélisation spatiale pour traduire le concept d'autonomisation comme une trajectoire dynamique. Cela soutient l'idée que l'autonomie alimentaire-électrique devrait être appréhendée comme un processus complexe, non seulement en termes de flux physiques (Barles, 2014 ; Gasparatos, 2011) mais aussi comme le résultat combiné de contraintes spatiales dynamiques.

A ce titre, ce travail démontre à quel point l'amélioration du degré d'autosuffisance apparaît comme une entreprise difficile et de long terme dès qu'on la considère en tant que processus inscrit dans le temps. Ainsi, dans le meilleur des cas pour l'autonomisation alimentaire (S5), l'essentiel de la croissance de TC_{ahg} se produit après 2030 alors que les scénarios S2 à S5 (mettant en œuvre la PPE) voient l'essentiel de la croissance du $TC_{électrique}$ se produire avant 2030.

Deuxièmement, la mobilisation du concept de facteurs de changement tiré de l'anticipation (voir II.2.2) permet d'identifier, du point de vue des acteurs du territoire, des dynamiques spécifiques au contexte d'étude. Le modèle est alors construit de manière ascendante comme un assemblage de ces mécanismes endémiques du territoire, en particulier : (i) la diversification de la canne à sucre c'est-à-dire une monoculture industrielle d'exportation qui perd du foncier au profit de la production alimentaire locale, alors que la situation est habituellement inversée dans d'autres contextes (Clapp, 2016) et (ii) la conversion de friches en agriculture, classée comme un facteur de changement essentiel dans notre étude alors qu'il s'agit d'un mécanisme rarement discuté dans la littérature comme un moteur de l'autonomisation alimentaire-électrique (Shreiber et al., 2020). Ces deux exemples montrent l'avantage de ce type de démarche ascendante qui au lieu d'appliquer des processus généraux à l'objet d'étude, s'ancre dans le territoire pour construire un modèle neuf à partir des réalités locales. Par ailleurs, la prise en compte de processus décrits du point de vue des acteurs du territoire aboutit logiquement à adopter une résolution spatiale relativement fine. Dans le modèle développé, on tient ainsi compte de l'hétérogénéité à petite échelle de ces processus via (i) des changements d'usage des sols spatialement distribués selon des variables contextuelles (voir IV.2.2) et (ii) des rendements spatialisés pour les prairies, la canne à sucre et l'horticulture alimentaire (voir III.2.2).

Le modèle développé présente néanmoins des limites pour renseigner fidèlement les décideurs sur la réalité de l'évolution du territoire

La première et principale limite de tout travail de modélisation est l'inévitable distorsion du réel qui résulte de l'effort de rendre intelligible ce qui est complexe donc irréductible (Le Moigne, 1977). Dans ce travail, certains processus ont ainsi été mis de côté puisque tous les facteurs de changement n'ont pas été considérés comme essentiels (voir IV.1.1). De plus, certains processus ont combiné plusieurs phénomènes décrits par les enquêtés. Les processus de diversification de la canne et de récupération des friches sont ainsi respectivement une représentation de la perte nette de canne et de la récupération nette des friches. Cependant, il existe une fraction de parcelles horticoles qui se convertissent en canne [SCV/06] ainsi qu'une part des terres cultivées qui retournent à la friche

[PRV/11]. Les changements d'usage des sols simulés sont ainsi simplifiés pour ces deux processus mais au vu des surfaces concernées cela ne modifie probablement pas les indicateurs à l'échelle du territoire. D'autres approximations interviennent dans le calibrage comme : (i) certains rendements qui n'ont pas été spatialisés comme celui de bioéthanol à partir de la canne à sucre, (ii) des données issues de la bibliographie lorsque des données locales sont indisponibles ou encore (iii) le choix d'une unité minimale de collecte de 200 m², ce qui dégrade la résolution initiale de la carte d'usage des sols Moringa (voir II.1.1).

La seconde limite est propre à l'algorithme de *ProdRun* et se manifeste par des artefacts sur les résultats qu'il convient d'explicitier. D'abord, dans le scénario S5, une indentation est observable sur l'évolution du TC_{ahg} tandis que les taux de couverture par catégorie alimentaire montrent des soubresauts pour plusieurs scénarios. Il existe en effet dans *ProdRun* une fonction qui applique un coefficient aux trois productions possibles du maraichage (féculents, légumes frais ou protéagineux) qui est calculé chaque année selon la production locale, le niveau de consommation et le seuil de saturation du marché (voir IV.1.2). Or, l'algorithme qui calcule ce coefficient présente une grande sensibilité, en particulier pour la production de protéagineux qui dépasse rapidement la consommation locale dans les scénarios avec une importante diversification. Ensuite, l'évolution du TC_{azote disponible} sur la **Figure 28** met en avant de manière disproportionnée les scénarios qui développent de la méthanisation (S3 à S5). En effet, la méthanisation est un procédé qui convertit la majorité de l'azote organique (contenu dans la matière en entrée du digesteur) en azote minéral sous forme d'ions ammonium (dans le digestat) (ADEME, 2011). Or l'azote disponible correspond justement à ces ions ammonium. Ainsi, le suivi de l'azote disponible n'est pas représentatif de la quantité d'azote total (organique + minéral) disponible localement. Bien que constituant la fraction la plus accessible de l'azote pour la fertilisation, le focus sur l'azote minéral semble conduire à surestimer l'intérêt de la méthanisation car il néglige la part d'azote organique dont la disponibilité est également essentielle (sous forme d'amendements organiques comme des composts par exemple) pour la majorité des cultures horticoles alimentaires (Chabalier et al., 2006). Un dernier artefact des simulations est visible dans le suivi des TC_{fourrages} (voir **Figure 28**) puisque cet indicateur est souvent supérieur à 100%. En réalité, le fait de raisonner sur une année entière aboutit à négliger des variations saisonnières de la production fourragère qui occasionne une surproduction pendant la saison des pluies et une ressource en vive tension pendant l'hiver austral (Lorré, 2019). Ainsi, même si le TC_{fourrages} vaut environ 115% en 2019, ce niveau permet juste de couvrir les besoins, avec de fortes tensions sur la ressource lors d'épisodes de sécheresse.

Enfin, on peut ajouter une troisième limite résultant du croisement de la modélisation avec l'anticipation. Dans cette dernière discipline, les raisonnements par hypothèse pour définir des

scénarios représentent une évidente source d'incertitude. Associé aux effets de distorsion et artefacts détaillés dans les paragraphes précédents, le croisement de la modélisation et de l'anticipation pose un problème de propagation de l'incertitude difficile à quantifier. Deux conclusions peuvent ainsi être tirées : (i) les résultats quantitatifs des simulations de *ProdRun* ne devraient être mobilisés qu'à titre d'ordre de grandeur ou alors en comparant les scénarios entre eux, puisqu'alors les approximations se compensent, et (ii) ce travail reste une exploration de futurs possibles, qui doit rester ouverte et non exhaustive afin de ne pas « coloniser l'avenir » (Sardar, 1993).

Le modèle questionne en particulier la pertinence des taux de couverture utilisés comme indicateurs de l'autonomisation

Le calcul d'indicateurs, bien qu'indispensable pour renseigner le modélisateur, produit une approximation supplémentaire car on tente de réduire les enseignements du modèle à une poignée de variables quantitatives. Sur le volet électrique, la formule que nous utilisons pour déterminer le taux de couverture à l'échelle du territoire présente un risque croissant de biais avec la probable augmentation des capacités de stockage comme décrit par Zepter et al. (2022). Sur le volet alimentaire, deux approximations décrites ci-dessous entrent en jeu dans cette étude.

Premièrement, la lecture de l'indicateur $TC_{\text{fourrages}}$ masque ainsi que le taux est calculé selon la ration distribuée à l'état initial, et non selon les besoins de l'animal. Or, plusieurs enquêtés expliquent que la quantité de fourrages dans la ration des polygastriques est insuffisante, notamment par rapport à la métropole : « il manque 20 à 30000 tonnes de matière sèche par an » auquel « du concentré se substitue » [SPE/05]. Ainsi, $TC_{\text{fourrages}}$ est gonflé par une ration déséquilibrée. La prise en compte de cet enjeu aboutirait à une réduction du taux de couverture et une production de fourrages insuffisante pour la taille du cheptel polygastrique. Associé au point précédent, ces biais invitent à considérer avec prudence la valeur absolue des $TC_{\text{fourrages}}$ simulés et de s'intéresser plutôt à leurs évolutions relatives.

Deuxièmement, le problème se pose également bien que différemment pour TC_{ahg} dans la mesure où ce taux agrège en réalité 6 taux de couverture (un par catégorie alimentaire). Le fait de raisonner avec un taux unique cache en réalité de grandes disparités entre ces catégories alimentaires comme le montre la **Figure 35**. Conformément à la formule décrite en III.2.1, on voit que le TC_{ahg} de S3 est supérieur à celui de S2 bien que la moyenne des taux des catégories alimentaires de S2 soit plus grande. En effet, la formule du TC_{ahg} pondère chaque catégorie alimentaire en fonction de sa contribution massique à l'assiette totale du territoire. De plus, bien que S4 et S5 ne soient séparés que de 13,76% en termes de TC_{ahg} , les taux de couverture en céréales et autres féculents ainsi que protéagineux de S5 sont respectivement de 52,7% et 79,9% supérieurs à ceux de S4. Ainsi, malgré une

légère baisse sur les produits animaux, on voit que S5 assure une sécurité alimentaire bien meilleure que S4, ce que ne reflète que partiellement la seule comparaison des TC_{ahg} .

Pour complexifier la discussion autour des taux de couverture utilisés comme indicateurs, on peut noter que si comme dans les exemples précédents, ces taux posent un problème réductionniste pouvant aboutir à une légère perte d'information sur la complexité du système, on pourrait au contraire se demander quels avantages il y aurait à les réduire davantage avec des taux agrégeant davantage d'informations. Vis-à-vis de l'ambition du sujet d'étude de croiser autonomisation alimentaire et électrique, convertir toutes les ressources (alimentation humaine animale, fertilisation) en équivalents énergétiques (voir par exemple Gasparatos, 2011 ; Wasiak et al., 2015) aurait ainsi permis d'agréger les résultats en un indicateur unique d'autosuffisance alimentaire-électrique. Cela aurait cependant entraîné une perte d'information sur les différentes composantes de cette autosuffisance.

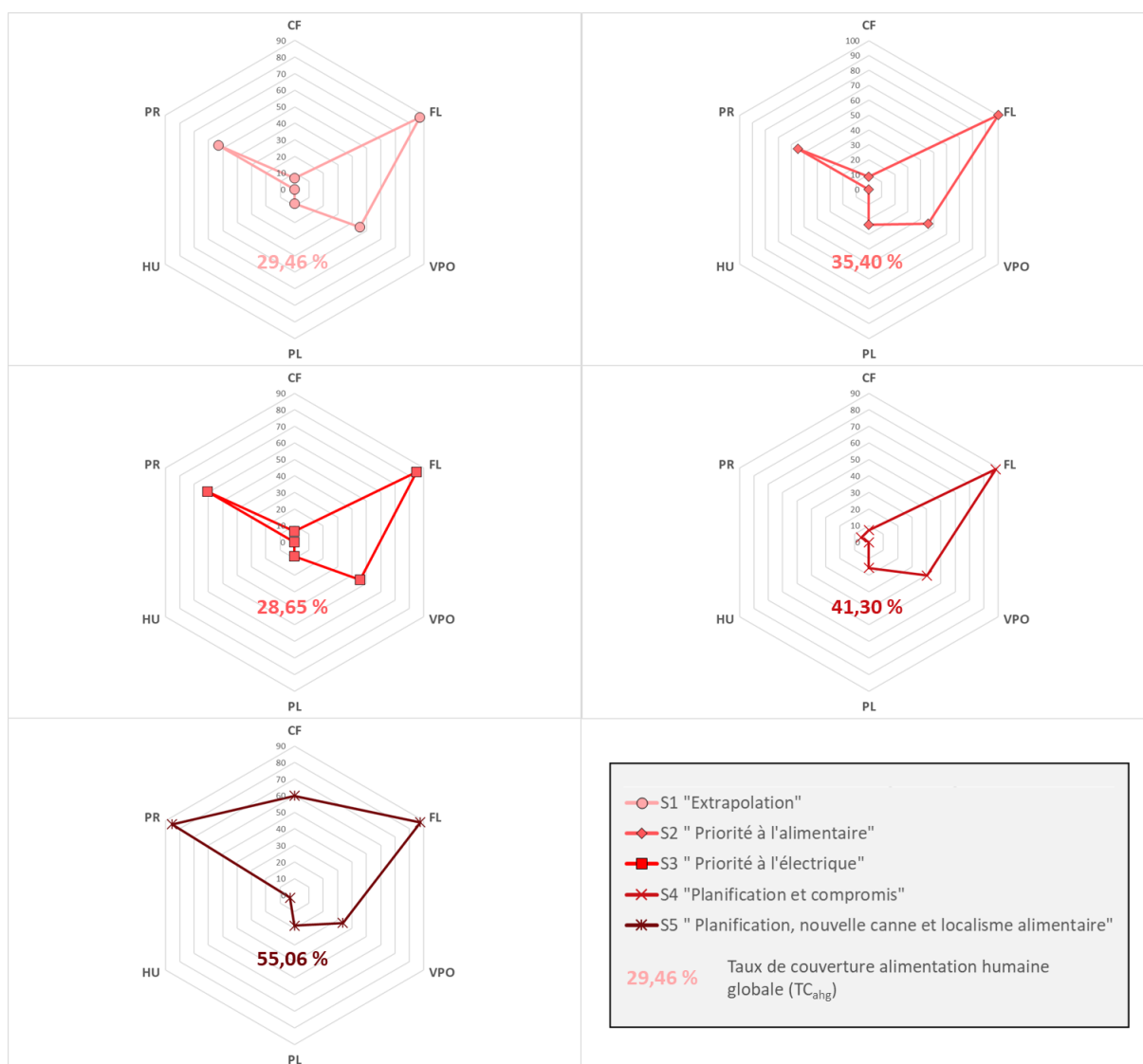


Figure 35 : Taux de couverture des besoins par catégorie de denrée alimentaire tels que simulés à horizon 2040 sous *ProdRun*. VPO : viandes, poissons et œufs ; PL : produits laitiers ; FL : fruits et légumes frais ; HU : huiles ; CF : céréales et autres féculents ; PR : protéagineux (source : auteur).

La méthode employée sollicite le « complexe multi-acteurs » pour enclencher une dynamique vers la prise en charge d'un sujet d'étude controversé

Ce travail de thèse s'inscrit résolument dans un cadre de recherche participative, ce qui confère aux résultats des simulations un ancrage particulier au sein du « complexe multi-acteurs » (tel qu'introduit en I.1.2). La démarche d'anticipation qui est menée dans notre étude se situe à mi-chemin entre un volet « analytique » qui vise à étudier les trajectoires en cours et les évolutions possibles du territoire par la mobilisation d'experts, ainsi qu'un volet « opératoire » qui s'appuie sur une implication active des acteurs dans la construction d'un dessein commun (Agence d'urbanisme pour le développement

de l'agglomération lyonnaise, 2015). Selon Fourny & Denizot (2007), il s'agit d'une prospective prédictive, descriptive et de débat : c'est-à-dire, réfléchir de manière participative à des scénarios à partir de tendances. Les résultats de cette étude sont ainsi en interaction avec le niveau de connaissance et les représentations des acteurs enquêtés. En effet, ces derniers sont à la fois sources de connaissance pour ce travail, et cibles de ces enseignements, ce qui dessine une boucle d'apprentissage avec ses avantages et ses limites.

En premier lieu, le modèle coconstruit et les scénarios simulés qui en résultent sont le reflet de la connaissance et des opinions des acteurs du territoire au moment des entretiens. Or, on peut identifier parmi les enquêtés : (i) « des acteurs dominants » avec un rôle permanent de décideur (administration, collectivités et établissement publics) ou une force d'influence sur l'élaboration ou la mise en œuvre des politiques publiques territoriales à travers des dispositifs pérennes (par exemple la Commission départementale de préservation des espaces naturels, agricoles et forestiers [PRV/01]) ou temporaires (par exemple le CTA ou les consultations dans le cadre de l'élaboration de la PPE – voir V.2.2) ainsi que (ii) « des acteurs minoritaires » qui n'ont de voix dans aucune institution ou alors uniquement consultative (le cas de la plupart des organisations de la société civile) ou alors qui pâtissent de leur implantation relativement récente sur le territoire (par exemple pour la filière de l'agriculture biologique [PRV/12]). Bien que les différents scénarios essaient de couvrir avec un maximum d'exhaustivité les visions contrastées de ces deux catégories d'acteurs, certaines hypothèses sur l'avenir portées par des acteurs « minoritaires » n'ont pu être implémentées par manque de données. Par exemple, la croissance de l'agriculture biologique et/ou de la polyculture-élevage paysanne, parfois non professionnelle n'ont pu être modélisée car les rendements de ces agricultures sont peu étudiés à La Réunion. Et ce, alors même que la vitesse de croissance est soutenue pour la première (DAAF Réunion, 2020 a) et que le niveau actuel de production démontre le potentiel de la production non professionnelle comme levier d'autonomisation alimentaire (voir III.2.2). Néanmoins, ce manque de données n'est pas anodin et questionne l'orientation de la recherche qui semble localement générer de la connaissance portant sur les modèles dominants au détriment de visions alternatives : « on n'a jamais demandé au CIRAD [Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement] qu'est-ce qu'on met en remplacement de la canne ? » [SCV/18]. Certaines voies sont par ailleurs totalement inexplorées dans cette étude car n'ont été soulevées que par un seul, voire par aucun enquêté, par exemple : l'emprise au sol des espaces de carrière [SCV/15], des STEP [SCV/20] et des retenues collinaires [SCV/10]. Un autre exemple de voie inexplorée est celle d'un mix électrique très éloigné de la PPE, mobilisant massivement d'autres sources comme (i) de la micro-hydroélectricité, de la géothermie et des installations marémotrices [SCV/03] ou (ii) les controversés *Small Modular Reactors* (SMR) utilisant l'énergie nucléaire (Morales Pedraza, 2017 ; Réseau sortir du

nucléaire, 2019). De manière générale, il paraît donc a priori difficile de s'abstraire de la vision des acteurs dominants avec la méthode employée et donc de produire des visions de rupture.

Néanmoins, la dépendance au sentier soulevée au précédent paragraphe est contrebalancée par le fait que plus d'un tiers des acteurs ont participé aux deux vagues de co-construction du modèle, confrontés pendant la seconde aux simulations issues de leurs premières hypothèses (voir II.2.1). Premièrement, une maturation des réflexions autour du sujet d'étude suggérant une meilleure appréhension de la réalité de l'autonomisation alimentaire-électrique a ainsi été observée avec une plus grande quantité d'hypothèses pendant la seconde vague. Deuxièmement, cette seconde vague a aussi parfois donné lieu à davantage de radicalité, notamment pour des acteurs « dominants » mis face aux modestes perspectives d'autonomisation des premières simulations, par exemple : (i) un groupe d'enquêtés amenés à envisager des mesures de « protectionnisme » alors que cela n'avait pas été mentionné dans le premier entretien [SCV/04], (ii) une remise en cause des prévisions de consommation électrique selon la PPE via un recours plus important à la sobriété énergétique que dans le premier entretien [SCV/20] et (iii) vis-à-vis de la gestion des effluents d'élevage, l'accent mis sur le co-compostage dans le second entretien en réponse à la probable diminution des surfaces de canne qui limite l'épandage [SCV/17] alors que cela n'avait pas été évoqué dans le premier entretien. Ces quelques observations soulignent par ailleurs que la mise en œuvre des mesures de planification territoriale décrites en V.2 (permettant d'engager le territoire sur les trajectoires d'autonomisation simulées avec *ProdRun*) dépasse le cadre de cette étude et dépend de la propension au changement (et à l'organisation) du complexe multi-acteurs. Troisièmement, et de façon plus subtile, plusieurs enquêtés initialement mal à l'aise avec le sujet posé de « l'autonomie » (« Moi ça m'évoque l'utopie » [EXP/02]) se sont familiarisés en revanche avec le concept « d'autonomisation » proposée dans la seconde vague et repris par plusieurs enquêtés. Ce concept, moins absolu que l'autonomie, semble être davantage mobilisateur, permettant à plus d'acteurs (notamment au sein de l'administration) de s'y projeter.

En conclusion, la méthodologie appliquée dans cette thèse relève de la recherche participative d'une part mais également de la recherche action dans la mesure où la boucle d'apprentissage entre simulations et acteurs peut aussi être moteur d'action pour ces derniers et apporter ainsi, même modestement, des idées neuves en faveur de l'autonomisation. De l'expérience de ce projet et face à un sujet d'étude empli de controverses, on pourrait dégager plusieurs recommandations pour l'expertise scientifique sur l'autonomisation alimentaire-électrique à La Réunion : (i) soulever un maximum de visions possibles (portées par des acteurs dominants et minoritaires), (ii) fournir des éléments quantitatifs pour rendre compte du réel et accompagner la décision, (iii) encourager pour ce faire une gouvernance partagée sur des sujets touchant à l'avenir commun du territoire et (iv) rester

réflexive sur ses propres biais et limites. Ces recommandations rejoignent les conclusions de travaux similaires, par exemple : (i) une recherche action menée sur le même territoire d'étude portant sur l'aménagement urbain (Lestrelin et al., 2017) et (ii) le travail de Angeon et Saffache (2008) selon qui « l'émergence d'une dynamique collective d'apprentissage visant à l'élaboration d'un socle commun de connaissances, d'une culture commune apparaît comme une condition nécessaire à l'élaboration de projets de territoire ».

3.2 Perspectives de recherche pour de futurs travaux sur l'autosuffisance à La Réunion et ailleurs

Imaginer de nouveaux scénarios de rupture à partir des trajectoires simulées et des facteurs de changement secondaires identifiés dans cette étude

Les trajectoires explorées au travers des scénarios simulés dans cette thèse ne sont pas exhaustives et d'autres hypothèses pourraient être mobilisées pour tenter d'élaborer des scénarios permettant d'atteindre de meilleurs résultats en termes d'autonomisation alimentaire-électrique.

Premièrement, il est possible de mobiliser le modèle *ProdRun* existant avec un paramétrage différent des variables contraintes. Il pourrait s'agir d'une part d'hypothèses d'augmentation concernant la production non professionnelle de denrées alimentaires et de fourrages (glanage de fourrages), ce qui correspondrait à une reconnaissance de statut et/ou des aides pour le développement de ces productions informelles, par exemple ciblant l'agriculture urbaine. D'autre part, un nouveau scénario pourrait être davantage ambitieux sur les besoins du territoire : (i) un régime alimentaire encore plus végétal ce qui permettrait a priori d'augmenter la couverture des besoins alimentaires, libérer des prairies mais qui poserait un problème sur la disponibilité en fertilisants locaux, (ii) une réduction du gaspillage alimentaire pour augmenter la couverture des besoins alimentaire et (iii) une sobriété électrique supérieure à ce qui est envisagé dans la PPE, notamment via une politique de transport plus ambitieuse que la substitution des voitures thermiques par des véhicules électriques.

Deuxièmement, parmi les facteurs de changement implémentés dans cette étude, certains mériteraient des approfondissements pour permettre de simuler des hypothèses plus ambitieuses. C'est d'abord le cas de la simulation de systèmes de production alternatifs en particulier agroécologiques au sens large et pouvant combiner différentes caractéristiques : labellisés « agriculture biologique », agroforestiers comme du sylvopastoralisme [PRV/08], intégrant des races animales locales nourries avec une base de fourrages arbustifs glanés, notamment dans des espaces

multifonctionnels à la limite de la friche (« *karodbwa* » [SCV/02]) mais en réalité gérés collectivement par plusieurs éleveurs s'apparentant à des « communs » (Ostrom, 1992), etc. Ces systèmes agricoles sont encore trop méconnus dans le contexte local (modes de gestion, rendements, consommations en intrants) en dépit de leur potentiel pour l'autonomisation alimentaire comme souligné par le diagnostic initial de ce travail (voir V.3.4) et la littérature dans d'autres contextes (Schmitt et al., 2017 ; Poux & Aubert, 2018). Par ailleurs, des possibilités techniques d'intensification des productions végétales sont localement rapportées par les acteurs, notamment par le développement de cultures sous serre [PRV/10], pouvant éventuellement s'appuyer sur de nouvelles espèces comme le recours à des plantations de « miscanthus, en cours d'étude » pour de la biomasse énergie [SCV/18], ce qui assurerait une production agricole supérieure pour une surface identique. Les gains de rendement sont néanmoins incertains. Ensuite, la question de la dépendance en intrants des productions végétales (fertilisation) et de l'élevage (alimentation animale), au vu des limites des indicateurs choisis (voir V.3.1), mériterait d'être complété par des indicateurs couplant élevage et cultures à l'instar du travail de Kleinpeter et al. (2023). Cela permettrait notamment de mieux relier la question de l'usage des sols à celle de l'élevage via la problématique de la disponibilité en terres épandables, non considérée dans cette étude. Enfin, les composantes du facteur « ressources pour l'agriculture » à savoir l'eau et la qualité du sol (notamment au regard du risque érosif) devraient être approfondies pour non seulement avoir un effet sur la distribution des processus spatiaux (comme c'est le cas dans notre étude) mais aussi sur la spatialisation des rendements des productions végétales : il est alors probable que cela renforcerait l'enjeu (i) de l'extension des périmètres irrigués (« qui peuvent remonter jusqu'à 1800 m d'altitude » [SCV/10]) et (ii) de la préservation des terres agricoles irriguées de basse altitude disposant à la fois de sols de bonne qualité, d'une faible pente et d'une disponibilité en eau. L'approfondissement de ce dernier facteur est d'autant plus important sur la question de la ressource en eau, identifiée comme centrale dans d'autres contextes de recherche d'autosuffisance alimentaire-électrique (Yuling Leung Pah Hang et al., 2016 ; FAO 2016) et soulignée dans les enquêtes comme un enjeu dont la criticité croît rapidement à La Réunion [SCV/10].

Troisièmement, deux facteurs de changement dits « secondaires » (identifiés dans les parties IV.1.1), n'ont pas été mobilisés dans notre modèle mais pourraient être implémentés dans de futurs exercices similaires. D'une part, le « morcellement et la spéculation foncière », par une étude fine des évolutions cadastrales, est un facteur qui permettrait de modéliser spatialement l'enfrichement des terres agricoles et ainsi d'estimer la part de friches qu'il serait le plus difficile de récupérer afin, par exemple, de peser l'opportunité d'une évolution réglementaire pour accélérer la récupération de ces terres agricoles. D'autre part, la prise en compte des « caractéristiques de la transformation et de la distribution alimentaire » permettrait de mieux évaluer les possibilités d'augmenter les seuils de

saturation du marché pour les denrées alimentaires locales via par exemple : (i) l'intégration de féculents locaux dans l'industrie agro-alimentaire (V.2.2) ou (ii) une plus grande acceptation de produits issus de « marchés de niche », notamment agroécologiques (Piccin et al, 2018).

De nouvelles perspectives de recherche pour accompagner l'autonomisation alimentaire-électrique des territoires

Premièrement, ce travail ouvre des perspectives pour enrichir la définition même d'autosuffisance alimentaire-énergétique. D'abord, la prise en compte d'un périmètre plus large intégrant toutes les formes d'énergie (carburant et chaleur en plus de l'électricité) : dans le cas de La Réunion, l'électricité ne correspond en effet qu'à environ 20% de la consommation énergétique (SPL Horizon Réunion, 2020). Cela permettrait également de considérer la consommation énergétique du système alimentaire (avec une réflexion en parallèle sur le développement de nouveaux indicateurs comme discuté en V.3.1) et permettrait d'approfondir l'analyse des interactions entre ces deux dimensions. De plus, à l'image de notre travail sur le calcul des besoins alimentaires « nécessaires », permettant la formulation de nouveaux régimes alimentaires, il serait intéressant d'estimer des besoins énergétiques « essentiels » pour le fonctionnement critique du territoire et de construire une définition de l'autonomie électrique ou énergétique à partir de ce niveau seuil de besoins. Ensuite, ce travail a montré l'importance de traduire le concept d'autonomisation par plusieurs indicateurs mais certaines dimensions critiques sont absentes de ce travail. Sur le volet alimentaire, on peut citer (i) l'origine des semences, la culture de la pomme de terre étant ainsi localement dépendante de l'extérieur car il est impossible de produire localement des semences pour des raisons agronomiques (flétrissement bactérien) [SPE/04]) et (ii) l'origine des animaux d'élevage, tous les poussins étant par exemple importés [SCV/14]. Il pourrait par ailleurs être utile de différencier différents types d'importations : certaines importations de territoires proches (zone océan Indien) ou de l'Europe, à la fois sur le volet alimentaire (denrées alimentaires, intrants agricoles, machines, etc.) et énergétique (matières premières énergétiques, batteries et autres composants d'installations renouvelables, etc.) pourraient être considérées comme source d'une moindre vulnérabilité pour le territoire d'étude. Il serait alors question de réfléchir aux conditions d'une « autonomie reliée » (Weinand et al., 2019) à une échelle plus large comme suggéré par certains enquêtés évoquant par exemple la « production de céréales à Madagascar » [EXP/01].

Deuxièmement, le recours au concept de facteur de changement comme unité conceptuelle du travail de modélisation présente des limites que de nouveaux travaux pourraient dépasser. Les perspectives d'approfondissement des facteurs de changement identifiés sont déjà présentées dans la partie précédente. Or, dans la méthode employée, seuls les facteurs de changement internes ont été

conservés (voir détails de la méthode en II.2.2) alors que les facteurs de changement externes, c'est-à-dire hors de maîtrise de la part des acteurs du territoire. Parmi ces facteurs externes, la question du changement climatique a été abondamment mentionnée par les enquêtés comme ayant des liens avec le sujet d'étude : impact des événements climatiques extrêmes sur les récoltes [PRV/02], sécheresse impactant également ces dernières [EXP/05] ainsi que la production hydroélectrique [SCV/03]. La littérature converge avec ces inquiétudes, établissant un lien entre (i) catastrophes naturelles dues au changement climatique et sécurité alimentaire des îles (FAO,2016) et (ii) confirmant la probabilité d'une augmentation des sécheresses sur le territoire d'étude, bien qu'à l'échelle de la période simulée, ce phénomène semble limité (Leroux et al., 2021). Localement, quelques enquêtés soulignent l'importance prise par l'enjeu du climat, même aux dépens de la question de l'autosuffisance : « on ne parle plus de la LTECV [Loi de Transition Energétique pour la Croissance Verte] mais de la loi résilience climat [ce qui témoigne d'un] glissement entre l'objectif d'autosuffisance énergétique [...] vers celui de la neutralité carbone en 2050 [SCV/21] ». En plus du climat, d'autres facteurs externes comme des contraintes sur les ressources énergétiques pourraient être intégrés à la réflexion en croisant l'exercice d'anticipation à échelle locale avec des études de prospective à échelle nationale (ADEME, 2021), voire globales (The Shift Project, 2020). Enfin, le concept de facteur de changement ouvre la possibilité, grâce au recours à des méthodes d'analyse de sensibilité, de tenter d'isoler et de quantifier la contribution des différents facteurs à l'autonomisation, ce qui pourrait être l'objet de futurs travaux.

Troisièmement, la compréhension des dynamiques et des perspectives d'autonomisation requiert d'autres disciplines pour être approfondie. D'abord, plusieurs acteurs ont fait part de leur besoin d'études technico-économiques comme outils d'aide à l'évolution, par exemple, des filières agricoles vers la production alimentaire [SCV/01] ou du développement d'une filière de bois-énergie [PRV/08]. De plus, l'étude économique et sociale des barrières au changement concerne aussi les habitudes des consommateurs dont nos résultats montrent qu'elles constituent un levier indispensable de l'autonomisation du territoire (voir V.2.1). Le complexe multi-acteurs est également critiqué par certains comme source d'inertie (« on est coincés dans un système industriel » [SCV/14]) dû à des situations d'oligopole, voire de monopôle conduisant à former des groupes d'acteurs dominants qui peuvent freiner l'émergence d'alternatives. Deux témoignages sont instructifs à ce sujet sur le système alimentaire : (i) « le modèle URCOOPA [Union Réunionnaise des Coopératives Agricoles], crédit agricole et tout... [...] quand tu évoquais ces sujets en disant il y a peut-être de la place pour des petits élevages [...] ou de l'élevage bio et tout, on te disait mais non ce n'est pas possible, parce qu'il n'y a pas d'aliments bio [PRV/07] » et (ii) « les dés sont pipés, clairement quand un comité local technique : banque, SAFER, et syndicats majoritaires, décident de l'attribution. J'arrive avec un projet tout beau, tout bio [...] résilience, peu d'externalités, [...] Et mec numéro 2, [...] un projet de vente d'agrumes en

gros, [...] de continuer la monoculture du *karo*²⁷ c'est-à-dire agrumes, agrumes, agrumes. [...] Son mode d'exploitation c'est de vendre en coopérative. Il aura besoin d'un gros tracteur, [...] un gros crédit avec Crédit Agricole, [une assurance à] la Groupama, adhérer à la FDSEA [Fédération Départementale des Syndicats d'Exploitants Agricoles] parce qu'il a besoin de produits. *Poukwé bann ga la sa donn a mouin lo terrain la*²⁸ ? [Je ne travaille pas] trop en coopératives, [je suis] pour le circuit court, [je n'aurai] aucune grosse production mais beaucoup de petites. [...] *Mi fé pa fonctionne zot système la*²⁹ ». Dans ce contexte, les conditions et les barrières à l'émergence de ces alternatives représentent un sujet d'étude déjà discuté sur le volet alimentaire (Piccin et al., 2018), mais qui serait à approfondir au regard de la question de l'autonomisation. Par ailleurs, le lien entre ces alternatives et les circuits de distribution semble avoir un effet sur l'autonomisation alimentaire qui mériterait d'être étudié à part entière comme souligné par certains enquêtés : « Raccourcir les circuits [permettrait] une meilleure adéquation entre offre et demande » [SCV/14].

QUATRIÈME CONCLUSION PARTIELLE DU CHAPITRE V :

Ce travail est inédit par : (i) **son objet d'étude mêlant alimentation et électricité** et (ii) la **démarche employée croisant modélisation et anticipation participative**. Le projet illustre notamment la posture dite de « **recherche action** » en créant une **boucle d'apprentissage** entre acteurs du territoire et modélisateur.

Des **biais** sont néanmoins à signaler et ont principalement trait à : (i) **l'impossibilité d'un modèle pour décrire le réel**, (ii) **les propres biais des acteurs enquêtés** reflétés dans la construction du modèle et des scénarios, (iii) **la réduction du concept multidimensionnel d'autonomisation** par un petit nombre d'indicateurs.

Les résultats et limites invitent à : (i) utiliser les résultats quantitatifs de cette étude en tant **qu'ordres de grandeur ou en comparaison** les uns par rapport aux autres et (ii) **explorer d'autres scénarios ou mobiliser d'autres disciplines** pour approfondir l'étude des perspectives d'autonomisation à La Réunion et ailleurs.

²⁷ « Parcelle » en créole réunionnais

²⁸ « Pourquoi le comité m'attribuerait-il ce terrain agricole ? » en créole réunionnais

²⁹ « Je ne fais pas fonctionner leur système » en créole réunionnais

CONCLUSION GÉNÉRALE DU CHAPITRE V ET SCHÉMA BILAN DES PERSPECTIVES D'AUTONOMISATION ALIMENTAIRE-ÉLECTRIQUE DE LA RÉUNION :

Dans ce dernier chapitre, les résultats des scénarios simulés ont mis en évidence qu'une **autonomisation alimentaire-électrique de l'île de La Réunion est possible bien que l'autonomie soit encore loin d'être atteinte**. Les scénarios **S4 et S5 semblent particulièrement intéressants à prendre en considération**, une fois détaillées leurs limites et les conditions de leur mise en œuvre sous la forme de **mesures que pourraient envisager les acteurs du territoire**. Les perspectives d'autonomisation alimentaire et électrique via ces deux scénarios sont rappelées sur la **Figure 36** ci-après.

Premièrement, le **scénario S4 (« Planification et compromis »)** a l'avantage **d'être déjà porté à travers des stratégies acceptées par les acteurs dominants** du territoire : le plan AgriPéi, la PPE et le SAR. Cette trajectoire se traduirait d'après le modèle par un **progrès modeste sur l'enjeu alimentaire** tout en **conservant le foncier cannier existant pour la production électrique**. Dans le cas où la part de sources de production asynchrones (comme le photovoltaïque) se retrouverait contrainte dans le mix électrique (coûts, disponibilité, stabilité du réseau, etc.) alors **ce foncier dédié à la production bioélectrique constituerait une sécurité pour le territoire**. Ce scénario présente deux grandes limites : (i) la pérennité de la filière canne actuelle comme culture énergétique ce qui laisse entrevoir une variante où le foncier cannier serait partagé par une culture strictement énergétique et plus performante (miscanthus et/ou bambou par exemple) et (ii) un déclin marqué de la production de fourrages, certainement à cause d'un manque de foncier pour de nouvelles prairies.

Deuxièmement, le **scénario S5 (« Planification, nouvelle canne et localisme alimentaire »)** requiert un ensemble de **mesures plus ambitieuses** pour son déploiement tant en termes d'aménagement du territoire (augmentation massive des moyens pour la récupération des friches par exemple) que de politiques agricoles (notamment la mise en place d'une nouvelle filière canne moins productive mais plus qualitative). Il permet un **fort accroissement de l'autosuffisance alimentaire** tout en conservant **une petite réserve de canne à sucre** qui, avec des améliorations de son taux de fibre, permet un **maintien de la moitié de la production bioélectrique actuelle**. De plus, si les conditions techniques et économiques le permettent, l'installation de moyens complémentaires asynchrones (photovoltaïque a priori) semble possible vis-à-vis du seuil de déconnexion et **permettrait de contrebalancer cette perte de bioélectricité**. Ce scénario présente deux grandes limites : (i) les incertitudes et controverses entourant le passage à un nouveau modèle cannier avec une emprise foncière très inférieure au modèle actuel et (ii) les exigences en termes de mesures ambitieuses d'aménagement et de politique agricole à mettre en œuvre.

Enfin, les entretiens ont révélé **l'absence et le besoin d'une ou plusieurs instance(s) à la fois ouverte(s) et transdisciplinaire(s)** pour permettre de mettre en œuvre ce genre de scénarios et poursuivre un débat ouvert sur le sujet de l'autonomisation alimentaire-énergétique (au-delà du seul enjeu électrique). Un tel **espace de gouvernance**, sur l'île de La Réunion ou un autre territoire insulaire, pourrait avoir comme mandat de réfléchir aux aspects suivants :

- **Anticiper l'influence d'autres facteurs de changement sur l'autonomisation**, en particulier le changement climatique et la décrue des énergies fossiles.
- **Imaginer de nouveaux scénarios d'autonomisation alimentaire-électrique** (voire énergétique) en tenant compte de la variété des visions du territoire y compris celles des « acteurs minoritaires ».
- **Proposer de nouveaux indicateurs** d'évaluation de ces scénarios en tenant compte des limites des taux de couverture utilisés dans cette étude.
- **Evaluer en conséquence de nouvelles mesures à mettre en œuvre** avec différents niveaux de radicalité. En effet, à ce stade, la majorité des mesures recensées sont déjà bien identifiées par les acteurs du territoire, notamment grâce au travail de Marzin et al. (2021).
- **Explorer en particulier 3 thèmes** permettant de **réduire le besoin en ressources importées**, le levier d'autonomisation qui apparaît le plus efficace **avant de penser à augmenter la production** : (i) **la sobriété planifiée**, se traduisant par une réorientation des habitudes alimentaires et de la consommation d'énergie, (ii) **le protectionnisme** notamment vis-à-vis des produits de dégagement, (iii) **l'agroécologie** pour réduire le besoin en intrants et privilégier des ressources locales dans la production agricole et (iv) **le soutien à la petite agriculture paysanne, vivrière et « lontan »**, éventuellement urbaine, permettant une production alimentaire locale distribuée en circuit court (notamment pour les fruits et légumes).

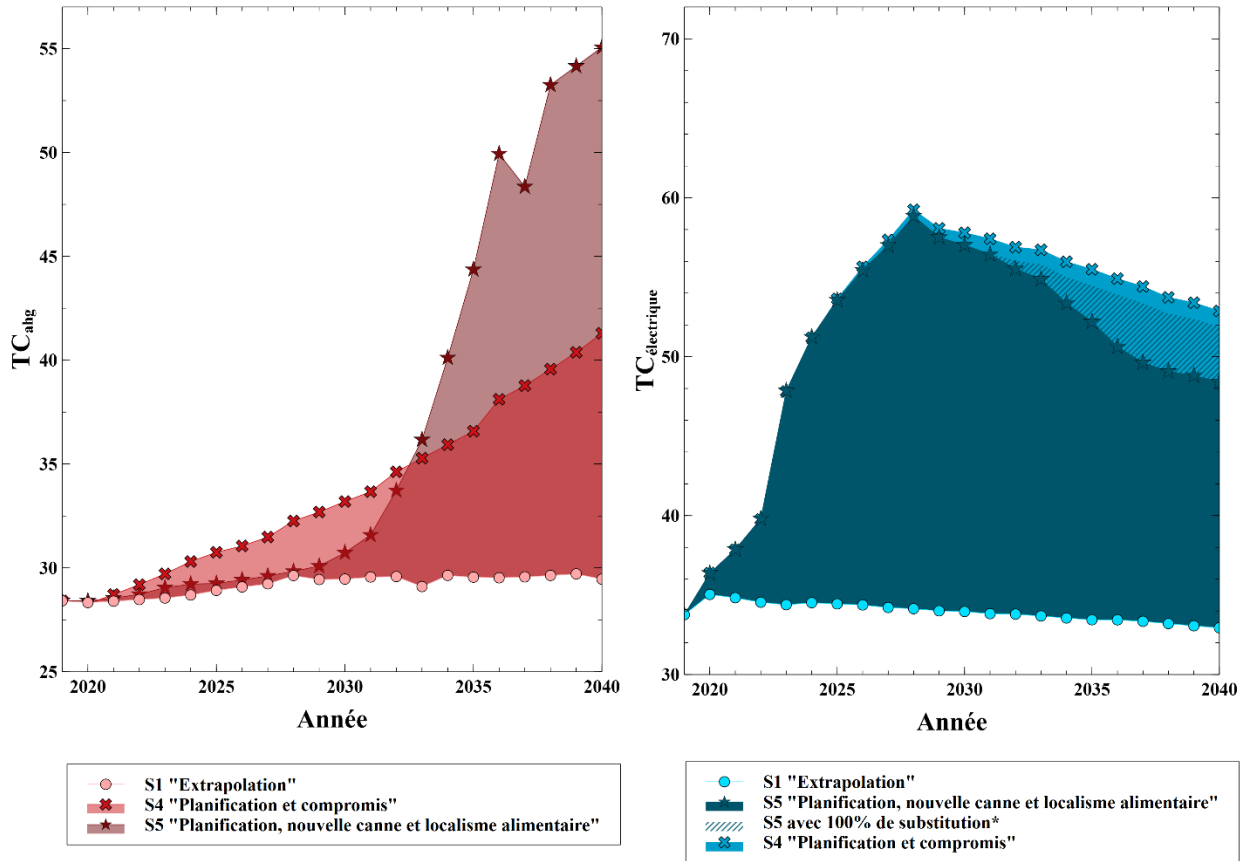



Figure 36 : Bilan des perspectives d'autonomisation alimentaire-électrique de l'île de La Réunion selon les scénarios S4 et S5. À horizon 2040 : (i) selon S4, $TC_{ahg} = 41,3\%$ et $TC_{électrique} = 52,9\%$ tandis que (ii) selon S5, $TC_{ahg} = 55,1\%$ et $TC_{électrique}$ est compris entre $48,4\%$ et $51,9\%$. La fourchette de valeur pour le $TC_{électrique}$ dans S5 dépend de la mise en place ou non d'une substitution de la bioélectricité manquante (due au recul de la canne à sucre) par une source locale (le plus probable étant du photovoltaïque). TC_{ahg} = Taux de couverture en alimentation humaine globale (source : auteur).



Conclusion générale :
Vers un doublement du degré
d'autonomie alimentaire-électrique
à l'île de La Réunion à horizon 2040
?

Par le recours à l'anticipation et à la modélisation, cette thèse détaille une méthode pour envisager des trajectoires d'autonomisation alimentaire-électrique pour l'île de La Réunion. Les scénarios simulés sont sources d'enseignements pour le territoire mais appellent également des approfondissements pour pérenniser les réflexions autour de l'autonomisation territoriale que cette thèse a cherché à encourager.

Contributions méthodologiques

Cette étude montre le potentiel du croisement entre modélisation et anticipation participative pour évaluer quantitativement et qualitativement les perspectives d'autonomisation alimentaire-électrique territoriale. C'est ici le concept de facteur de changement qui permet de créer un pont à l'interface de ces disciplines tout en intégrant la question alimentaire et électrique dans le temps et dans l'espace. Il permet en outre de construire un modèle global des processus d'autonomisation alimentaire-électrique en partant d'une liste réduite de réalités locales saillantes aux yeux des acteurs du territoire. Il est espéré que leur inclusion dans le projet par ce biais renouvellera leur intérêt et encouragera leur prise en charge de la question de l'autonomisation par de nouveaux débats, des études complémentaires et *in fine*, une stratégie de territoire plus ambitieuses que les mesures aujourd'hui sur la table.

Enseignements pour l'autonomisation de La Réunion

Ce travail estime avec quelles marges La Réunion pourrait s'autonomiser sur le plan alimentaire et électrique et au prix de quelles décisions. Par une mise en œuvre de toute ou partie de ces mesures selon deux scénarios coconstruits, les simulations prévoient qu'une autonomisation est possible à horizon 2040 : entre 41% et 55% pour la couverture des besoins alimentaires et entre 48% et 53% pour les besoins électriques.

L'essentiel des mesures pertinentes recensées à dire d'acteurs concerne (i) l'aménagement du territoire (lutte contre l'étalement urbain et préservation du foncier agricole), (ii) la politique agricole (extension des périmètres irrigués, récupération de friches, intensification des productions, réorientation ou non des aides pour maintenir ou transformer les filières actuelles, notamment la canne à sucre, etc.), (iii) la politique énergétique (mesures de maîtrise de la demande en énergie, adaptation du mix électrique en cas de déclin marqué du foncier cannier) et enfin (iv) le développement d'espaces de gouvernance intégrant alimentation et énergie (pour gérer collectivement l'allocation des ressources foncières et de biomasses). Dans cet éventail de mesures, le

travail de comparaison de scénarios mené dans cette étude permet d'insister plus particulièrement sur deux aspects.

D'une part, la substitution du foncier dédié à la canne à sucre en cultures alimentaires et prairies permet d'augmenter fortement la couverture des besoins alimentaires (et sans faire chuter la couverture des besoins en fourrages). Dans le même temps, une telle substitution aurait un effet modéré sur le recul de la couverture des besoins électriques. Bien que discutable en fonction des circonstances futures qui rendraient plus ou moins difficile une forte prévalence d'électricité asynchrone et intermittente (notamment d'origine photovoltaïque) dans le mix électrique, ces enseignements suggèrent que la substitution de la canne à sucre (par exemple, par la transformation de la filière vers des produits en moindre quantité mais à forte valeur ajoutée) est globalement favorable à l'autonomisation du territoire. Des études complémentaires seraient nécessaires pour planifier une telle transition agricole et anticiper ses contraintes.

D'autre part, les résultats de cette étude illustrent à quel point il est illusoire de viser l'autonomisation territoriale par la seule augmentation de la production locale, c'est-à-dire en omettant la maîtrise de la consommation. Malgré de timides mesures recensées qui ont essentiellement trait à de l'efficacité (notamment via le volet MDE de la PPE), la question de la sobriété planifiée reste à ce jour dans un angle mort des réflexions de la majorité des acteurs du territoire. Or les simulations de cette thèse montrent qu'il est possible de faire bondir les taux de couverture par de telles mesures ciblant autant une réduction en volume des besoins, qu'une modification de leur nature. Sur le volet électrique, on peut citer l'absence d'une politique de transport alternative ambitieuse, ce qui conduit à un simple basculement des besoins en carburants des véhicules thermiques vers un accroissement des besoins pour l'alimentation des véhicules électriques. Sur le volet alimentaire, les meilleurs résultats sont obtenus pour deux scénarios mettant en œuvre un changement des habitudes alimentaires vers les recommandations nutritionnelles et une intégration croissante des alternatives locales aux denrées importées (notamment pour les féculents) dans les assiettes réunionnaises. Tous ces changements ne peuvent reposer uniquement sur du volontarisme individuel mais devraient s'appuyer en premier lieu sur un cadre de planification qui reste à définir.

Perspectives

En dernier lieu, il est important de souligner que ce travail génère de nouvelles interrogations : (i) sur d'autres visions possibles du territoire d'étude intégrant d'autres contraintes économiques, climatiques, énergétiques, etc., (ii) sur la transposition de ce type de démarches à d'autres territoires insulaires, voire non-insulaires comme des métropoles urbaines dont on connaît également le fort

degré de dépendance avec par exemple 2,1% d'autonomie alimentaire en moyenne pour les aires urbaines françaises selon Utopies (2017), (iii) sur le lien entre autonomisation territoriale et durabilité écologique puisque l'autonomisation requiert des ressources naturelles mais pourrait aussi augmenter localement leur prélèvement et leur pollution ce qui plaide en faveur de systèmes de productions locaux avec moins d'externalités inspirés par exemple de l'agroécologie et (iv) sur la définition même de l'autonomisation et de l'autonomie à échelle territoriale à la fois en termes de périmètre (quels taux de couverture doivent être pris en compte et concernant quelles ressources pour refléter le degré d'autosuffisance du territoire ?) et en termes de temporalité (l'autonomisation est-elle appréhendée pour résister à des crises ponctuelles ou pour une résilience territoriale pérenne ?).

Publications liées

Russeil, V., Lo Seen, D., Broust, F., Bonin, M. & Praene, J.-P. (2023). *Food and electricity self-sufficiency trade-offs in Reunion Island: modelling land-use change scenarios with stakeholders*, Land Use Policy, Volume 132, September 2023, 106784. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106784>

Russeil, V., Lo Seen, D., Broust, F., Bonin, M. & Praene, J.-P. (2021). *Modélisation de dynamiques d'usages du sol à partir d'entretiens semi-directifs et évaluation de leurs impacts sur le niveau « d'autonomie alimentaire –énergétique » à l'île de La Réunion*, Poster, Cirad Novembre 2021.

Sinico, M., Russeil, V., Huat, J. & Le Mezo, L. (2022). *Zones de production maraichères et fruitières à La Réunion (2021)*, CIRAD Dataverse, V1. <https://doi.org/10.18167/DVN1/JBQV7I>

Références

Abington Advisory & EVEA (2016). *Etude descriptive et opérationnelle sur l'économie circulaire à l'île de la Réunion – 2016*, Nexa – Agence Régionale de Développement d'Investissement et d'Innovation, Mai 2016. Disponible sur : https://www.acadie-cooperative.org/travauxenligne/SGAR_REUNION_2040_BD.pdf (consulté le 18/05/2023).

ACADIE (2013), *La Réunion 2040*, Club de prospective des services de l'Etat. Disponible sur : https://www.acadie-cooperative.org/travauxenligne/SGAR_REUNION_2040_BD.pdf (consulté le 19/11/2019).

ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022). *Impact environnemental de l'alimentation en outre-mer*, 187 p. Disponible sur : <https://librairie.ademe.fr/consommer-autrement/5679-impact-environnemental-de-l-alimentation-en-outre-mer.html> (consulté le 13/07/2022).

ADEME (2011). *Qualité agronomique et sanitaire des digestats*, Rapport final, Octobre 2011. Disponible sur : <http://www.naskeo.com/docs/fr/methanisation/naskeo-rapport-ademe.pdf> (consulté le 20/09/2022).

ADEME (2016 a). *Pertes et gaspillages alimentaires : l'état des lieux et leur gestion par étapes de la chaîne alimentaire*. Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : INCOME consulting – AK2C, 05/2016. Disponible sur : <https://librairie.ademe.fr/dechets-economie-circulaire/2435-etat-des-lieux-des-masses-de-gaspillages-alimentaires-et-de-sa-gestion-aux-differentes-etapes-de-la-chaîne-alimentaire.html> (consulté le 05/02/2023).

ADEME (2016 b). *Mix électrique 100% renouvelable ? Analyses et optimisations - Un travail d'exploration des limites du développement des énergies renouvelables dans le mix électrique métropolitain à un horizon 2050*, Collection Horizon, Juin 2016. Disponible sur :

<https://librairie.ademe.fr/urbanisme-et-batiment/2639-a-100-renewable-electricity-mix-analyses-and-optimisations.html> (consulté le 14/11/2019).

ADEME (2018). *Vers l'autonomie énergétique en zone non interconnectée à l'horizon 2030*, Rapport final d'étude pour l'île de La Réunion, 03/2018. Disponible sur : <https://librairie.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/452-vers-l-autonomie-energetique-en-zone-non-interconnectee-zni-sur-l-ile-de-la-reunion-a-l-horizon-2030.html> (consulté le 05/02/2023).

ADEME (2021). *Transition(s) 2050 : Choisir maintenant Agrir pour le Climat*, Rapport final. Disponible sur : <https://www.vie-publique.fr/rapport/282712-transition-2050-agir-pour-le-climat-rapport-de-l-ademe> (consulté le 23/10/2022).

Agarwal, C. et al. (2002). *A review and assessment of land-use change models: dynamics of space, time, and human choice*. Gen. Tech. Rep. NE-297. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station; 2002. 61 p. <https://doi.org/10.2737/NE-GTR-297>

Agence d'urbanisme pour le développement de l'agglomération lyonnaise (2015). *Navigation en prospective territoriale*, Point de repère, dernier semestriel, janvier 2015. Disponible sur : <https://www.fnau.org/wp-content/uploads/2016/08/PointReperes1-1.pdf> (consulté le 07/11/2020).

Agorah (2017 a). *Réaffirmer le principe d'économie d'espace*, Evaluation de la mise en œuvre du SAR, 2017. Disponible sur : : <http://www.agorah.com/index.php/schema-damenagement-regional/> (consulté le 07/04/2022).

Agorah (2017 b). *Protéger et valoriser les espaces agricoles et naturels en tenant compte de leur fonctions*, Evaluation de la mise en œuvre du SAR, 2017. Disponible sur : : <http://www.agorah.com/index.php/schema-damenagement-regional/> (consulté le 07/04/2022).

Agorah (2020). Tache urbaine intermédiaire janvier 2019. Disponible sur : <http://peigeo.re/index.php/catalogue/>

Al Katsaprakakis, D. & Voumvoulakis, M. (2018). *A hybrid power plant towards 100% energy autonomy for the island of Sifnos, Greece*. Perspectives created from energy cooperatives, Energy 161 (2018) 680-698. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.07.198>

Alary, V., Messad, S., Taché, C. & Tillard, E. (2002). *Approche de la diversité des systèmes d'élevage laitiers à la Réunion*, Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux, 55 (4) : 285-297.

Albioma (2020). *Notre histoire*, Site internet, <<https://www.albioma.com/qui-sommes-nous/histoire/>>

Angeon, V. & Saffache, P. (2008). *Les petites économies insulaires et le développement durable : des réalités locales résilientes ?*, Études caribéennes [En ligne], 11 | Décembre 2008, mis en ligne le 15 décembre 2008. Disponible sur : <http://journals.openedition.org/etudescaribeennes/3443> (consulté le 29/04/2023).

Arcade, J., Godet, M., Meunier, F. & Roubelat, F. (2009). *Structural Analysis with the MICMAC Method & Actors' Strategy with MACTOR Method*, Futures Research Methodology – V3.0, The Millennium

Project, Washington, D.C. Disponible sur : <http://www.millennium-project.org/wp-content/uploads/2020/02/11-Structural-Analysis.pdf> (consulté le 08/04/2022).

ARIBEV & ARIV (2019). *Point d'avancement des contrats de filière*, Juillet 2019, Projet Defi Responsable 2025. Document imprimé.

Audouin, S., Raharison, T. & Otou, M. (2021). *Comprendre les processus d'innovation agroécologiques par l'analyse des apprentissages et des modes d'intervention des organisations dans les territoires, cas d'étude dans le Moyen-Ouest de Madagascar*. Madagascar. Revue de Géographie, 56 : 56-72. Disponible sur : <http://madarevues.recherches.gov.mg/?Comprendre-les-processus-d-innovation-agroecologiques-par-l-analyse-des> (consulté le 30/06/2022)

Bagci, B. (2009). *Towards a Zero Energy Island*, Renewable Energy, Volume 34, Issue 3, March 2009, Pages 784-789. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.027>

Barles, S. (2014). *Territorial ecology and society's dematerialisation: The contribution of material flow analysis*. Développement durable et territoires 5, n°1. <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.10090>

Bassett, T. J. & Gautier, D. (2022). *Territorialisation et pouvoir : la Political Ecology des territoires de conservation et de développement*, EchoGéo, 29 - 2014. <https://doi.org/10.4000/echogeo.14044>

Batra, G. & Norheim, T. (2022). *Staying Small and Beautiful: Enhancing Sustainability in the Small Island Developing States*. In: Uitto J.I., Batra G. (eds) Transformational Change for People and the Planet. Sustainable Development Goals Series. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78853-7_6

Batty, M. & Torrens, M. P. (2001). *Modelling complexity : The limits to prediction*, Cybergeog : European Journal of Geography [En ligne], Dossiers, document 201, mis en ligne le 04 décembre 2001, consulté le 13 décembre 2020. <https://doi.org/10.4000/cybergeog.1035>

Baysse-Lainé, A. & Perrin C. (2007). *Les espaces agricoles des circuits de proximité : une lecture critique de la relocalisation de l'approvisionnement alimentaire de Millau*, Natures Sciences Sociétés, vol. 25, no. 1, 2017, pp. 21-35. Disponible sur : <https://www.cairn.info/revue-natures-sciences-societes-2017-1-page-21.htm> (consulté le 29/04/2023).

Bazilian, M. (2011). *Considering the energy, water and food nexus: Towards an integrated modelling approach*, Energy Policy 39 (2011) 7896–7906. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.039>

Beichler, S. A., S. Hasibovic, B. J. Davidse, and S. Deppisch (2014). *The role played by social-ecological resilience as a method of integration in interdisciplinary research*. Ecology and Society 19(3): 4. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-06583-190304>

Bénard-Sora, F. & Praene, J.-P. (2016). *Territorial analysis of energy consumption of a small remote island: Proposal for classification and highlighting consumption profiles*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 59, June 2016, Pages 636-648. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.008>

- Benoît, M., Deffontaines, J.-P. & Lardon, S. (2006). *Acteurs et territoires locaux, Vers une géoagronomie de l'aménagement*, Cemagref, Cirad, Ifremer, Inra, 2006, ISBN : 2-7380-1225-6
- Berque, A. (1994). *Paysage, milieu, histoire*, In: Cinq propositions pour une théorie du paysage, Champ Vallon, pp. 11-29.
- Besançon L. (2020). *Caractérisation et valorisation des friches en lisière d'espaces naturels*, Rapport d'étude - Décembre 2020, Parc National de La Réunion, EDF.
- Bilhouix P. (2014). *L'Âge des low tech - Vers une civilisation techniquement soutenable*, Date de parution 03/04/2014, Essai, Editions: Anthropocène Seuil.
- Billen G. (2019). *Polyculture-élevage ou hyper-spécialisation territoriale ? Deux scénarios prospectifs du système agro-alimentaire français*. Innovations. Innovations Agronomiques, INRA, 2019, 72, pp.31-44. <https://hal.inrae.fr/hal-02627306>
- Bompard, E., Carpignano, A., Erriquez, M., Grosso, D., Pession, M. & Profumo, F. (2017). *National energy security assessment in a geopolitical perspective*, Energy 130 (2017) 144-154, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.108>
- Bourdin, S., Nadou, F., & Raulin, F. (2019). *Les collectivités locales comme acteurs intermédiaires de la territorialisation de la transition énergétique : l'exemple de la méthanisation*, Géographie, économie, société, vol. vol. 21, no. 4, 2019, pp. 273-293. <https://doi.org/10.3166/ges.%202019.0016>
- Bourgeois, R., Liswanti, N., Mukasa, C., Zamora, A., Herawati, T., Monterroso, I., Mshale, B., Banjade, M. R., Mwangi, E., & Larson, A. (2017). *Guide for co-elaboration of scénarios: Building shared understanding and joint action for reform and security of forest tenure*. Bogor, Indonesia: CIFOR. <https://doi.org/10.17528/cifor/006749>
- Bourgeois, R. (2017). *What Future for Rural Areas? Seven plausible rural transformations*, Development (2017). <https://doi.org/10.1057/s41301-016-0017-1>
- Bourgeois, R., & Jesus, F. (2004). *Participatory prospective analysis: exploring and anticipating challenges with stakeholders*. CGPRT Publication (ESCAP) No. 46. Bogor: ESCAP. Disponible sur : http://publications.cirad.fr/une_notice.php?dk=524520 (consulté le 08/04/2022).
- Brunetta, G. et al. (2019). *Territorial Resilience: Toward a Proactive Meaning for Spatial Planning*, Sustainability, April 2019, Sustainability 2019, 11, 2286. <https://doi.org/10.3390/su11082286>
- Cadet, T. (1977). *La végétation de l'île de la Réunion: étude phytoécologique et phytosociologique* (Doctoral dissertation). Université d'Aix Marseille. Document imprimé.
- Camara, C., Bourgeois, R., & Jahel C. (2019). *Anticipating the future of agricultural territories in West Africa: The case of the Niayes in Senegal*. Cahiers Agricultures 2019/28, 12. <https://doi.org/10.1051/cagri/2019012>

- Camilla, G., Danilo Chiarelli, D., Luciano, A., Pinotti, L., & Rulli, M. C. (2022). *Global assessment of land and water resource demand for pork supply*, Environmental Research Letters, Volume 17, Number 7. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac74d7>
- Capellan Perez, I., Mediavilla, M., De Castro, C., Carpintero & O., Miguel, L. J. (2014). *Fossil fuel depletion and socio-economic scénarios: An integrated approach*, Energy 77 (2014) 641-666. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.09.063>
- Carlsson-Szlezak, P., Reeves, M., & Swartz, P. (2020). *What Coronavirus Could Mean for the Global Economy*. Harvard Business Review 3/2020. Disponible sur : <https://hbr.org/2020/03/what-coronavirus-could-mean-for-the-global-economy> (consulté le 06/04/22).
- Cassidy E. S., West P. C., Gerber J. S. & Foley J. A. (2013), *Redefining agricultural yields: from tonnes to people nourished per hectare*, Environ. Res. Lett. 8 (2013) 034015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/034015>
- Castets, M. (2015). Pavages réguliers et modélisation des dynamiques spatiales à base de graphes d'interaction: conception, implémentation, application. PhD thesis, Université de Montpellier.
- Caubet, P. (1934). La canne à sucre à La Réunion. Annales de Géographie 1934/244, 397-416. <https://doi.org/10.3406/geo.1934.10621>
- Celagri (2021). *L'alimentation des volailles*, Fiche technique. Disponible sur : <https://www.celagri.be/l'alimentation-des-volailles/> (consulté le 16/09/2022).
- Cerdan, C. & Fournier, S. (2007). *Le système agroalimentaire localisé comme produit de l'activation des ressources territoriales*. Enjeux et contraintes du développement local des productions agroalimentaires artisanales. In : Gumuchian H., Pecqueur B., dir. 2007, La ressource territoriale, Paris : Ed Economica, Anthropos, pp. 103-125.
- Chabalier, P.-F., Van de Kerchove, V. & Saint Macary H. (2006). *Guide de la fertilisation organique à La Réunion*, Collaboration CIRAD et Chambre d'Agriculture de La Réunion, Document imprimé.
- Chalvatzis, K. J. & Ioannidis, A. (2017). *Energy Supply Security in the EU: Benchmarking diversity and dependence of Primary Energy*, Applied Energy, Vol. 207, pp 465-476, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.07.010>
- Chambre d'agriculture de Guadeloupe & Chambre d'agriculture de Guyane (2021). *Systèmes poules pondeuses au sol - Guadeloupe et Guyane - Conjoncture 2020*. Disponible sur : <https://www.odeadom.fr/wp-content/uploads/2021/11/Poules-pondeuses-en-Guadeloupe-Guyane-RRE-DOM-conj2020-vf.pdf> (consulté le 16/09/2022).
- Chang, Y., Hou, K., Li, X., Zhang, Y., Chen, P. (2018). *Review of Land Use and Land Cover Change research progress*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 113 012087. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/113/1/012087>
- Charbonnier, P., Latour, B. & Morizot B. (2017). *Redécouvrir la terre*, Tracés. Revue de Sciences humaines, 33 - 2017. <https://doi.org/10.4000/traces.7071>

Chary, K., Aubin, J., Guindé, L., Sierra, J., & Blazy, J.-M. (2018). *Cultivating biomass locally or importing it? LCA of biomass provision scénarios for cleaner electricity production in a small tropical island*. Biomass and Bioenergy 110 (2018), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.01.009>

Chery, J.-P. & Smektala, G. (2004). *D'un modèle chorématique à un modèle de simulation : gestion des ressources ligneuses en zone soudano-sahélienne*. Cahiers d'études et de recherches francophones / Agriculture, 6(13):528–538.

Chughtai, A. H., Abbasi, H. & Karas, I. K. (2021). *A review on change detection method and accuracy assessment for land use land cover*, Remote Sensing Applications: Society and Environment, Volume 22, 2021, 100482, ISSN 2352-9385, <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100482>

CIRAD, FAO & DEVCO (2020), *Food Systems Analysis: assembling the puzzle*, 21 et 25 Septembre 2020, présentation orale. Diaporama disponible sur : <https://www.slideshare.net/francoisstepman/webinar-food-systems-assessment> (consulté le 16/06/2023).

CIVIS (2008). *GERRI*, présentation du 25 novembre 2008. Disponible sur : <https://bambooneem.re/wp-content/uploads/2020/08/GERRI-CIVIS-25-11-08.pdf> (consulté le 18/05/2023).

Clapp, J. (2016). *Food self-sufficiency: Making sense of it, and when it makes sense*, Food Policy 66 (2017) 88–96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodpol.2016.12.001>

Comité de Bassin Réunion (2016). *SDAGE 2016 - 2021, SCHÉMA DIRECTEUR D'AMÉNAGEMENT ET DE GESTION DES EAUX, Ile de La Réunion*. Disponible sur : https://www.comite-eau-biodiversite-reunion.fr/IMG/pdf/rapport_environmental_du_SDAGE_2016-2021.pdf (consulté le 03/09/2022).

Conrozier, R. & Choisis, J.P. (2019). *Besoins des agriculteurs certifiés en agriculture biologique sur la disponibilité et la qualité des biomasses*. GABIR, 4p. Disponible en ligne : https://www.mvad-reunion.org/wp-content/uploads/2021/04/GABIR-Fiche-4p_stage-AB-1.pdf (consulté le 01/08/2021).

Conseil de l'Union Européenne (2022). *Food security and affordability*, Page internet. Disponible sur : <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/food-security-and-affordability/> (consulté le 13/07/2022).

Crespin Boucaud, A. (2021). *Téledétection et intégration de connaissances via la modélisation spatiale pour une cartographie plus cohérente des systèmes agricoles complexes : Application aux Hautes Terres, à Madagascar*, Manuscrit de thèse, Ecole doctorale GAIA, Unité de recherche TETIS, N° : 2021AGPT0005.

Croisier, M. & Croisier, Y. (2012). *Besoins, aliments et mécanismes de la digestion des animaux d'élevage*, Ed Educagri éditions, ISBN : 978-2-84444-895-8. Available at: https://books.google.com/books?hl=fr&lr=&id=CrO4BbrWTQIC&oi=fnd&pg=PA1&dq=besoins+en+concentr%C3%A9s+dans+l%27+alimentation+animale&ots=pC1h4GaN2g&sig=60T8b-oigzGUb1yh4X3MIWS_Cmo#v=onepage&q=besoins%20en%20concentr%C3%A9s%20dans%20l%20alimentation%20animale&f=false (consulté le 29/06/2022).

CTICS (2019). *Campagne sucrière 2019*, Centre Technique Interprofessionnel de la Canne et du Sucre de La Réunion, Rapport technique. Disponible sur : <https://ctics.fr/wp-content/uploads/2020/11/Rapport-campagne-2019.pdf> (consulté le 19/09/2022).

DAAF Réunion & Corossol (2019). *Base d'occupation agricole du sol 2019*, BOS2019. Disponible sur : <https://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/la-base-agricole-de-l-occupation-du-sol-bos-2019-a1034.html> (consulté le 20/01/2023).

DAAF Réunion (2013). *L'observatoire des importations des produits agricoles sur La Réunion*, Bilan de 5 années d'importation, Agreste La Réunion - n° 88 - Novembre 2013. Disponible sur : <https://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/l-observatoire-des-importations-r186.html> (consulté le 18/05/2023).

DAAF Réunion (2014). *Le Plan Réunionnais de Développement Durable de l'Agriculture et de l'Agroalimentaire (PRAAD)*, Projet Stratégique de développement des filières agricoles de La Réunion 2014 / 2020. Disponible sur : <https://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/praad-a254.html> (consulté le 18/05/2023).

DAAF Réunion (2015). *Le modèle agricole réunionnais résiste : l'emploi et les surfaces exploitées se stabilisent*, Agreste La Réunion - n° 95 - Juillet 2015. Disponible sur : https://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/ESEA_2013_cle864647.pdf (consulté le 18/05/2023).

DAAF Réunion (2017 a). *2007 – 2016 : La part de la production agricole locale se maintient sur le marché du frais, mais les importations continuent leur progression*. Disponible sur : https://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/publi_2017_taux_de_couverture_mis_en_forme_cle0a5e55.pdf (consulté le 06/04/22).

DAAF Réunion (2017 b). *Guide des bonnes pratiques agricoles à La Réunion*, ZIBERLIN Olivier, Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt de la Réunion. Document imprimé.

DAAF Réunion (2019 a). *Mémento 2019 agricole et rural (chiffres 2018)*. Disponible sur : <https://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/2-MEMENTO-2019-chiffres-2018> (consulté le 06/04/22).

DAAF Réunion (2019 b). *Filière fruits - légumes*, Juin 2019, Agreste - La Réunion. Disponible sur : <https://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/filiere-fruits-et-legumes-a1891.html> (consulté le 18/05/2023).

DAAF Réunion (2019 c). *Filière canne - sucre - rhum - énergie*, Juin 2019, Agreste - La Réunion. Document imprimé. Disponible sur : <https://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/filiere-canne-sucre-rhum-energie-a1890.html> (consulté le 18/05/2023).

DAAF Réunion (2020 a). *Mémento 2020 (chiffres 2019)*, Agreste, Décembre 2020. Disponible sur : <https://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/memento-2020-chiffres-2019-a2382.html> (consulté le 07/02/2023).

DAAF Réunion (2020 b). *Compte-rendu du cinquième comité de transformation agricole de La Réunion*, le 4 novembre 2020. Document imprimé.

DAAF Réunion (2021). *Entre 2010 et 2020, La Réunion a perdu 4000 hectares de surfaces agricoles utilisées*, Recensement agricole 2020, Agreste Etudes, Décembre 2021 N°112. Disponible sur : https://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/20211208_RA2020_Primeur_Reunion_cle4e51ae.pdf (consulté le 18/05/2023).

Dalama, M. G. (2005). *L'île de La Réunion et le tourisme : d'une île de la désunion à La Réunion des Hauts et des Bas*, L'Espace géographique, 2005-4 p. 342-349. <https://doi.org/10.3917/eg.344.0342>

Dator, J. (2009). *Alternative Futures at the Manoa School*, Journal of Futures Studies, November 2009, 14(2): 1 – 18. https://doi.org/10.1007/978-3-030-17387-6_5

DEAL Réunion (2017). *Immatriculations de véhicules neufs à La Réunion en 2016*, Chiffres et statistiques, Direction de l'environnement de l'aménagement et du logement, La Réunion, N° 2017-2, Mars 2017. Disponible sur : <https://www.reunion.developpement-durable.gouv.fr/donnees-sur-les-immatriculations-de-vehicules-a657.html> (consulté le 14/01/2023).

DEAL Réunion & CAUE Réunion (2015). *Densité et qualité urbaine*, La ville durable réunionnaise, DEAL, CDC et CAUE de La Réunion. Disponible sur : <https://www.reunion.developpement-durable.gouv.fr/densite-et-qualite-urbaine-a683.html> (consulté le 12/03/2022).

Deffontaines, J.-P. (1973). *Analyse du paysage et étude régionale des systèmes de production agricole*, Economie rurale, Année 1973, 98, pp, 3-13. <https://doi.org/10.3406/ecoru.1973.2232>

Degenne, P. & Lo Seen, D. (2016). *Ocelet: Simulating processes of landscape changes using interaction graphs*, SoftwareX, 5:89-95. <http://dx.doi.org/10.1016/j.softx.2016.05.002>

Delgado-Serrano, M. M., Ambrosio-Albalá, M., & Amador, F. (2015). *Exploring prospective structural analysis to assess the relevance of rural territorial development in Spain and Nicaragua*. Cuadernos de Desarrollo Rural, 12(76), 35-56. <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.cdr12-76.epsa>

Département de La Réunion (2016). *Plan d'actions pour l'amélioration des conditions d'alimentation en eau des Hauts et des zones isolées*, Rapport de phase 2, Décembre 2016. Disponible sur : https://www.eaureunion.fr/fileadmin/user_upload/Etudes/ETUDE_01055.PDF (consulté le 03/09/2022).

Département de La Réunion (2020). *AGRIPÉI 2030, Agir ensemble pour l'agriculture réunionnaise de demain - 39 actions pour un modèle réunionnais responsable*, Rapport de présentation. Disponible sur : <https://www.departement974.fr/actualite/agripei-2030-un-modele-agricole-ambitieux-pour-reunion> (consulté le 08/02/2023).

Destatte, P. & Durance, P. (2009). *Les mots clés de la prospective territoriale*, Ed. La documentation Française. ISBN : 978-2-11-007529-1.

Devun, J., Brunschwig, P. & Guinot, C. (2014). *Alimentation des bovins : rations moyennes et autonomie alimentaire*, Viandes & Produits Carnés – Mars 2014. Disponible sur :

https://viandesetproduitscarnes.fr/phocadownload/vpc_vol_30/3027_devun_alimentation_bovins.pdf (consulté le 06/09/2022).

Djago, Y. A., Kpodekon, M. & Lebas, F. (2012). *Méthodes et Techniques d'Elevage du Lapin - Elevage en milieu tropical*, Site internet. Consultable à : <http://www.cuniculture.info/Docs/Elevage/Tropic-03-Chap1.htm> (consulté le 16/09/2022).

Douanes Réunion (2020). *Extraction de la base de données des douanes concernant les années 2016 à 2019*. Données confidentielles.

Dupuy, S. & Gaetano, R. (2019). *Cartographie de l'occupation du sol agricole à la Réunion à partir d'images satellites, Saint-Pierre (France)*, 61 p. Cirad, Département Environnement et Société / Unité Mixte de Recherche TETIS, 2019. Disponible sur : https://agritrop.cirad.fr/594135/1/Rapport_carto_GABIR_2017-2018_v3.pdf (consulté le 23/08/2022)

Dupuy, S. (2020). *Fiche complémentaire de la couche « Carte d'occupation du sol 2019 à la Réunion »*, Cirad, Département Environnement et Société / Unité Mixte de Recherche TETIS, 2020. Disponible sur : <https://aware.cirad.fr/documents/550> (consulté le 13.12.2019).

Dupuy, S. & Gaetano R. (2020). *Reunion island – 2019, Land cover map (Spot6/7) – 1.5m*, CIRAD Dataverse, V1. <https://doi.org/10.18167/DVN1/YZJQ7Q>

Dury, S. & Bocoum, I. (2012). *Le « paradoxe » de Sikasso (Mali) : pourquoi « produire plus » ne suffit-il pas pour bien nourrir les enfants des familles d'agriculteurs ?* Cah Agric 21 : 324-36. <https://doi.org/10.1684/agr.2012.0584>

Sica, E. C., Huber, M. (2017). *"We can't be dependent on anybody" : The rhetoric of "Energy Independence" and the legitimation of fracking in Pennsylvania*, Syracuse University, *The Extractive Industries and Society* 4 (2017) 337 - 343. <http://dx.doi.org/10.1016/j.exis.2017.02.003>

EDF (2017). *Projet de centrale photovoltaïque de la Rivière des Galets, Etude d'impact*, Mai 2017. Disponible sur : https://www.reunion.gouv.fr/IMG/pdf/an2_2-etude_impact_riviere_galets.pdf (consulté le 18/11/2022).

EDF (2019). *Bilan prévisionnel de l'équilibre offre / demande d'électricité à La Réunion 2019 - 2020*, Systèmes énergétiques insulaires. Disponible sur : <https://opendata-reunion.edf.fr/pages/production-rapports0/> (consulté le 05/02/2023)

EDF (2022). *Bilan prévisionnel de l'équilibre offre / demande d'électricité à La Réunion 2022*, Systèmes énergétiques insulaires. Disponible sur : <https://reunion.edf.fr/edf-a-la-reunion/la-transition-energetique-a-la-reunion/bilan-previsionnel-de-lequilibre-offre-demande-delectricite-a-la-reunion> (consulté le 29.07.2023).

Edwards-Jones, G., Milà i Canals, L., Hounsome, N., Truninger, M., Koerber, G., Hounsome, B., Cross, P., York, E. H., Hospido, A., Plassmann, K., Harris, I. M., Edwards, R. T., Day, G. A. S., Tomos, A. D., Cowell, S. J., Jones, D. L. (2008). *Testing the assertion that 'local food is best': the challenges of an*

evidence-based approach, Trends in Food Science & Technology, Volume 19, Issue 5, May 2008, Pages 265-274, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.01.008>

Etienne, M. (2010). *La modélisation d'accompagnement : une démarche participative en appui au développement durable*, Quae Editions.

FAO (1999). *Implications of Economic Policy for Food Security: A Training Manual*, Disponible sur : <http://www.fao.org/3/x3936e/x3936e03.htm> (consulté le 15/01/2021).

FAO (2008). *An Introduction to the Basic Concepts of Food Security*, Food Security Information for Action, Practical Guides.

FAO (2012). *FAO Statistical Yearbook 2012 – World Food and Agriculture*. Disponible sur : <http://www.fao.org/docrep/015/i2490e/i2490e00.htm> (consulté le 15/01/2021).

FAO (2013). *Food security and sovereignty (Base document for discussion)*, FAO.

FAO (2016). *State of food security and nutrition in small island developing states (SIDS)*, FAO. 8. Disponible sur : <http://www.fao.org/3/a-i5327e.pdf> (consulté le 15/01/2021).

FAO (2022 a). *Food Outlook – Biannual Report on Global Food Markets*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb9427en>

FAO (2022 b). *FAOSTAT*, 14/2022. Disponible sur : <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS> (consulté le 26/10/2022).

FAO and CDB (2019). *Study on the State of Agriculture in the Caribbean*, Rome, 212 pp. Disponible sur : <https://www.caribank.org/sites/default/files/publication-resources/Study%20on%20the%20State%20of%20Agriculture%20in%20the%20Caribbean.pdf> (consulté le 29/04/2023)

Farrell, H. & Newman, A. L. (2022). *Weak links in finance and supply chains are easily weaponized*, Nature 605, 219-222 (2022). <https://doi.org/10.1038/d41586-022-01254-5>

Fillols, E. & Chabalier, P. F. (2007). *Guide de la fertilisation de la canne à sucre à La Réunion*, Rapport technique, CIRAD. Disponible sur : <https://agritrop.cirad.fr/539576/1/ID539576.pdf> (consulté le 01/09/2022).

Fisher, P. F. & Comber, A. J. (2005). *Land use and Land cover: Contradiction or Complement*. In Representing GIS, pages 85–98. Wiley edition.

Folke C. et al. (2002). *Resilience and Sustainable Development: Building Adaptive Capacity in a World of Transformations*. Ambio 2002, 31, 437–440. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-31.5.437>

Fourny, M. C., & Denizot, D. (2007). *La prospective territoriale, révélateur et outil d'une action publique territorialisée*. In: Dodier, R., Rouyer, A., & Séchet, R. (editors) Territoires en action et dans l'action. Presses Universitaires de Rennes, 29-44. <https://doi.org/10.4000/books.pur.487>

Franceinfo (2018). "Gilets jaunes" : la pénurie guette à La Réunion, publié le 22/11/2018, 13:38, Disponible sur : https://www.franceinfo.fr/economie/transports/gilets-jaunes/gilets-jaunes-la-penurie-guette-a-la-reunion_3046771.html (consulté le 29/01/2020).

Garabedian, S. & Ricci, O. (2018). *Les territoires ultramarins face à la transition énergétique : les apports d'un MEGC pour la Réunion*, ffhalshs-01878447f.

Garabedian, S. (2007). *Modélisations et simulations multi-agents de systèmes complexes pour les Sciences de l'homme et de la société : principes et méthodes de conception et d'usage*, Compte rendu de l'école thématique du CNRS (île de Porquerolles, 19-24 septembre 2005). *Natures Sciences Sociétés*, 15, 313-315. Disponible sur : <https://www.cairn.info/revue--2007-3-page-313.htm> (consulté le 14/02/2020).

Garcia-Gusano, D., Iribarren, D., Garrain, D. (2017). *Prospective analysis of energy security: A practical life-cycle approach focused on renewable power generation and oriented towards policy-makers*, *Applied Energy*, Volume 190, 15 March 2017, Pages 891-901. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.01.011>

Gasparatos, A. (2011). Resource consumption in Japanese agriculture and its link to food security, *Energy Policy* 39 (2011) 1101–1112. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2010.11.031>

Getz, A. (1991). *Urban foodsheds*, *The Permaculture Activist*, 26–27.

Giaoutzi, M. & Sapio, B. (2013). *Recent Developments in Foresight Methodologies*, *Complex Networks and Dynamic Systems* 1, Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5215-7>

Gibson, C. C., Ostrom E. & Ahn T. K. (2000). *The concept of scale and the human dimensions of global change: a survey*, *Ecological Economics* Volume 32, Issue 2, February 2000, Pages 217-239. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00092-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00092-0)

Global Footprint Network (2020). *Ecological Deficit / Reserve*, Site Internet. Consultable sur : <https://data.footprintnetwork.org/#/>

Godenau, D., Caceres-Hernandez, J.J. & Martin-Rodriguez, G. (2020). *A consumption-oriented approach to measuring regional food self-sufficiency*. *Food Sec.* 12, 1049–1063 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12571-020-01033-y>

Gonod, P. F. & Gurtler, J.-L. (2002). *Evolutions de la prospective*, OCL VOL. 9 N° 5 SEPTEMBRE/OCTOBRE 2002. <http://dx.doi.org/10.1051/ocl.2002.0317>

Grimaud, P. (2007). *L'élevage du cerf sur l'île de la Réunion, voie de diversification d'une agriculture insulaire et enjeu de coopération régionale*, *Cahiers Agricultures* vol. 16, n° 2, mars-avril 2007.

Groupe CRCE (2009). *Mise en oeuvre du Grenelle de l'environnement : l'exemple de La Réunion*, Par Gélita Hoarau, 27 janvier 2009. Disponible sur : <https://senateurscrce.fr/activite-des-senateurs/la-discussion-et-le-vote-de-la-loi/affaires-economiques/Mise-en-oeuvre-du-Grenelle-de-l-environnement-l-exemple-de-La-Reunion> (consulté le 03/04/2020).

Guizard, G. (2021). *Creation of Territorial Crop-Livestock Integration scénarios in two contrasted French territories: study cases of La Réunion and of the Lot* (Master thesis), ISARA, INRAE, University of Hohenheim.

Halldórsdóttir, O., & Nicholas, K. A. (2016). *Local food in Iceland: identifying behavioral barriers to increased production and consumption*. Environmental Research Letters 2016/11, 115004. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/11/11/115004>

Hittner-Sanchez, E. (2022). *Analyse du métabolisme territorial de l'alimentation d'une petite économie insulaire : le cas de l'île de La Réunion*, Mémoire de fin d'études, CIRAD - UMR SELMET.

IEA (2019). *World Energy Outlook 2019 highlights deep disparities in the global energy system*, IEA, November 2019.

IEA (2021). *Net Zero by 2050*, IEA, Paris. Disponible sur : <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> (consulté le 29/04/2023).

IEDOM (2004). *La distribution automobile à La Réunion*, Les notes de l'institut d'émission, Décembre 2004.

IEDOM (2011). *La Réunion - Rapport annuel 2010*, Institut d'émission des départements d'outre-mer, Edition 2011. Disponible sur : https://www.iedom.fr/IMG/pdf/ra2010_la_reunion.pdf (consulté le 09/09/2022).

IEDOM (2020). *La Réunion 2019*, Institut d'émission des départements d'outre-mer, Rapport annuel 2019.

IGF, CGEDD & CGAAER (2021). *Perspectives de la filière canne-sucre-rhum-énergie en outre-mer*, Inspection générale des finances, Conseil général de l'environnement et du développement durable, Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux, Mars 2021. Disponible sur : https://www.igf.finances.gouv.fr/files/live/sites/igf/files/contributed/IGF%20internet/2.RapportsPublics/2021/T1_Rapport_Perspectives_filiere_sucriere_annexes_I_II_VI_VII.pdf (consulté le 17/07/2022).

INSEE (2014). *Tableau économique de La Réunion 2014*, Edition 2014. Disponible sur : https://www.insee.fr/fr/statistiques/fichier/2045700/re_oldcol_01.pdf (consulté le 09/09/2022).

INSEE (2015). *Les comportements alimentaires des Réunionnais unionnais - Un excès d'huile et de riz, un déficit de fruits et légumes*, INSEE Analyses n°12, décembre 2015.

INSEE (2017). *Pas assez de fruits et légumes, trop d'huile, de sucre et de boissons sucrées*, Insee Analyses La Réunion, n° 57, Avril 2021. Disponible sur : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/5357925#tableau-figure2> (consulté le 12/01/2023).

INSEE (2018). *Les besoins en logements à La Réunion à l'horizon 2035 - Rôle majeur de la croissance et du vieillissement de la population*, INSEE Dossier La Réunion n°6 - Octobre 2018.

INSEE (2019 a). *Synthèse démographique, sociale et économique*, TI TER, La Réunion, octobre 2019.

INSEE (2022). *L'essentiel sur... La Réunion*, Chiffres clés, paru le 26/01/2022, Disponible sur : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4482473#:~:text=March%C3%A9%20du%20travail-,D%C3%A9mographie,des%20naissances%20sur%20les%20d%C3%A9c%C3%A8s.> (consulté le 08/04/2020).

Institut de l'agriculture durable (2021). *Coefficients UG*. Disponible sur: <https://agridurable.top/coefficient-ugb/> (consulté le 13/09/2022).

Ionescu, A. (2022). *Etude des dynamiques de changement de pratiques dans les systèmes canniers de deux zones de l'Ouest de la Réunion* (Master's thesis). ESA - Ecole Supérieure d'Agricultures, ISTOM - Ecole Supérieure d'Agro-Développement International.

IPCC (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

IRENA (2022). *Energy profile - Iceland*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Iceland_Europe_RE_SP.pdf (consulté le 27/04/2023).

Jahel, C. (2016). *Analyse des dynamiques des agroécosystèmes par modélisation spatialisée et utilisation d'images satellitaires - Cas d'étude de l'ouest du Burkina Faso*, Doctorat AgroParisTech.

Jahel, C., Vall, E., Rodriguez, Z., Bégué, A., Baron, C., Augusseau, X., Lo Seen, D. (2018). *Analysing plausible futures from past patterns of land change in West Burkina Faso*, Land Use Policy 71 (2018) 60–74. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.11.025>

Jauze, J.-M. (2019). *Urbanisation et océan à La Réunion, l'histoire d'une difficile idylle*. Travaux & documents, Université de La Réunion, Faculté des lettres et des sciences humaines, 2007, pp.9–34. fahal-01531404.

Kaddoura, S. (2017). *Review of water-energy-food Nexus tools to improve the Nexus modelling approach for integrated policy making*, Environmental Science and Policy 77 (2017) 114–121. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.007>

Kim, K., Burnett, K. & Ghimire, J. (2015). *Assessing the potential for food and energy self-sufficiency on the island of Kauai, Hawaii*, Food Policy 54 (2015) 44-51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodpol.2015.04.009>

Kleinpeter, V., Alvanitakis, M., Vigne, M., Wassenaar, T., Lo Seen, D. & Vayssières, J. (2023). *Assessing the roles of crops and livestock in nutrient circularity and use efficiency in the agri-food-waste system: A set of indicators applied to an isolated tropical island*, Resources, Conservation & Recycling 188 (2023) 106663. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106663>

Kleinpeter, V., & Vayssières, J. (2019). *Inventaire et quantification des flux de biomasses locales valorisées ou valorisables en agriculture à La Réunion*. Rapport technique du projet GABiR, 68 p. Disponible sur : <https://agritrop.cirad.fr/602724/> (consulté le 14.11.2022).

Kloppenburger, Jr. J., Hendrickson, J. & Stevenson, G.W. (1996). *Coming in to the food shed*, Agriculture and Human Values volume 13, pages33–42 (1996).

Kougiyas, I. et al. (2019). *Sustainable energy modelling of non-interconnected Mediterranean islands*, Volume 133, April 2019, Pages 930-940. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.090>

La Tribune (2007). *Grenelle de l'environnement : le discours de Nicolas Sarkozy*, Par latribune.fr, le 26/10/2007, Disponible sur : <https://www.latribune.fr/archives/2007/ID44E6CB82E41E3F13C125737F00535D3E/grenelle-de-l-environnement-le-discours-de-nicolas-sarkozy.html> (consulté le 29/04/2023).

Labache, L. (2017). *En attendant l'indépendance ? Projet autonomiste à La Réunion et formation de cadres dans les pays socialistes*, Dans Cahiers d'études africaines 2017/2 (n°226), pages 355 à 378.

Lagabrielle, E. (2003). *Télé-détection des changements et SIG - Application à l'étude de l'évolution des modes d'occupation des sols à La Réunion entre 1989 et 2002*, Champs-sur-Marne : ENSG, 47 p. Mémoire de mastère spécialisé : Systèmes d'informations localisées pour l'aménagement des territoires (SILAT) : Ecole nationale des sciences géographiques. Disponible sur : <https://agritrop.cirad.fr/551257/> (consulté le 24/08/2022)

Lagabrielle, E., Botta, A., Daré, W., David, D., Aubert, S. & Fabricius C. (2010). *Modelling with stakeholders to integrate biodiversity into land-use planning - Lessons learned in Réunion Island (Western Indian Ocean)*, Environmental Modelling & Software 25 (2010) 1413-1427. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.01.011>

Lajoie, G. & Haken-Zanker, A. (2007). *La simulation de l'étalement urbain à La Réunion : apport de l'automate cellulaire Metronamica® pour la prospective territoriale*, Cybergeog : European Journal of Geography [En ligne], Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 405. . <https://doi.org/10.4000/cybergeog.11882>

Latour, B. (2010). *La mondialisation fait-elle un monde habitable ?*, DATAR, 2010 - p. 9-18. Available at : https://legdra.fr/sites/default/files/documents/la-mondialisation-fait-elle-un-monde-habitable_latour_datar.pdf (consulté le 30/06/2022)

Le Berre, M. (1992). *Encyclopédie de géographie*. Paris : Economica.

Le Journal de l'île de La Réunion (2021). *Sept ans pour changer la canne*, Jeudi 5 août 2021, n°23538, par Philippe Madubost. Document imprimé.

Le Merlus, E. (2021). *Identification de pratiques et de systèmes innovants d'intégration culture-élevage à La Réunion*, Mémoire de fin d'études, AgroParisTech, INRAE, CIRAD - UMR SELMET.

Le Moigne, J.-L. (1977). *La théorie du système général (théorie de la modélisation)*, Paris, Presses Universitaires de France, collection « Systèmes-Décisions», 1977, 258 pages. Disponible sur :

<https://entrorger.com/wp-content/uploads/2021/04/LE-MOIGNE-J.-L. La-theorie-du-systeme-general.-Theorie-de-la-modelisation .pdf> (consulté le 08/04/2022).

Le Point (2019). Pique-nique et aides à l'agriculture pour la fin du voyage de Macron à La Réunion, Publié le 25/10/2019 à 10:41, AFP. Disponible sur : https://www.lepoint.fr/politique/macron-a-la-ferme-pour-la-fin-de-son-voyage-agite-a-la-reunion-25-10-2019-2343464_20.php (consulté le 29/04/2023).

Le Quotidien (2021). *L'avenir incertain de la canne à la Réunion*, Le fait du jour, Jeudi 8 juillet 2021. Document imprimé.

Lebas, F. & Menini, F. (2017). *Utilisation des matières premières et alimentation - Les apports lors du 11ème Congrès Mondial de Cuniculture*, Synthèse de présentation orale, 31 janvier 2017 - Journée d'étude ASFC «Qingdao - Ombres & Lumières». Disponible sur : <http://www.asfc-lapin.com/Docs/Activite/ombres&lumiere/2016-Qindao/05-Matieres-Premieres-Alimentation.htm> (consulté le 16/09/2022).

Lecaille, M. (2012). *Etude de l'implantation d'une nouvelle variété de canne à sucre dans les Hauts de l'île de La Réunion à l'aide d'un outil cartographique*, Mémoire de master, Université de Montpellier. Disponible sur : https://agritrop.cirad.fr/566464/1/document_566464.pdf (consulté le 29/04/2023).

Légifrance (1975). Loi n°75-622 du 11 juillet 1975 relative à la nationalisation de l'électricité dans les DOM (Application de la loi du 8 avril 1946 sauf les articles 23 & 39), JORF du 12 juillet 1975.

Légifrance (2014). Loi n° 2014-1170 du 13 octobre 2014 d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt, NOR: AGRX1324417L, JORF n°0238 du 14 octobre 2014 page 16601, texte n° 1.

Légifrance (2015), Loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte, NOR: DEVX1413992L, Version consolidée au 26 novembre 2019.

Leloup, F. (2010). Le développement territorial et les systèmes complexes : proposition d'un cadre analytique, *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, vol. octobre, no. 4, 2010, pp. 687-705. <http://dx.doi.org/10.3917/reru.104.0687>

Leroux, M. D., Bonnardot, F., Kotomangazafy, S., Veerabadren, P., Ridhoine, A. O., Somot, S., Alias, A., & Chauvin, F. (2021). *Regional climate projections and associated climate services in the southwest Indian ocean basin*, EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-7029, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-7029>

Les Echos (2022). Aides à la filière sucrière de La Réunion : un statu quo mal accepté, Par Bernard Grollier, Publié le 10 févr. 2022 à 15:38, Mis à jour le 10 févr. 2022 à 17:35. Disponible sur : <https://www.lesechos.fr/pme-regions/outre-mer/aides-a-la-filiere-sucriere-de-la-reunion-un-statu-quo-mal-accepte-1386079> (consulté le 17/07/2022).

Lestrelin, G., Augusseau, X., David, D., Bourgoïn, J., Lagabrielle, E., Lo Seen, D., & Degenne, P. (2017). Collaborative landscape research in Reunion Island: Using spatial modelling and simulation to support

territorial foresight and urban planning, *Applied Geography* 78, 66-77.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.11.003>

Linfo.re (2013). Fin du projet GERRI : réussir l'innovation, LINFO.RE – créé le 3.04.2013 à 20h27 – mis à jour le 11.03.2016 à 14h17, Disponible sur : <https://www.linfo.re/la-reunion/economie/fin-du-projet-gerri-reussir-l-innovation> (consulté le 29/04/2023).

Loos en Gohelle (2014). *L'écologie en action – 30 ans de développement durable appliqué à Loos-en-Gohelle*, Un récit de résilience territoriale, Octobre 2014. Disponible sur : https://chouette-preprod.fr/wp-content/uploads/2014/11/2014-10_re%CC%81cit-v5.pdf (consulté le 29/01/2021).

Lorré, F. (2019). *Evaluation du disponible fourrager à l'échelle de l'île de La Réunion et leviers pour une meilleure valorisation des surfaces fourragères*, Mémoire de fin d'études, projet GABIR (Gestion Agricole des Biomasses à l'échelle de l'île de La Réunion), CIRAD - UMR SELMET.

Lorré, F., Magnier, J., Degenne, P., Miralles-Bruneau, M., Lurette, A., Vigne, M. & Vayssières, J. (2020). *Appui de la modélisation spatialement explicite pour la mise en place d'une filière de fourrage structurée à l'échelle de l'île de La Réunion*. In: 25th International French-speaking Congress Rencontres Recherches Ruminants, Paris, France, 2-3 December, oral presentation, 4 p.

Magnan, A. K. & Duvat, V. K. E. (2016), *Trajectoires de vulnérabilité et adaptation au changement climatique à la Réunion*, POLICY BRIEF, n°08/16 novembre 2016, IDDRI.

Magnier, J. (2019). *Evaluation de la consommation fourragère à La Réunion, construction et simulation de scénarios d'organisation d'une "filière fourrages"*, Mémoire de fin d'études, Ecole Supérieure d'Agriculture d'Angers, UMR SELMET (INRA - CIRAD). Disponible sur : https://lafontaine.groupe-esa.fr/index.php?lvl=notice_display&id=517365 (consulté le 07/04/2022).

Maïzi, N., Mazauric, V., Assoumou, E., Bouckaert, S., Krakowski, V., Li, X., & Wang, P. (2018). *Maximizing Intermittency in 100% Renewable and Reliable Power Systems: A Holistic Approach Applied to Reunion Island in 2030*, *Applied Energy* 227 (octobre 2018): 332-41.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.08.058>

Makolo, P., Zamora, R., Lie, T.-T. (2021). The role of inertia for grid flexibility under high penetration of variable renewables - A review of challenges and solutions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 147 (2021) 111223. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111223>

Markets Insider (2022). *The world has never seen an energy crisis like this before and may not have seen the worst of it yet, IEA chief says*, By Zahra Tayeb. Disponible sur : <https://markets.businessinsider.com/news/commodities/global-energy-crisis-worst-ahead-iea-chief-fatih-birol-2022-7?fbclid=IwAR1GRRbUk16x1JRqX0Oy0WBwha5Mp8nQZlcYxoNs0C-tuxHRyZkHcgf2Vww> (consulté le 13/07/2022).

Martignac, C. (2006). *Maintien d'une filière dominante ou projet de territoire : le cas du sucre à la Réunion*. Géographie. Université Paul Valéry - Montpellier III, 2006. Français.

Martiné, J.-F. & Todoroff, P. (2002). *Le modèle de croissance mosicas et sa plateforme de simulation simulex: état des lieux et perspectives*. Revue Agricole et Sucrière de l'Ile Maurice, 80 (3 - (2002)vol.8) : 133-147. Congrès de la Société de technologie agricole et sucrière de Maurice. 10, Réduit, Maurice, 27 Septembre 2002/1 Octobre 2002.

Marzin, J., Fréguin-Gresh, S., Angeon, V., Andrieu, N., Banoviez Urrutia, V., Cerdan, C., Huat, J. & Daviron B. (2021). *Étude sur les freins et leviers à l'autosuffisance alimentaire : vers de nouveaux modèles agricoles dans les départements et régions d'outre-mer*, Version finale, CIRAD, AFD, 22/03/2021, Montpellier, Capesterre-Belle-Eau, Petit Bourg, Kourou, Saint-Pierre.

McDowall, W. (2014). *Exploring possible transition pathways for hydrogen energy: A hybrid approach using socio-technical scénarios and energy system modelling*, Futures 63, 1–142. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2014.07.004>

Meadows, D.H., Meadows, D.L. & William, W.J.R. (1972). *The limits to growth: a report to the club of Rome*, Universe Books, ISBN 0-87663-165-0.

Miles, M. B. & Huberman, A. (1994). *Qualitative Data Analysis: An Expanded Sourcebook*, Sage.

Ministère de la Transition Énergétique (2022). *Sobriété énergétique : un plan pour réduire notre consommation d'énergie*, Site internet du Ministère de la Transition Énergétique. Disponible sur : <https://www.ecologie.gouv.fr/sobriete-energetique-plan-reduire-notre-consommation-denergie> (consulté le 27.02.2023).

Ministère de l'agriculture et de l'alimentation (2020). Sébastien Lecornu et Julien Denormandie installent le 1er comité national de la transformation agricole des Outre-mer, Communiqué de presse. Disponible sur : <https://agriculture.gouv.fr/sebastien-lecornu-et-julien-denormandie-installent-le-1er-comite-national-de-la-transformation> (Consulté le 17/07/2022)

Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement (2011). *Installations photovoltaïque au sol - Guide de l'étude d'impact*, Avril 2011. Disponible sur : [www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Guide EI Installations-photovolt-au-sol DEF 19-04-11.pdf](http://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Guide_EI_Installations-photovolt-au-sol_DEF_19-04-11.pdf) (consulté le 19.11.2022).

Moine, A. & Faivre, E. (2011). *Le territoire comme un système complexe : de la représentation... à l'action*. 1ère Conférence Intercontinentale d'Intelligence Territoriale "Interdisciplinarité dans l'aménagement et développement des territoires", Oct 2011, Gatineau, Canada. pp.8.

Montbel, A., Ollagnon, H. & Viel, J.-M. (1999). *L'audit patrimonial, un outil de compréhension et de mobilisation des "complexes multi-acteurs" agissant sur un territoire*, Colloque SMAGET, Cemagref-ENGREF.

Morales Pedraza, J. (2017). *Benefits of Small Modular Reactors*. In: *Small Modular Reactors for Electricity Generation*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-52216-6_6

Morel, B., Pohl, B., Richard, Y., Bois, B. & Bessafi, M. (2014). *Regionalizing Rainfall at Very High Resolution over La Réunion Island Using a Regional Climate Model*, Monthly Weather Review, Vol. 142 Issue 8, pp. 2665-2686. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-14-00009.1>

Morin, E. (1990). *Introduction à la pensée complexe*, Paris, E.S.F.

Muscat, A., de Olde, E.M., de Boer, I.J.M. & Ripoll-Bosch, R. (2020). *The battle for biomass: A systematic review of food-feed-fuel competition*, Global Food Security 25 (2020) 100330. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100330>

Mutani, G. & Todeschi, V. (2018). *Energy Resilience, Vulnerability and Risk in Urban Spaces*, Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, 6 (4), 694-709. <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d6.0203>

Nadaï, A., Labussière, O., Debourdeau, A., Régnier, Y., Cointe, B. & Dobigny, L. (2014). *French policy localism: Surfing on 'Positive Energie Territories' (Tepos)*, Energy Policy n°78 (2015), pp 281–291. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2014.12.005>

Noireaux, V. (2017). *Rôle des supply chains locales dans la résilience des territoires : l'exemple des produits alimentaires en Auvergne*, Logistique & Management, 25:3, 225-237.

O'Hagan, J.P. (1975). *National self-sufficiency in food*. Food Policy 1 (5), 355–366.

Observatoire NAFU (2019). *Consommation d'espaces : Quelles données mobiliser ?*, Rapport technique, GIP ATGeRi, décembre 2019. Disponible sur : https://observatoire-nafu.fr/wp-content/uploads/sites/4/2019/12/NAFU_VADEMECUM_MOS_decembre2019.pdf (consulté le 24/08/2022).

Oehler, J.F., Lénat, J.F. & Labazuy, P. (2008). *Growth and collapse of the Reunion Island volcanoes*. Bull Volcanol 70, 717–742 (2008). <https://doi.org/10.1007/s00445-007-0163-0>

ONF & ALBIOMA (2018). *Evaluation de la ressource mobilisable en bois énergie*, Le bois énergie sur l'île de La Réunion.

ONU (2020). *Rapport Social Mondial 2020*, Département des Affaires Economiques et Sociales, DESA.

Oppelt, N., Scheiber, R., Gege, P., Wegmann, M., Taubenboeck, H., Berger, M., Scheiber, R., Gege, P., Wegmann, M., Taubenboeck, H., & Berger, M. (2015). *Fundamentals of Remote Sensing for Terrestrial Applications: Evolution, Current State of the Art, and Future Possibilities*. In Thenkabail, P. S., editor, Remote Sensing Handbook - Three Volume Set, volume 1. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b19355-10>

Ostrom, E (1992). *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*, 32 Nat. Resources J. 415 (1992). Disponible sur : <https://digitalrepository.unm.edu/nrj/vol32/iss2/6> (consulté le 02/04/2023).

Paillat Jarousseau, H. (1999). *Changement et continuité dans l'appropriation de l'espace et les représentations de la terre. De la plantation à l'agriculture familiale à l'Île de La Réunion*, Ruralia [En ligne], 05 | 1999, mis en ligne le 25 janvier 2005.

Paquot, T. (2011). *Qu'est-ce qu'un "territoire" ?*, dans *Vie Sociale*, 2011/2 (N°2), pp. 23-32.

Paré, F. (2012). *Pour la sécurité alimentaire : restaurer la responsabilité d'État. Les besoins de la société civile : la souveraineté alimentaire au service de la sécurité alimentaire*, *Revue internationale de droit économique*, vol. t. xxvi, no. 4, 2012, pp. 87-97.

Périgord, M. (1994). *Friches et landes en Limousin*. *Noroi*, 41(164), 611-626. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/noroi_0029-182x_1994_num_164_1_6589 (consulté le 26/08/2022).

Piccin, L., Cerdan, C., Danflous, J.-P. & Delfosse, C. (2018). *Combining nested markets and the multilevel perspective to understand the agroecological transition of the food system*. *NewDist*, n.spéc. AESOP sustainable food planning workshop 2018 : 22-25. Workshop AESOP Sustainable Food Planning. Towards sustainable City Region Food Systems, Turin, Italie, 28 Juin 2018/30 Juin 2018. Disponible sur : <https://agritrop.cirad.fr/591853/> (consulté le 21/03/2023).

Piccin, L., Cerdan, C., Delfosse, C. & Danflous J.-P. (2019). *Un acteur incontournable de l'approvisionnement en fruits et légumes à La Réunion : les bazardiers de 1848 à aujourd'hui*, *Géocarrefour* 93/2 | 2019, Les géographies du commerce alimentaire : le commerce alimentaire en transition ? <https://doi.org/10.4000/geocarrefour.13580>

Poli, R. (2015). The implicit future orientation of the capability approach, *Futures* 71 (2015) 105–113.

Porkka, M., Kummu, M., Siebert, S. & Varis, O. (2013). *From Food Insufficiency towards Trade Dependency: A Historical Analysis of Global Food Availability*. *PLoS ONE* 8(12): e82714. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082714>

Poux, X. & Aubert, P.-M. (2018). *Agroecology and carbon neutrality in europe by 2050: what are the issues? Findings from the TYFA modelling exercise*. Disponible sur : https://www.iddri.org/sites/default/files/PDF/Publications/Catalogue%20Iddri/Etude/201904-ST0219-TYFA%20GHG_1.pdf (consulté le 07/04/2022).

Praene, J. P., David, M., Sinama, F., Morau, D., & Marc, O. (2012). *Renewable energy: Progressing towards a net zero energy island, the case of Reunion Island*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 16, Issue 1, 2012, 426-442. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.007>

Praly, C., Chazoule, C., Delfosse, C. & Mundler, P. (2014). *Les circuits de proximité, cadre d'analyse de la relocalisation des circuits alimentaires*, *Géographie, économie, société*, vol. vol. 16, no. 4, 2014, pp. 455-478. Disponible sur : <https://www.cairn.info/revue-geographie-economie-societe-2014-4-page-455.htm> (consulté le 06/07/2021).

Préfecture de La Réunion (2012). *Guide d'élaboration des Plans de prévention des Risques Naturels à La Réunion*, Août 2012, Disponible sur : https://www.reunion.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Guide_PPR_Reunion_cle26eb75-1.pdf (consulté le 06/07/2022)

Préfecture de La Réunion (2019). *Plan de convergence de La Réunion*, 28 juin 2019. Disponible sur : <http://www.reunion.gouv.fr/plan-de-convergence-de-la-reunion-a5666.html#:~:text=Le%20plan%20de%20convergence%20est,terme%20de%20convergence%20adap%C3%A9e%20au> (consulté le 05/07/2022)

Production locale réunie (2019). *Produire l'avenir - Le livre blanc de la production locale réunie*, Ile de La Réunion. Disponible sur : <https://production-locale.re/livre-blanc/> (consulté le 27/03/2020).

Rae, C. & Bradley, F. (2012). *Energy autonomy in sustainable communities — A review of key issues*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) 6497–6506. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.08.002>

Rahman, S., Singh, S., & McCordic, C. (2022). *Can the Caribbean localize its food system? Evidence from biomass flow accounting*, Journal of Industrial Ecology 2022, 1–15. <https://doi.org/10.1111/jiec.13241>

Randrianasolo, J., Lecomte, P., Salgado, P. & Lepelley, D. (2010). *Modeling crop-livestock integration systems on a regional scale in Reunion Island: sugar cane and dairy cow activities*, Advances in Animal Biosciences, <https://doi.org/10.1017/S2040470010001159>

REGAL Réunion (2020). *Résultats de l'enquête auprès des particuliers*, Présentation du 16 octobre 2020, Groupe de travail "Informer et Sensibiliser", Réseau pour éviter le gaspillage alimentaire, Ile de La Réunion.

Reghezza-Zitt, M. (2017). *Penser la vulnérabilité dans un contexte de globalisation des risques grâce aux échelles spatiales et temporelles*, Espace populations sociétés [En ligne], 2016/3 | 2017, mis en ligne le 31 janvier 2017, consulté le 12 avril 2017. <https://doi.org/10.4000/eps.6641>

Région Réunion (2013). *Schéma Régional Climat Air Énergie de La Réunion*, Novembre 2013.

Région Réunion (2019). *Programme régional de la forêt et du bois 2019 - 2029*, Ile de La Réunion, version du 19 juillet 2019.

Région Réunion (2020). *Schéma d'aménagement régional de La Réunion - volumes 1 à 5*, SAR approuvé par décret N°2011-1609 du 22 novembre 2011 et modifié par arrêté préfectoral N°2020-1993/SG/DCL/BU du 10 juin 2020.

Région Réunion (2022). *Programmation Pluriannuelle de l'Énergie 2019 - 2028*, Version définitive et votée, Assemblée plénière du Conseil Régional – 9 février 2022 (Rapport n°111875). Disponible sur : https://regionreunion.com/IMG/pdf/6_ppe.pdf (consulté le 23.11.2022).

Rémi Le Fur (2018). *Du développement durable à la transition : des démarches d'anticipation territoriales en recomposition*, Temporalités [En ligne], 28 | 2018, mis en ligne le 04 avril 2019, consulté le 16 août 2022. <https://doi.org/10.4000/temporalites.5270>

Rémi Le Fur (2019). *Anticipation territoriale : une nouvelle typologie pour des démarches en recomposition*. La gouvernance des métropoles et des régions urbaines. Réformes territoriales, imaginaires spatiaux, coopérations en France et au Royaume-Uni, UMR CITERES, Apr 2019, Tours, France. <https://hal.science/hal-03114084>

Réseau sortir du nucléaire (2019). *Les Small Modular Reactors*, Site internet. Consultable sur : <https://www.sortirdunucleaire.org/Les-Small-Modular-Reactors-SMR-un-contre>

Réseaux équins de Normandie (2011). *Alimenter les équins - Des repères pour faire simple, efficace et économique en privilégiant les ressources locales*, Juin 2011. Disponible sur : [http://www.chambres-agriculture-bretagne.fr/ca1/PJ.nsf/TECHPJPARGLEF/24160/\\$File/Equin-Alimentation-Reperes-alimentations2011.pdf?OpenElement](http://www.chambres-agriculture-bretagne.fr/ca1/PJ.nsf/TECHPJPARGLEF/24160/$File/Equin-Alimentation-Reperes-alimentations2011.pdf?OpenElement) (consulté le 06/09/2022).

Roche, S., Bellemare, L. & Ferrari S. (2018). *Rayonner par la technique : des îles d'Outre-Mer au cœur de la transition énergétique française ?* Presses universitaires de Rennes | « Norois », 2018/4 n° 249 | pages 61 à 73, ISSN 0029-182X.

Ruas, A. & Sanders, L. (2015). *Regards croisés sur la modélisation des dynamiques spatiales*. Revue Internationale de Géomatique, 25(3):275–300, DOI: 10.3166/RIG.25.275-300. Number: 3 Publisher: Lavoisier SAS.

SAFER & Chambre d'Agriculture de La Réunion (2020). *Etude préalable agricole pour le projet d'extension du Parc des Palmiers*, Commune du Tampon - Secteur Dassy-Trois-Mares, Mai 2020. Disponible sur : www.reunion.gouv.fr/IMG/pdf/etude_prealable_parc_palmiers.pdf (consulté le 19.11.2022).

Saint Macary, H., Medoc, J.M. & Chabalier P.-F. (2002). *Systèmes de culture de la Réunion - Typologie, spatialisation et éléments pour un référentiel*, Restitution des travaux de l'Atp 60/99, Actes du séminaire, 19-20 juin 2002, Montpellier, France.

Sanseverino, E. R., Sanseverino, R. R., Favuzza, S. & Vaccaro, V. (2014). *Near zero energy islands in the Mediterranean: Supporting policies and local obstacles*, Energy Policy 66 (2014) 592–602. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.11.007>

Santé Publique France (2019). *Recommandations relatives à l'alimentation, à l'activité physique et à la sédentarité pour les adultes*, Etat des connaissances, Janvier 2019. Disponible sur : <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/nutrition-et-activite-physique/documents/rapport-synthese/recommandations-relatives-a-l-alimentation-a-l-activite-physique-et-a-la-sedentarite-pour-les-adultes> (consulté le 12,01,2023)

Sardar, Z. (1993). *Colonizing the future: the 'other' dimension of futures studies*, Futures, Volume 25, Issue 2, March 1993, Pages 179-187. [https://doi.org/10.1016/0016-3287\(93\)90163-N](https://doi.org/10.1016/0016-3287(93)90163-N)

Sawatzky, M. & Albrecht M. (2017). *Translating EU renewable energy policy for insular energy systems: Reunion Island's quest for energy autonomy*. Fennia 195: 2, pp. 125–141. ISSN 1798-5617.

Schmitt, E., Barjolle, D. & Six, J. (2017). *Assessing the degree of localness of food value chains*, Agroecology and Sustainable Food Systems, 42:5, 573-598. <https://doi.org/10.1080/21683565.2017.1365800>

Schneider, K. D. (2001). *Balises de méthodologie pour la recherche en sciences sociales : matériaux de cours en plusieurs modules*, Module VI: Les méthodes qualitatives, TECFA, Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education, Université de Genève, 40 bd du Pont d'Arve, CH-1205 Genève.

Schubert, J., Moradia, F., Asadi, H., Luotsinen, L., Sjöberg, E., Hörling, P., Linderhed, A., & Oskarsson, D. (2015). *Simulation-based decision support for evaluating operational plans*, *Operations Research Perspectives* 2015/2, 36–56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.orp.2015.02.002>

Sébillotte, M. (1977). *Jachère, système de culture, système de production, méthodologie d'étude*. In: *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 24^e année, bulletin n°2-3, Avril-septembre 1977. pp. 241-264. <https://doi.org/10.3406/jatba.1977.3287>

Selosse, S., Garabedian, S., Ricci, O., & Maïzi, N. (2018). *The renewable energy revolution of Reunion island*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 89, 99-105. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.013>

Sénat (2012). *Le défi alimentaire à l'horizon 2050*, Rapport d'informations fait au nom de la délégation sénatoriale à la prospective sur le défi alimentaire à l'horizon 2050, Par M. Yvon COLLIN, Sénateur, 4 décembre 2019.

Sénat (2014). *Proposition de résolution présentée en application de l'article 34-1 de la Constitution relative à une nouvelle politique énergétique et à un codéveloppement durable et solidaire dans l'océan Indien*, N° 571, Sénat, Session ordinaire de 2013-2014, Enregistré à la Présidence du Sénat le 3 juin 2014.

Sénat (2015). *Photovoltaïque et surfaces agricoles*, Rubrique "Base Questions". Disponible sur : <https://www.senat.fr/questions/base/2015/qSEQ150214962.html> (consulté le 17.11.2022).

Serraj, R. & Pingali P. (2019). *Agriculture & Food Systems to 2050 - Global Trends, Challenges and Opportunity*, World Scientific Series in Grand Public Policy Challenges of the 21st Century, Vol. 2.

Serrano, J., Tanguay, C. & Yengué, J. L. (2021). *Le rôle des collectivités locales dans la gouvernance alimentaire : le cas du projet alimentaire territorial de Tours-Métropole-Val-de-Loire*, *Économie rurale*, 2021/1 n° 375 p. 41 à 595. <https://doi.org/10.4000/>

Sharma, K. L. (2006). *Food security in the South Pacific Island Countries with Special Reference to the Fiji Islands*. Research Paper, UNU-WIDER, United Nations University (UNU). Disponible sur : <http://hdl.handle.net/10419/63312> (consulté le 04/04/2023).

Shreiber, K., Hickey, G. M., Metson, G. S., & Robinson, B. E., & MacDonald, G. K. (2020). *Quantifying the foodshed: A systematic review of urban food flow and local food self-sufficiency research*, *Environmental Research Letters*, accepted manuscript. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abad59>

Sinico, M. (2021). *Estimation des consommations en eau et azote et des rendements de la production horticole alimentaire à l'échelle de La Réunion* (mémoire de master). École Supérieure d'Agro-Développement International, UMR TETIS, UR Hortsys.

<http://doc.istom.fr/gediweb5?docId=118694&page=home&displayTab=2&blocOngletId=25432>
(consulté le 30.05.2022).

Sinico, M., Russeil, V., Huat, J. & Le Mezo, L. (2022). *Zones de production maraichères et fruitières à La Réunion (2021)*, CIRAD Dataverse, V1. <https://doi.org/10.18167/DVN1/JBQV7I>

Sirieix L., Grolleau G., Schaer B. (2008). *Do consumers care about food miles? An empirical analysis in France*, International Journal of Consumer Studies 32(2008) 508–515, <https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2008.00711.x>

Solagro (2016 a). *Le scénario Afterres 2050 version 2016*, Rapport final.

Solargis (2022). *Global Solar Atlas*, Reunion (France), v2.7. Disponible sur : <https://globalsolaratlas.info/map?c=-21.133575,55.525,10&r=REU> (consulté le 20.11.2022).

Speirs, J., McGlade, C. & Slade, R. (2015). *Uncertainty in the availability of natural resources: Fossil fuels, critical metals and biomass*, Energy Policy, Volume 87, December 2015, Pages 654-664. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.02.031>

SPL Horizon Réunion (2017 a). *Schéma Régional Biomasse 2017*, Région Réunion, Rapport d'état des lieux.

SPL Horizon Réunion (2017 b). *Schéma Régional Biomasse 2017*, Région Réunion, Document d'orientation.

SPL Horizon Réunion (2018). *Bilan énergétique Edition 2018 - Ile de La Réunion 2017*, Rapport, Observatoire Energie Réunion.

SPL Horizon Réunion (2020). *Bilan énergétique Edition 2020 - Ile de La Réunion 2019*, Rapport, Observatoire Energie Réunion. Disponible sur : <http://energies-reunion.com/nos-actions/observation/ber-2019-edition-2020/> (consulté le 06/04/22).

Subra, P. (2008). *L'aménagement, une question géopolitique !*, Hérodote, vol. 130, no. 3, 2008, pp. 222-250.

Tapachès, E., Perez, R., Lauret, P., Perez, M., & David, M. (2019). *Mitigation of the Variability of a PV Fleet via Geographical Dispersion and Energy Storage Systems on the Reunion Island Non-Interconnected Grid*. PVSC 46, 46th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Jun 2019, Chicago, United States. <https://doi.org/10.1109/PVSC40753.2019.8981214>

Témoignages (2007). *Grenelle de l'environnement : La Réunion un exemple reconnu*, Témoignages.re / 27 octobre 2007. Consultable sur : <https://www.temoignages.re/developpement/energies/grenelle-de-l-environnement-la-reunion-un-exemple-reconnu,25708> (consulté le 19/06/2020).

Témoignages (2012). *2012 : les Réunionnais choisissent leur changement*, Témoignages.re / 12 avril 2012. Consultable sur : <https://www.temoignages.re/politique/actualites/2012-les-reunionnais-choisissent-leur-changement,55704> (consulté le 11/03/2020).

Témoignages (2013). *L'autosuffisance alimentaire*, Témoignages.re / 4 juin 2013, Consultable sur : <https://www.temoignages.re/politique/actualites/l-autosuffisance-alimentaire,67304> (consulté le 25/02/2020).

The Shift Project (2020). *L'Union Européenne risque de subir des contraintes fortes sur les approvisionnements pétroliers d'ici à 2030*, Analyse prospective prudentielle, The Shift Project - The Carbon Transition Think Tank. Disponible sur : <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2020/06/Pr%C3%A9sentation-EU-oil-supplies.pdf> (consulté le 21/07/2022).

Tilton, J. E. (2018). *The Hubbert peak model and assessing the threat of mineral depletion*, Resources, Conservation & Recycling 139 (2018) 280–286. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.08.026>

Todoroff, P. (2013). *SHARP: An Online, Real-Time Sugarcane Harvest Prediction System based on Crop Growth Simulations and PLS Regression*, From Proceeding (802), Modelling and Simulation / 804: Signal and Image Processing – 2013.

Tverberg, G. E. (2012). *Oil supply limits and the continuing financial crisis*, Volume 37, Issue 1, January 2012, Pages 27-34. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.05.049>

Utopies (2017). *Autonomie Alimentaire des villes - État des lieux et enjeux pour la filière Agro-Alimentaire française*, Note de position n°12, Mai 2017. Disponible sur : <https://utopies.com/wp-content/uploads/2019/12/autonomie-alimentaire-des-villes-notedeposition12.pdf> (consulté le 01.04.2023).

Vayssières, J. (2011). *Integrated participatory modelling of actual farms to support policy making on sustainable intensification*, Volume 104, Issue 2, February 2011, Pages 146-161. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.05.008>

Vedkamp, A. & Verburg, P.H. (2002). *Modelling land use change and environmental impact*, *Journal of Environmental Management*, Volume 72, Issues 1–2, August 2004, Pages 1-3. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.04.004>

Verger, O.E., Ballard, J.T., Dop, M.C. & Martin-Prevel, Y. (2019). *Systematic review of use and interpretation of dietary diversity indicators in nutrition-sensitive agriculture literature*, *Global Food Security* 20 (2019) 156–169. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.02.004>

Vergriete P. et al. (2018). *Forum de la transition économique, écologique et sociale*, Les Actes, Ville de Grande Synthe, Mai 2018. Disponible sur : <https://www.forumtransition.fr/les-actes-du-forum-2/> (consulté le 29/11/2020).

Vidal O. (2018). *Ressources minérales, progrès technologique et croissance*, *Temporalités*, 28 | 2018. <https://doi.org/10.4000/temporalites.5677>

Viepublique.fr (2019). *Alimentation, déchets plastiques, bien-être animal : le second volet de la loi Égalim*, Site internet. Consultable sur : <https://www.vie-publique.fr/eclairage/24054-alimentation-dechets-plastiques-bien-etre-animal-la-loi-egalim> (consulté le 04/05/2021).

- Viesi D. et al. (2020). *Integrated and dynamic energy modelling of a regional system: A cost-optimized approach in the deep decarbonisation of the Province of Trento (Italy)*, Volume 209, 15 October 2020, 118378.
- Villalba B. & Semal L. (2018). *Sobriété énergétique. Contraintes matérielles, équité sociale et perspectives institutionnelles*, Paris, Quae, coll. « Indisciplines », 2018, 201 p., ISBN : 978-2-7592-2882-9.
- Villar, C. & David, M. (2014). *La résilience, un outil pour les territoires*, Manuscrit auteur, publié lors du séminaire IT-GO Rosko 2014, Roscoff, 22-23 mai 2014.
- Von Bertalanffy, L. (1968). *General System theory: Foundations, Development, Applications*, NewYork, George Braziller edition.
- Voros, J. (2003). *A generic foresight process framework*, Foresight, Vol. 5 No. 3, pp. 10-21. <https://doi.org/10.1108/14636680310698379>
- Wasiak, A. & Orynycz, O. (2015). *The effects of energy contributions into subsidiary processes on energetic efficiency of biomass plantation supplying biofuel production system*, Agriculture and Agricultural Science Procedia 7 (2015) 292 – 300. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.12.050>
- Wassenaar, T., Queste, J., Paillat, J.-M. & Saint Macary, H. (2015). *La co construction de filières de recyclage de résidus organiques à la Réunion*, Innovations Agronomiques 43 (2015), 161-175.
- Weinand, J.M., McKenna, R. & Fichtner, W. (2019). *Developing a municipality typology for modelling decentralised energy systems*, Utilities Policy 57 (2019) 75–96. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2019.02.003>
- Wirsenius, S. (2003). *The Biomass Metabolism of the Food System - A Model-Based Survey of the Global and Regional Turnover of Food Biomass*, by the Massachusetts Institute of Technology and Yale University, Volume 7, Number 1. <http://dx.doi.org/10.1162/108819803766729195>
- Yalçın-Riollet, M., Garabuau-Moussaoui, I., & Szuba, M. (2014). *Energy autonomy in Le Mené: A french case of grassroots innovation*. Energy Policy 69, 347–355. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2014.02.016>
- Yuling Leung Pah Hang, M., Martinez-Hernandez, E., Leach, M., & Yang, A. (2016). *Designing integrated local production systems: A study on the food-energy-water nexus*, Journal of Cleaner Production 2016/135, 1065-1084. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.194>
- Zahraei, S. M., Kurniawan, J. H., & Cheah L. (2019). *A foresight study on urban mobility: Singapore in 2040*, Foresight 2020/22, ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/FS-05-2019-0044>
- Zasada I. (2019). *Food beyond the city, Analysing foodsheds and self-sufficiency for different food system scénarios in European metropolitan regions*. Culture and Society 2019/16, 25–35. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ccs.2017.06.002>

Zepter, J. M., Engelhardt, J., Gabderakhmanova, T. & Marinelli M. (2022). *Re-Thinking the Definition of Self-Sufficiency in Systems with Energy Storage*, 2022 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST), Eindhoven, Netherlands, 2022, pp. 1-6, <https://doi.org/10.1109/SEST53650.2022.9898436>

Zhang, C., Chen, X., Li, Y., Ding, W., & Fu, G. (2018). Water-energy-food nexus: Concepts, questions and methodologies. *Journal of Cleaner Production* 2018/195, 625-639.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.194>

Références spécifiques aux annexes

Agrifarming (2023). *Groundnut oil making process (peanut) - Business plan*, Page internet, Consultable sur: <https://www.agrifarming.in/groundnut-oil-making-process-peanut-business-plan> (consulté le 16.02.2023).

Association pour la Promotion en milieu Rural, CIRAD, SAFER-Guadeloupe, SPV-Martinique & SUAD (1990). *Manuel des techniciens du géranium*. Saint-Denis : CIRAD-IRAT, 194 p. Disponible sur : <https://agritrop.cirad.fr/349680/> (consulté le 20/09/2022).

Chambre d'agriculture de La Réunion (2018 a). *Se diversifier avec un atelier ovin - Réunion 2018*, Edition 2018, Fiche technique. Disponible sur : <https://idele.fr/detail-article/se-diversifier-avec-un-atelier-ovin-reunion> (consulté le le 19/09/2022).

Chambre d'agriculture de La Réunion (2018 b). *Les clés pour une diversification caprine à La Réunion*, Edition 2018, Fiche technique. Disponible sur : <https://www.odeadom.fr/wp-content/uploads/2018/04/Cl%C3%A9s-pour-diversification-caprine-a-la-Reunion-2018.pdf> (consulté le 19/09/2022).

Chambre d'agriculture de La Réunion (2020 a). *Référentiel technico-économique - Systèmes bovins viande*, Conjoncture 2019, Fiche technique. Disponible sur : https://www.reunion.chambagri.fr/Files/PDF/Elevage/Ref/R%C3%A9f%C3%A9rentiel_BV_conjoncture%202019_vf.pdf (consulté le 19/09/2022).

Chambre d'agriculture de La Réunion (2020 b). *Guide de la fertilisation organique à La Réunion - Fiches matières organiques - Poudre de viande et d'os*, Mars 2020. Disponible sur : <https://www.mvad-reunion.org/focus/guide-de-la-fertilisation-organique-a-la-reunion/> (consulté le 08/09/2022)

Chambre d'agriculture de La Réunion (2020 c). *Référentiel technico-économique - Systèmes bovins lait*, Conjoncture 2019, Fiche technique. Disponible sur : <https://www.odeadom.fr/wp-content/uploads/2021/03/R%C3%A9f%C3%A9rentiel-RRE-Syst%C3%A8mes-Bovins-lait-R%C3%A9union-conjoncture-2019.pdf> (consulté le 19/09/2022).

Chambre d'agriculture de La Réunion (2021), *Les filières de production à La Réunion - Les productions végétales*, Agenda 2021. Document imprimé.

Chambre d'agriculture d'Occitanie (2011). Guide des produits organiques utilisables en Languedoc-Roussillon, Tome 2, 1er janvier 2011, 198 p. Disponible sur : <https://occitanie.chambre-agriculture.fr/publications/toutes-les-publications/la-publication-en-detail/actualites/guide-des-produits-organiques-utilisables-en-languedoc-roussillon-tome-2/> (consulté le 08/09/2022).

CIV (2014). *Alimentation des Ovins*, Fiche technique, 25 octobre 2014. Disponible sur : <https://www.interbev.fr/fiche/fiche-alimentation-des-ovins/> (consulté le 28.04.2023)

Cultures Sucre (2020). *Mémo statistique - Sucre et autres débouchés*, Campagne 2019 - 2020. Disponible sur : <https://www.cultures-sucre.com/wp-content/uploads/2020/08/memo-stat-2020.pdf> (consulté le 19/09/2022).

DAAF Réunion (2019 d), *Filière volaille*, Juin 2019, Agreste - La Réunion. Disponible sur : <https://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/filiere-volaille-de-chair-a1892.html> (consulté le 18/05/2023).

DAAF Réunion (2019 e), *Filière cunicole*, Juin 2019, Agreste - La Réunion. Disponible sur : <https://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/filiere-cunicole-a1899.html> (consulté le 18/05/2023).

DAAF Réunion (2019 f), *Filière œufs et ovoproduits*, Juin 2019, Agreste - La Réunion. Disponible sur : <https://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/filiere-oeufs-de-consommation-et-ovoproduits-a1893.html> (consulté le 07/02/2023).

DAAF Réunion (2019 g), *Filière porcine*, Juin 2019, Agreste - La Réunion. Disponible sur : <https://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/filiere-porcine-a1894.html> (consulté le 18/05/2023).

Dodet, N. (2022). *L'intégration culture-élevage pour alimenter les animaux peut-elle être un levier pour le développement de l'élevage biologique de monogastrique à La Réunion ?* Mémoire de fin d'études, INRAE, CIRAD.

DRAAF Rhône Alpes (2011). *Table des Equivalences Unité Gros Bétail Tous Aliments*, Recensement agricole 2010. Disponible sur : https://www.drome.gouv.fr/IMG/pdf/Table_des_equivalences_UGB_TA.pdf (consulté le 18/09/2022).

Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse (2013). *Œuf & ovoproduits*, TD hygiène et industrie des aliments. Disponible sur : <http://fcorpet.free.fr/Denis/W/TD-oeufs-ovoproduits-Corpet.pdf> (consulté le 08/09/2022).

Farinet, J.L. (2010). *La méthanisation à La Réunion - Perspectives et enjeux de recherche*, Appui technique au programme PILMO, UR Recyclage et Risques, Novembre 2010. Disponible sur : https://agritrop.cirad.fr/559245/1/document_559245.pdf (consulté le 04.01.2023).

France Mélasses (2004). *Caractéristiques indicatives de la mélasse de canne à sucre*, Fiche technique. Disponible sur : <https://www.vienne.gouv.fr/content/download/23253/140948/file/Annexe%20%20fiche%20m%C3%A9lasse.pdf> (consulté le 15/09/2022).

Hatik, C. (2020). *Potentiels de valorisation des biodéchets en agriculture sur l'île de la Réunion : estimation de l'offre et de la demande*, Gestion agricole des biomasses à l'échelle de l'île de La Réunion. Disponible sur : https://www.mvad-reunion.org/wp-content/uploads/2020/11/GABiR_Synth%C3%A8se-4p_Vvalorisation-des-biod%C3%A9chets-en-agriculture-%C3%A0-la-R%C3%A9union.pdf (consulté le 20/09/2022).

IFIP (2021). *Base de données des potentiels méthanogènes*, Outil Methasim, <https://ifip.asso.fr/base-de-donnees-methasim/> (consulté le 17/12/2022).

INSEE (2019 b). *Recensement de la population : populations légales 2017*, N°167, 30.12.2019. Disponible sur : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4271374> (consulté le 25.11.2022).

Liu, Y., Jones, A., Murch, S. & Ragone, D. (2014). *Crop productivity, yield and seasonality of breadfruit (Artocarpus spp., Moraceae)*. *Fruits* 69: 345-361(5). <http://dx.doi.org/10.1051/fruits/2014023>

Meyer C. & Duteurtre G. (1998). *Equivalents lait et rendements laitiers : modes de calcul et utilisation*, *Revue Élev. Méd. vét. Pays trop.*, 1998, 51 (3) : 247-257. Disponible sur : <https://agritrop.cirad.fr/390679/1/ID390679.pdf> (consulté le 08/09/2022).

Mottet, A., de Haan, C., Falcucci, A., Tempio, G., Opio, C. & Gerbera, P. (2017). *Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate*, *Global Food Security* 14 (2017) 1–8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.001>

Préfecture Ile de France, ADEME, Région Ile de France, ORDIF & AREC (2022). *Bilan de fonctionnement 2020 des unités de méthanisation en Île-de-France*, Rapport complet, Edition février 2022. Disponible sur : https://www.arec-idf.fr/fileadmin/DataStorage/user_upload/Bilan_methanisation_2020_-_rapport_complet.pdf (consulté le 20/09/2022).

Christon, R. & Le Dividich J. (1978). *Utilisation de la mélasse de canne à sucre dans l'alimentation du porc : essai d'interprétation des acquisitions récentes*. *Annales de zootechnie*, INRA/EDP Sciences, 1978, 27 (2), pp.267-288. fahal-00887805f

Remond, D. & Walrand S. (2017). *Les graines de légumineuses : caractéristiques nutritionnelles et effets sur la santé*. *Innovations Agronomiques*, 2017, 60, 10.15454/1.5138524482202214E12 . hal-01685940

Saini, R.K., Sivanesan, I. & Keum, YS. (2016). *Phytochemicals of Moringa oleifera: a review of their nutritional, therapeutic and industrial significance*. *3 Biotech* 6, 203 (2016). <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0526-3>

Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood, A., Jonell, M., Clark, M., Gordon, L.J., Fanzo, J., Hawkes, C., Zurayk, R., Rivera J.A., De Vries, W., Majele Sibanda, L., Afshin, A., Chaudhary, A., Herrero, M., Agustina, R., Branca, F., Lartey A., Fan S., Crona B., Fox E., Bignet V., Troell, M., Lindahl, T., Singh, S., Cornell, S.E., Reddy, K.S., Narain S., Nishtar S. & Murray C.J.L (2019). *Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems*, *The Lancet Commissions*| Volume 393, Issue 10170, P447-492, February 02, 2019. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)

Annexes

Liste des annexes

Annexe 1 : Liste des organisations au sein desquelles des experts ont été enquêtés dans les phases participatives	204
Annexe 1.A : Organisations enquêtées dans le cadre des entretiens semi-directifs	204
Annexe 1.B : Liste des organisations inscrites à la journée du 18 novembre 2021 où se sont tenus des ateliers de co-construction de scénarios	206
Annexe 2 : Conduite de la phase d'enquête	208
Annexe 2.A : Guide pour les entretiens exploratoires	208
Annexe 2.B : Support graphique pour les entretiens exploratoires.....	211
Annexe 2.C : Guide d'entretien de la première vague	212
Annexe 2.D : Supports graphiques des entretiens de la première vague	215
Annexe 2.E : Guide d'entretien de la seconde vague.....	219
Annexe 2.F : Support poster des entretiens de la seconde vague	220
Annexe 2.G : Compte rendu des ateliers réalisés dans le cadre du CST SIIAM (18 novembre 2021)	221
Annexe 3 : Calibrage du modèle ProdAgri (données pour 2019).....	226
Annexe 3.A : Besoins alimentaires et électriques par habitant	226
Annexe 3.B : Caractéristiques du cheptel (taille, besoins, productions).....	227
Annexe 3.C : Spatialisation des rendements en bagasse (fraction fibreuse de la canne à sucre) à La Réunion	232
Annexe 3.D : Spatialisation des recommandations d'apport en azote « disponible » pour les parcelles de canne à sucre à La Réunion.....	233
Annexe 3.E : Calibrage des autres flux de biomasses et d'électricité	233
Annexe 4 : Détail chiffré des flux de matière et d'électricité simulés dans <i>ProdAgri</i> pour le territoire d'étude en 2019 (après calage des variables concernées)	237
Annexe 5 : Matrices d'influence directe et indirecte construites à dire d'acteurs (et générées avec le logiciel Micmac).....	239
Annexe 5.A : Matrice d'influence directe.....	239
Annexe 5.B : Matrice d'influence indirecte.....	239
Annexe 6 : Constantes d'entrée propres au fonctionnement de <i>ProdRun</i> (complémentaires avec celles présentes dans l'Annexe 3).....	241
Annexe 6.A : Nouvelles sources de bioélectricité	241
Annexe 6.B : Nouvelles biomasses	242
Annexe 6.C : Constantes liées aux processus spatiaux	244
Annexe 6.D : Coefficients de calage des productions végétales	245

Annexe 7 : Calibrage quantitatif des 5 scénarios co-construits par des variables contraintes	246
Annexe 7.A : Variables contraintes partagées	246
Annexe 7.B : Scénario de référence – « Extrapolation » (S1).....	247
Objectifs et paramètres principaux des processus spatiaux	247
Autres variables contraintes.....	247
Annexe 7.C : Scénario tendanciel – « Priorité à l’alimentaire » (S2).....	258
Objectifs et paramètres principaux des processus spatiaux	258
Variables contraintes.....	258
Annexe 7.D : Scénario tendanciel – « Priorité à l’électrique » (S3).....	269
Objectifs et paramètres principaux des processus spatiaux	269
Variables contraintes.....	270
Annexe 7.E : Scénario tendanciel – « Planification et compromis » (S4).....	281
Objectifs et paramètres principaux des processus spatiaux	281
Variables contraintes.....	281
Annexe 7.F : Scénario de rupture – « Planification, nouvelle canne et localisme alimentaire » (S5)	294
Objectifs et paramètres principaux des processus spatiaux	294
Variables contraintes.....	295
Annexe 8 : Calibrages partagés des processus spatiaux modélisés dans <i>ProdRun</i> (variables contextuelles et taille des parcelles qui changent d’usage)	307
Annexe 8.A : Variables contextuelles	307
Diversification de la canne à sucre	307
Etalement urbain.....	309
Conversion de friches	311
Installation de photovoltaïque au sol.....	313
Annexe 8.B : Taille des parcelles changeant d’usage	315
Annexe 9 : Calibrage des nouvelles cultures alimentaires développées à grande échelle dans le scénario de rupture (S5)	318
Annexe 9.A : Nouvelles espèces de polyculture maraichère développées à grande échelle	318
Annexe 9.B : Nouvelles espèces pour les vergers développées à grande échelle	319

Annexe 1 : Liste des organisations au sein desquelles des experts ont été enquêtés dans les phases participatives

Annexe 1.A : Organisations enquêtées dans le cadre des entretiens semi-directifs

Organisation (sigle usuel)	Catégorie d'expert	Vague d'entretien	Format
Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME)	Administration et recherche	Seconde	Visioconférence
Agorah	Administration et recherche	Seconde vague et spécifique	Présentiel et échanges de mails
Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD)	Administration et recherche	Exploratoire	Présentiel
Conseil Général de La Réunion	Administration et recherche	Exploratoire, première et seconde	Présentiel
Conseil Régional de La Réunion	Administration	Exploratoire et seconde	Présentiel et téléphonique
Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt de La Réunion (DAAF)	Administration et recherche	Exploratoire, première et seconde	Présentiel
Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de La Réunion (DEAL)	Administration et recherche	Seconde	Présentiel
Office National des Forêts (ONF)	Administration et recherche	Première	Présentiel
Parc National de La Réunion	Administration et recherche	Première et seconde	Présentiel, échanges de mails et visioconférence
Mairie de la ville de Saint Denis	Administration et recherche	Seconde	Présentiel
Société d'Aménagement Foncier et d'Etablissement Rural (SAFER)	Administration et recherche	Première	Présentiel et échanges de mails

Société Publique Locale Horizon Réunion (SPL Horizon Réunion)	Administration et recherche	Première et seconde	Présentiel et échanges de mail
Association Réunionnaise pour la Modernisation de l'Economie Fruitière, Légumière et Horticole (ARMEFLHOR)	Filières agricoles et agroalimentaires	Première, seconde et spécifique	Présentiel
Association Réunionnaise de Pastoralisme (ARP)	Filières agricoles et agroalimentaires	Première	Présentiel
Association réunionnaise interprofessionnelle du bétail, des viandes et du lait – Association réunionnaise interprofessionnelle de la volaille et du lapin (ARIBEL-ARIV)	Filières agricoles et agroalimentaires	Première et seconde	Présentiel et visioconférence
Chambre d'Agriculture de La Réunion	Filières agricoles et agroalimentaires	Première, seconde et enquête horticulture alimentaire	Présentiel et téléphonique
eRcane	Filières agricoles et agroalimentaires	Spécifique	Echanges de mails
Fédération Réunionnaise des Coopératives Agricoles (FRCA)	Filières agricoles et agroalimentaires	Seconde	Présentiel
Groupe TEREOS	Filières agricoles et agroalimentaires	Seconde	Présentiel
Coopérative agricole laitière réunionnaise (SICALAIT)	Filières agricoles et agroalimentaires	Spécifique	Téléphonique
Syndicat du sucre	Filières agricoles et agroalimentaires	Seconde	Présentiel
Groupement des Agriculteurs Biologiques (GAB)	Filières agricoles et agroalimentaires	Première	Présentiel
Royal Bourbon	Filières agricoles et agroalimentaires	Première	Présentiel
VIVEA	Filières agricoles et agroalimentaires	Enquête horticulture alimentaire	Présentiel
Marché de gros de Saint Pierre	Filières agricoles et agroalimentaires	Enquête horticulture alimentaire	Présentiel
ALBIOMA	Filières de production et distribution d'électricité	Seconde	Présentiel
Electricité de France (EDF)	Filières de production et distribution d'électricité	Première	Visioconférence

Kilo-Watt Biomasse	Filières de production et distribution d'électricité	Première	Présentiel
ACDIR	Société civile	Première et seconde	Présentiel
Association pour la Promotion du Patrimoine et de l'Ecologie à La Réunion (APPER)	Société civile	Seconde	Présentiel
Isolife	Société civile	Exploratoire	Présentiel
OASIS Réunion	Société civile	Première et seconde	Présentiel et échanges de mails
Shifters Réunion	Société civile	Première et seconde	Présentiel
Association Riziculteurs 974	Société civile	Spécifique	Présentiel

Annexe 1.B : Liste des organisations inscrites à la journée du 18 novembre 2021 où se sont tenus des ateliers de co-construction de scénarios

Organisation (sigle usuel)	Catégorie d'expert
Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME)	Administration
Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM)	Administration
Conseil Général de La Réunion	Administration
Conseil Régional de La Réunion	Administration
Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt de La Réunion (DAAF)	Administration
Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de La Réunion (DEAL)	Administration
Office National des Forêts (ONF)	Administration
Société d'Aménagement Foncier et d'Etablissement Rural (SAFER)	Administration
Société Publique Locale Horizon Réunion (SPL Horizon Réunion)	Administration
Territoire du Nord de La Réunion (CINOR)	Administration
Association Réunionnaise de Pastoralisme (ARP)	Filières agricoles et agroalimentaires
Association réunionnaise interprofessionnelle du bétail, des viandes et du lait – Association réunionnaise interprofessionnelle de la volaille et du lapin (ARIBEL-ARIV)	Filières agricoles et agroalimentaires
Avipôle	Filières agricoles et agroalimentaires

Chambre d'Agriculture de La Réunion	Filières agricoles et agroalimentaires
Centre technique interprofessionnel de la canne et du sucre (CTICS)	Filières agricoles et agroalimentaires
Coopérative agricole laitière réunionnaise (SICALAIT)	Filières agricoles et agroalimentaires
Coopérative agricole bovin viande réunionnaise (SICAREVIA)	Filières agricoles et agroalimentaires
Coopérative producteurs de porcs Réunion (CPPR)	Filières agricoles et agroalimentaires
eRcane	Filières agricoles et agroalimentaires
Fédération Réunionnaise des Coopératives Agricoles (FRCA)	Filières agricoles et agroalimentaires
Groupe TEREOS	Filières agricoles et agroalimentaires
Groupement de défense sanitaire de La Réunion (GDS 974)	
Lycée agricole de Saint Joseph	Filières agricoles et agroalimentaires
Pôle ovin-caprin de la coopérative CAVAC (OVICAP)	
Qualitropic	Filières agricoles et agroalimentaires
Réseaux d'innovation et de transfert agricole (RITA)	Filières agricoles et agroalimentaires
Syndicat du sucre	Filières agricoles et agroalimentaires
ALBIOMA	Filières de production et distribution d'électricité
Agriculteurs indépendants	Société civile et recherche
Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD)	Société civile et recherche
Université de La Réunion	Société civile et recherche
Association pour le Développement Industriel de La Réunion (ADIR)	Autres
Délégation régionale académique à la recherche et à l'innovation (DRARI)	Autres
Délégation régionale à la recherche et à la technologie (DRRT)	Autres
SOCEDI	Autres
ILEVA	Autres
SYDNE	Autres
VEOLIA	Autres

Annexe 2 : Conduite de la phase d'enquête

Annexe 2.A : Guide pour les entretiens exploratoires

Trame des entretiens exploratoires

Date jj/mm/aaaa

Nom/prénom du ou des enquêté(s)

1) Initialisation de l'entretien (5 minutes) :

- a. Présenter succinctement le cadre de l'entretien : se présenter en 1 minute, présenter le projet en 1 minute, présenter le guide d'entretien en 1 minute / *Informations clés : entretien semi-directif relativement ouvert ; phase test et exploratoire pour mieux appréhender et cadrer le sujet d'étude car découpage original et inhabituel ; volonté de transdisciplinarité en travaillant avec les acteurs de l'alimentation et de l'énergie à La Réunion ; il n'y a pas de mauvaise réponse ; entretien enregistré pour la facilité d'exploitation des données et pour ne rien manquer – mais possibilité de ne pas enregistrer, de toutes façon : anonyme et confidentiel, enfin le principe : « Je vous pose des questions en définissant au besoin des périmètres de réponse, vous formulez des réponses. Des questions avant de commencer ? »*
- b. Proposer à l'enquêté de se présenter en 1 minute : [=> **démarrer enregistrement et début de la prise de notes**] Identité, parcours en quelques mots, poste et structure.

2) Définitions et analyse des sujets « d'autonomie » (15 minutes) :

- a. Si je vous dis « autonomie alimentaire et énergétique » : qu'est-ce que cela représente pour vous, qu'est-ce qui vous vient en premier à l'esprit ? Pouvez-vous m'en parler pendant 2 à 5 minutes comme ça, à froid ? Sentez-vous libre. Il n'y a pas de mauvaise réponse.
- b. Terminologies : [=> **afficher les différentes terminologies sur des cartes : autonomie énergétique/alimentaire, indépendance énergétique/alimentaire, autarcie énergétique/alimentaire, sécurité énergétique/alimentaire, souveraineté alimentaire, démocratie énergétique, autoconsommation énergétique/alimentaire, balance commerciale énergétique/alimentaire, droit à l'énergie/l'alimentation**] Voici un ensemble de termes qui rejoignent les concepts d'autonomie alimentaire et énergétique : est-ce que ce dont vous venez de me parler (*partie 2.a*) se retrouve dans

cet ensemble de termes et d'expressions ? Sinon, quel(s) serai(en)t le ou les termes manquants ? Dans tous ces termes, est-ce que certains vous interpellent en particulier ? Lesquels et pourquoi ? Certains qui ne vous parlent pas ?

- c. Concentrons-nous sur le cas de La Réunion : que pensez-vous de l'objectif d'autonomie alimentaire et énergétique pour notre île ? Comment pourrait-on y arriver ? Comment pourrait-on suivre l'évolution de cette autonomie ?

3) Conceptualisation des liens entre alimentation et énergie (15 minutes) :

- a. Avez-vous des idées de liens qu'il peut exister à La Réunion entre enjeux alimentaires et enjeux énergétiques ? [=> **attendre une première réponse puis révéler et expliquer en quelques minutes ma proposition de conceptualisation des liens entre enjeux alimentaires et énergétiques à La Réunion – le document restera en évidence tout le reste de l'entretien**] En tant qu'acteur avec une vision à la fois opérationnelle et à l'échelle de l'ensemble du territoire, je souhaiterais que vous m'aidiez à enrichir cette conceptualisation des liens entre enjeux d'énergie et d'alimentation à La Réunion : y voyez-vous des entités/processus à ajouter/corriger/supprimer ?
- b. Pour ne pas surcharger la conceptualisation, le jeu d'acteurs n'a pas été représenté : quels acteurs ou types d'acteurs principaux voudriez-vous y voir figurer ?

4) Politiques (15 minutes) :

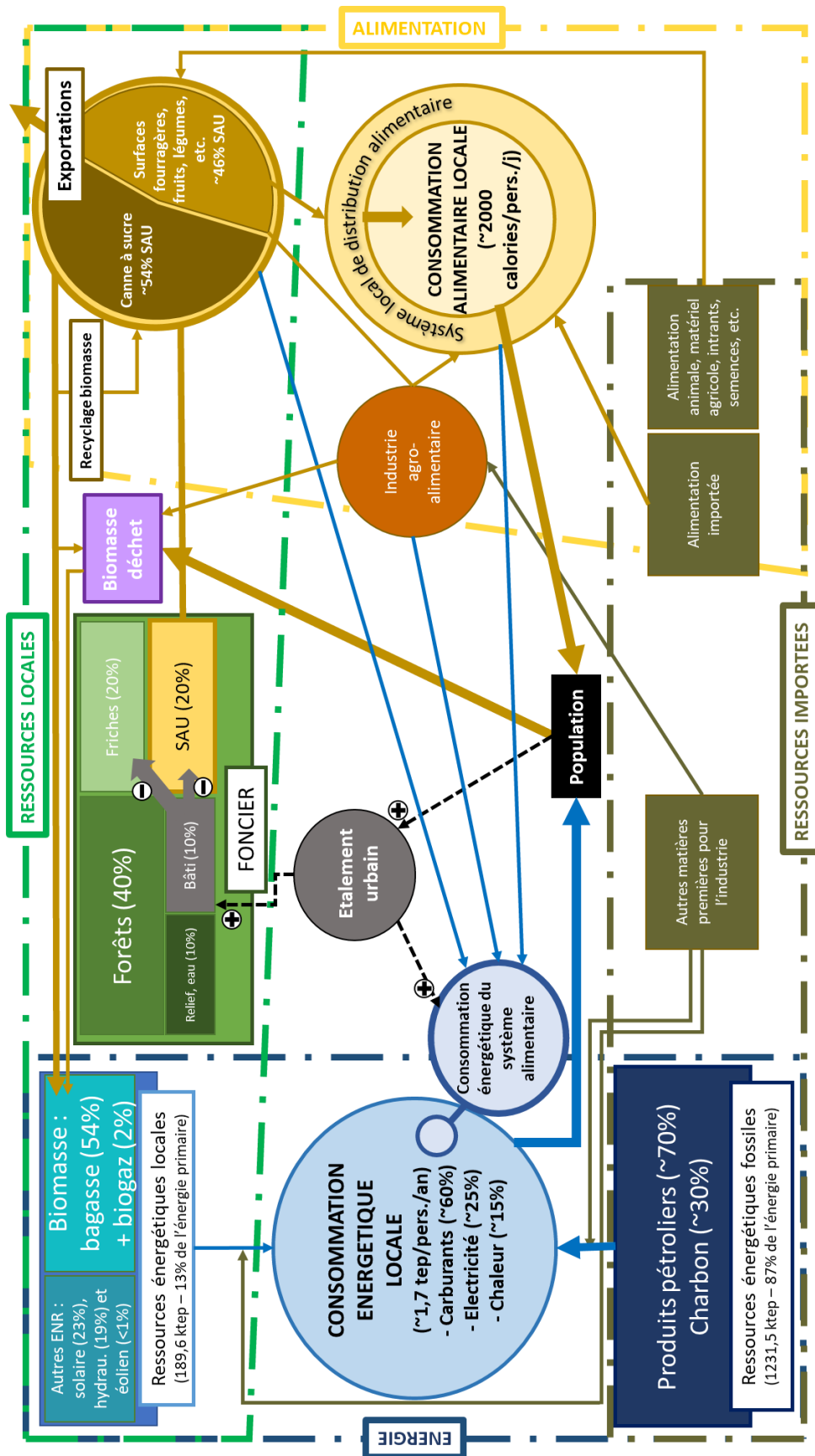
- a. Comment se fait-il que l'on parle davantage aujourd'hui des sujets autonomie alimentaire et énergétique ? Depuis combien de temps à votre avis ces sujets ont-ils pris cette importance ? Voyez-vous des étapes clés dans leur émergence ?
- b. Si je vous dis « politique » au sens large : quelles influences « politiques » principales verriez-vous intervenir dans notre conceptualisation ? Quel jeu de forces politiques ? [=> **attendre la fin d'une première réponse**] Et si on pense à un sens encore plus large du mot « politique », c'est-à-dire allant des institutions aux politiques publiques, en passant par les courants de pensée et les outils opérationnels, etc. est-ce que vous voyez d'autres influences importantes sur notre sujet ?
- c. Que faudrait-il faire pour aller vers un contexte politique favorable à la poursuite d'objectifs d'autonomie alimentaire et énergétique à La Réunion ?

5) Conclusion de l'entretien (10 minutes / TOTAL : 1 heure) :

- a. Synthèse rapide de l'entretien à proposer à l'enquêté (« voilà ce que j'ai retenu de votre exposé ») : Ai-je oublié un élément important ? Souhaitez-vous ajouter quelque chose ?

- b. C'est la fin de notre entretien et je vous remercie pour cet échange : pour rappel, cette première salve d'entretiens exploratoires va me permettre de mieux cadrer mon objet d'étude et éventuellement ma méthodologie. Il est possible que je vous recontacte en mars-avril 2020 pour approfondir certaines thématiques, si vous êtes d'accord. Dans tous les cas, les premiers résultats des entretiens et de la modélisation devraient être présentés et débattus en atelier de discussion courant 2021 (dans la configuration actuelle de la méthodologie). Vous serez informé des suites et convié aux ateliers.
- c. Avez-vous des questions ou remarques particulières ?
- d. Pourriez-vous me conseiller une ou plusieurs personnes qui, selon vous, se prêteraient bien pour répondre à cet entretien ?
- e. **[=> couper l'enregistrement]**

Annexe 2.B : Support graphique pour les entretiens exploratoires



Annexe 2.C : Guide d'entretien de la première vague

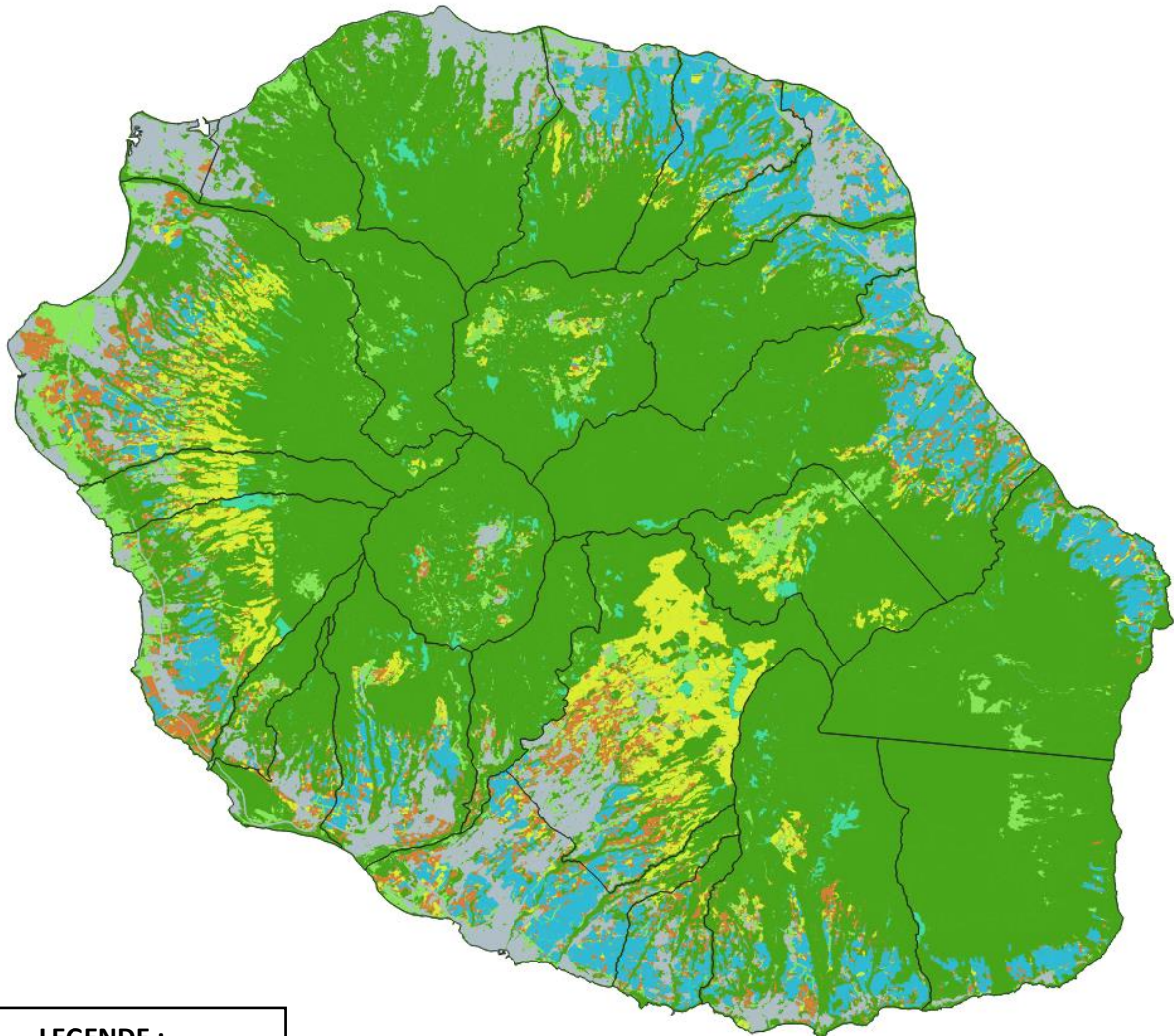
Thème d'entretien	Questions détaillées
Général	<ol style="list-style-type: none"> 1. Présentation du projet de thèse et de la place qu'y tiennent les entretiens 2. Présentation rapide de l'enquête dans sa structure
Thème 1. Les acteurs majeurs de l'alimentation et de l'énergie à La Réunion : leurs interactions et leurs positions vis-à-vis du sujet « autonomie alimentaire-énergétique » à l'échelle du territoire	<ol style="list-style-type: none"> 1. Qu'est-ce que l'autonomie alimentaire / énergétique du territoire ? Sur une échelle de 1 à 5, est-ce un objectif pertinent pour l'île ? 2. Quels sont les acteurs centraux sur la question alimentaire/énergétique à La Réunion ? Sur une échelle de 1 à 5, quelle est leur position concernant la poursuite d'une autonomisation alimentaire et énergétique à La Réunion ? Quels sont leurs arguments ? 3. Quelles sont les relations entre les différents acteurs en lien avec le sujet ? Existe-il des asymétries de pouvoir entre acteurs ? Quels acteurs travaillent de concert ? Existe-il des acteurs en conflit ?
Thème 2. Les politiques publiques d'autonomie alimentaire-énergétique à La Réunion : mise en œuvre et instruments opérationnels	<ol style="list-style-type: none"> 1. [Uniquement pour les gestionnaires, bailleurs et aménageurs du territoire, éventuellement certains indépendants et société civile] La question de l'autonomie alimentaire / énergétique fait-elle l'objet d'une mise en œuvre politique sous une quelconque forme à La Réunion (plans stratégiques, cadre réglementaire, outils, financements, etc.) ? Comment fonctionnent ces outils ? Observe-t-on un








	<p>décalage entre leur formulation officielle (orientations, gouvernance, échelle) et leur mise en œuvre sur le terrain ?</p> <p>2. [Uniquement pour les gestionnaires, bailleurs et aménageurs du territoire, éventuellement certains indépendants et société civile] Sur une échelle de 1 à 5, les instruments de mise en œuvre décrits apparaissent-ils pertinents vis-à-vis des enjeux ? Efficaces ?</p> <p>3. [Uniquement pour les filières alimentaires et énergétiques] Dans un contexte de réflexion autour de l'autonomie énergétique / alimentaire, comment se positionne votre filière sur le sujet ? Quelle est sa stratégie pour l'avenir et pourquoi ? Rencontre-t-elle des difficultés ?</p>
<p>Thème 3. Vers une spatialisation du système territorial de production/consommation alimentaire-énergétique : organisation actuelle et évolutions possibles</p>	<p>1. Que penser des taux actuels de couverture alimentaire/énergétique pour le territoire ? Quels taux de couverture constitueraient un objectif réaliste et pertinent ? <i>[Présenter la carte de l'occupation des sols du territoire avec les taux de couverture – voir ANNEXE 2, support A ; Proposer à l'enquête d'écrire sur cette carte s'il le souhaite]</i></p> <p>2. Quels processus et quelles ressources sont incontournables à considérer dans le sujet de l'autonomie alimentaire/énergétique à l'échelle du territoire ? Quels facteurs sont les plus limitants ? Pouvez-vous représenter grossièrement les différents éléments énoncés sur une carte de l'île ? <i>[Présenter le fond de carte vierge – voir ANNEXE 2, support B ; le cas échéant, proposer quelques exemples – voir O1 dans le TABLEAU 1 ; restreindre dans un premier</i></p>

	<p><i>temps aux seules ressources et processus qui touchent directement l'organisation / la filière de l'enquêté]</i></p> <p>3. A quoi ressemblerait un territoire autonome ou davantage autonome sur le plan alimentaire/ énergétique ? A quoi ressemblerait en particulier le paysage agricole ? Spatialement à l'échelle du territoire qu'est-ce que cela donnerait ? Quels déterminants futurs pourraient impacter cette trajectoire du territoire ? <i>[Proposer un fond de carte vierge en plus de la carte d'occupation des sols pour que l'enquêté appuie ses explications avec une production graphique – voir ANNEXE 2, support B]</i></p>
--	--

Annexe 2.D : Supports graphiques des entretiens de la première vague

(i) Occupation des sols : situation actuelle

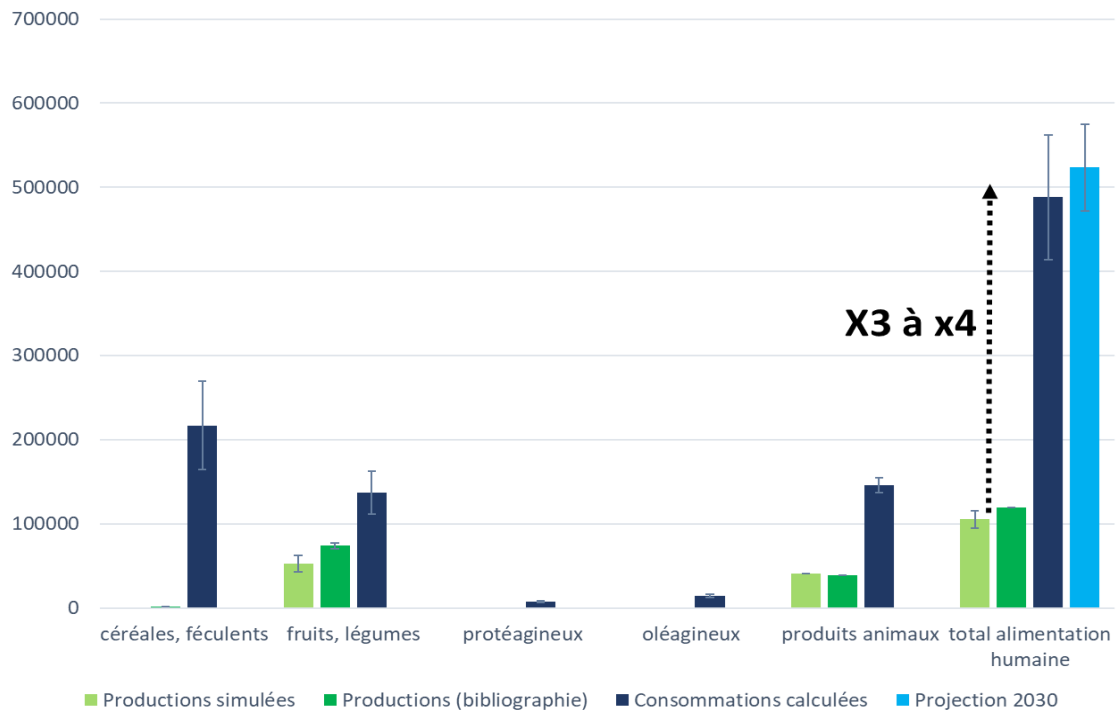


LEGENDE :	
	Espaces artificialisés
	Milieu naturel, forêts
	Friches
	Canne à sucre
	Plantations forestières
	Prairies
	Cultures alimentaires

Source figures : V. Russeil (ADEME)/ Source données cartographiques : S. Dupuy (CIRAD)

(ii) Autonomie alimentaire : situation actuelle et perspectives à horizon 2030

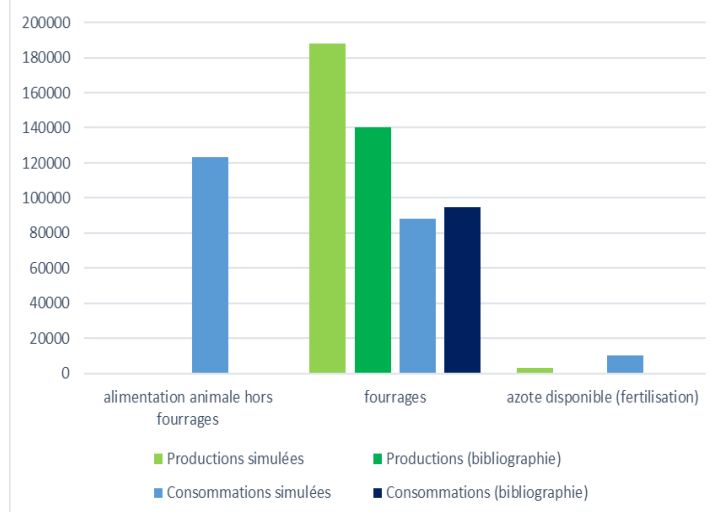
Bilan de production / consommation alimentaire à l'échelle du territoire (tMB/an)



Taux de couverture alimentaire

~30%

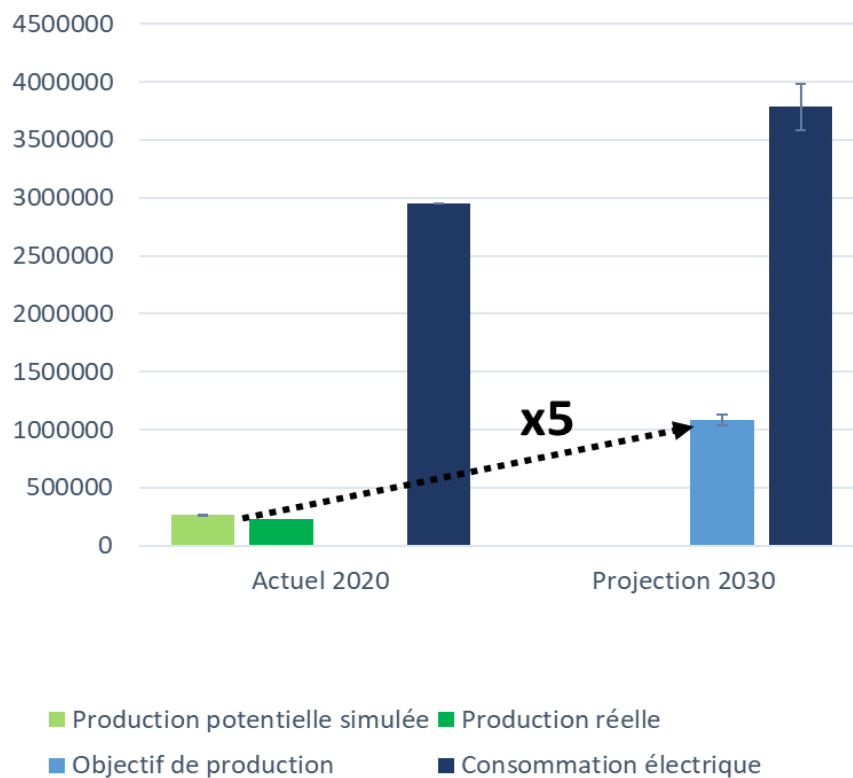
Alimentation animale (tMB) et azote disponible (tég.N)



Source figures : V. Russeil (ADEME)/ Sources données alimentaires : INSEE, DAAF Réunion, Douanes Réunion

(iii) Bioélectricité dans l'autonomie électrique : situation actuelle et perspective à horizon 2030

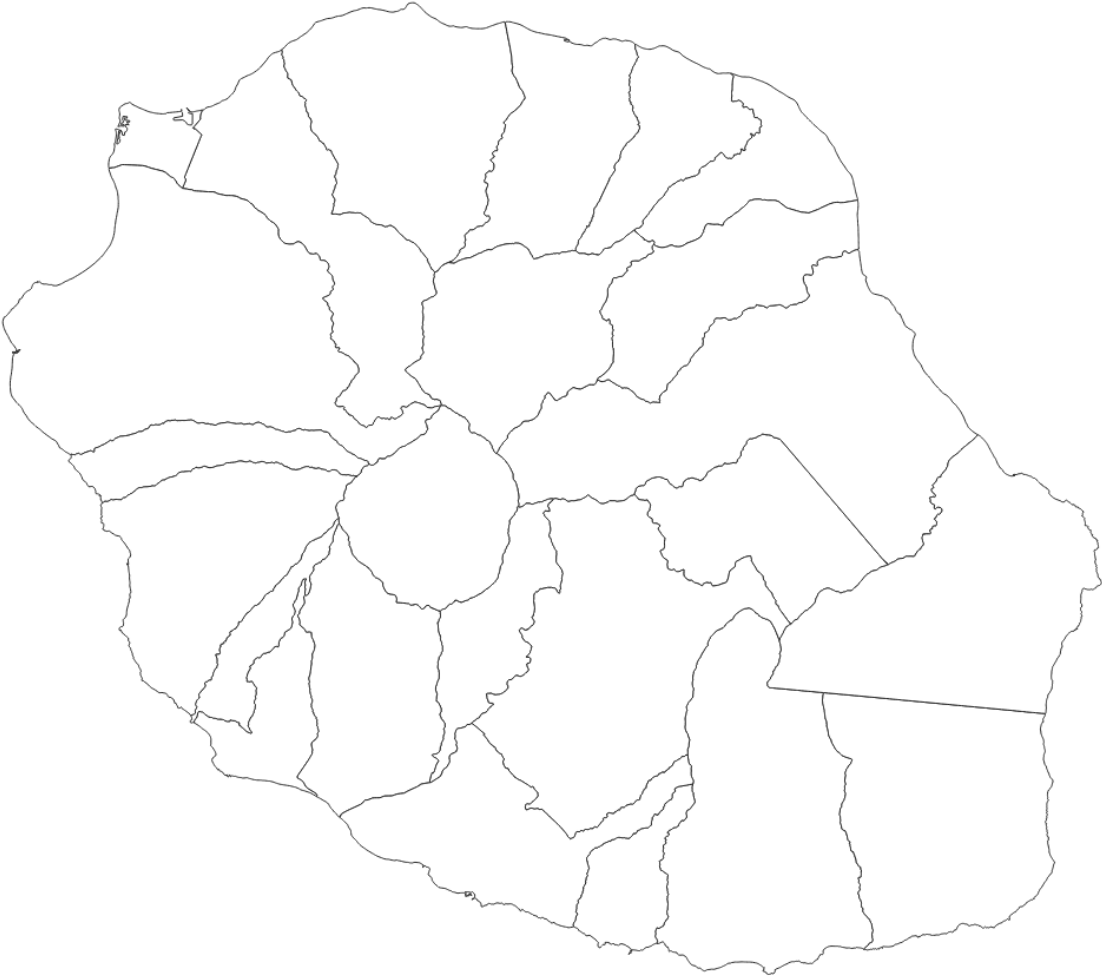
Production de bio-électricité (à partir de biomasses) vs consommation électrique totale (MWh)



Taux de couverture électrique par de la biomasse	7%
--	----

Source figures : V. Russeil (ADEME) / Source données cartographiques : S. Dupuy (CIRAD) / Sources données énergie : ADEME, Région Réunion, SPL Horizon Réunion

(iv) Fond de carte vierge de La Réunion avec tracé des communes



Annexe 2.E : Guide d'entretien de la seconde vague

Guide d'entretien pour scénarisation à partir des résultats préliminaires de thèse (décembre 2021 – janvier 2022)

5 min - Etape 1

Présentation des résultats préliminaires

(Support poster ou power point)

15 min - Etape 2

Echanges sur les résultats produits

Selon le sujet des questions / le domaine d'expertise des enquêtés on cible les deux questions suivantes :

- Y a-t-il d'autres données à utiliser dans le modèle ?
- Les processus sont-ils correctement modélisés ou certaines améliorations sont-elles possibles ?
- Le résultat des simulations est-il réaliste ?

30 min - Etape 3

Hypothèses d'évolution pour une sélection de facteurs de changement (ou processus)

Les facteurs de changement sont regroupés en 3 catégories (voir liste). L'enquêté sélectionne un facteur de changement d'une des listes et propose une hypothèse d'évolution perçue comme positive, neutre ou négative.

10 min - Etape 4 (facultatif)

Contrôle de cohérence des différentes hypothèses

Les différentes hypothèses sont-elles cohérentes entre elles dans un seul et même scénario ? Ou alors plusieurs scénarios se dessinent-ils ?

Annexe 2.F : Support poster des entretiens de la seconde vague

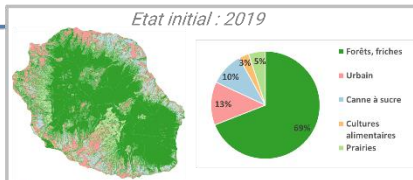
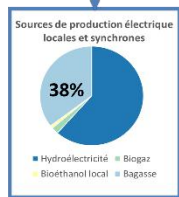
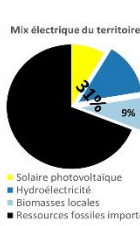
Modélisation de dynamiques d'usages du sol à partir d'entretiens semi-directifs et évaluation de leurs impacts sur le niveau « d'autonomie alimentaire – énergétique » à l'île de La Réunion

Doctorant : Valentin Russeil

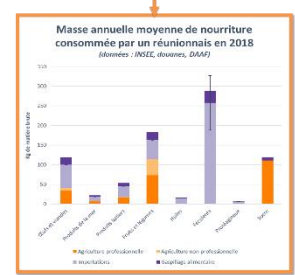
Encadrants : Jean-Philippe Praene Danny Lo Seen, François Broust
Dans le cadre d'une thèse financée par l'ADEME



Contexte & Objectifs



➤ Quels processus influencent le niveau d'autosuffisance alimentaire – énergétique du territoire à travers les changements d'usage des sols ?
➤ Peut-on anticiper l'ampleur de ces impacts ?

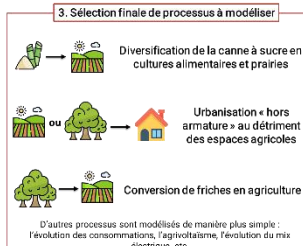


Données & Méthodes

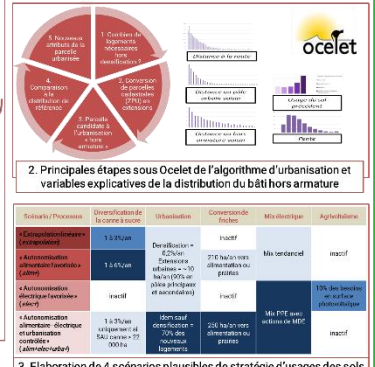
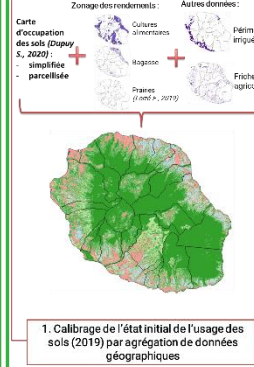
✓ Quels sont les processus les plus influents sur la capacité d'autosuffisance alimentaire-énergétique du territoire ?

« Quels processus peuvent affecter l'autosuffisance alimentaire et/ou électrique du territoire ? »

1. Entretiens auprès de 25 acteurs du territoire : administration, société civile, organisations agricoles et agroindustrielles

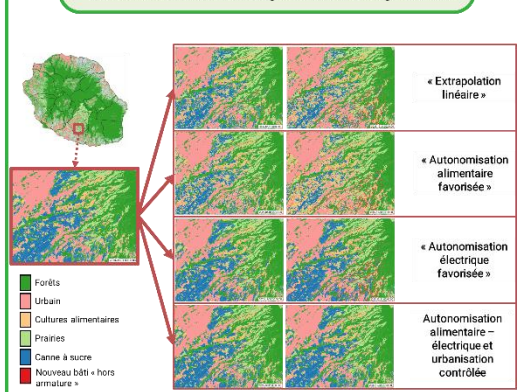


✓ Modélisation explicite, spatiale et dynamique de processus clés avec la plateforme Ocelet

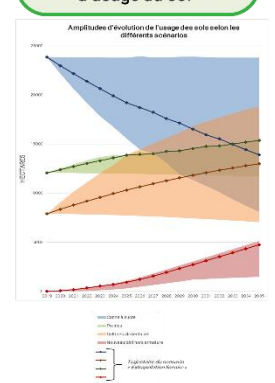


Résultats

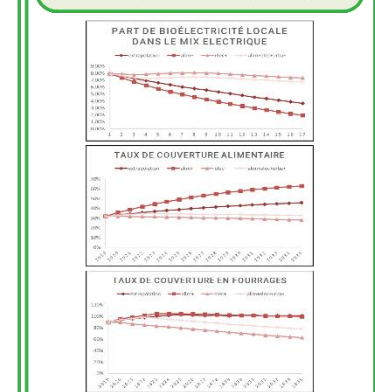
✓ Visualisation des changements d'usage du sol



✓ Suivi des changements d'usage du sol



✓ Suivi d'indicateurs d'autosuffisance



CONCLUSION

- La diversification de la canne à sucre, l'urbanisation et la conversion de friches sont trois processus avec une influence potentiellement forte sur l'usage des sols et donc sur la capacité d'autosuffisance alimentaire – énergétique de l'île de La Réunion
- La combinaison de modélisation spatiale, dynamique et explicite avec des démarches prospectives, permet de mettre en évidence et de quantifier de potentiels compromis d'usage des sols pour répondre à la fois à l'enjeu alimentaire et énergétique
- Les scénarios simulés, combinant des tendances observées ou plausibles, ne permettent qu'une amélioration modeste des indicateurs d'autosuffisance : de nouveaux scénarios avec des hypothèses plus ambitieuses pourront être testés par la suite

Annexe 2.G : Compte rendu des ateliers réalisés dans le cadre du CST SIIAM (18 novembre 2021)

Animateurs : Valentin Russeil, Danny Lo Seen, Valérie Soti

Objectifs :

L'atelier 2 intitulé « Compromis d'usage des terres à échelle territoriale » a permis d'aborder deux questions principales :

1. Quelles sont les grandes forces de changements, les processus, qui affectent l'usage des sols à La Réunion ?
2. Quelles évolutions seraient souhaitables à l'avenir ?

Méthode :

Les participants ont été invités à exprimer une ou deux idées clés pour chaque question en les notant sur *post-it*. Avec l'accord des participants, un animateur a proposé de rassembler les différents *post-it* en fonction de leur similitude pour définir de grands groupes de réponses. Par ailleurs, à partir de la seconde session, les participants recevaient un résumé des résultats de la session précédente pour que leurs idées viennent en complément, évitant ainsi les redondances.

Résultats :

La première question a permis de lister un ensemble de processus qui influencent l'usage des terres (FIGURE 1 et TABLEAU 1), tandis que la seconde question a permis d'explicitier des trajectoires souhaitables d'évolutions (aux yeux de tout ou partie des participants) pour certains des processus identifiés (FIGURE 2 et TABLEAU 2).



FIGURE 1 - Identification de processus responsables de l'évolution de l'usage des sols : de nouvelles idées inscrites sur *post-it* viennent compléter les réflexions des groupes précédents

Processus	Description
Rentabilité des productions agricoles	Les dynamiques économiques propres au marché, l'évolution des aides publiques ainsi que les performances des exploitations font varier la rentabilité moyenne de certaines productions agricoles, ce qui influence la part de terres agricoles dédiées à telle ou telle culture (en poussant par exemple les agriculteurs à se diversifier)
Disponibilité en eau	Dépendante des équipements (périmètre irrigué, retenues collinaires) et du climat, la disponibilité de l'eau pour les usages agricoles permet de pérenniser ou non l'agriculture dans certaines zones
Qualité des sols	La qualité des sols (en particulier vis-à-vis des conséquences de leur érosion) permet le maintien d'usages agricoles des terres
Protection de la biodiversité	Les décisions en matière de protection de la biodiversité peuvent se traduire par différents degrés de « sanctuarisation » de certaines zones sensibles, excluant ou pénalisant d'autres usages des terres
Développement de nouvelles cultures	De nouvelles cultures (ou des cultures actuellement minoritaires) peuvent se développer ayant pour conséquence l'évolution de certains usages du sol (nouvelles variétés de canne à sucre, plantes à parfum et médicinales, etc.)
Réglementation et politiques publiques	Différents outils réglementaires viennent orienter l'usage des terres à différentes échelles (de l'Etat aux collectivités), soit directement (lois d'urbanisme) ou indirectement (réglementations sur les intrants agricoles qui met sous pression certains types de cultures)

Discours et orientations politiques	Les discours politiques (du niveau national au niveau local) impulsent des dynamiques susceptibles d'influencer les usages du sol (objectif d'autonomie alimentaire, objectif d'autonomie énergétique, etc.)
Gouvernance du territoire	La capacité des acteurs du territoire à s'accorder sur une vision de l'avenir et un projet de société (aller vers plus d'autonomie alimentaire et/ou autonomie énergétique par exemple) se traduit aussi par un projet pour l'usage des terres, notamment agricoles
Opinion des agriculteurs	Selon leur opinion, les agriculteurs privilégient certains usages du sol (choix des cultures, agritourisme, transformation, export, etc.)
Opinion publique	L'opinion publique peut exercer une pression (par exemple sur la rédaction des PLU par les élus locaux) qui influence l'usage des terres
Gestion des effluents par épandage	En lien avec les types d'élevages présents sur le territoire, des surfaces agricoles sont nécessaires pour l'épandage des effluents produits
Urbanisation	L'urbanisation exerce une pression plus ou moins forte sur les milieux naturels et agricoles.
Spéculation foncière	La valeur des terres à bâtir est souvent plus élevée ce qui encourage certains propriétaires à demander le déclassement de leur terrain, entraînant une perte de terres agricoles
Croissance démographique	La croissance démographique s'accompagne d'une croissance de la demande en logement et donc d'une pression de l'urbanisme sur les espaces agricoles et naturels.
Accompagnement et formations techniques	Le degré de technicité des agriculteurs peut influencer leur choix de cultures mais aussi les rendements et donc les surfaces nécessaires à production équivalente
Rendements des cultures	Les évolutions scientifiques, la qualité de l'équipement technique ainsi que la formation permet d'envisager des rendements plus ou moins élevés et donc plus ou moins de surface nécessaire pour un même niveau de production
Transmission d'exploitations agricoles	Le processus de transmission d'une exploitation agricole peut s'accompagner d'évolutions de l'usage des terres (nouvelles cultures, agritourisme, etc.) ou de morcellement et de spéculation dans le pire des cas
Changement climatique	Les évolutions du climat sont susceptibles d'impacter l'usage des sols (sécheresse, événements climatiques extrêmes)

TABLEAU 1 – Description des processus identifiés comme responsables de l'évolution de l'usage des sols à La Réunion



FIGURE 2 –Trajectoires d'évolution souhaitées par les acteurs pour une sélection de processus d'évolution de l'usage des terres

Typologies d'évolutions souhaitables en lien avec l'usage des terres proposées par les participants	Quelques processus impliqués et mentionnés
Un système agricole diversifié, intégrant l'ensemble des filières végétales et animales pour pérenniser les usages actuels des terres agricoles et maintenir les niveaux de production	Discours et orientations politiques / Gouvernance du territoire / Gestion des effluents par épandage
Conversion d'exploitations carrières à la polyculture élevage	Discours et orientations politiques / Opinion des agriculteurs
Maintien, voire augmentation de la sole cannière	Rentabilité des productions agricoles / Réglementation et politiques publiques / Gouvernance du territoire
Vers le zéro artificialisation nette des terres agricoles, notamment par le contrôle de la spéculation	Urbanisation / Qualité des sols / Réglementation et politiques publiques / Transmission d'exploitations agricoles / Spéculation foncière
Des exploitations priorisant des cultures adaptées à leur contexte pour rester rentables	Rentabilité des productions agricoles / Climat / Qualité des sols / Disponibilité en eau / Gouvernance du territoire
Une voie alternative pour réduire le besoin de disposer d'une quantité suffisante de surface de cultures épandables : des plateformes de compostage durables	Gestion des effluents par épandage / Gouvernance du territoire

Une réduction de la consommation de viande et de la taille des cheptels pour réduire le besoin en surfaces dédiées à l'élevage	Opinion publique / Gouvernance du territoire
Vers l'autosuffisance alimentaire durable s'appuyant sur le développement de l'agriculture biologique	Accompagnement et formations techniques / Gouvernance du territoire
Une population sensibilisée à la nécessité de conserver ses agriculteurs locaux	Opinion publique / Discours et orientations politiques

TABLEAU 2 – Description de trajectoires d'évolution souhaitées par tout ou partie des participants

Conclusions :

En dépit de la durée limitée de chaque session, l'atelier a permis d'identifier 18 processus responsables de dynamiques d'usage des terres sur le territoire. De plus, 9 grands types d'évolutions souhaitables ont été définis par les participants. Ces évolutions souhaitables sont pour la plupart compatibles entre elles (exemple : « Un système agricole diversifié, intégrant l'ensemble des filières végétales et animales pour pérenniser les usages actuels des terres agricoles et maintenir les niveaux de production » et « Vers la zéro artificialisation nette des terres agricoles, notamment par le contrôle de la spéculation »). En revanche, certaines évolutions proposées par les participants sont difficilement compatibles entre elles. C'est le cas notamment pour l'évolution de la sole cannière ainsi que de l'importance de l'élevage et de la consommation de viande chez les réunionnais. Cela plaide pour une poursuite de ce type de discussion afin d'affiner une vision d'avenir du territoire qui soit partagée par un maximum d'acteurs.

Annexe 3 : Calibrage du modèle ProdAgri (données pour 2019)

Annexe 3.A : Besoins alimentaires et électriques par habitant

Nom du paramètre	Valeur	Unité	Remarques éventuelles	Source(s)
Autoconsommation de féculents	0,80	kg/an/habitant	On considère que l'autoconsommation recensée contient une part d'agriculture informelle, on désigne l'ensemble par « agriculture non professionnelle »	ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022) ; hypothèse modélisateur
Autoconsommation de matières grasses	0,00	kg/an/habitant	On considère que l'autoconsommation recensée contient une part d'agriculture informelle, on désigne l'ensemble par « agriculture non professionnelle »	ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022) ; hypothèse modélisateur
Autoconsommation de produits laitiers	0,00	kg/an/habitant	On considère que l'autoconsommation recensée contient une part d'agriculture informelle, on désigne l'ensemble par « agriculture non professionnelle »	ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022) ; hypothèse modélisateur
Autoconsommation de protéagineux	1,70	kg/an/habitant	On considère que l'autoconsommation recensée contient une part d'agriculture informelle, on désigne l'ensemble par « agriculture non professionnelle »	ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022) ; hypothèse modélisateur
Autoconsommation de viandes-poissons-œufs	3,20	kg/an/habitant	On considère que l'autoconsommation recensée contient une part d'agriculture informelle, on désigne l'ensemble par « agriculture non professionnelle »	ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022) ; hypothèse modélisateur
Autoconsommation de fruits et légumes	67,50	kg/an/habitant	On considère que l'autoconsommation recensée contient une part d'agriculture informelle, on désigne l'ensemble par « agriculture non professionnelle »	ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022) ; hypothèse modélisateur
Ingestion de fruits et légumes	206,8	kg/an/habitant	Quantité d'aliments effectivement ingérée quelle que soit leur provenance (agriculture non professionnelle comprise) et après retrait de la part d'aliments gaspillés	Douanes Réunion (2020); DAAF; INSEE; IEDOM, ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022) ; Chambre d'Agriculture de La Réunion (2021)
Ingestion de protéagineux	8,5	kg/an/habitant	Quantité d'aliments effectivement ingérée quelle que soit leur provenance (agriculture non professionnelle comprise) et après retrait de la part d'aliments gaspillés	Douanes Réunion (2020); DAAF; INSEE; IEDOM, ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022) ; Chambre d'Agriculture de La Réunion (2021)
Ingestion de féculents	285,0	kg/an/habitant	Quantité d'aliments effectivement ingérée quelle que soit leur provenance (agriculture non professionnelle comprise) et après retrait de la part d'aliments gaspillés	Douanes Réunion (2020); DAAF; INSEE; IEDOM, ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022) ; Chambre d'Agriculture de La Réunion (2021)
Ingestion de produits laitiers	89,6	kg/an/habitant	Quantité d'aliments effectivement ingérée quelle que soit leur provenance (agriculture non professionnelle comprise) et après retrait de la part d'aliments gaspillés	Douanes Réunion (2020); DAAF; INSEE; IEDOM, ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022) ; Chambre d'Agriculture de La Réunion (2021) ; Meyer C. & Duteurtre G. (1998)
Ingestion de viandes, poissons, œufs	113,4	kg/an/habitant	Quantité d'aliments effectivement ingérée quelle que soit leur provenance (agriculture non professionnelle comprise) et après retrait de la part d'aliments gaspillés	Douanes Réunion (2020); DAAF; INSEE; IEDOM, ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022) ; Chambre d'Agriculture de La Réunion (2021)
Ingestion de matières grasses	16,5	kg/an/habitant	Quantité d'aliments effectivement ingérée quelle que soit leur provenance	Douanes Réunion (2020); DAAF; INSEE; IEDOM, ADEME

			(agriculture non professionnelle comprise) et après retrait de la part d'aliments gaspillés	& ECO2 INITIATIVE (2022) ; Chambre d'Agriculture de La Réunion (2021)
Gaspillage alimentaire des denrées produites (féculents)	12,9	%	10,6% de pertes en considérant seulement distribution et consommation ; 15,1% en considérant en plus la transformation pour environ 50% des féculents importés (riz non décortiqué, minoterie, boulangeries, etc.) ; l'autoconsommation n'est pas concernée	ADEME (2016 a) ; hypothèse modélisateur
Gaspillage alimentaire des denrées produites (fruits et légumes)	10,6	%	Pourcentage de pertes en considérant seulement distribution et consommation ; l'autoconsommation n'est pas concernée	ADEME (2016 a)
Gaspillage alimentaire des denrées produites (matières grasses)	10,6	%	Pourcentage de pertes en considérant seulement distribution et consommation ; l'autoconsommation n'est pas concernée	ADEME (2016 a)
Gaspillage alimentaire des denrées produites (produits laitiers)	10,6	%	Pourcentage de pertes en considérant seulement distribution et consommation ; l'autoconsommation n'est pas concernée	ADEME (2016 a)
Gaspillage alimentaire des denrées produites (protéagineux)	10,6	%	Pourcentage de pertes en considérant seulement distribution et consommation ; l'autoconsommation n'est pas concernée	ADEME (2016 a)
Gaspillage alimentaire des denrées produites (viandes, poissons, œufs)	10,6	%	Pourcentage de pertes en considérant seulement distribution et consommation ; l'autoconsommation n'est pas concernée	ADEME (2016 a)
Consommation d'électricité	3,497	MWhe / an / habitant	Total pour le territoire ramené à la population	EDF (2022) ; INSEE (2022)
Population totale du territoire	861210	Habitant		INSEE (2022)

Annexe 3.B : Caractéristiques du cheptel (taille, besoins, productions)

Nom du paramètre	Valeur	Unité	Remarques éventuelles	Source(s)
Consommation en céréales/ féculents des bovins laitiers	1,74	tMS/UGB	Recommandations d'apports de concentrés issus des référentiels de la chambre d'agriculture et composition de l'alimentation de la bibliographie (contexte France métropolitaine)	Chambre d'agriculture de La Réunion (2020 c) ; Devun et al. (2014)
Consommation en céréales/ féculents des bovins viande	0,63	tMS/UGB	Recommandations d'apports de concentrés issus des référentiels de la chambre d'agriculture et composition de l'alimentation de la bibliographie (contexte France métropolitaine)	Chambre d'agriculture de La Réunion (2020 a) ; Devun et al. (2014)
Consommation en céréales/ féculents des cervidés	0,25	tMS/UGB	Total recommandé de concentrés selon la bibliographie ; apport supposé équilibré entre céréales et protéagineux	Grimaud (2007) ; hypothèse modélisateur

Consommation en céréales/ féculents des équins	0,74	tMS/UGB	Quantités fournies de concentrés issues du site de l'URCOOPA et composition de l'alimentation de la bibliographie (contexte France métropolitaine)	Réseaux équins de Normandie (2011) ; site internet URCOOPA
Consommation en céréales/ féculents des lapins	9,98	tMS/UGB	Calcul de la consommation en concentré/animal = (consommation moyenne d'une lapine x fraction de lapine) + (consommation moyenne d'un lapereau x fraction de lapine x nombre de lapereaux moyen par lapine) ; somme pour le cheptel rapporté au total d'UGB de 2019 calculé en fonction du nombre de cages mères (0,137 UGB/cage mère)	Djago et al. (2012) ; Lebas & Menini (2017) ; DAAF Réunion (2019 e) ; DRAAF Rhône-Alpes (2011)
Consommation en céréales/ féculents des ovins/caprins	0,21	tMS/UGB	Recommandations d'apports de concentrés issus des référentiels de la chambre d'agriculture et composition de l'alimentation de la bibliographie (contexte France métropolitaine)	Chambre d'agriculture de La Réunion (2018 a) ; Chambre d'agriculture de La Réunion (2018 b) ; CIV (2014)
Consommation en céréales/ féculents des porcins	0,64	tMS/UGB	Calcul de la consommation en concentré/animal = indice de consommation x (poids_abattage - poids_post_sevrage); consommation des animaux élevés par des indépendants amoindrie de 25 kg/animal suivant une communication personnelle de la chambre d'agriculture ; somme pour le cheptel rapporté au total d'UGB de 2019 (0,5 UGB/ truie reproductrice de > 50kg et 0,3 UGB/animal pour les autres)	Chambre d'agriculture de La Réunion (2020 b) ; Mottet et al. (2017) ; Camilla et al. (2022) ; DAAF Réunion (2020 a) ; Institut de l'agriculture durable (2021) ; DAAF Réunion (2019 g)
Consommation en céréales/ féculents des poules pondeuses	2,22	tMS/UGB	Somme pour le cheptel rapporté au total d'UGB de 2019 (0,014 UGB/animal)	Celagri (2021) ; Chambre d'agriculture de Guadeloupe & Chambre d'agriculture de Guyane (2021) ; DAAF Réunion (2020 a) ; Institut de l'agriculture durable (2021)
Consommation en céréales/ féculents des poulets de chair	0,60	tMS/UGB	Calcul de la consommation en concentré/animal = indice de consommation x poids_abattage ; somme pour le cheptel rapporté au total d'UGB de 2019 (0,007 UGB/animal)	Celagri (2021) ; Chambre d'agriculture de La Réunion (2015) ; DAAF Réunion (2020 a) ; Institut de l'agriculture durable (2021)
Consommation en fourrage des bovins laitiers	2,56	tMS/UGB		Magnier (2019)
Consommation en fourrage des bovins viande	4,02	tMS/UGB		Magnier (2019)
Consommation en fourrage des cervidés	1,51	tMS/UGB		Magnier (2019)
Consommation en fourrage des équins	4,18	tMS/UGB		Magnier (2019)
Consommation en fourrage des ovins/caprins	9,38	tMS/UGB		Magnier (2019)
Consommation en protéagineux des bovins laitiers	1,56	tMS/UGB	Recommandations d'apports de concentrés issus des référentiels de la chambre d'agriculture et composition de l'alimentation de la bibliographie (contexte France métropolitaine)	Chambre d'agriculture (2020 c) ; Devun et al. (2014)

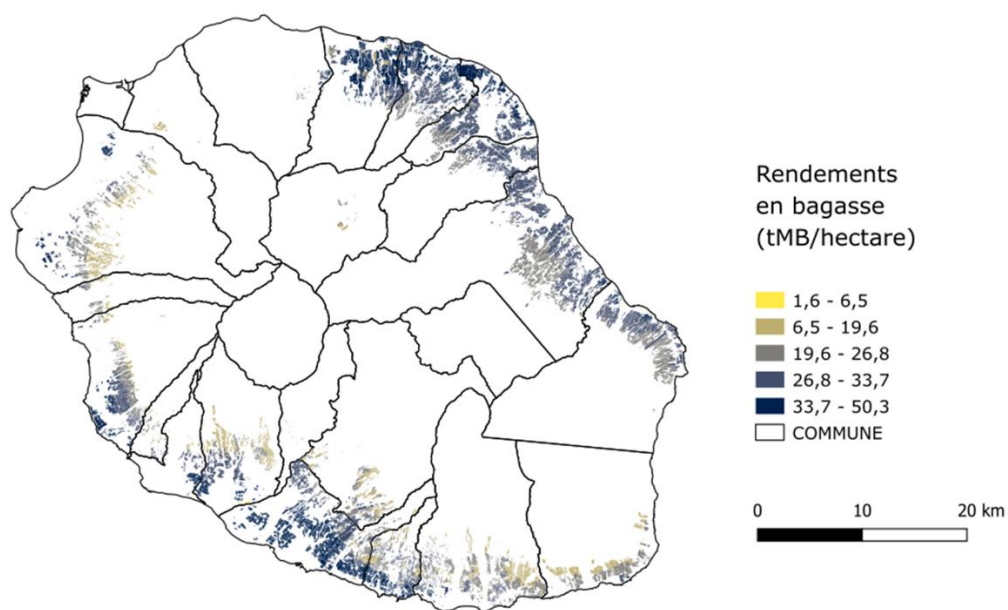
Consommation en protéagineux des bovins viande	0,27	tMS/UGB	Recommandations d'apports de concentrés issus des référentiels de la chambre d'agriculture et composition de l'alimentation de la bibliographie (contexte France métropolitaine)	Chambre d'agriculture (2020 a) ; Devun et al. (2014)
Consommation en protéagineux des cervidés	0,25	tMS/UGB	Total recommandé de concentrés selon la bibliographie ; apport supposé équilibré entre céréales et protéagineux	Grimaud (2007) ; hypothèse modélisateur
Consommation en protéagineux des équins	0,74	tMS/UGB	Quantités fournies de concentrés issues du site de l'URCOOPA et composition de l'alimentation de la bibliographie (contexte France métropolitaine)	Réseaux équins de Normandie (2011) ; site internet URCOOPA
Consommation en protéagineux des lapins	9,80	tMS/UGB	Calcul de la consommation en concentré/animal = (consommation moyenne d'une lapine x fraction de lapine) + (consommation moyenne d'un lapereau x fraction de lapine x nombre de lapereaux moyen par lapine) ; somme pour le cheptel rapporté au total d'UGB de 2019 calculé en fonction du nombre de cages mères (0,137 UGB/cage mère)	Djago et al. (2012) ; Lebas & Menini (2017) ; DAAF Réunion (2019 e) ; DRAAF Rhône-Alpes (2011)
Consommation en protéagineux des ovins/caprins	0,16	tMS/UGB	Recommandations d'apports de concentrés issus des référentiels de la chambre d'agriculture et composition de l'alimentation de la bibliographie (contexte France métropolitaine)	Chambre d'agriculture de La Réunion (2018 a) ; Chambre d'agriculture de La Réunion (2018 b) ; CIV (2014)
Consommation en protéagineux des porcins	0,28	tMS/UGB	Calcul de la consommation en concentré/animal = indice de consommation x (poids_abattage - poids_post_sevrage) ; consommation des animaux élevés par des indépendants amoindrie de 25 kg/animal suivant une communication personnelle de la chambre d'agriculture ; somme pour le cheptel rapporté au total d'UGB de 2019 (0,5 UGB/ truie reproductrice de > 50kg et 0,3 UGB/animal pour les autres)	Chambre d'agriculture de La Réunion (2020 b) ; Mottet et al. (2017) ; Camilla et al. (2022) ; DAAF Réunion (2020 a) ; Institut de l'agriculture durable (2021) ; DAAF Réunion (2019 **)
Consommation en protéagineux des poules pondeuses	0,65	tMS/UGB	Somme pour le cheptel rapporté au total d'UGB de 2019 (0,014 UGB/animal)	Celagri (2021) ; Chambre d'agriculture de Guadeloupe & Chambre d'agriculture de Guyane (2021) ; DAAF Réunion (2020 a) ; Institut de l'agriculture durable (2021)
Consommation en protéagineux des poulets de chair	0,17	tMS/UGB	Calcul de la consommation en concentré/animal = indice de consommation x poids_abattage ; somme pour le cheptel rapporté au total d'UGB de 2019 (0,007 UGB/animal)	Celagri (2021) ; Chambre d'agriculture de La Réunion (2015) ; DAAF Réunion (2020 a) ; Institut de l'agriculture durable
Potentiel fertilisant azoté pour fientes de poules pondeuses	18,36	kg NH3/tMB	Calcul de l'équivalent "azote minéral disponible"	Chabalier et al. (2006) ; Kleinpeter & Vayssières (2019)
Potentiel fertilisant azoté pour fumier bovin	1,53	kg NH3/tMB	Calcul de l'équivalent "azote minéral disponible"	Chabalier et al. (2006) ; Kleinpeter & Vayssières (2019)
Potentiel fertilisant azoté pour fumier de lapin	0,00	kg NH3/tMB	Calcul de l'équivalent "azote minéral disponible"	Chabalier et al. (2006)

Potentiel fertilisant azoté pour fumier de volaille	13,50	kg NH3/tMB	Calcul de l'équivalent "azote minéral disponible"	Chabalier et al. (2006) ; Kleinpeter & Vayssières (2019)
Potentiel fertilisant azoté pour fumier équin	1,25	kg NH3/tMB	Calcul de l'équivalent "azote minéral disponible"	Chabalier et al. (2006) ; Kleinpeter & Vayssières (2019)
Potentiel fertilisant azoté pour lisier bovin	0,56	kg NH3/tMB	Calcul de l'équivalent "azote minéral disponible"	Chabalier et al. (2006) ; Kleinpeter & Vayssières (2019)
Potentiel fertilisant azoté pour lisier porcin	2,10	kg NH3/tMB	Calcul de l'équivalent "azote minéral disponible"	Chabalier et al. (2006) ; Kleinpeter & Vayssières (2019)
Potentiel fertilisant azoté pour fumier composté d'ovin ou caprin	1,99	kg NH3/tMB	Calcul de l'équivalent "azote minéral disponible"	Chabalier et al. (2006) ; Kleinpeter & Vayssières (2019)
Production de fientes de poules pondeuses	0,91	tMB/UGB	Somme pour le cheptel rapporté au total d'UGB de 2019 (0,014 UGB/animal)	Kleinpeter & Vayssières (2019) ; Institut de l'agriculture durable (2021)
Production de fumier bovin par les bovins laitiers	9,79	tMB/UGB	Somme pour le cheptel rapporté au total d'UGB de 2019 (0,014 UGB/animal)	Kleinpeter & Vayssières (2019)
Production de fumier bovin par les bovins viande	1,24	tMB/UGB	Somme pour le cheptel rapporté au total d'UGB de 2019 (0,014 UGB/animal)	Kleinpeter & Vayssières (2019)
Production de fumier composté par les ovins ou caprins	7,08	tMB/UGB	Somme pour le cheptel rapporté au total d'UGB de 2019 (0,014 UGB/animal)	Kleinpeter & Vayssières (2019)
Production de fumier de lapin	11,91	tMB/UGB	Volume d'effluents de 2007 rapporté à 2019 selon l'estimation de la baisse de la taille du cheptel ; rapporté au total d'UGB de 2019 (0,137 UGB/cage mère)	Chabalier et al. (2006) ; Institut de l'agriculture durable (2021) ; DAAF Réunion (2019 e)
Production de fumier de volaille par les poulets de chair	0,19	tMB/UGB	Somme pour le cheptel rapporté au total d'UGB de 2019 (0,007 UGB/animal)	Kleinpeter & Vayssières (2019) ; Institut de l'agriculture durable (2021)
Production de fumier d'équin	2,41	tMB/UGB	Somme pour le cheptel rapporté au total d'UGB de 2019	Kleinpeter & Vayssières (2019) ; Magnier (2019)
Production de lait des bovins lait	5,14	tMB lait/UGB	Rapporté à la taille en UGB du cheptel bovin lait de 2019 ; volume en litre multiplié par la masse volumique du lait (1028)	DAAF Réunion (2020 a)
Production de lisier bovin par les bovins laitiers	31,50	tMB/UGB	Somme pour le cheptel rapporté au total d'UGB de 2019 (0,014 UGB/animal)	Kleinpeter & Vayssières (2019)
Production de lisier bovin par les bovins viande	18,86	tMB/UGB		Kleinpeter & Vayssières (2019)
Production de lisier porcin	3,41	tMB/UGB	Somme pour le cheptel rapporté au total d'UGB de 2019 (0,5 UGB/ truie reproductrice de > 50kg et 0,3 UGB/animal pour les autres)	Kleinpeter & Vayssières (2019)
Productivité de viande des bovins viande	0,09	tEC/UGB	Rapporté à la taille en UGB du cheptel bovin viande de 2019	DAAF Réunion (2020 a)
Productivité de viande des cervidés	0,07	tEC/UGB	Rapporté à la taille en UGB du cheptel cervidé de 2019	Grimaud (2007)
Productivité de viande des lapins	0,39	tEC/UGB	Rapporté à la taille en UGB du cheptel cunicole de 2019	DAAF Réunion (2020 a)
Productivité de viande des ovins/caprins	0,06	tEC/UGB	Rapporté à la taille en UGB du cheptel ovin et caprin de 2019	DAAF Réunion (2020 a)

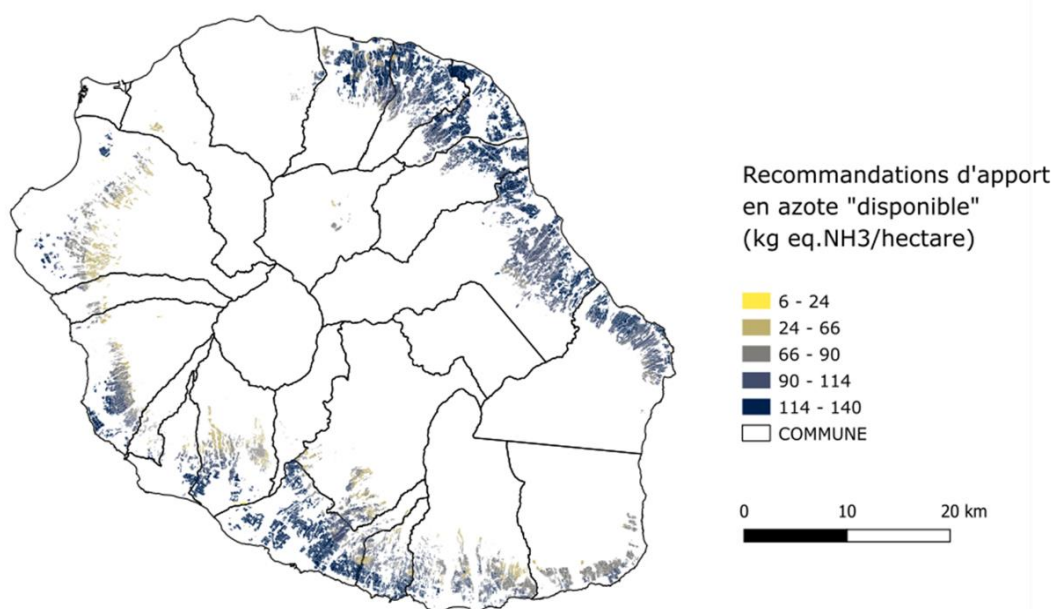
Productivité de viande des porcins	0,50	tEC/UGB	Rapporté à la taille en UGB du cheptel porcin de 2019	DAAF Réunion (2020 a)
Productivité de viande des poulets de chair	1,35	tEC/UGB	Rapporté à la taille en UGB du cheptel poulets de chair de 2019	DAAF Réunion (2020 a)
Productivité d'œufs des poules pondeuses	0,69	t ovo-produits / UGB	Rapporté à la taille en UGB du cheptel poules pondeuses de 2019 (0,014 UGB/animal) ; conversion ovoproduit/œuf = 0,9	DAAF Réunion (2019 f) ; Institut de l'agriculture durable (2021) ; Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse (2013)
Ratio de fientes de poules pondeuses valorisé en fertilisation azotée	100,00	%		Kleinpeter & Vayssières (2019)
Ratio de fumier bovin lait valorisé en fertilisation azotée	66,30	%		Kleinpeter & Vayssières (2019)
Ratio de fumier bovin viande valorisé en fertilisation azotée	9,50	%		Kleinpeter & Vayssières (2019)
Ratio de fumier de lapin valorisé en fertilisation azotée	100,00	%		Hypothèse modélisateur
Ratio de fumier composté ovins/caprins valorisé en fertilisation azotée	100,00	%		Kleinpeter & Vayssières (2019)
Ratio de fumier de volaille valorisé en fertilisation azotée	100,00	%		Kleinpeter & Vayssières (2019)
Ratio de fumier d'équin valorisé en fertilisation azotée	100,00	%		Kleinpeter & Vayssières (2019)
Ratio de lisier bovin lait valorisé en fertilisation azotée	88,90	%		Kleinpeter & Vayssières (2019)
Ratio de lisier bovin viande valorisé en fertilisation azotée	0,00	%		Kleinpeter & Vayssières (2019)
Ratio de lisier porcin valorisé en fertilisation azotée	87,57	%	Le lisier porcin de la commune de Salazie (12,43% des effluents porcins) est perdu car dénitrifié en station d'épuration	Kleinpeter & Vayssières (2019) ; Hittner-Sanchez (2022)
Taille du cheptel bovin laitier	3688,00	UGB		Magnier (2019)
Taille du cheptel bovin viande	17912,00	UGB		Magnier (2019)
Taille du cheptel cunicole	459,64	UGB	Conversion en UGB (valeur pour lapin-mère = 0,137)	Données de la filière (plan DEFI) ; DAAF Réunion (2019 e) ; Institut de l'agriculture durable (2021)
Taille du cheptel de cervidés	544,00	UGB	Conversion en UGB (valeur pour cervidés = 0,33)	Magnier (2019) ; Institut de l'agriculture durable (2021)
Taille du cheptel équin	1561,00	UGB		Magnier (2019)
Taille du cheptel ovin et caprin	2319,00	UGB	Conversion en UGB (valeur pour ovin/caprin = 0,15)	Magnier (2019) ; Institut de l'agriculture durable (2021)
Taille du cheptel porcin	22189,70	UGB	Conversion en UGB (valeur par animal = 0,5 pour les reproductrices > 50 kg et 0,3 pour les autres)	Données de la filière (plan DEFI) ; DAAF Réunion (2020 a) ; Institut de l'agriculture durable (2021)

Taille du cheptel poules pondeuses	10234,00	UGB	Conversion en UGB (valeur par animal = 0,014)	Données de la filière (plan DEFI) ; DAAF Réunion (2020 a) ; Institut de l'agriculture durable (2021)
Taille du cheptel poulet de chair	13928,50	UGB	Conversion en UGB (valeur par animal = 0,007)	Données de la filière (plan DEFI) ; DAAF Réunion (2020 a) ; Institut de l'agriculture durable (2021)
Taux de matière sèche fientes poules pondeuses	49,00	%		Kleinpeter & Vayssières (2019)
Taux de matière sèche fumier bovin	28,00	%		Kleinpeter & Vayssières (2019)
Taux de matière sèche fumier équin	35,00	%		Kleinpeter & Vayssières (2019)
Taux de matière sèche fumier lapin	20,20	%		Chabaliere et al. (2006)
Taux de matière sèche fumier ovin/caprin	37,00	%		Kleinpeter & Vayssières (2019)
Taux de matière sèche fumier volaille	60,00	%		Kleinpeter & Vayssières (2019)
Taux de matière sèche lisier bovin	4,00	%		Kleinpeter & Vayssières (2019)
Taux de matière sèche lisier porcin	5,00	%		Kleinpeter & Vayssières (2019)

Annexe 3.C : Spatialisation des rendements en bagasse (fraction fibreuse de la canne à sucre) à La Réunion



Annexe 3.D : Spatialisation des recommandations d'apport en azote « disponible » pour les parcelles de canne à sucre à La Réunion



Annexe 3.E : Calibrage des autres flux de biomasses et d'électricité

Nom du paramètre	Valeur	Unité	Remarques éventuelles	Source(s)
Consommation azotée des cultures horticoles non alimentaires	200,00	kg NH3/ha	La culture de référence choisie est celle du géranium rosat (<i>Pelargonium graveolens</i>)	Association pour la Promotion en milieu Rural et al. (1992) ; hypothèse modélisateur
Exportations de fruits-légumes du territoire	3634,00	tMB	Les volumes d'import-export sont estimés à partir des déclarations des filières et retirées du total : ne sont considérées que les exportations de produits locaux	Douanes Réunion (2020) ; DAAF Réunion (2020 a)
Exportations de viandes-poissons-œufs du territoire	6551	tMB	Les volumes d'import-export sont estimés à partir des déclarations des filières et retirées du total : ne sont considérées que les exportations de produits locaux	Douanes Réunion (2020) ; DAAF Réunion (2019 d)
Gisement de biodéchets par habitant	0,027	tMS / habitant	Gisement de 2017, ramené à la population de 2017 ; supposé transposable à 2019	SPL Horizon Réunion (2017 a) ; SPL Horizon Réunion (2017 b) ; INSEE (2019 b)
Gisement de bois de palettes	9500,00	tMB		SPL Horizon Réunion (2017 a) ; SPL Horizon Réunion (2017 b)
Gisement de boues de STEU et	0,08	tMB / habitant		SPL Horizon Réunion (2017 a) ; SPL Horizon Réunion (2017 b) ; INSEE (2022)

industrielles par habitant				
Gisement de déchets carnés et pêche en fonction de la production de viande	0,46	tMB / tMB		SPL Horizon Réunion (2017 a) ; SPL Horizon Réunion (2017 b) ; ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022) ; DAAF R2union (2020 c)
Gisement de déchets végétaux par hectare de tache urbaine	1,31	tMS / ha	Gisement de 2019 ramené à la surface de la tache urbaine calculée (CCUS-2019)	SPL Horizon Réunion (2017 a) ; SPL Horizon Réunion (2017 b)
Gisement d'écumes de sucreries par tonnage de canne usinable	0,05	tMB / ha	Gisement de 2019 ramené à la production de canne usinable en 2019	SPL Horizon Réunion (2017 a) ; SPL Horizon Réunion (2017 b)
Gisement de vinasses de distillerie en fonction de la masse de mélasse distillée	12,60	tMB / tMB		SPL Horizon Réunion (2017 a) ; SPL Horizon Réunion (2017 b)
Gisement de mélasse en fonction de la masse de canne usinable	0,037	tMB / tMB	Moyenne des rendements en mélasse par rapport aux tonnages livrés de canne pour les années 2000, 2015 et 2019	CTICS (2019) ; Cultures Sucre (2020) ; site internet DAAF Réunion ; site internet MVAD
Potentiel bioélectrique de la bagasse de canne à sucre par combustion	0,48	MWhe/tMB	Moyenne des rendements de conversion mesurés sur 10 ans (2009 - 2019) par la SPL Horizon Réunion	SPL Horizon Réunion (2020)
Potentiel bioélectrique de la mélasse par fermentation-distillation-combustion	0,35	MWhe/tMB	La valeur prend en compte la conversion de la mélasse en bioéthanol puis la valorisation électrique de ce bioéthanol par turbine à combustion ; moyenne des rendements de la conversion du bioéthanol observés sur 2 ans (2018-2019) et rendement de la conversion de la mélasse en bioéthanol d'après la SPL Horizon Réunion (2017)	SPL Horizon Réunion (2017) ; SPL Horizon Réunion (2020) ; SPL Horizon Réunion (2019)
Potentiel bioélectrique des biodéchets par méthanisation (décharge)	0,50	MWhe/tMS	Selon le ratio de biomasses méthanisées et l'électricité produite à partir de biogaz en 2019	SPL Horizon Réunion (2020) ; SPL Horizon Réunion (2017 b)
Potentiel bioélectrique des boues de STEU et industrielle par méthanisation	0,10	Mwhe/tMB	Selon le ratio de biomasses méthanisées et l'électricité produite à partir de biogaz en 2019	SPL Horizon Réunion (2020) ; SPL Horizon Réunion (2017 b)
Potentiel bioélectrique des vinasses de distillerie par méthanisation	0,03	MWhe/tMB	Selon le ratio de biomasses méthanisées et l'électricité produite à partir de biogaz en 2019	SPL Horizon Réunion (2020) ; SPL Horizon Réunion (2017 b)
Potentiel fertilisant azoté des biodéchets	9,00	kg NH3/tMS	Calcul de l'équivalent "azote minéral disponible" pour un compost d'ordures ménagères	Chabalier et al. (2006) ; Chambre d'agriculture d'Occitanie (2011)
Potentiel fertilisant azoté des boues de STEU et industrielle	3,68	kg NH3/tMB	Calcul de l'équivalent "azote minéral disponible" pour une boue d'épuration liquide	Chabalier et al. (2006)
Potentiel fertilisant azoté des déchets carnés et pêche	4,92	kg NH3/tMB	Attention : seulement 40% de l'engrais produit est distribué aux agriculteurs locaux	Chambre d'agriculture de La Réunion (2020 b)
Potentiel fertilisant azoté des écumes de sucreries	0,88	kg NH3/tMB	Calcul de l'équivalent "azote minéral disponible" pour une écume de sucrerie compostée	Chabalier et al. (2006)

Potentiel fertilisant azoté des vinasses de distillerie	0,45	kg NH3/tMB	Calcul de l'équivalent "azote minéral disponible" pour une vinasse	Chabalier et al. (2006)
Potentiel fertilisant des déchets végétaux	0,45	kg NH3/tMS	Calcul de l'équivalent "azote minéral disponible" pour un compost de déchets verts	Chabalier et al. (2006)
Potentiel fertilisant des digestats de boues de STEU	5,93	kg NH3/tMS boues	Calcul de l'équivalent azote ammoniacal (moyenne pour boues de traitement urbaines séchées)	ADEME (2011)
Potentiel fertilisant des digestats de vinasses	25,51	kg NH3/tMS vinasses	Calcul de l'équivalent azote ammoniacal (moyenne pour industries agroalimentaires)	ADEME (2011)
Réduction du volume des boues de STEU par méthanisation	0,19	tMS / tMB	Volume de digestat selon moyenne des installations en Ile de France (seules données à disposition)	Préfecture Ile de France et al. (2022)
Réduction du volume des vinasses par méthanisation	0,03	tMS / tMB	Quantité de digestat produit rapporté à la quantité de vinasses en 2019	Chambre d'agriculture de La Réunion (2020 c)
Production annuelle globale d'affouragement vert	33612,00	tMS		Magnier (2019)
Production d'électricité de sources locales mais hors bioélectricité	689400,00	Mwhe	Seuls sont comptés l'hydroélectrique, le photovoltaïque et l'éolien	SPL Horizon Réunion (2020)
Production locale des pêcheries industrielles	1812,00	tMB		ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022)
Ratio de biodéchets valorisés en méthanisation (décharges)	100,00	%		SPL Horizon Réunion (2017 a) ; SPL Horizon Réunion (2017 b)
Ratio de bois de palettes valorisé en fertilisation	3,10	%		SPL Horizon Réunion (2017 a) ; SPL Horizon Réunion (2017 b)
Ratio de boues de STEU et industrielle valorisées en fertilisation	14,20	%		SPL Horizon Réunion (2017 a) ; SPL Horizon Réunion (2017 b)
Ratio de boues de STEU et industrielle valorisées en méthanisation	19,30	%		SPL Horizon Réunion (2017 a) ; SPL Horizon Réunion (2017 b)
Ratio de déchets carnés et de pêche valorisés en fertilisation	76,20	%		SPL Horizon Réunion (2017 a) ; SPL Horizon Réunion (2017 b)
Ratio de déchets végétaux valorisés en fertilisation	36,80	%		SPL Horizon Réunion (2017 a) ; SPL Horizon Réunion (2017 b)
Ratio de mélasse valorisée en alimentation animale	16,00	%		SPL Horizon Réunion (2017 a) ; SPL Horizon Réunion (2017 b)
Ratio de mélasse valorisée en turbine à combustion après fermentation-distillation	28,57	%		SPL Horizon Réunion (2017 a) ; SPL Horizon Réunion (2017 b)

Ratio de vinasses de distillerie valorisées en fertilisation	4,70	%		SPL Horizon Réunion (2017 a) ; SPL Horizon Réunion (2017 b)
Ratio de vinasses de distillerie valorisées en méthanisation	36,40	%		SPL Horizon Réunion (2017 a) ; SPL Horizon Réunion (2017 b)
Ratio d'écumes de sucreries valorisées en fertilisation	100,00	%		SPL Horizon Réunion (2017 a) ; SPL Horizon Réunion (2017 b)
Ratio en féculents de la mélasse en alimentation animale	73,50	%	Ratio pour des tMB	Christon & Dividich (1978) ; France Melasses (2004)
Ratio en féculents des biodéchets en alimentation animale	76,98	%	Ratio pour des tMS	Calcul modélisateur basé sur la consommation alimentaire de 2019 ; ADEME (2016 a)
Ratio en protéagineux des biodéchets en alimentation animale	23,02	%	Ratio pour des tMS	Calcul modélisateur basé sur la consommation alimentaire de 2019 ; ADEME (2016 a)

Annexe 4 : Détail chiffré des flux de matière et d'électricité simulés dans ProdAgri pour le territoire d'étude en 2019 (après calage des variables concernées)

Nom du paramètre	Valeur	Unité
Besoins recommandés totaux en azote "disponible"	7244,67	téq NH3
Consommation de féculents	245444,85	tMB
Consommation de fruits et légumes	178098,23	tMB
Consommation de produits laitiers	76389,33	tMB
Consommation de protéagineux	7320,29	tMB
Consommation de viandes, poissons et œufs	95766,55	tMB
Consommation d'oléagineux	14209,97	tMB
Consommation totale d'aliments par la population	617229,21	tMB
Consommation totale de féculents du cheptel	69310,74	tMS
Consommation totale de féculents du cheptel de monogastriques	49885,95	tMS
Consommation totale de féculents du cheptel de polygastriques	19424,78	tMS
Consommation totale de fourrage du cheptel	110546,16	tMS
Consommation totale de protéagineux du cheptel	31948,87	tMS
Consommation totale de protéagineux du cheptel de monogastriques	19626,89	tMS
Consommation totale de protéagineux du cheptel de polygastriques	12321,98	tMS
Consommation totale d'électricité	3061601,55	MWhe
Consommation totale du cheptel	211805,77	tMS
Gisement de bagasse	530373,19	tMB
Gisement de digestat de méthanisation de boues de STEU	4996,13	tMS
Gisement de digestat de méthanisation de vinasses	9066,89	tMS
Gisement de mélasse	77683,29	tMB
Gisement total de digestat de méthanisation	14063,02	tMS
Gisements d'effluents d'élevage	52920,17	tMS
Production bioélectrique totale	276886,67	MWhe
Production de bioélectricité par combustion	254048,76	Mwhe
Production de bioélectricité par méthanisation d'autres biomasses	15094,38	Mwhe
Production de bioélectricité par turbine à combustion	7743,53	Mwhe
Production de féculents	6014,70	tMB
Production de fruits et légumes	141279,11	tMB
Production de produits laitiers	18956,32	tMB
Production de protéagineux	714,41	tMB
Production de viandes, poissons et œufs (en équivalent carcasse et équivalent ovoproduit)	38923,66	tMB
Production d'oléagineux	0,00	tMB
Production locale d'affouragement vert	33612,00	tMS
Production locale de féculents pour l'alimentation du cheptel	9135,55	tMS
Production locale de fourrage	86140,10	tMS
Production locale de paille de canne exportée comme fourrage	6277,11	tMS
Production locale de protéagineux pour l'alimentation du cheptel	0,00	tMS
Production locale globale de fourrages de tous types	126029,21	tMS

Production totale d'aliments pour la population	197643,20	tMB
Production totale d'azote "disponible"	1180,09	téq NH3
Production totale d'azote "disponible" à partir d'autres biomasses agricoles	331,04	téq NH3
Production totale d'azote "disponible" à partir d'autres biomasses non agricoles	122,36	téq NH3
Production totale d'azote "disponible" à partir d'effluents d'élevage	726,70	téq NH3
Production totale de bioélectricité par méthanisation	15094,38	Mwhe
Taux de couverture des besoins de fertilisation des cultures en azote "disponible"	13,70	%
Taux de couverture des besoins électriques par de la bioélectricité locale	9,57	%
Taux de couverture électrique global	33,76	%
Taux de couverture en fourrage pour le cheptel	114,01	%
Taux de couverture en alimentation de concentrés pour le cheptel	9,02	%
Taux de couverture en féculents pour l'alimentation humaine	2,1	%
Taux de couverture en fruits et légumes pour l'alimentation humaine	71,5	%
Taux de couverture en huiles végétales pour l'alimentation humaine	0,0	%
Taux de couverture en produits laitiers pour l'alimentation humaine	22,0	%
Taux de couverture en protéagineux pour l'alimentation humaine	5,8	%
Taux de couverture en viandes, poissons et œufs pour l'alimentation humaine	31,3	%
Taux de couverture global pour l'alimentation du cheptel	44,98	%
Taux de couverture global pour l'alimentation humaine	28,41	%

Annexe 5 : Matrices d'influence directe et indirecte construites à dire d'acteurs (et générées avec le logiciel Micmac)

Annexe 5.A : Matrice d'influence directe

	1 : FRAGL	2 : FALCO	3 : NATCO	4 : SOLAR	5 : FOSYS	6 : PASYS	7 : CASYS	8 : URBAN	9 : NATRE	10 : OPPOL	11 : BIOEL	12 : CONSO	13 : POGRO	14 : ELMIX	15 : WASMA	16 : LISYS	17 : ADAPT	18 : POLDI	19 : GOVET	20 : DISTR
1 : FRAGL	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 : FALCO	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0
3 : NATCO	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0
4 : SOLAR	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
5 : FOSYS	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
6 : PASYS	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
7 : CASYS	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0
8 : URBAN	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
9 : NATRE	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
10 : OPPOL	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0
11 : BIOEL	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
12 : CONSO	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1
13 : POGRO	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
14 : ELMIX	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15 : WASMA	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16 : LISYS	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
17 : ADAPT	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0
18 : POLDI	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
19 : GOVET	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
20 : DISTR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

© LPSOR-EPITA-MICMAC

Annexe 5.B : Matrice d'influence indirecte

	1 : FRAGL	2 : FALCO	3 : NATCO	4 : SOLAR	5 : FOSYS	6 : PASYS	7 : CASYS	8 : URBAN	9 : NATRE	10 : OPPOL	11 : BIOEL	12 : CONSO	13 : POGRO	14 : ELMIX	15 : WASMA	16 : LISYS	17 : ADAPT	18 : POLDI	19 : GOVET	20 : DISTR
1 : FRAGL	254	253	123	125	363	356	363	295	335	26	173	42	3	57	333	282	43	23	211	5
2 : FALCO	387	394	188	199	569	559	577	454	524	44	274	66	5	84	513	434	69	39	327	6
3 : NATCO	365	365	177	184	527	518	534	423	489	41	255	62	5	80	481	407	64	36	307	5
4 : SOLAR	209	209	100	108	303	299	308	241	284	23	148	36	2	43	275	231	34	21	173	3
5 : FOSYS	420	430	204	216	640	627	632	507	574	49	310	69	5	96	563	476	75	45	353	10
6 : PASYS	365	367	178	190	545	536	543	431	495	42	266	63	5	82	484	407	63	38	303	8
7 : CASYS	349	359	168	188	519	510	527	410	478	40	253	62	5	76	464	391	60	36	292	7
8 : URBAN	330	334	162	160	488	475	483	392	440	36	229	53	4	76	438	372	60	32	277	8
9 : NATRE	441	446	212	229	663	652	662	523	606	52	325	74	5	97	586	496	75	48	366	9
10 : OPPOL	514	526	247	262	775	760	772	614	708	59	376	83	5	114	688	584	88	55	428	12
11 : BIOEL	203	197	101	97	301	295	296	239	270	24	147	33	3	47	268	226	38	21	171	3
12 : CONSO	97	90	49	50	133	132	138	105	126	10	68	19	2	21	123	103	17	8	81	1
13 : POGRO	74	76	36	41	112	112	115	86	105	7	56	14	0	12	99	79	11	7	60	1
14 : ELMIX	47	53	22	24	71	70	74	58	67	5	33	6	0	10	65	57	9	5	42	1
15 : WASMA	222	224	108	109	309	301	315	255	288	23	144	37	4	52	290	249	40	19	188	4
16 : LISYS	285	292	137	148	419	409	420	337	383	33	201	48	5	68	378	324	50	29	239	7
17 : ADAPT	378	381	185	188	554	542	556	444	505	42	264	62	5	85	499	424	69	37	319	7
18 : POLDI	345	348	171	173	509	500	510	405	464	36	246	59	4	76	459	384	62	32	290	7
19 : GOVET	377	379	185	192	535	524	541	434	495	38	257	68	6	85	498	415	65	32	315	7
20 : DISTR	9	12	4	3	18	16	16	14	15	2	7	1	0	3	15	14	2	2	8	1

© LPSOR-EPTA-MICMAC

Annexe 6 : Constantes d'entrée propres au fonctionnement de ProdRun (complémentaires avec celles présentes dans l'Annexe 3)

Annexe 6.A : Nouvelles sources de bioélectricité

Nom du paramètre	Valeur	Unité	Remarques éventuelles	Source(s)
Potentiel bioélectrique des biodéchets en méthanisation	0,50	MWhe / tMS	Estimation du potentiel des biodéchets en utilisant la production électrique des vinasses méthanisées comme référence, ajustée selon les potentiels méthanogènes (respectivement 70 m3 CH4 / tMB et 12,9 m3 CH4 / tMB)	SPL Horizon Réunion (2017 a)
Potentiel bioélectrique des boues de STEU et industrielle par combustion	0,25	MWhe / tMB	Estimation du potentiel des boues en utilisant la production électrique de la bagasse en combustion comme référence, ajustée selon les pouvoirs calorifiques inférieurs (respectivement 3800 kWh / tMS et 4400 kWh / tMS)	SPL Horizon Réunion (2017 a)
Potentiel bioélectrique des déchets carnés et de la pêche par méthanisation	0,19	MWhe / tMB	Estimation du potentiel des déchets carnés et de pêche en utilisant la production électrique des vinasses méthanisées comme référence, ajustée selon les potentiels méthanogènes (respectivement 87,1 m3 CH4 / tMB en moyenne et 12,9 m3 CH4 / tMB)	SPL Horizon Réunion (2017 a) ; IFIP (2021)
Potentiel bioélectrique des déchets végétaux par combustion	1,10	MWhe / tMS	Estimation du potentiel des déchets végétaux en utilisant la production électrique de la bagasse en combustion comme référence, ajustée selon les pouvoirs calorifiques inférieurs (respectivement 5060 kWh / tMS et 4400 kWh / tMS)	SPL Horizon Réunion (2017 a)
Potentiel bioélectrique des déchets végétaux par méthanisation	0,51	MWhe / tMS	Estimation du potentiel des déchets végétaux en utilisant la production électrique des vinasses méthanisées comme référence, ajustée selon les potentiels méthanogènes (respectivement 231,2 m3 CH4 / tMS en moyenne et 12,9 m3 CH4 / tMB)	SPL Horizon Réunion (2017 a) ; IFIP (2021)
Potentiel bioélectrique du bois de forêt et résidus d'exploitation par combustion	1,10	MWhe / tMS	Pouvoir calorifique inférieur identique à celui des déchets végétaux (en considérant la matière sèche)	SPL Horizon Réunion (2017 a)
Potentiel bioélectrique du bois de palettes par combustion	0,83	MWhe / tMB	Estimation du potentiel du broyat de palette en utilisant la production électrique de la bagasse en combustion comme référence, ajustée selon les pouvoirs calorifiques inférieurs (respectivement 5060 kWh / tMS et 4400 kWh / tMS)	SPL Horizon Réunion (2017 a)
Potentiel bioélectrique en méthanisation du fumier bovin	0,13	MWhe / tMB	Estimation du potentiel du fumier bovin en utilisant la production électrique des vinasses méthanisées comme référence, ajustée selon les potentiels méthanogènes (respectivement 57,6 m3 CH4 / tMB en moyenne et 12,9 m3 CH4 / tMB)	SPL Horizon Réunion (2017 a) ; Farinet (2010) ; IFIP (2021) ; Kleinpeter & Vayssières (2019)

Potentiel bioélectrique en méthanisation du lisier bovin	0,02	MWhe / tMB	Estimation du potentiel du lisier bovin en utilisant la production électrique des vinasses méthanisées comme référence, ajustée selon les potentiels méthanogènes (respectivement 8,0 m3 CH4 / tMB en moyenne et 12,9 m3 CH4 / tMB)	SPL Horizon Réunion (2017 a) ; Farinet (2010) ; IFIP (2021) ; Kleinpeter & Vayssières (2019)
Potentiel bioélectrique en méthanisation du lisier porcin	0,03	MWhe / tMB	Estimation du potentiel du lisier porcin en utilisant la production électrique des vinasses méthanisées comme référence, ajustée selon les potentiels méthanogènes (respectivement 11,6 m3 CH4 / tMB en moyenne et 12,9 m3 CH4 / tMB)	SPL Horizon Réunion (2017 a) ; Farinet (2010) ; IFIP (2021) ; Kleinpeter & Vayssières (2019)
Potentiel bioélectrique en méthanisation du fumier de volaille	0,33	MWhe / tMB	Estimation du potentiel du fumier de volaille en utilisant la production électrique des vinasses méthanisées comme référence, ajustée selon les potentiels méthanogènes (respectivement 149,8 m3 CH4 / tMB en moyenne et 12,9 m3 CH4 / tMB)	SPL Horizon Réunion (2017 a) ; IFIP (2021) ; Kleinpeter & Vayssières (2019)
Potentiel bioélectrique en méthanisation des fientes de poules pondeuses	0,27	MWhe / tMB	Estimation du potentiel des fientes de poules en utilisant la production électrique des vinasses méthanisées comme référence, ajustée selon les potentiels méthanogènes (respectivement 124,2 m3 CH4 / tMB en moyenne et 12,9 m3 CH4 / tMB)	SPL Horizon Réunion (2017 a) ; Farinet (2010) ; IFIP (2021) ; Kleinpeter & Vayssières (2019)
Potentiel bioélectrique en méthanisation du fumier de lapin	0,09	MWhe / tMB	Estimation du potentiel du fumier de lapin en utilisant la production électrique des vinasses méthanisées comme référence, ajustée selon les potentiels méthanogènes (respectivement 42,7 m3 CH4 / tMB en moyenne et 12,9 m3 CH4 / tMB)	SPL Horizon Réunion (2017 a) ; IFIP (2021) ; Kleinpeter & Vayssières (2019)
Potentiel bioélectrique en méthanisation du fumier de cheval	0,20	MWhe / tMB	Estimation du potentiel du fumier de cheval en utilisant la production électrique des vinasses méthanisées comme référence, ajustée selon les potentiels méthanogènes (respectivement 90,5 m3 CH4 / tMB en moyenne et 12,9 m3 CH4 / tMB)	SPL Horizon Réunion (2017 a) ; IFIP (2021) ; Kleinpeter & Vayssières (2019)
Potentiel bioélectrique en méthanisation du fumier ovin/caprin	0,14	MWhe / tMB	Estimation du potentiel du fumier ovin/caprin en utilisant la production électrique des vinasses méthanisées comme référence, ajustée selon les potentiels méthanogènes (respectivement 64,1 m3 CH4 / tMB en moyenne et 12,9 m3 CH4 / tMB)	SPL Horizon Réunion (2017 a) ; IFIP (2021) ; Kleinpeter & Vayssières (2019)

Annexe 6.B : Nouvelles biomasses

Nom du paramètre	Valeur	Unité	Remarques éventuelles	Source(s)
Potentiel fertilisant des digestats de biodéchets	52,27	Kg NH3 / tMS	En comptant la masse globale de digestats solide et liquide pour un mélange en entrée de 50% de biodéchets et 50% de déchets végétaux	Hatik (2020)

Potentiel fertilisant des digestats de déchets végétaux	52,27	Kg NH3 / tMS	En comptant la masse globale de digestats solide et liquide pour un mélange en entrée de 50% de biodéchets et 50% de déchets végétaux	Hatik (2020)
Potentiel fertilisant des digestats de déchets carnés et de pêche	47,62	Kg NH3 / tMS	Pour un mélange en entrée dominé par des sous-produits animaux	ADEME (2011)
Réduction du volume des biodéchets par méthanisation	0,90	tMS / tMS	Volume de digestat selon moyenne des installations en Ile de France (seules données à disposition)	Préfecture Ile de France et al. (2022)
Réduction du volume des déchets végétaux par méthanisation	0,90	tMS / tMS	Volume de digestat selon moyenne des installations en Ile de France (seules données à disposition)	Préfecture Ile de France et al. (2022)
Réduction du volume des déchets carnés et de pêche par méthanisation	0,16	tMS / tMB	Volume de digestat selon moyenne des installations en Ile de France (seules données à disposition)	Préfecture Ile de France et al. (2022)
Potentiel fertilisant des digestats de fumier bovin	13,17	Kg NH3 / tMS	Valeur pour digestat d'un mélange fumier et lisier bovin	ADEME (2011)
Potentiel fertilisant des digestats de lisier bovin	13,17	Kg NH3 / tMS	Valeur pour digestat d'un mélange fumier et lisier bovin	ADEME (2011)
Potentiel fertilisant des digestats de lisier porcin	34,53	Kg NH3 / tMS	Valeur pour digestat d'un mélange fumier et lisier porcin	ADEME (2011)
Potentiel fertilisant des digestats de fumier de volaille	13,17	Kg NH3 / tMS	Par hypothèse, on réutilise la valeur pour digestat d'un mélange fumier et lisier bovin	Hypothèse modélisateur
Potentiel fertilisant des digestats de fientes de poules	13,17	Kg NH3 / tMS	Par hypothèse, on réutilise la valeur pour digestat d'un mélange fumier et lisier bovin	Hypothèse modélisateur
Potentiel fertilisant des digestats de fumier de lapin	13,17	Kg NH3 / tMS	Par hypothèse, on réutilise la valeur pour digestat d'un mélange fumier et lisier bovin	Hypothèse modélisateur
Potentiel fertilisant des digestats de fumier de cheval	13,17	Kg NH3 / tMS	Par hypothèse, on réutilise la valeur pour digestat d'un mélange fumier et lisier bovin	Hypothèse modélisateur
Potentiel fertilisant des digestats de fumier d'ovin / caprin	13,17	Kg NH3 / tMS	Par hypothèse, on réutilise la valeur pour digestat d'un mélange fumier et lisier bovin	Hypothèse modélisateur
Réduction du volume de fumier bovin par méthanisation	0,25	tMS / tMB	Volume de digestat selon moyenne des installations en Ile de France (seules données à disposition) ; croisement avec taux de matière sèche (données locales)	Préfecture Ile de France et al. (2022) ; Kleinpeter & Vayssières (2019)
Réduction du volume de lisier bovin par méthanisation	0,04	tMS / tMB	Volume de digestat selon moyenne des installations en Ile de France (seules données à disposition) ; croisement avec taux de matière sèche (données locales)	Préfecture Ile de France et al. (2022) ; Kleinpeter & Vayssières (2019)
Réduction du volume de lisier porcin par méthanisation	0,05	tMS / tMB	Volume de digestat selon moyenne des installations en Ile de France (seules données à disposition) ; croisement avec taux de matière sèche (données locales)	Préfecture Ile de France et al. (2022) ; Kleinpeter & Vayssières (2019)
Réduction du volume de fumier de volailles par méthanisation	0,54	tMS / tMB	Volume de digestat selon moyenne des installations en Ile de France (seules données à disposition) ; croisement avec taux de matière sèche (données locales)	Préfecture Ile de France et al. (2022) ; Kleinpeter & Vayssières (2019)
Réduction du volume de fientes de poules par méthanisation	0,44	tMS / tMB	Volume de digestat selon moyenne des installations en Ile de France (seules données à disposition) ; croisement avec taux de matière sèche (données locales)	Préfecture Ile de France et al. (2022) ; Kleinpeter & Vayssières (2019)

Réduction du volume de fumier de lapin par méthanisation	0,18	tMS / tMB	Volume de digestat selon moyenne des installations en Ile de France (seules données à disposition) ; croisement avec taux de matière sèche (données locales)	Préfecture Ile de France et al. (2022) ; Kleinpeter & Vayssières (2019)
Réduction du volume de fumier de cheval par méthanisation	0,32	tMS / tMB	Volume de digestat selon moyenne des installations en Ile de France (seules données à disposition) ; croisement avec taux de matière sèche (données locales)	Préfecture Ile de France et al. (2022) ; Kleinpeter & Vayssières (2019)
Réduction du volume de fumier d'ovin/caprin par méthanisation	0,33	tMS / tMB	Volume de digestat selon moyenne des installations en Ile de France (seules données à disposition) ; croisement avec taux de matière sèche (données locales)	Préfecture Ile de France et al. (2022) ; Kleinpeter & Vayssières (2019)

Annexe 6.C : Constantes liées aux processus spatiaux

Nom du paramètre	Valeur	Unité	Remarques éventuelles	Source(s)
Seuil d'effondrement de la filière industrielle cannière	80	%	Par rapport à la production de canne usinable de 2019	Hypothèse de l'auteur orientée par plusieurs entretiens : [SCV/06], [SCV/16] et [SCV/20]
Nouveaux logements dus à la croissance démographique (CASUD)	397	Logement / an	Besoin total entre 2013 et 2035 du scénario bas, corrigé de 0,20% pour correspondre au recensement de 2019 ; ramené à une croissance annuelle régulière ; supposé valable sur la période 2019 - 2040	INSEE (2018) ; hypothèse modélisateur
Nouveaux logements dus à la croissance démographique (CINOR)	1217	Logement / an	Besoin total entre 2013 et 2035 du scénario bas, corrigé de 0,20% pour correspondre au recensement de 2019 ; ramené à une croissance annuelle régulière ; supposé valable sur la période 2019 - 2040	INSEE (2018) ; hypothèse modélisateur
Nouveaux logements dus à la croissance démographique (CIREST)	483	Logement / an	Besoin total entre 2013 et 2035 du scénario bas, corrigé de 0,20% pour correspondre au recensement de 2019 ; ramené à une croissance annuelle régulière ; supposé valable sur la période 2019 - 2040	INSEE (2018) ; hypothèse modélisateur
Nouveaux logements dus à la croissance démographique (CIVIS)	864	Logement / an	Besoin total entre 2013 et 2035 du scénario bas, corrigé de 0,20% pour correspondre au recensement de 2019 ; ramené à une croissance annuelle régulière ; supposé valable sur la période 2019 - 2040	INSEE (2018) ; hypothèse modélisateur
Nouveaux logements dus à la croissance démographique (TCO)	409	Logement / an	Besoin total entre 2013 et 2035 du scénario bas, corrigé de 0,20% pour correspondre au recensement de 2019 ; ramené à une croissance annuelle régulière ; supposé valable sur la période 2019 - 2040	INSEE (2018) ; hypothèse modélisateur
Nouveaux logements hors croissance démographique (CASUD)	161	Logement / an	Part de logements non imputables à la croissance démographique à laquelle on retranche les renouvellements de logements qui n'augmentent pas l'emprise au sol ; données du scénario central	INSEE (2018) ; hypothèse modélisateur

			transposées proportionnellement au scénario bas par hypothèse	
Nouveaux logements hors croissance démographique (CINOR)	209	Logement / an	Part de logements non imputables à la croissance démographique à laquelle on retranche les renouvellements de logements qui n'augmentent pas l'emprise au sol ; données du scénario central transposées proportionnellement au scénario bas par hypothèse	INSEE (2018) ; hypothèse modélisateur
Nouveaux logements hors croissance démographique (CIREST)	145	Logement / an	Part de logements non imputables à la croissance démographique à laquelle on retranche les renouvellements de logements qui n'augmentent pas l'emprise au sol ; données du scénario central transposées proportionnellement au scénario bas par hypothèse	INSEE (2018) ; hypothèse modélisateur
Nouveaux logements hors croissance démographique (CIVIS)	265	Logement / an	Part de logements non imputables à la croissance démographique à laquelle on retranche les renouvellements de logements qui n'augmentent pas l'emprise au sol ; données du scénario central transposées proportionnellement au scénario bas par hypothèse	INSEE (2018) ; hypothèse modélisateur
Nouveaux logements hors croissance démographique (TCO)	357	Logement / an	Part de logements non imputables à la croissance démographique à laquelle on retranche les renouvellements de logements qui n'augmentent pas l'emprise au sol ; données du scénario central transposées proportionnellement au scénario bas par hypothèse	INSEE (2018) ; hypothèse modélisateur
Puissance installée par hectare de périmètre de photovoltaïque au sol	697,06	kWc / ha	Valeur calculée pour 2019 et considérée constante ;	Analyse de 13 installations locales (voir Annexe 8. B)

Annexe 6.D : Coefficients de calage des productions végétales

Nom du paramètre	Valeur	Unité	Remarques éventuelles	Source(s)
Coefficient de calage pour la production maraîchère de féculents	48.0	%		Voir chapitre III.3.1.2
Coefficient de calage pour la production maraîchère et des vergers de fruits et légumes frais	74.0	%		Voir chapitre III.3.1.2
Coefficient de calage pour la production de bagasse	80.0	%		Voir chapitre III.3.1.2
Coefficient de calage pour la production de fourrage	68.0	%		Voir chapitre III.3.1.2

Annexe 7 : Calibrage quantitatif des 5 scénarios co-construits par des variables contraintes

Annexe 7.A : Variables contraintes partagées

Variable contrainte (unité)	Année	Valeur	Méthode d'estimation et/ou source(s)
Population (Nombre d'habitants)	2019	861210	Voir Annexe 3. A
	2020	865658	
	2021	869979	Données prospectives de l'INSEE (2018) du scénario « bas » légèrement corrigées (0,20%) pour correspondre à la population réelle de 2019
	2022	874267	
	2023	878431	
	2024	882540	
	2025	886529	
	2026	890426	
	2027	894247	
	2028	897974	
	2029	901656	
	2030	905271	
	2031	908839	
	2032	912342	
	2033	915790	
	2034	919160	
	2035	922496	
	2036	925732	Extrapolation linéaire de la croissance de la population sur la période 2019 - 2035
	2037	928932	
	2038	932080	
2039	935184		
	2040	938235	

Annexe 7.B : Scénario de référence – « Extrapolation » (S1)

Objectifs et paramètres principaux des processus spatiaux

Processus spatial	Objectif (unité)	Année ou période	Valeur	Méthode d'estimation et/ou source(s)
Diversification de la canne à sucre	Taux annuel de diversification (%)	2019-2040	1,4	Analyse spatiale des parcelles diversifiées sur la période 2016-2019 selon les cartes de Dupuy (2017, 2018, 2019) ; estimation de la part d'horticulture non alimentaire à partir de DAAF Réunion (2020 a) ; paramètres supposés constants en entrée mais modifiés automatiquement par l'algorithme si une production devient trop importante par rapport aux besoins locaux
	Part de diversification en maraichage (%)	2019-2040	12,6	
	Part de diversification en vergers (%)	2019-2040	72,1	
	Part de diversification en horticulture non alimentaire (%)	2019-2040	1,3	
	Part de diversification en prairies (%)	2019-2040	14	
Etalement urbain	Densification des pôles urbains (%)	2019-2040	0,2	Croissance du nombre de logements par hectare d'après Agorah (2017 a) ; supposé constant
	Surface d'extensions urbaines par an (ha)	2019-2040	40,5	Estimé par analyse spatiale sur la période 2016-2019 ; augmente proportionnellement avec la population chaque année
Conversion de friches	Processus inactif			
Installation de photovoltaïque au sol	Part de la production du photovoltaïque installée au sol (%)	2019-2040	31	Valeur mesurée pour 2019 et considérée constante ; analyse de 13 installations locales et comparaison de leur contribution à la puissance installée totale d'après SPL Horizon Réunion (2020)
	Zones d'implantation du photovoltaïque au sol (n'est pas une variable contrainte - sans unité)	2019-2040	U et AU du PLU ainsi que friches agricoles	Voir Annexe 8.A.6 pour le choix des zonages ; la possibilité d'installer du photovoltaïque au sol sur les friches agricoles a été soulevée en entretien [SCV/11]

Autres variables contraintes

3.2.1 Besoins alimentaires et électriques par habitant

Variable contrainte (unité)	Année ou période	Valeur	Méthode d'estimation et/ou source(s)
Consommation de viandes, poissons, œufs sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	113,41	Extrapolation linéaire grâce aux consommations calculées en 2010 et 2019 ; Douanes Réunion (2020); DAAF ; INSEE ; IEDOM ; Chambre d'Agriculture de La Réunion ; ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022)
	2020	113,32	
	2021	113,22	
	2022	113,13	
	2023	113,03	
	2024	112,94	
	2025	112,85	
2026	112,75		

	2027	112,66	
	2028	112,56	
	2029	112,47	
	2030	112,38	
	2031	112,28	
	2032	112,19	
	2033	112,09	
	2034	112,00	
	2035	111,91	
	2036	111,81	
	2037	111,72	
	2038	111,62	
	2039	111,53	
	2040	111,44	
Consommation de produits laitiers sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	89,62	Voir Annexe 3. A
	2020	91,06	Extrapolation linéaire grâce aux consommations calculées en 2010 et 2019 ; Douanes Réunion (2020); DAAF ; INSEE; IEDOM ; Chambre d'Agriculture de La Réunion ; ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022)
	2021	92,50	
	2022	93,94	
	2023	95,38	
	2024	96,82	
	2025	98,26	
	2026	99,70	
	2027	101,14	
	2028	102,58	
	2029	104,02	
	2030	105,46	
	2031	106,90	
	2032	108,34	
	2033	109,78	
	2034	111,22	
Consommation de fruits et légumes sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	206,76	Voir Annexe 3. A
	2020	203,65	Extrapolation linéaire grâce aux consommations calculées en 2010 et 2019 ; Douanes Réunion (2020); DAAF ; INSEE; IEDOM ; Chambre d'Agriculture de La Réunion ; ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022)
	2021	200,54	
	2022	197,43	
	2023	194,32	
	2024	191,22	
	2025	188,11	
	2026	185,00	
	2027	181,89	
	2028	178,78	
	2029	175,67	
	2030	172,56	
	2031	169,45	
	2032	166,34	
	2033	163,24	
	2034	160,13	
	2019	16,52	Voir Annexe 3. A
	2020	16,57	

Consommation de matières grasses sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2021	16,63	Extrapolation linéaire grâce aux consommations calculées en 2010 et 2019 ; Douanes Réunion (2020); DAAF ; INSEE; IEDOM ; Chambre d'Agriculture de La Réunion ; ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022)
	2022	16,68	
	2023	16,73	
	2024	16,78	
	2025	16,84	
	2026	16,89	
	2027	16,94	
	2028	17,00	
	2029	17,05	
	2030	17,10	
	2031	17,16	
	2032	17,21	
	2033	17,26	
	2034	17,31	
	2035	17,37	
	Consommation de féculents sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	
2020		284,64	Extrapolation linéaire grâce aux consommations calculées en 2010 et 2019 ; Douanes Réunion (2020); DAAF ; INSEE; IEDOM ; Chambre d'Agriculture de La Réunion ; ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022)
2021		284,28	
2022		283,92	
2023		283,56	
2024		283,19	
2025		282,83	
2026		282,47	
2027		282,11	
2028		281,74	
2029		281,38	
2030		281,02	
2031		280,66	
2032		280,30	
2033		279,93	
2034		279,57	
Consommation de protéagineux sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	8,54	
	2020	8,15	Extrapolation linéaire grâce aux consommations calculées en 2010 et 2019 ; Douanes Réunion (2020); DAAF ; INSEE; IEDOM ; Chambre d'Agriculture de La Réunion ; ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022)
	2021	7,76	
	2022	7,37	
	2023	6,97	
	2024	6,58	
	2025	6,19	
	2026	5,80	
	2027	5,40	
	2028	5,01	
	2029	4,62	
	2030	4,23	
	2031	3,83	
	2032	3,44	
	2033	3,05	
	2034	2,66	
2035	2,26		
2036	1,87		

	2037	1,48	
	2038	1,09	
	2039	0,70	
	2040	0,30	
Autoconsommation de féculents (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	0,80	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Autoconsommation de matières grasses (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	0,00	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Autoconsommation de produits laitiers (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	0,00	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Autoconsommation de protéagineux (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	1,70	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Autoconsommation de viandes-poissons-œufs (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	3,20	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Autoconsommation de fruits et légumes (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	67,50	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les féculents (%)	2019 - 2040	12,85	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les fruits et légumes (%)	2019 - 2040	10,6	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les matières grasses (%)	2019 - 2040	10,6	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les produits laitiers (%)	2019 - 2040	10,6	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les protéagineux (%)	2019 - 2040	10,6	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les viandes, poissons, œufs (%)	2019 - 2040	10,6	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Seuil de saturation du marché des féculents (%)	2019 - 2040	20	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées faiblement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des fruits et légumes (%)	2019 - 2040	80	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées globalement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des protéagineux (%)	2019 - 2040	80	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées globalement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des oléagineux (%)	2019 - 2040	20	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées faiblement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des viandes, poissons et œufs (%)	2019 - 2040	80	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées globalement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario

Seuil de saturation du marché des produits laitiers (%)	2019 - 2040	80	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées globalement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des fourrages (%)	2019 - 2040	100	Hypothèse modélisateur : le fourrage consommé localement est considéré entièrement substituable par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Saturation maximale du marché des denrées alimentaires (%)	2019 - 2040	100	La saturation maximale correspond à une couverture de 100% des besoins, l'option de stock n'est pas prise en compte
Saturation maximale du marché des fourrages (%)	2019 - 2040	120	Hypothèse modélisateur : la saturation maximale bénéficie d'une marge additionnelle de 20% par rapport à la consommation locale pour tenir compte de possibles stockages inter-saisonniers
Consommation électrique (MWh / habitant / an)	2019	3,497101116	Prévisions de consommations électriques selon le scénario Azur d'EDF (2022), corrigée de 0,20% pour correspondre à l'évolution de la population dans notre étude.
	2020	3,422595794	
	2021	3,508166639	
	2022	4,110181222	
	2023	3,918193324	
	2024	3,841476079	
	2025	3,912588141	
	2026	3,987774988	
	2027	4,06694595	
	2028	4,16002272	
	2029	4,237119079	
	2030	4,327951143	
	2031	4,422502341	
	2032	4,520844766	
	2033	4,618355911	
	2034	4,728755292	
	2035	4,838172655	
2036	4,951483944		
2037	5,068335843		
2038	5,183040748		
2039	5,312774858		
2040	5,440334795		

3.2.2 Données du mix électrique du territoire

Variable contrainte (unité)	Année ou période	Valeur	Méthode d'estimation et/ou source(s)
Part de production électrique provenant de sources locales hors bioélectricité et photovoltaïque (i.e. éolien et hydroélectricité) (%)	2019	14,1	Extrapolation linéaire du mix électrique observé sur la période 2010 – 2019 d'après les données de la SPL Horizon Réunion (2020)
	2020	15,8	
	2021	15,6	
	2022	15,3	
	2023	15,1	
	2024	14,8	
	2025	14,6	
	2026	14,4	
	2027	14,1	
	2028	13,9	
	2029	13,7	
	2030	13,5	
	2031	13,3	
	2032	13,1	
2033	12,9		
2034	12,7		

	2035	12,5	
	2036	12,4	
	2037	12,2	
	2038	12,0	
	2039	11,8	
	2040	11,7	
Part de production électrique provenant de photovoltaïque toutes installations confondues (%)	2019	8,5	Extrapolation linéaire du mix électrique observé sur la période 2010 – 2019 d’après les données de la SPL Horizon Réunion (2020)
	2020	10,1	
	2021	10,5	
	2022	10,9	
	2023	11,3	
	2024	11,7	
	2025	12,1	
	2026	12,5	
	2027	12,9	
	2028	13,3	
	2029	13,6	
	2030	14,0	
	2031	14,3	
	2032	14,7	
	2033	15,0	
2034	15,3		
2035	15,6		
2036	15,9		
2037	16,2		
2038	16,5		
2039	16,8		
2040	17,1		

3.2.3 Données du cheptel

Variable contrainte (unité)	Année ou période	Valeur	Méthode d’estimation et/ou source(s)
Taille du cheptel bovin laitier (UGB)	2019	3688,00	Voir Annexe 3. B
	2020	3653,66	
	2021	3571,25	
	2022	3488,83	
	2023	3406,42	
	2024	3324,01	
	2025	3241,59	
	2026	3159,18	
	2027	3076,77	
	2028	2994,35	
	2029	2911,94	
	2030	2829,53	
	2031	2747,11	
	2032	2664,70	
	2033	2582,29	
2034	2499,87		
2035	2417,46		
2036	2335,05		
2037	2252,63		
2038	2170,22		
2039	2087,81		

	2040	2005,39	
Taille du cheptel bovin viande (UGB)	2019	17912,00	Voir Annexe 3. B
	2020	18554,84	Extrapolation linéaire des données de la période 2013-2019 ; les cheptels de la période 2013-2018 sont estimés à partir des données de production de la filière (DAAF Réunion, 2020 a) et de la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2021	18998,65	
	2022	19442,47	
	2023	19886,28	
	2024	20330,09	
	2025	20773,90	
	2026	21217,71	
	2027	21661,52	
	2028	22105,33	
	2029	22549,15	
	2030	22992,96	
	2031	23436,77	
	2032	23880,58	
	2033	24324,39	
	2034	24768,20	
	2035	25212,02	
	2036	25655,83	
	2037	26099,64	
2038	26543,45		
2039	26987,26		
2040	27431,07		
Taille du cheptel cunicole (UGB)	2019	459,64	Voir Annexe 3. B
	2020	447,76	Extrapolation linéaire des données de la période 2013-2019 ; les cheptels de la période 2013-2018 sont estimés à partir des données de production de la filière (DAAF Réunion, 2020 a) et de la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2021	425,41	
	2022	403,06	
	2023	380,71	
	2024	358,36	
	2025	336,01	
	2026	313,66	
	2027	291,31	
	2028	268,96	
	2029	246,60	
	2030	224,25	
	2031	201,90	
	2032	179,55	
	2033	157,20	
	2034	134,85	
	2035	112,50	
	2036	90,15	
	2037	67,80	
2038	45,44		
2039	23,09		
2040	0,74		
Taille du cheptel de caprins et ovins (UGB)	2019	2319,00	Voir Annexe 3. B
	2020	2407,49	Extrapolation linéaire des données de la période 2013-2019 ; les cheptels de la période 2013-2018 sont estimés à partir des données de production de la filière (DAAF Réunion, 2020 a) et de la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2021	2457,41	
	2022	2507,33	
	2023	2557,25	
	2024	2607,17	
	2025	2657,09	
	2026	2707,01	
2027	2756,93		

	2028	2806,85	
	2029	2856,77	
	2030	2906,69	
	2031	2956,61	
	2032	3006,53	
	2033	3056,45	
	2034	3106,37	
	2035	3156,29	
	2036	3206,21	
	2037	3256,13	
	2038	3306,05	
	2039	3355,97	
	2040	3405,89	
Taille du cheptel porcin (UGB)	2019	22189,7	Voir Annexe 3. B
	2020	23502,85	Extrapolation linéaire des données de la période 2013-2019 ; les cheptels de la période 2013-2018 sont estimés à partir des données de production de la filière (DAAF Réunion, 2020 a) et de la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2021	24130,82	
	2022	24758,8	
	2023	25386,77	
	2024	26014,75	
	2025	26642,72	
	2026	27270,7	
	2027	27898,67	
	2028	28526,65	
	2029	29154,62	
	2030	29782,6	
	2031	30410,57	
	2032	31038,55	
	2033	31666,52	
	2034	32294,49	
	2035	32922,47	
Taille du cheptel de poules pondeuses (UGB)	2019	10234,00	Voir Annexe 3. B
	2020	10367,87	Extrapolation linéaire des données de la période 2013-2019 ; les cheptels de la période 2013-2018 sont estimés à partir des données de production de la filière (DAAF Réunion, 2020 a) et de la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2021	10563,80	
	2022	10759,72	
	2023	10955,64	
	2024	11151,57	
	2025	11347,49	
	2026	11543,42	
	2027	11739,34	
	2028	11935,26	
	2029	12131,19	
	2030	12327,11	
	2031	12523,04	
	2032	12718,96	
	2033	12914,88	
	2034	13110,81	
	2035	13306,73	
2036	13502,66		
2037	13698,58		

	2038	13894,50	
	2039	14090,43	
	2040	14286,35	
Taille du cheptel de poulets de chair (UGB)	2019	13928,50	Voir Annexe 3. B
	2020	13145,50	Extrapolation linéaire des données de la période 2013-2019 ; les cheptels de la période 2013-2018 sont estimés à partir des données de production de la filière (DAAF Réunion, 2020 a) et de la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2021	13518,45	
	2022	13891,39	
	2023	14264,34	
	2024	14637,28	
	2025	15010,23	
	2026	15383,17	
	2027	15756,12	
	2028	16129,06	
	2029	16502,01	
	2030	16874,96	
	2031	17247,90	
	2032	17620,85	
	2033	17993,79	
	2034	18366,74	
	2035	18739,68	
2036	19112,63		
2037	19485,58		
2038	19858,52		
2039	20231,47		
2040	20604,41		
Taille du cheptel de cervidés (UGB)	2019 - 2040	544,00	Voir Annexe 3. B ; supposé constante sur la période de simulation
Taille du cheptel équin (UGB)	2019 - 2040	1561,00	Voir Annexe 3. B ; supposé constante sur la période de simulation

3.2.4 Flux de biomasses

Variable contrainte (unité)	Année ou période	Valeur	Méthode d'estimation et/ou source(s)
Production exportée de viandes-poissons-œufs du territoire (%)	2019-2040	16,0	Voir Annexe 3. E ; ramené à la production locale de 2019 ; supposé constant
Production exportée de fruits-légumes du territoire (%)	2019-2040	4,4	Voir Annexe 3. E ; ramené à la production locale de 2019 ; supposé constant
Production locale des pêcheries industrielles (tMB)	2019-2040	1812	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Part des surfaces maraichères en jachères (%)	2019-2040	25.2	DAAF Réunion (2020 a) ; supposé constant
Production annuelle globale d'affouragement vert (tMS)	2019-2040	33612,00	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Gisement de bois de palettes (tMB)	2019-2040	9500,00	Voir Annexe 3. E ; supposé constant

Gisement de biodéchets par habitant (tMS / habitant)	2019-2040	0,027	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Ratio de biodéchets valorisés en méthanisation dans les décharges (%)	2019-2040	100,00	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Ratio de bois de palettes valorisé en fertilisation (%)	2019-2040	3,10	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Ratio de boues de STEU et industrielle valorisées en fertilisation (%)	2019-2040	14,20	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Ratio de boues de STEU et industrielle valorisées en méthanisation (%)	2019-2040	19,30	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Ratio de déchets carnés et de pêche valorisés en fertilisation (%)	2019-2040	76,20	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Ratio de déchets végétaux valorisés en fertilisation (%)	2019-2040	36,80	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Ratio de mélasse valorisée en alimentation animale (%)	2019-2040	16,00	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Ratio de mélasse valorisée en turbine à combustion après fermentation-distillation (%)	2019-2040	28,57	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Ratio de vinasses de distillerie valorisées en fertilisation (%)	2019-2040	4,70	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Ratio de vinasses de distillerie valorisées en méthanisation (%)	2019-2040	36,40	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Ratio d'écumes de sucreries valorisées en fertilisation (%)	2019-2040	100,00	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Ratio de lisier de bovins laitiers valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	88,9	Voir Annexe 3. B ; supposé constant
Ratio de fumier de bovins laitiers valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	66,3	Voir Annexe 3. B ; supposé constant
Ratio de lisier de bovins viandes valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	0	Voir Annexe 3. B ; supposé constant
Ratio de fumier de bovins viandes valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	9,5	Voir Annexe 3. B ; supposé constant
Ratio de fumier composté d'ovins-caprins valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	100	Voir Annexe 3. B ; supposé constant
Ratio de lisier porcin valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$87.57 * 1.1^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. B puis croissance de 10% par an jusqu'à 100%

Ratio de fientes de poules valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	100	Voir Annexe 3. B ; supposé constant
Ratio de fumier de volailles valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	100	Voir Annexe 3. B ; supposé constant
Ratio de fumier de cheval valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	100	Voir Annexe 3. B ; supposé constant
Ratio de fumier de lapin valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	100	Voir Annexe 3. B ; supposé constant

Annexe 7.C : Scénario tendancier – « Priorité à l’alimentaire » (S2)

Objectifs et paramètres principaux des processus spatiaux

Processus spatial	Objectif (unité)	Année ou période	Valeur	Méthode d’estimation et/ou source(s)
Diversification de la canne à sucre	Taux annuel de diversification (%)	2019-2040	$1,4 * 1,1^{an-1}$	Valeurs de 2019 identiques au scénario de référence puis hypothèse modélisateur correspondant à une accélération de la diversification (10% par an) ainsi qu’une augmentation de la part de maraichage par rapport à celle des vergers (10% par an) ; la part d’horticulture non alimentaire et de prairies sont supposées constantes
	Part de diversification en maraichage (%)	2019-2040	$12,6 * 1,1^{an-1}$	
	Part de diversification en vergers (%)	2019-2040	$100 - \sum (parts\ de\ diversification)$	
	Part de diversification en horticulture non alimentaire (%)	2019-2040	1,3	
	Part de diversification en prairies (%)	2019-2040	14	
Etalement urbain	Densification des pôles urbains (%)	2019-2040	0,2	Croissance du nombre de logements par hectare d’après Agorah (2017 a) ; supposé constant
	Surface d’extensions urbaines par an (ha)	2019-2040	40,5	Estimé par analyse spatiale sur la période 2016-2019 ; augmente proportionnellement avec la population chaque année
Conversion de friches	Surface annuelle convertie (ha)	2019-2040	$21 * (an-1)$	Hypothèse modélisateur à partir d’une valeur nulle en 2019, incrémentée de 10% de sa valeur maximale (21) par an jusqu’à plafonner à 210 ha
	Part de conversion en canne (%)	2019-2040	$100 - \sum (parts\ de\ conversion)$	Hypothèse modélisateur d’une répartition initiale équilibrée entre canne, prairie et horticulture avec une répartition à l’intérieur de cette dernière catégorie égale aux surfaces totales des différentes cultures selon DAAF Réunion (2020 a) puis augmentation progressive de la part de maraichage (10% par an) au détriment de la canne ; la part de vergers, d’horticulture non alimentaire et de prairies sont supposées constantes
	Part de conversion en prairie (%)	2019-2040	33,3	
	Part de conversion en maraichage (%)	2019-2040	$5,2 * 1,1^{an-1}$	
	Part de conversion en vergers (%)	2019-2040	28,0	
	Part de conversion en horticulture non alimentaire (%)	2019-2040	0,1	
Part de la production du photovoltaïque installée au sol (%)	2019-2040	$31,0 * 0,9^{an-1}$	Hypothèse modélisateur : la valeur mesurée en 2019 baisse de 10% par an	
Installation de photovoltaïque au sol	Zones d’implantation du photovoltaïque au sol (n’est pas une variable contrainte - sans unité)	2019-2040	U et AU du PLU hors parcelles horticoles et prairies	Voir Annexe 8.A.6

NB : la variable « an » vaut 1 la première année de la période indiquée puis est incrémentée de 1 chaque année

Variables contraintes

3.2.5 Besoins alimentaires et électriques par habitant

Variable contrainte (unité)	Année ou période	Valeur	Méthode d'estimation et/ou source(s)
Consommation de viandes, poissons, œufs sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	113,41	Voir Annexe 3. A
	2020	113,32	Extrapolation linéaire grâce aux consommations calculées en 2010 et 2019 ; Douanes Réunion (2020); DAAF ; INSEE; IEDOM ; Chambre d'Agriculture de La Réunion ; ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022)
	2021	113,22	
	2022	113,13	
	2023	113,03	
	2024	112,94	
	2025	112,85	
	2026	112,75	
	2027	112,66	
	2028	112,56	
	2029	112,47	
	2030	112,38	
	2031	112,28	
	2032	112,19	
	2033	112,09	
	2034	112,00	
	2035	111,91	
	2036	111,81	
	2037	111,72	
	2038	111,62	
2039	111,53		
2040	111,44		
Consommation de produits laitiers sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	89,62	Voir Annexe 3. A
	2020	91,06	Extrapolation linéaire grâce aux consommations calculées en 2010 et 2019 ; Douanes Réunion (2020); DAAF ; INSEE; IEDOM ; Chambre d'Agriculture de La Réunion ; ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022)
	2021	92,50	
	2022	93,94	
	2023	95,38	
	2024	96,82	
	2025	98,26	
	2026	99,70	
	2027	101,14	
	2028	102,58	
	2029	104,02	
	2030	105,46	
	2031	106,90	
	2032	108,34	
	2033	109,78	
	2034	111,22	
	2035	112,66	
	2036	114,10	
	2037	115,54	
	2038	116,98	
2039	118,42		
2040	119,86		
Consommation de fruits et légumes sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	206,76	Voir Annexe 3. A
	2020	203,65	Extrapolation linéaire grâce aux consommations calculées en 2010 et 2019 ; Douanes Réunion (2020); DAAF ; INSEE; IEDOM ; Chambre d'Agriculture de La Réunion ; ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022)
	2021	200,54	
	2022	197,43	
	2023	194,32	
	2024	191,22	
	2025	188,11	
	2026	185,00	
	2027	181,89	
	2028	178,78	
	2029	175,67	
	2030	172,56	
	2031	169,45	

	2032	166,34	
	2033	163,24	
	2034	160,13	
	2035	157,02	
	2036	153,91	
	2037	150,80	
	2038	147,69	
	2039	144,58	
	2040	141,47	
Consommation de matières grasses sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	16,52	Voir Annexe 3. A
	2020	16,57	Extrapolation linéaire grâce aux consommations calculées en 2010 et 2019 ; Douanes Réunion (2020); DAAF ; INSEE; IEDOM ; Chambre d'Agriculture de La Réunion ; ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022)
	2021	16,63	
	2022	16,68	
	2023	16,73	
	2024	16,78	
	2025	16,84	
	2026	16,89	
	2027	16,94	
	2028	17,00	
	2029	17,05	
	2030	17,10	
	2031	17,16	
	2032	17,21	
	2033	17,26	
	2034	17,31	
	2035	17,37	
2036	17,42		
2037	17,47		
2038	17,53		
2039	17,58		
2040	17,63		
Consommation de féculents sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	285,00	Voir Annexe 3. A
	2020	284,64	Extrapolation linéaire grâce aux consommations calculées en 2010 et 2019 ; Douanes Réunion (2020); DAAF ; INSEE; IEDOM ; Chambre d'Agriculture de La Réunion ; ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022)
	2021	284,28	
	2022	283,92	
	2023	283,56	
	2024	283,19	
	2025	282,83	
	2026	282,47	
	2027	282,11	
	2028	281,74	
	2029	281,38	
	2030	281,02	
	2031	280,66	
	2032	280,30	
	2033	279,93	
	2034	279,57	
	2035	279,21	
2036	278,85		
2037	278,48		
2038	278,12		
2039	277,76		
2040	284,48		
Consommation de protéagineux sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	8,54	Voir Annexe 3. A
	2020	8,15	Extrapolation linéaire grâce aux consommations calculées en 2010 et 2019 ; Douanes Réunion (2020); DAAF ; INSEE; IEDOM ; Chambre d'Agriculture de La Réunion ; ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022)
	2021	7,76	
	2022	7,37	
	2023	6,97	
	2024	6,58	
2025	6,19		

	2026	5,80	
	2027	5,40	
	2028	5,01	
	2029	4,62	
	2030	4,23	
	2031	3,83	
	2032	3,44	
	2033	3,05	
	2034	2,66	
	2035	2,26	
	2036	1,87	
	2037	1,48	
	2038	1,09	
	2039	0,70	
	2040	0,30	
Autoconsommation de féculents (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	0,80	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Autoconsommation de matières grasses (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	0,00	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Autoconsommation de produits laitiers (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	0,00	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Autoconsommation de protéagineux (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	1,70	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Autoconsommation de viandes-poissons-œufs (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	3,20	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Autoconsommation de fruits et légumes (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	67,50	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les féculents (%)	2019 - 2040	12,85	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les fruits et légumes (%)	2019 - 2040	10,6	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les matières grasses (%)	2019 - 2040	10,6	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les produits laitiers (%)	2019 - 2040	10,6	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les protéagineux (%)	2019 - 2040	10,6	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les viandes, poissons, œufs (%)	2019 - 2040	10,6	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Seuil de saturation du marché des féculents (%)	2019 - 2040	20	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées faiblement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario

Seuil de saturation du marché des fruits et légumes (%)	2019 - 2040	80	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées globalement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des protéagineux (%)	2019 - 2040	80	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées globalement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des oléagineux (%)	2019 - 2040	20	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées faiblement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des viandes, poissons et œufs (%)	2019 - 2040	80	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées globalement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des produits laitiers (%)	2019 - 2040	80	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées globalement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des fourrages (%)	2019 - 2040	100	Hypothèse modélisateur : le fourrage consommé localement est considéré entièrement substituable par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Saturation maximale du marché des denrées alimentaires (%)	2019 - 2040	100	La saturation maximale correspond à une couverture de 100% des besoins, l'option de stock n'est pas prise en compte
Saturation maximale du marché des fourrages (%)	2019 - 2040	120	Hypothèse modélisateur : la saturation maximale bénéficie d'une marge additionnelle de 20% par rapport à la consommation locale pour tenir compte de possibles stockages inter-saisonniers
Consommation électrique (MWh / habitant / an)	2019	3,497096481	Prévisions de consommations électriques selon le scénario Emeraude d'EDF (2022), corrigée de 0,20% pour correspondre à l'évolution de la population dans notre étude.
	2020	3,422590145	
	2021	3,508169393	
	2022	4,110184646	
	2023	3,803025189	
	2024	3,666638475	
	2025	3,710164563	
	2026	3,754798108	
	2027	3,802936817	
	2028	3,792943248	
	2029	3,909535078	
	2030	3,967830274	
	2031	4,029369477	
	2032	4,094193208	
	2033	4,128962229	
	2034	4,233584708	
	2035	4,308009929	
2036	4,385808809		
2037	4,466653571		
2038	4,574987555		
2039	4,637586746		
2040	4,7276545		

3.2.6 Données du mix électrique du territoire

Variable contrainte (unité)	Année ou période	Valeur	Méthode d'estimation et/ou source(s)
Part de production électrique provenant de sources locales hors bioélectricité et	2019	14,1	Voir Annexe 3.A
	2020	16,5	
	2021	17,3	Extrapolation linéaire entre les valeurs de 2019 et 2023
	2022	18,5	

photovoltaïque (i.e. éolien, hydroélectricité, géothermie, houlomotricité, combustion de CSR) (%)	2023	26,7	Selon la PPE (Région Réunion, 2022)
	2024	27,5	Extrapolation linéaire entre les valeurs de 2023 et 2028
	2025	28,3	
	2026	29	
	2027	29,8	
	2028	30,5	Selon la PPE (Région Réunion, 2022)
	2029	30,5	Extrapolation linéaire de la période 2019-2028 au-delà de 2028
	2030	30,6	
	2031	30,6	
	2032	30,7	
	2033	30,8	
	2034	31,3	
	2035	31,5	
	2036	31,6	
	2037	31,8	
	2038	32	
	2039	32,1	
2040	32,3		
Part de production électrique provenant de photovoltaïque toutes installations confondues (%)	2019	8,5	Voir Annexe 3.A
	2020	10,4	Extrapolation linéaire entre les valeurs de 2019 et 2023
	2021	11,3	
	2022	12,3	
	2023	13,4	Selon la PPE (Région Réunion, 2022)
	2024	15	Extrapolation linéaire entre les valeurs de 2023 et 2028
	2025	16,4	
	2026	17,7	
	2027	18,8	
	2028	19,9	Selon la PPE (Région Réunion, 2022)
	2029	17,5	Extrapolation linéaire de la période 2019-2028 au-delà de 2028
	2030	17,5	
	2031	17,5	
	2032	17,5	
	2033	17,5	
	2034	17,5	
	2035	17,5	
2036	17,5		
2037	17,5		
2038	17,5		
2039	17,5		
2040	17,5		

3.2.7 Données du cheptel

Variable contrainte (unité)	Année ou période	Valeur	Méthode d'estimation et/ou source(s)
Taille du cheptel bovin laitier (UGB)	2019	3688	Voir Annexe 3. B
	2020	4038,26	La production planifiée par les filières animales (ARIBEV & ARIV, 2019) sur la période 2020-2025 est convertie en taille de cheptel grâce à la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2021	4100,07	
	2022	4161,88	
	2023	4223,69	
	2024	4285,5	
	2025	4347,31	
	2026	4491,53	Extrapolation linéaire des données de la période 2019-2025 au-delà de 2025
	2027	4584,25	
	2028	4676,96	

	2029	4769,68	
	2030	4862,39	
	2031	4955,11	
	2032	5047,82	
	2033	5140,54	
	2034	5233,25	
	2035	5325,97	
	2036	5418,68	
	2037	5511,4	
	2038	5604,11	
	2039	5696,83	
	2040	5789,54	
Taille du cheptel bovin viande (UGB)	2019	17912,00	Voir Annexe 3. B
	2020	18554,84	Extrapolation linéaire des données de la période 2013-2019 ; les cheptels de la période 2013-2018 sont estimés à partir des données de production de la filière (DAAF Réunion, 2020 a) et de la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2021	18998,65	
	2022	19442,47	
	2023	19886,28	
	2024	20330,09	
	2025	20773,90	
	2026	21217,71	
	2027	21661,52	
	2028	22105,33	
	2029	22549,15	
	2030	22992,96	
	2031	23436,77	
	2032	23880,58	
	2033	24324,39	
	2034	24768,20	
	2035	25212,02	
	2036	25655,83	
	2037	26099,64	
2038	26543,45		
2039	26987,26		
2040	27431,07		
Taille du cheptel cynicole (UGB)	2019	459,64	Voir Annexe 3. B
	2020	566,1	La production planifiée par les filières animales (ARIBEV & ARIV, 2019) sur la période 2020-2025 est convertie en taille de cheptel grâce à la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2021	579,09	
	2022	589,48	
	2023	602,46	
	2024	612,85	
	2025	625,83	
	2026	664,41	Extrapolation linéaire des données de la période 2019-2025 au-delà de 2025
	2027	686,39	
	2028	708,37	
	2029	730,35	
	2030	752,33	
	2031	774,31	
	2032	796,29	
	2033	818,27	
	2034	840,25	
	2035	862,23	
	2036	884,21	
	2037	906,19	
2038	928,17		

	2039	950,15	
	2040	972,13	
Taille du cheptel de caprins et ovins (UGB)	2019	2319,00	Voir Annexe 3. B
	2020	2407,49	Extrapolation linéaire des données de la période 2013-2019 ; les cheptels de la période 2013-2018 sont estimés à partir des données de production de la filière (DAAF Réunion, 2020 a) et de la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2021	2457,41	
	2022	2507,33	
	2023	2557,25	
	2024	2607,17	
	2025	2657,09	
	2026	2707,01	
	2027	2756,93	
	2028	2806,85	
	2029	2856,77	
	2030	2906,69	
	2031	2956,61	
	2032	3006,53	
	2033	3056,45	
	2034	3106,37	
	2035	3156,29	
2036	3206,21		
2037	3256,13		
2038	3306,05		
2039	3355,97		
2040	3405,89		
Taille du cheptel porcin (UGB)	2019	22189,7	Voir Annexe 3. B
	2020	23502,85	Extrapolation linéaire des données de la période 2013-2019 ; les cheptels de la période 2013-2018 sont estimés à partir des données de production de la filière (DAAF Réunion, 2020 a) et de la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2021	24130,82	
	2022	24758,8	
	2023	25386,77	
	2024	26014,75	
	2025	26642,72	
	2026	27270,7	
	2027	27898,67	
	2028	28526,65	
	2029	29154,62	
	2030	29782,6	
	2031	30410,57	
	2032	31038,55	
	2033	31666,52	
	2034	32294,49	
	2035	32922,47	
2036	33550,44		
2037	34178,42		
2038	34806,39		
2039	35434,37		
2040	36062,34		
Taille du cheptel de poules pondeuses (UGB)	2019	10234,00	Voir Annexe 3. B
	2020	10367,87	Extrapolation linéaire des données de la période 2013-2019 ; les cheptels de la période 2013-2018 sont estimés à partir des données de production de la filière (DAAF Réunion, 2020 a) et de la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2021	10563,80	
	2022	10759,72	
	2023	10955,64	
	2024	11151,57	
	2025	11347,49	
2026	11543,42		

	2027	11739,34	
	2028	11935,26	
	2029	12131,19	
	2030	12327,11	
	2031	12523,04	
	2032	12718,96	
	2033	12914,88	
	2034	13110,81	
	2035	13306,73	
	2036	13502,66	
	2037	13698,58	
	2038	13894,50	
	2039	14090,43	
	2040	14286,35	
Taille du cheptel de poulets de chair (UGB)	2019	13928,50	Voir Annexe 3. B
	2020	13145,50	
	2021	13518,45	
	2022	13891,39	
	2023	14264,34	
	2024	14637,28	
	2025	15010,23	
	2026	15383,17	
	2027	15756,12	
	2028	16129,06	Extrapolation linéaire des données de la période 2013-2019 ; les cheptels de la période 2013-2018 sont estimés à partir des données de production de la filière (DAAF Réunion, 2020 a) et de la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2029	16502,01	
	2030	16874,96	
	2031	17247,90	
	2032	17620,85	
	2033	17993,79	
	2034	18366,74	
2035	18739,68		
2036	19112,63		
2037	19485,58		
	2038	19858,52	
	2039	20231,47	
	2040	20604,41	
Taille du cheptel de cervidés (UGB)	2019 - 2040	544,00	Voir Annexe 3. B ; supposé constante sur la période de simulation
Taille du cheptel équin (UGB)	2019 - 2040	1561,00	Voir Annexe 3. B ; supposé constante sur la période de simulation

3.2.8 Flux de biomasses

Variable contrainte (unité)	Année ou période	Valeur	Méthode d'estimation et/ou source(s)
Production exportée de viandes-poissons-cœufs du territoire (%)	2019-2040	16,00	Voir Annexe 3. E ; ramené à la production locale de 2019 ; supposé constant
Production exportée de fruits-légumes du territoire (%)	2019-2040	4,40	Voir Annexe 3. E ; ramené à la production locale de 2019 ; supposé constant

Production locale des pêcheries industrielles (tMB)	2019-2040	1812,00	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Part des surfaces maraichères en jachères (%)	2019-2040	25,20	DAAF Réunion (2020 a) ; supposé constant
Production annuelle globale d'affouragement vert (tMS)	2019-2040	33612,00	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Gisement de bois de palettes (tMB)	2019-2040	9500,00	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Gisement de biodéchets par habitant (tMS / habitant)	2019-2040	0,027	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Ratio de biodéchets valorisés en méthanisation dans les décharges (%)	2019-2040	$100 * 0,9^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis diminution de 10% par an jusqu'à 20% (hypothèse d'une mobilisation du gisement hors décharge de 80%)
Ratio de biodéchets valorisés comme fertilisants (%)	2019-2040	$100 - ((100 * 0,9^{an-1}) / 2)$ plafonné à 40,00	Nul en 2019 puis augmentation égale à la moitié de la diminution du ratio de biodéchets valorisés en méthanisation dans les décharges avec plafonnement à 40,00% (hypothèse d'une mobilisation du gisement hors décharge de 80%)
Ratio de biodéchets valorisés en alimentation animale (%)	2019-2040	$100 - ((100 * 0,9^{an-1}) / 2)$ plafonné à 40,00	Nul en 2019 puis augmentation égale à la moitié de la diminution du ratio de biodéchets valorisés en méthanisation dans les décharges avec plafonnement à 40,00% (hypothèse d'une mobilisation du gisement hors décharge de 80%)
Ratio de bois de palettes valorisé en fertilisation (%)	2019-2040	3,10	Voir Annexe 3. E ; supposé constant car peu utilisé et pas d'apport d'azote
Ratio de bois de palettes valorisé en combustion (%)	2019-2040	0 la première année puis 10^{an-1} plafonné à 76,90	Nul en 2019 puis par hypothèse, incrémentation de 10% chaque année jusqu'à 76,90% (maximum mobilisable selon SPL Horizon Réunion, 2017 a)
Ratio de boues de STEU et industrielle valorisées en fertilisation (%)	2019-2040	$14,20 * 1,1^{an-1}$ plafonné à 60,70	Etat initial selon Annexe 3. E puis par hypothèse, croissance de 10% par an jusqu'à plafonner à 60,70% (on suppose le gisement total mobilisable à 80%)
Ratio de boues de STEU et industrielle valorisées en méthanisation (%)	2019-2040	19,30	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Ratio de déchets carnés et de pêche valorisés en fertilisation (%)	2019-2040	76,20 la première année puis 80,00	Etat initial selon Annexe 3. E puis croissance et plafonnement à 80,00% (hypothèse)
Ratio de déchets végétaux valorisés en fertilisation (%)	2019-2040	$36,80 * 1,1^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis croissance annuelle de 10% et plafonnement à 80,00% (hypothèse)
Ratio de mélasse valorisée en alimentation animale (%)	2019-2040	16,00	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Ratio de mélasse valorisée en turbine à combustion après fermentation-distillation (%)	2019-2040	$28,57 * 1,1^{an-1}$ plafonné à 64,00	Etat initial selon Annexe 3. E puis croissance annuelle de 10% et plafonnement à 64,00% (hypothèse d'un gisement total mobilisable de 80%)
Ratio de vinasses de distillerie valorisées en fertilisation (%)	2019-2040	$4,70 * 1,1^{an-1}$ plafonné à 43,60	Etat initial selon Annexe 3. E puis croissance annuelle de 10% et plafonnement à 43,60% (hypothèse d'un gisement total mobilisable de 80%)

Ratio de vinasses de distillerie valorisées en méthanisation (%)	2019-2040	36,40	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Ratio d'écumes de sucreries valorisées en fertilisation (%)	2019-2040	100,00	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Ratio de lisier de bovins laitiers valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	88,9	Voir Annexe 3. B ; supposé constant
Ratio de fumier de bovins laitiers valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	66,3	Voir Annexe 3. B ; supposé constant
Ratio de lisier de bovins viandes valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	0	Voir Annexe 3. B ; supposé constant
Ratio de fumier de bovins viandes valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	9,5	Voir Annexe 3. B ; supposé constant
Ratio de fumier composté d'ovins-caprins valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	100	Voir Annexe 3. B ; supposé constant
Ratio de lisier porcin valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$87.57 * 1.1^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. B puis croissance de 10% par an jusqu'à 100%
Ratio de fientes de poules valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	100	Voir Annexe 3. B ; supposé constant
Ratio de fumier de volailles valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	100	Voir Annexe 3. B ; supposé constant
Ratio de fumier de cheval valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	100	Voir Annexe 3. B ; supposé constant
Ratio de fumier de lapin valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	100	Voir Annexe 3. B ; supposé constant

NB : la variable « an » vaut 1 la première année de la période indiquée puis est incrémentée de 1 chaque année

Annexe 7.D : Scénario tendanciel – « Priorité à l'électrique » (S3)

Objectifs et paramètres principaux des processus spatiaux

Processus spatial	Objectif (unité)	Année ou période	Valeur	Méthode d'estimation et/ou source(s)
Diversification de la canne à sucre	Taux annuel de diversification (%)	2019-2040	$1,4 * 0,9^{an-1}$	Valeurs de 2019 identiques au scénario de référence puis hypothèse modélisateur correspondant à un ralentissement de la diversification (10% par an) avec des parts supposées constantes pour chaque culture
	Part de diversification en maraichage (%)	2019-2040	12,6	
	Part de diversification en vergers (%)	2019-2040	72,1	
	Part de diversification en horticulture non alimentaire (%)	2019-2040	1,3	
	Part de diversification en prairies (%)	2019-2040	14	
Etalement urbain	Densification des pôles urbains (%)	2019-2040	0,2	Croissance du nombre de logements par hectare d'après Agorah (2017 a) ; supposé constant
	Surface d'extensions urbaines par an (ha)	2019-2040	40,5	Estimé par analyse spatiale sur la période 2016-2019 ; augmente proportionnellement avec la population chaque année
Conversion de friches	Surface annuelle convertie (ha)	2019-2040	$21 * (an-1)$	Hypothèse modélisateur à partir d'une valeur nulle en 2019, incrémentée de 10% de sa valeur maximale (21) par an jusqu'à plafonner à 210 ha
	Part de conversion en canne (%)	2019-2040	$33,3 * 1,1^{an-1}$	Hypothèse modélisateur d'une répartition initiale équilibrée entre canne, prairie et horticulture avec une répartition à l'intérieur de cette dernière catégorie égale aux surfaces totales des différentes cultures selon DAAF Réunion (2020 a) puis augmentation progressive de la part de canne au détriment des autres cultures jusqu'à atteindre au minimum 5% ; la part d'horticulture non alimentaire est supposée constante
	Part de conversion en prairie (%)	2019-2040	33,3 – (croissance de la conversion en canne / 3)	
	Part de conversion en maraichage (%)	2019-2040	5,2 – (croissance de la conversion en canne / 3)	
	Part de conversion en vergers (%)	2019-2040	28,0 – (croissance de la conversion en canne / 3)	
	Part de conversion en horticulture non alimentaire (%)	2019-2040	0,1	
Installation de photovoltaïque au sol	Part de la production du photovoltaïque installée au sol (%)	2019-2040	$31,0 * 1,1^{an-1}$	Hypothèse modélisateur : la valeur mesurée en 2019 augmente de 10% par an jusqu'à plafonner à 50%
	Zones d'implantation du photovoltaïque au sol (n'est pas une variable contrainte - sans unité)	2019-2040	U et AU du PLU hors parcelles de canne à sucre et friches agricoles	Voir Annexe 8.A.6 avec une hypothèse modélisateur supplémentaire concernant l'exclusion des parcelles de canne à sucre
Valorisation électrique de la paille de canne	Quantité minimale de paille laissée au champ (tMS/ha)	2019-2040	5	Hypothèse modélisateur priorisant l'usage électrique à partir d'une valeur plancher de 10 tMS/ha

				garantissant un équilibre des usages [SCV/11]
--	--	--	--	---

NB : la variable « an » vaut 1 la première année de la période indiquée puis est incrémentée de 1 chaque année

Variables contraintes

3.2.9 Besoins alimentaires et électriques par habitant

Variable contrainte (unité)	Année ou période	Valeur	Méthode d'estimation et/ou source(s)
Consommation de viandes, poissons, œufs sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	113,41	Voir Annexe 3. A
	2020	113,32	Extrapolation linéaire grâce aux consommations calculées en 2010 et 2019 ; Douanes Réunion (2020); DAAF ; INSEE; IEDOM ; Chambre d'Agriculture de La Réunion ; ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022)
	2021	113,22	
	2022	113,13	
	2023	113,03	
	2024	112,94	
	2025	112,85	
	2026	112,75	
	2027	112,66	
	2028	112,56	
	2029	112,47	
	2030	112,38	
	2031	112,28	
	2032	112,19	
	2033	112,09	
	2034	112,00	
	2035	111,91	
	2036	111,81	
	2037	111,72	
	2038	111,62	
2039	111,53		
2040	111,44		
Consommation de produits laitiers sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	89,62	Voir Annexe 3. A
	2020	91,06	Extrapolation linéaire grâce aux consommations calculées en 2010 et 2019 ; Douanes Réunion (2020); DAAF ; INSEE; IEDOM ; Chambre d'Agriculture de La Réunion ; ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022)
	2021	92,50	
	2022	93,94	
	2023	95,38	
	2024	96,82	
	2025	98,26	
	2026	99,70	
	2027	101,14	
	2028	102,58	
	2029	104,02	
	2030	105,46	
	2031	106,90	
	2032	108,34	
	2033	109,78	
	2034	111,22	
	2035	112,66	
	2036	114,10	
	2037	115,54	
	2038	116,98	
2039	118,42		
2040	119,86		

Consommation de fruits et légumes sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	206,76	Voir Annexe 3. A
	2020	203,65	Extrapolation linéaire grâce aux consommations calculées en 2010 et 2019 ; Douanes Réunion (2020); DAAF ; INSEE; IEDOM ; Chambre d'Agriculture de La Réunion ; ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022)
	2021	200,54	
	2022	197,43	
	2023	194,32	
	2024	191,22	
	2025	188,11	
	2026	185,00	
	2027	181,89	
	2028	178,78	
	2029	175,67	
	2030	172,56	
	2031	169,45	
	2032	166,34	
	2033	163,24	
	2034	160,13	
	2035	157,02	
	2036	153,91	
	2037	150,80	
2038	147,69		
2039	144,58		
2040	141,47		
Consommation de matières grasses sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	16,52	Voir Annexe 3. A
	2020	16,57	Extrapolation linéaire grâce aux consommations calculées en 2010 et 2019 ; Douanes Réunion (2020); DAAF ; INSEE; IEDOM ; Chambre d'Agriculture de La Réunion ; ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022)
	2021	16,63	
	2022	16,68	
	2023	16,73	
	2024	16,78	
	2025	16,84	
	2026	16,89	
	2027	16,94	
	2028	17,00	
	2029	17,05	
	2030	17,10	
	2031	17,16	
	2032	17,21	
	2033	17,26	
	2034	17,31	
	2035	17,37	
	2036	17,42	
	2037	17,47	
2038	17,53		
2039	17,58		
2040	17,63		
Consommation de féculents sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	285,00	Voir Annexe 3. A
	2020	284,64	Extrapolation linéaire grâce aux consommations calculées en 2010 et 2019 ; Douanes Réunion (2020); DAAF ; INSEE; IEDOM ; Chambre d'Agriculture de La Réunion ; ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022)
	2021	284,28	
	2022	283,92	
	2023	283,56	
	2024	283,19	
	2025	282,83	
	2026	282,47	
	2027	282,11	
	2028	281,74	
	2029	281,38	
	2030	281,02	
	2031	280,66	
	2032	280,30	
	2033	279,93	
2034	279,57		

	2035	279,21	
	2036	278,85	
	2037	278,48	
	2038	278,12	
	2039	277,76	
	2040	284,48	
Consommation de protéagineux sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	8,54	Voir Annexe 3. A
	2020	8,15	Extrapolation linéaire grâce aux consommations calculées en 2010 et 2019 ; Douanes Réunion (2020); DAAF ; INSEE; IEDOM ; Chambre d'Agriculture de La Réunion ; ADEME & ECO2 INITIATIVE (2022)
	2021	7,76	
	2022	7,37	
	2023	6,97	
	2024	6,58	
	2025	6,19	
	2026	5,80	
	2027	5,40	
	2028	5,01	
	2029	4,62	
	2030	4,23	
	2031	3,83	
	2032	3,44	
	2033	3,05	
	2034	2,66	
	2035	2,26	
2036	1,87		
2037	1,48		
2038	1,09		
2039	0,70		
2040	0,30		
Autoconsommation de féculents (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	0,80	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Autoconsommation de matières grasses (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	0,00	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Autoconsommation de produits laitiers (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	0,00	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Autoconsommation de protéagineux (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	1,70	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Autoconsommation de viandes-poissons-œufs (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	3,20	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Autoconsommation de fruits et légumes (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	67,50	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les féculents (%)	2019 - 2040	12,85	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les fruits et légumes (%)	2019 - 2040	10,6	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les matières grasses (%)	2019 - 2040	10,6	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les produits laitiers	2019 - 2040	10,6	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation

(%)			
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les protéagineux (%)	2019 - 2040	10,6	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les viandes, poissons, œufs (%)	2019 - 2040	10,6	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Seuil de saturation du marché des féculents (%)	2019 - 2040	20	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées faiblement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des fruits et légumes (%)	2019 - 2040	80	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées globalement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des protéagineux (%)	2019 - 2040	80	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées globalement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des oléagineux (%)	2019 - 2040	20	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées faiblement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des viandes, poissons et œufs (%)	2019 - 2040	80	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées globalement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des produits laitiers (%)	2019 - 2040	80	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées globalement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des fourrages (%)	2019 - 2040	100	Hypothèse modélisateur : le fourrage consommé localement est considéré entièrement substituable par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Saturation maximale du marché des denrées alimentaires (%)	2019 - 2040	100	La saturation maximale correspond à une couverture de 100% des besoins, l'option de stock n'est pas prise en compte
Saturation maximale du marché des fourrages (%)	2019 - 2040	120	Hypothèse modélisateur : la saturation maximale bénéficie d'une marge additionnelle de 20% par rapport à la consommation locale pour tenir compte de possibles stockages inter-saisonniers
Consommation électrique (MWh / habitant / an)	2019	3,497096481	Prévisions de consommations électriques selon le scénario Emeraude d'EDF (2022), corrigée de 0,20% pour correspondre à l'évolution de la population dans notre étude.
	2020	3,422590145	
	2021	3,508169393	
	2022	4,110184646	
	2023	3,803025189	
	2024	3,666638475	
	2025	3,710164563	
	2026	3,754798108	
	2027	3,802936817	
	2028	3,792943248	
	2029	3,909535078	
	2030	3,967830274	
	2031	4,029369477	
	2032	4,094193208	
	2033	4,128962229	
	2034	4,233584708	
	2035	4,308009929	
2036	4,385808809		
2037	4,466653571		
2038	4,574987555		
2039	4,637586746		
2040	4,7276545		

3.2.10 Données du mix électrique du territoire

Variable contrainte (unité)	Année ou période	Valeur	Méthode d'estimation et/ou source(s)
Part de production électrique provenant de sources locales hors bioélectricité et photovoltaïque (i.e. éolien, hydroélectricité, géothermie, houlomotricité, combustion de CSR) (%)	2019	14,1	Voir Annexe 3.A
	2020	16,5	Extrapolation linéaire entre les valeurs de 2019 et 2023
	2021	17,3	
	2022	18,5	
	2023	26,7	Selon la PPE (Région Réunion, 2022)
	2024	27,5	Extrapolation linéaire entre les valeurs de 2023 et 2028
	2025	28,3	
	2026	29	
	2027	29,8	
	2028	30,5	Selon la PPE (Région Réunion, 2022)
	2029	30,5	Extrapolation linéaire de la période 2019-2028 au-delà de 2028
	2030	30,6	
	2031	30,6	
	2032	30,7	
	2033	30,8	
	2034	31,3	
	2035	31,5	
2036	31,6		
2037	31,8		
2038	32		
2039	32,1		
2040	32,3		
Part de production électrique provenant de photovoltaïque toutes installations confondues (%)	2019	8,5	Voir Annexe 3.A
	2020	10,4	Extrapolation linéaire entre les valeurs de 2019 et 2023
	2021	11,3	
	2022	12,3	
	2023	13,3	Selon la PPE (Région Réunion, 2022)
	2024	14,9	Extrapolation linéaire entre les valeurs de 2023 et 2028
	2025	16,3	
	2026	17,6	
	2027	18,7	
	2028	19,7	Selon la PPE (Région Réunion, 2022)
	2029	19,9	Extrapolation linéaire de la période 2019-2028 au-delà de 2028
	2030	19,9	
	2031	19,9	
	2032	19,9	
	2033	19,9	
	2034	19,9	
	2035	19,9	
2036	19,9		
2037	19,9		
2038	19,9		
2039	19,9		
2040	19,9		

3.2.11 Données du cheptel

Variable contrainte (unité)	Année ou période	Valeur	Méthode d'estimation et/ou source(s)
Taille du cheptel bovin laitier (UGB)	2019	3688,00	Voir Annexe 3. B
	2020	3653,66	Extrapolation linéaire des données de la période 2013-2019 ; les cheptels de la période 2013-2018 sont
	2021	3571,25	

	2022	3488,83	estimés à partir des données de production de la filière (DAAF Réunion, 2020 a) et de la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2023	3406,42	
	2024	3324,01	
	2025	3241,59	
	2026	3159,18	
	2027	3076,77	
	2028	2994,35	
	2029	2911,94	
	2030	2829,53	
	2031	2747,11	
	2032	2664,70	
	2033	2582,29	
	2034	2499,87	
	2035	2417,46	
	2036	2335,05	
	2037	2252,63	
	2038	2170,22	
	2039	2087,81	
	2040	2005,39	
Taille du cheptel bovin viande (UGB)	2019	17912,00	Voir Annexe 3. B
	2020	18554,84	Extrapolation linéaire des données de la période 2013-2019 ; les cheptels de la période 2013-2018 sont estimés à partir des données de production de la filière (DAAF Réunion, 2020 a) et de la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2021	18998,65	
	2022	19442,47	
	2023	19886,28	
	2024	20330,09	
	2025	20773,90	
	2026	21217,71	
	2027	21661,52	
	2028	22105,33	
	2029	22549,15	
	2030	22992,96	
	2031	23436,77	
	2032	23880,58	
	2033	24324,39	
	2034	24768,20	
	2035	25212,02	
	2036	25655,83	
	2037	26099,64	
2038	26543,45		
2039	26987,26		
2040	27431,07		
Taille du cheptel cunicole (UGB)	2019	459,64	Voir Annexe 3. B
	2020	447,76	Extrapolation linéaire des données de la période 2013-2019 ; les cheptels de la période 2013-2018 sont estimés à partir des données de production de la filière (DAAF Réunion, 2020 a) et de la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2021	425,41	
	2022	403,06	
	2023	380,71	
	2024	358,36	
	2025	336,01	
	2026	313,66	
	2027	291,31	
	2028	268,96	
	2029	246,60	
	2030	224,25	
2031	201,90		

	2032	179,55	
	2033	157,20	
	2034	134,85	
	2035	112,50	
	2036	90,15	
	2037	67,80	
	2038	45,44	
	2039	23,09	
	2040	0,74	
Taille du cheptel de caprins et ovins (UGB)	2019	2319,00	Voir Annexe 3. B
	2020	2407,49	Extrapolation linéaire des données de la période 2013-2019 ; les cheptels de la période 2013-2018 sont estimés à partir des données de production de la filière (DAAF Réunion, 2020 a) et de la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2021	2457,41	
	2022	2507,33	
	2023	2557,25	
	2024	2607,17	
	2025	2657,09	
	2026	2707,01	
	2027	2756,93	
	2028	2806,85	
	2029	2856,77	
	2030	2906,69	
	2031	2956,61	
	2032	3006,53	
	2033	3056,45	
	2034	3106,37	
	Taille du cheptel porcin (UGB)	2019	
2020		23502,85	Extrapolation linéaire des données de la période 2013-2019 ; les cheptels de la période 2013-2018 sont estimés à partir des données de production de la filière (DAAF Réunion, 2020 a) et de la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
2021		24130,82	
2022		24758,8	
2023		25386,77	
2024		26014,75	
2025		26642,72	
2026		27270,7	
2027		27898,67	
2028		28526,65	
2029		29154,62	
2030		29782,6	
2031		30410,57	
2032		31038,55	
2033		31666,52	
2034		32294,49	
2035		32922,47	
2036	33550,44		
2037	34178,42		
2038	34806,39		
2039	35434,37		
2040	36062,34		
	2019	10234,00	Voir Annexe 3. B

Taille du cheptel de poules pondeuses (UGB)	2020	10367,87	Extrapolation linéaire des données de la période 2013-2019 ; les cheptels de la période 2013-2018 sont estimés à partir des données de production de la filière (DAAF Réunion, 2020 a) et de la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2021	10563,80	
	2022	10759,72	
	2023	10955,64	
	2024	11151,57	
	2025	11347,49	
	2026	11543,42	
	2027	11739,34	
	2028	11935,26	
	2029	12131,19	
	2030	12327,11	
	2031	12523,04	
	2032	12718,96	
	2033	12914,88	
	2034	13110,81	
	2035	13306,73	
	2036	13502,66	
2037	13698,58		
2038	13894,50		
2039	14090,43		
2040	14286,35		
Taille du cheptel de poulets de chair (UGB)	2019	13928,50	Voir Annexe 3. B
	2020	13145,50	Extrapolation linéaire des données de la période 2013-2019 ; les cheptels de la période 2013-2018 sont estimés à partir des données de production de la filière (DAAF Réunion, 2020 a) et de la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2021	13518,45	
	2022	13891,39	
	2023	14264,34	
	2024	14637,28	
	2025	15010,23	
	2026	15383,17	
	2027	15756,12	
	2028	16129,06	
	2029	16502,01	
	2030	16874,96	
	2031	17247,90	
	2032	17620,85	
	2033	17993,79	
	2034	18366,74	
	2035	18739,68	
2036	19112,63		
2037	19485,58		
2038	19858,52		
2039	20231,47		
2040	20604,41		
Taille du cheptel de cervidés (UGB)	2019 - 2040	544,00	Voir Annexe 3. B ; supposé constante sur la période de simulation
Taille du cheptel équin (UGB)	2019 - 2040	1561,00	Voir Annexe 3. B ; supposé constante sur la période de simulation

3.2.12 Flux de biomasses

Variable contrainte (unité)	Année ou période	Valeur	Méthode d'estimation et/ou source(s)
(Spécial) Augmentation du taux de fibres de la canne à sucre (%)	2019-2040	2	Augmentation étalée sur toute la période de simulation (hypothèse modélisateur) ; Augmentation totale selon [SCV/20]
Production exportée de viandes-poissons-œufs du territoire (%)	2019-2040	16,00	Voir Annexe 3. E ; ramené à la production locale de 2019 ; supposé constant
Production exportée de fruits-légumes du territoire (%)	2019-2040	4,40	Voir Annexe 3. E ; ramené à la production locale de 2019 ; supposé constant
Production locale des pêcheries industrielles (tMB)	2019-2040	1812,00	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Part des surfaces maraichères en jachères (%)	2019-2040	25,20	DAAF Réunion (2020 a) ; supposé constant
Production annuelle globale d'affouragement vert (tMS)	2019-2040	33612,00	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Gisement de bois de palettes (tMB)	2019-2040	9500,00	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Gisement de biodéchets par habitant (tMS / habitant)	2019-2040	0,027	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Ratio de biodéchets valorisés en méthanisation dans les décharges (%)	2019-2023	100	Etat initial selon Annexe 3. E puis diminution selon l'augmentation du ratio de biodéchets valorisés en méthanisation à partir de 2024
	2024	62,3	
	2025	24,7	
	2026-2040	20	
Ratio de biodéchets valorisés en méthanisation (%)	2019-2023	0	Planifié non mobilisé pour cet usage en 2023 et mobilisable à 75,3% en 2025 d'après SPL Horizon Réunion (2017 b) ; on suppose la mobilisation à 75,3% en 2025, de moitié l'année précédente, et plafonné à 80% les années suivantes
	2024	37,7	
	2025	75,3	
	2026-2040	80	
Ratio de bois de palettes valorisé en fertilisation (%)	2019-2025	3,10	Voir Annexe 3. E ; supposé constant puis diminution à 0 après 2026 au profit de la valorisation électrique (hypothèse)
	2026-2040	0	
Ratio de bois de palettes valorisé en combustion (%)	2019	0	Nul en 2019 puis croissance linéaire (hypothèse modélisateur) jusqu'à 75,8% en 2023, maximum mobilisé à cette date selon la SPL Horizon Réunion (2020) ; la croissance se poursuit ensuite jusqu'à mobilisation totale du gisement (hypothèse et [Ent/SCV11])
	2020	19,0	
	2021	37,9	
	2022	57,0	
	2023	75,8	
	2024-2025	75,8*1,1 ^{an}	
2026-2040	100		
Ratio de boues de STEU et industrielle valorisées en fertilisation (%)	2019-2022	14,2	Etat initial selon Annexe 3. E puis diminution selon la croissance des valorisations en méthanisation et combustion par hypothèse
	2023	13	
	2024	4,3	
	2025-2040	0	
Ratio de boues de STEU et industrielle valorisées en méthanisation (%)	2019-2024	19,3*1,1 ^{an-1}	Etat initial selon Annexe 3. E puis par hypothèse : (i) croissance (10% par an) de la part en méthanisation jusqu'à (ii) valorisations en combustion et méthanisation de 45,23% en 2023 ce qui est cohérent avec SPL Horizon Réunion (2020), puis (ii) croissance à parts identiques de la combustion et de la méthanisation (10% par an) jusqu'à 50% de chaque à partir de 2025
	2025-2040	50	
Ratio de boues de STEU et industrielle valorisées en combustion	2019-2022	0	
	2023-2024	43,5*1,1 ^{an-1}	

(%)	2025-2040	50	
Ratio de déchets carnés et de pêche valorisés en fertilisation (%)	2019-2025	76,20	Etat initial selon Annexe 3. E et supposé constant jusqu'à ce que la valorisation en méthanisation entre en compétition avec le gisement à partir de 2026 avec un gisement mobilisable global supposé à 80% du gisement total (hypothèse)
	2026-2040	80 - <i>ratio en méthanisation</i>	
Ratio de déchets carnés et de pêche valorisés en méthanisation (%)	2019-2025	0	Par hypothèse, 10% en 2026 (car pas de méthanisation de ce gisement avant cette date d'après SPL Horizon Réunion, 2020) suivi d'une croissance de 10% par an
	2026-2040	$10 * 1,1^{an-1}$	
Ratio de déchets végétaux valorisés en fertilisation (%)	2019-2029	36,80	Voir Annexe 3. E pour la période 2019-2029 puis décroissance selon augmentation de la part valorisée électriquement (hypothèse)
	2029-2040	100 - (<i>ratio valorisé en méthanisation + ratio valorisé en combustion</i>)	
Ratio de déchets végétaux valorisés en méthanisation (%)	2019-2023	0	Par hypothèse, la valorisation démarre en 2025 à hauteur de ce qui avait été planifié dans le SRB pour 2023, de moitié l'année précédente, et en supposant une égale répartition entre combustion et méthanisation puis croissance de 10% par an jusqu'à mobilisation totale du gisement (50% pour la méthanisation et 50% pour la combustion)
	2024	10,8	
	2025-2040	$21,5 * 1,1^{an-1}$	
Ratio de déchets végétaux valorisés en combustion (%)	2019-2023	0	Par hypothèse, la valorisation démarre en 2025 à hauteur de ce qui avait été planifié dans le SRB pour 2023, de moitié l'année précédente, et en supposant une égale répartition entre combustion et méthanisation puis croissance de 10% par an jusqu'à mobilisation totale du gisement (50% pour la méthanisation et 50% pour la combustion)
	2024	10,8	
	2025-2040	$21,5 * 1,1^{an-1}$	
Ratio de mélasse valorisée en alimentation animale (%)	2019-2030	16,00	Etat initial selon Annexe 3. E puis diminution de 10% par an au profit de la valorisation électrique jusqu'à être nul après 2033 (hypothèse)
	2031-2032	100 - <i>ratio valorisé en turbine à combustion</i>	
	2033-2040	0	
Ratio de mélasse valorisée en turbine à combustion après fermentation-distillation (%)	2019-2033	$28,6 * 1,1^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis croissance annuelle de 10% jusqu'à mobilisation totale du gisement à partir de 2033 (hypothèse)
	2033-2040	100	
Ratio de vinasses de distillerie valorisées en fertilisation (%)	2019-2027	4,70	Etat initial selon Annexe 3. E puis constant (hypothèse) avant consommation de la totalité du gisement par la méthanisation après 2029
	2028	2	
	2029-2040	0	
Ratio de vinasses de distillerie valorisées en méthanisation (%)	2019-2025	$36,40 + 6,2 * (an-1)$	Etat initial selon Annexe 3. E puis hypothèse d'une croissance linéaire pour atteindre 73,6% en 2025 ; cette valeur correspond à la planification pour 2023 d'après SPL Horizon Réunion (2017 b) mais son déploiement a été retardé ; enfin, poursuite d'une croissance jusqu'à mobilisation totale du gisement après 2029 (hypothèse)
	2026-2028	$73,6 * 1,1^{an}$	
	2029-2040	100	
Ratio d'écumes de sucreries valorisées en fertilisation (%)	2019-2040	100,00	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Ratio de bois de forêts et résidus d'exploitation valorisé en combustion (%)	2019-2022	0	Etat initial selon Annexe 3. E puis croissance à partir de 2023 d'après SPL Horizon Réunion (2020) : 1 la première année puis incrémentation de 10 chaque année jusqu'à mobilisation totale du gisement
	2023-2032	$1 + 10 * (an-1)$	
	2033-2040	100	

Ratio de lisier de bovins laitiers valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$88,9 * 0,9^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an (hypothèse)
Ratio de lisier de bovins laitiers valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	$88,9 - \text{ratio valorisé en fertilisant}$	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant (hypothèse)
Ratio de fumier de bovins laitiers valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$66,3 * 0,9^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an (hypothèse)
Ratio de fumier de bovins laitiers valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	$66,3 - \text{ratio valorisé en fertilisant}$	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant (hypothèse)
Ratio de lisier de bovins viandes valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$0 * 0,9^{an-1}$	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Ratio de fumier de bovins viandes valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$9,5 * 0,9^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an (hypothèse)
Ratio de fumier de bovins viandes valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	$9,5 - \text{ratio valorisé en fertilisant}$	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant (hypothèse)
Ratio de fumier composté d'ovins-caprins valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$100 * 0,9^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an (hypothèse)
Ratio de fumier composté d'ovins-caprins valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	$100 - \text{ratio valorisé en fertilisant}$	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant (hypothèse)
Ratio de lisier porcin valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$87,57 * 1,1^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an (hypothèse)
Ratio de lisier porcin valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	$87,57 - \text{ratio valorisé en fertilisant}$	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant (hypothèse)
Ratio de fientes de poules valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$100 * 0,9^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an (hypothèse)
Ratio de fientes de poules valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	$100 - \text{ratio valorisé en fertilisant}$	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant (hypothèse)
Ratio de fumier de volailles valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$100 * 0,9^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an (hypothèse)
Ratio de fumier de volailles valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	$100 - \text{ratio valorisé en fertilisant}$	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant (hypothèse)
Ratio de fumier de cheval valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$100 * 0,9^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an (hypothèse)
Ratio de fumier de cheval valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	$100 - \text{ratio valorisé en fertilisant}$	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant (hypothèse)
Ratio de fumier de lapin valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$100 * 0,9^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an (hypothèse)
Ratio de fumier de lapin valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	$100 - \text{ratio valorisé en fertilisant}$	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant (hypothèse)

NB : la variable « an » vaut 1 la première année de la période indiquée puis est incrémentée de 1 chaque année

Annexe 7.E : Scénario tendancier – « Planification et compromis » (S4)

Objectifs et paramètres principaux des processus spatiaux

Processus spatial	Objectif (unité)	Année ou période	Valeur	Méthode d'estimation et/ou source(s)
Diversification de la canne à sucre	Taux annuel de diversification (%)	2019-2040	1,4	Voir Scénario de référence (Annexe 7.B.)
	Part de diversification en maraichage (%)	2019-2040	$12,6 * 1,1^{an-1}$	Par hypothèse : augmentation de la part de maraichage par rapport à celle des vergers (10% par an) ; la part d'horticulture non alimentaire et de prairies sont supposées constantes
	Part de diversification en vergers (%)	2019-2040	$100 - \sum (parts\ de\ diversification)$	
	Part de diversification en horticulture non alimentaire (%)	2019-2040	1,3	
	Part de diversification en prairies (%)	2019-2040	14	
	Surface minimale de canne à sucre (ha)	2019-2040	22000	
Etalement urbain	Part de nouveaux logements par densification des pôles urbains (%)	2019-2040	50	Selon le Schéma d'Aménagement Régional (Région Réunion, 2020)
	Part de nouveaux logements en extensions urbaines par an (%)	2019-2040	20	
Conversion de friches	Surface annuelle convertie (ha)	2019-2040	$25 * (an-1)$	Hypothèse modélisateur à partir d'une valeur nulle en 2019, incrémentée de 10% de sa valeur maximale (25) par an jusqu'à plafonner à 250 ha
	Part de conversion en prairie (%)	2019-2040	33,3	Hypothèse modélisateur d'une répartition initiale équilibrée entre canne, prairie et horticulture avec une répartition à l'intérieur de cette dernière catégorie égale aux surfaces totales des différentes cultures selon DAAF Réunion (2020 a) puis augmentation progressive de la part de maraichage (10% par an) au détriment de la canne ; la part de vergers, d'horticulture non alimentaire et de prairies sont supposées constantes
	Part de conversion en maraichage (%)	2019-2040	$5,2 * 1,1^{an-1}$	
	Part de conversion en vergers (%)	2019-2040	28,0	
	Part de conversion en horticulture non alimentaire (%)	2019-2040	0,1	
	Part de conversion en canne (%)	2019-2040	$100 - \sum (parts\ de\ conversion)$	
Installation de photovoltaïque au sol	Part de la production du photovoltaïque installée au sol (%)	2019-2040	$31,0 * 0,9^{an-1}$	Hypothèse modélisateur : la valeur mesurée en 2019 baisse de 10% par an
	Zones d'implantation du photovoltaïque au sol (n'est pas une variable contrainte - sans unité)	2019-2040	U et AU du PLU hors parcelles agricoles	Voir Annexe 8.A.6

NB : la variable « an » vaut 1 la première année de la période indiquée puis est incrémentée de 1 chaque année

Variables contraintes

3.2.13 Besoins alimentaires et électriques par habitant

Variable contrainte (unité)	Année ou période	Valeur	Méthode d'estimation et/ou source(s)
Consommation de viandes, poissons, œufs sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	113,41	Voir Annexe 3. A
	2020	112,00	Evolution lissée entre la valeur de 2019 et celle de 2040
	2021	110,58	
	2022	109,16	
	2023	107,74	
	2024	106,33	
	2025	104,91	
	2026	103,49	
	2027	102,08	
	2028	100,66	
	2029	99,24	
	2030	97,82	
	2031	96,41	
	2032	94,99	
	2033	93,57	
	2034	92,15	
	2035	90,74	
2036	89,32		
2037	87,9		
2038	86,49		
2039	85,07		
2040	83,65	Santé Publique France (2019) ; Willet (2019)	
Consommation de produits laitiers sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	89,62	Voir Annexe 3. A
	2020	94,05	Evolution lissée entre la valeur de 2019 et celle de 2040
	2021	98,48	
	2022	102,91	
	2023	107,33	
	2024	111,76	
	2025	116,19	
	2026	120,62	
	2027	125,05	
	2028	129,48	
	2029	133,91	
	2030	138,34	
	2031	142,77	
	2032	147,19	
	2033	151,62	
	2034	156,05	
	2035	160,48	
2036	164,91		
2037	169,34		
2038	173,77		
2039	178,2		
2040	182,63	Santé Publique France (2019) ; Willet (2019)	
Consommation de fruits et légumes sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	206,76	Voir Annexe 3. A
	2020	205,61	Evolution lissée entre la valeur de 2019 et celle de 2040
	2021	204,46	
	2022	203,31	
	2023	202,16	
	2024	201,01	
	2025	199,86	
	2026	198,71	
	2027	197,56	
2028	196,41		

	2029	195,27	
	2030	194,12	
	2031	192,97	
	2032	191,82	
	2033	190,67	
	2034	189,52	
	2035	188,37	
	2036	187,22	
	2037	186,07	
	2038	184,92	
	2039	183,77	
	2040	182,63	Santé Publique France (2019) ; Willet (2019)
Consommation de matières grasses sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	16,52	Voir Annexe 3. A
	2020	15,87	
	2021	15,23	
	2022	14,58	
	2023	13,94	
	2024	13,29	
	2025	12,65	
	2026	12	
	2027	11,36	
	2028	10,71	
	2029	10,07	
	2030	9,42	
	2031	8,78	
	2032	8,13	
	2033	7,49	
	2034	6,84	
	2035	6,2	
	2036	5,55	
	2037	4,91	
2038	4,26		
2039	3,62		
2040	2,97	Par hypothèse, on prend la consommation de France métropolitaine comme objectif (INSEE, 2017)	
Consommation de féculents sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	285,00	Voir Annexe 3. A
	2020	275,72	
	2021	266,43	
	2022	257,15	
	2023	247,86	
	2024	238,57	
	2025	229,29	
	2026	220	
	2027	210,72	
	2028	201,43	
	2029	192,14	
	2030	182,86	
	2031	173,57	
	2032	164,29	
	2033	155	
	2034	145,72	
	2035	136,43	
	2036	127,14	
	2037	117,86	
2038	108,57		
2039	99,29		
2040	90	Willet (2019)	
Consommation de protéagineux sans compter le gaspillage alimentaire	2019	8,54	Voir Annexe 3. A
	2020	8,63	Evolution lissée entre la valeur de 2019 et celle de 2040
	2021	8,72	

(Kg / habitant / an)	2022	8,81	
	2023	8,9	
	2024	8,99	
	2025	9,08	
	2026	9,17	
	2027	9,26	
	2028	9,35	
	2029	9,44	
	2030	9,53	
	2031	9,62	
	2032	9,71	
	2033	9,8	
	2034	9,89	
	2035	9,99	
	2036	10,08	
	2037	10,17	
	2038	10,26	
2039	10,35		
	2040	10,44	Remond & Walrand (2017) ; Santé Publique France (2019)
Autoconsommation de féculents (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	0,80	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Autoconsommation de matières grasses (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	0,00	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Autoconsommation de produits laitiers (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	0,00	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Autoconsommation de protéagineux (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	1,70	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Autoconsommation de viandes-poissons-œufs (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	3,20	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Autoconsommation de fruits et légumes (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	67,50	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les féculents (%)	2019 - 2040	12,85	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les fruits et légumes (%)	2019 - 2040	10,6	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les matières grasses (%)	2019 - 2040	10,6	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les produits laitiers (%)	2019 - 2040	10,6	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les protéagineux (%)	2019 - 2040	10,6	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les viandes, poissons, œufs (%)	2019 - 2040	10,6	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation

Seuil de saturation du marché des féculents (%)	2019 - 2040	20	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées faiblement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des fruits et légumes (%)	2019 - 2040	80	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées globalement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des protéagineux (%)	2019 - 2040	80	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées globalement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des oléagineux (%)	2019 - 2040	20	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées faiblement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des viandes, poissons et œufs (%)	2019 - 2040	80	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées globalement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des produits laitiers (%)	2019 - 2040	80	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées globalement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des fourrages (%)	2019 - 2040	100	Hypothèse modélisateur : le fourrage consommé localement est considéré entièrement substituable par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Saturation maximale du marché des denrées alimentaires (%)	2019 - 2040	100	La saturation maximale correspond à une couverture de 100% des besoins, l'option de stock n'est pas prise en compte
Saturation maximale du marché des fourrages (%)	2019 - 2040	120	Hypothèse modélisateur : la saturation maximale bénéficie d'une marge additionnelle de 20% par rapport à la consommation locale pour tenir compte de possibles stockages inter-saisonniers
Consommation électrique (MWh / habitant / an)	2019	3,497096481	Prévisions de consommations électriques selon le scénario Emeraude d'EDF (2022), corrigée de 0,20% pour correspondre à l'évolution de la population dans notre étude.
	2020	3,422590145	
	2021	3,508169393	
	2022	4,110184646	
	2023	3,803025189	
	2024	3,666638475	
	2025	3,710164563	
	2026	3,754798108	
	2027	3,802936817	
	2028	3,792943248	
	2029	3,909535078	
	2030	3,967830274	
	2031	4,029369477	
	2032	4,094193208	
	2033	4,128962229	
	2034	4,233584708	
	2035	4,308009929	
2036	4,385808809		
2037	4,466653571		
2038	4,574987555		
2039	4,637586746		
2040	4,7276545		

3.2.14 Données du mix électrique du territoire

Variable contrainte (unité)	Année ou période	Valeur	Méthode d'estimation et/ou source(s)
	2019	14,1	Voir Annexe 3.A

Part de production électrique provenant de sources locales hors bioélectricité et photovoltaïque (i.e. éolien, hydroélectricité, géothermie, houlomotricité, combustion de CSR) (%)	2020	16,5	Extrapolation linéaire entre les valeurs de 2019 et 2023	
	2021	17,3		
	2022	18,5		
	2023	26,7	Selon la PPE (Région Réunion, 2022)	
	2024	27,5	Extrapolation linéaire entre les valeurs de 2023 et 2028	
	2025	28,3		
	2026	29		
	2027	29,8		
	2028	30,5		
	2029	30,5	Selon la PPE (Région Réunion, 2022)	
	2030	30,6	Extrapolation linéaire de la période 2019-2028 au-delà de 2028	
	2031	30,6		
	2032	30,7		
	2033	30,8		
	2034	31,3		
	2035	31,5		
	2036	31,6		
	2037	31,8		
	2038	32		
	2039	32,1		
2040	32,3			
Part de production électrique provenant de photovoltaïque toutes installations confondues (%)	2019	8,5	Voir Annexe 3.A	
	2020	10,4	Extrapolation linéaire entre les valeurs de 2019 et 2023	
	2021	11,3		
	2022	12,3		
	2023	13,3	Selon la PPE (Région Réunion, 2022)	
	2024	14,9	Extrapolation linéaire entre les valeurs de 2023 et 2028	
	2025	16,3		
	2026	17,6		
	2027	18,7		
	2028	19,7		
	2029	19,9	Selon la PPE (Région Réunion, 2022)	
	2030	19,9	Extrapolation linéaire de la période 2019-2028 au-delà de 2028	
	2031	19,9		
	2032	19,9		
	2033	19,9		
	2034	19,9		
	2035	19,9		
2036	19,9			
2037	19,9			
2038	19,9			
2039	19,9			
2040	19,9			

3.2.15 Données du cheptel

Variable contrainte (unité)	Année ou période	Valeur	Méthode d'estimation et/ou source(s)
Taille du cheptel bovin laitier (UGB)	2019	3688	Voir Annexe 3. B
	2020	4038,256983	La production planifiée par les filières animales (ARIBEV & ARIV, 2019) sur la période 2020-2025 est convertie en taille de cheptel grâce à la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2021	4100,067039	
	2022	4161,877095	
	2023	4223,687151	
	2024	4285,497207	
	2025	4347,307263	
	2026	4491,530726	
	2027	4584,24581	Extrapolation linéaire des données de la période 2019-2025 au-delà de 2025

	2028	4676,960894	
	2029	4769,675978	
	2030	4862,391061	
	2031	4955,106145	
	2032	5047,821229	
	2033	5140,536313	
	2034	5233,251397	
	2035	5325,96648	
	2036	5418,68	
	2037	5511,40	
	2038	5604,11	
	2039	5696,83	
	2040	5789,541899	
Taille du cheptel bovin viande (UGB)	2019	17912	Voir Annexe 3. B
	2020	19269,63	La production planifiée par les filières animales (ARIBEV & ARIV, 2019) sur la période 2020-2025 est convertie en taille de cheptel grâce à la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2021	19685,68	
	2022	20495,88	
	2023	20999,52	
	2024	21973,95	
	2025	22400,95	Extrapolation linéaire des données de la période 2019-2025 au-delà de 2025
	2026	23275,28	
	2027	23996,32	
	2028	24717,37	
	2029	25438,42	
	2030	26159,47	
	2031	26880,51	
	2032	27601,56	
	2033	28322,61	
	2034	29043,65	
	2035	29764,7	
	2036	30485,75	
	2037	31206,80	
2038	31927,84		
2039	32648,89		
2040	33369,94		
Taille du cheptel cynicole (UGB)	2019	459,635	Voir Annexe 3. B
	2020	566,1041	La production planifiée par les filières animales (ARIBEV & ARIV, 2019) sur la période 2020-2025 est convertie en taille de cheptel grâce à la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2021	579,0882	
	2022	589,4754	
	2023	602,4594	
	2024	612,8467	
	2025	625,8307	Extrapolation linéaire des données de la période 2019-2025 au-delà de 2025
	2026	664,4119	
	2027	686,392	
	2028	708,3721	
	2029	730,3522	
	2030	752,3323	
	2031	774,3125	
	2032	796,2926	
	2033	818,2727	
	2034	840,2528	
	2035	862,233	
2036	884,21		
2037	906,19		

	2038	928,17	
	2039	950,15	
	2040	972,1336	
Taille du cheptel de caprins et ovins (UGB)	2019	2319,00	Voir Annexe 3. B
	2020	2407,49	Extrapolation linéaire des données de la période 2013-2019 ; les cheptels de la période 2013-2018 sont estimés à partir des données de production de la filière (DAAF Réunion, 2020 a) et de la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2021	2457,41	
	2022	2507,33	
	2023	2557,25	
	2024	2607,17	
	2025	2657,09	
	2026	2707,01	
	2027	2756,93	
	2028	2806,85	
	2029	2856,77	
	2030	2906,69	
	2031	2956,61	
	2032	3006,53	
	2033	3056,45	
	2034	3106,37	
	Taille du cheptel porcin (UGB)	2019	
2020		20988,48	La production planifiée par les filières animales (ARIBEV & ARIV, 2019) sur la période 2020-2025 est convertie en taille de cheptel grâce à la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
2021		21303,16	
2022		21623,89	
2023		21948,65	
2024		22277,45	
2025		22610,28	
2026		22489,54	
2027		22649,72	
2028		22809,9	
2029		22970,09	
2030		23130,27	
2031		23290,45	
2032		23450,64	
2033		23610,82	
2034		23771	
2035		23931,19	
Taille du cheptel de poules pondeuses (UGB)	2019	10234,00	Voir Annexe 3. B
	2020	10367,87	Extrapolation linéaire des données de la période 2013-2019 ; les cheptels de la période 2013-2018 sont estimés à partir des données de production de la filière (DAAF Réunion, 2020 a) et de la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2021	10563,80	
	2022	10759,72	
	2023	10955,64	
	2024	11151,57	
2025	11347,49		

	2026	11543,42	
	2027	11739,34	
	2028	11935,26	
	2029	12131,19	
	2030	12327,11	
	2031	12523,04	
	2032	12718,96	
	2033	12914,88	
	2034	13110,81	
	2035	13306,73	
	2036	13502,66	
	2037	13698,58	
	2038	13894,50	
	2039	14090,43	
	2040	14286,35	
Taille du cheptel de poulets de chair (UGB)	2019	13928,5	Voir Annexe 3. B
	2020	10915,25	La production planifiée par les filières animales (ARIBEV & ARIV, 2019) sur la période 2020-2025 est convertie en taille de cheptel grâce à la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2021	11201,73	
	2022	11525,32	
	2023	11811,06	
	2024	12097,54	
	2025	12384,02	
	2026	11743,41	
	2027	11684,15	
	2028	11624,88	
	2029	11565,61	
	2030	11506,34	
	2031	11447,07	
	2032	11387,8	
	2033	11328,54	
	2034	11269,27	
	2035	11210	
2036	11150,73		
2037	11091,46		
2038	11032,19		
2039	10972,93		
2040	10913,66		
Taille du cheptel de cervidés (UGB)	2019 - 2040	544,00	Voir Annexe 3. B ; supposé constante sur la période de simulation
Taille du cheptel équin (UGB)	2019 - 2040	1561,00	Voir Annexe 3. B ; supposé constante sur la période de simulation

3.2.16 Flux de biomasses

Variable contrainte (unité)	Année ou période	Valeur	Méthode d'estimation et/ou source(s)
(Spécial) Augmentation du taux de fibres de la canne à sucre (%)	2019-2040	2	Augmentation étalée sur toute la période de simulation (hypothèse modélisateur) ; Augmentation totale selon [SCV/20]

Production exportée de viandes-poissons-œufs du territoire (%)	2019-2040	16,00	Voir Annexe 3. E ; ramené à la production locale de 2019 ; supposé constant
Production exportée de fruits-légumes du territoire (%)	2019-2040	4,40	Voir Annexe 3. E ; ramené à la production locale de 2019 ; supposé constant
Production locale des pêcheries industrielles (tMB)	2019-2040	1812,00	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Part des surfaces maraichères en jachères (%)	2019-2040	25,20	DAAF Réunion (2020 a) ; supposé constant
Production annuelle globale d'affouragement vert (tMS)	2019-2040	33612,00	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Gisement de bois de palettes (tMB)	2019-2040	9500,00	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Gisement de biodéchets par habitant (tMS / habitant)	2019-2040	0,027	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Ratio de biodéchets valorisés en méthanisation dans les décharges (%)	2019-2023	$100 * 0,9^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis par hypothèses : diminution de 10% par an jusqu'à 2023 ; en 2024, cette fraction est retranchée en plus de la mobilisation en faveur de la méthanisation ; la fraction devient nulle après 2025
	2024	21,35	
	2025-2040	0	
Ratio de biodéchets valorisés en méthanisation (%)	2019-2023	0	Planifié non mobilisé pour cet usage en 2023 et mobilisable à 75,3% en 2025 d'après SPL Horizon Réunion (2017 b) ; on suppose la mobilisation à 75,3% à partir de 2025 et de moitié l'année précédente
	2024	37,7	
	2025-2040	75,3	
Ratio de biodéchets valorisés comme fertilisants (%)	2019-2025	$100 - (ratio\ valorisé\ en\ décharge + ratio\ valorisé\ en\ méthanisation) / 2$	Nul en 2019 puis augmentation égale à la moitié de la diminution du ratio de biodéchets valorisés en méthanisation dans les décharges avec plafonnement à 40,00% (hypothèse)
	2026-2040	$12,35 * 0,9^{an-1}$	
Ratio de biodéchets valorisés en alimentation animale (%)	2019-2025	$100 - (ratio\ valorisé\ en\ décharge + ratio\ valorisé\ en\ méthanisation) / 2$	Nul en 2019 puis augmentation égale à la moitié de la diminution du ratio de biodéchets valorisés en méthanisation dans les décharges avec plafonnement à 40,00% (hypothèse)
	2026-2040	$12,35 + (12,35 - ratio\ valorisé\ en\ fertilisant)$	
Ratio de bois de palettes valorisé en fertilisation (%)	2019-2025	3,10	Voir Annexe 3. E ; supposé constant puis diminution à 0 après 2026 au profit de la valorisation électrique (hypothèse)
	2026-2040	0	
Ratio de bois de palettes valorisé en combustion (%)	2019	0	Nul en 2019 puis croissance linéaire (hypothèse modélisateur) jusqu'à 75,8% en 2023, maximum mobilisé à cette date selon la SPL Horizon Réunion (2020) ; la croissance se poursuit ensuite jusqu'à mobilisation totale du gisement (hypothèse et [Ent/SCV11])
	2020	19,0	
	2021	37,9	
	2022	57,0	
	2023	75,8	
	2024-2025	$75,8 * 1,1^{an}$	
2026-2040	100		
Ratio de boues de STEU et industrielle valorisées en fertilisation (%)	2019-2032	$14,2 * 1,1^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis croissance de 10% par an jusqu'à mobilisation de 50% du gisement par hypothèse
	2033-2040	50	

Ratio de boues de STEU et industrielle valorisées en méthanisation (%)	2019-2022	19,3 + 0,825*(an-1)	Etat initial selon Annexe 3. E puis par hypothèse : (i) croissance linéaire de la part en méthanisation jusqu'à (ii) valorisations en combustion et méthanisation égales à 22,6% pour un total de 45,23% valorisé électriquement en 2023 ce qui est cohérent avec SPL Horizon Réunion (2020), puis (ii) croissance à parts identiques de la combustion et de la méthanisation (10% par an) jusqu'à mobilisation de 25% du gisement chacun à partir de 2025
	2023-2024	22,6*1,1 ^{an-1}	
	2025-2040	25	
Ratio de boues de STEU et industrielle valorisées en combustion (%)	2019-2022	0	
	2023-2024	22,6*1,1 ^{an-1}	
	2025-2040	25	
Ratio de déchets carnés et de pêche valorisés en fertilisation (%)	2019-2025	76,20	Etat initial selon Annexe 3. E et supposé constant jusqu'à ce que la valorisation en méthanisation entre en compétition avec le gisement à partir de 2026 avec un gisement global alors supposé entièrement mobilisable (hypothèse) ; la part valorisée en fertilisant plafonne à 50% à partir de 2036
	2026-2035	100 - <i>ratio en méthanisation</i>	
	2036-2040	50	
Ratio de déchets carnés et de pêche valorisés en méthanisation (%)	2019-2025	0	
	2026-2035	23,8*1,1 ^{an-1}	
	2036-2040	50	
Ratio de déchets végétaux valorisés en fertilisation (%)	2019-2020	36,80*1,1 ^{an-1}	Etat initial selon Annexe 3. E puis croissance de 10% par an jusqu'à 44% pour laisser le reste du gisement à la valorisation électrique d'après le SRB (SPL Horizon Réunion, 2020)
	2021-2040	44	
Ratio de déchets végétaux valorisés en méthanisation (%)	2019-2023	0	Par hypothèse, la valorisation démarre en 2025 à hauteur de ce qui avait été planifié dans le SRB pour 2023 (SPL Horizon Réunion, 2020), de moitié l'année précédente, et en supposant une égale répartition entre combustion et méthanisation puis hypothèse d'une croissance de 10% par an jusqu'à mobilisation de 28% du gisement pour la combustion et la même part pour la méthanisation (le reste étant mobilisé comme fertilisant)
	2024	10,8	
	2025-2027	21,5*1,1 ^{an-1}	
	2028-2040	28	
Ratio de déchets végétaux valorisés en combustion (%)	2019-2023	0	
	2024	10,8	
	2025-2027	21,5*1,1 ^{an-1}	
	2028-2040	28	
Ratio de mélasse valorisée en alimentation animale (%)	2019-2040	16,00	Voir Annexe 3. E ; supposé constant (hypothèse)
Ratio de mélasse valorisée en turbine à combustion après fermentation-distillation (%)	2019-2030	28,6*1,1 ^{an-1}	Etat initial selon Annexe 3. E puis croissance annuelle de 10% jusqu'à mobilisation de 84% du gisement à partir de 2031 (hypothèse)
	2031-2040	84	
Ratio de vinasses de distillerie valorisées en fertilisation (%)	2019-2037	4,70*1,1 ^{an-1}	Etat initial selon Annexe 3. E puis croissance annuelle de 10% et plafonnement à 26,4% (hypothèse)
	2037-2040	26,4	
Ratio de vinasses de distillerie valorisées en méthanisation	2019-2024	36,40 + 6,2*(an-1)	Etat initial selon Annexe 3. E puis hypothèse d'une croissance linéaire pour atteindre 73,6% en 2025 ; cette valeur correspond à la

(%)	2025-2040	73,6	planification pour 2023 d'après SPL Horizon Réunion (2017 b) mais son déploiement a été retardé ; ratio supposé constant ensuite (hypothèse)
Ratio d'écumes de sucreries valorisées en fertilisation (%)	2019-2040	100,00	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Ratio de bois de forêts et résidus d'exploitation valorisé en combustion (%)	2019-2022	0	Etat initial selon Annexe 3. E puis croissance à partir de 2023 d'après SPL Horizon Réunion (2020) : 1 la première année puis incrémentation de 10 chaque année jusqu'à mobilisation totale du gisement
	2023-2032	$1 + 10^{*(an-1)}$	
	2033-2040	100	
Ratio de lisier de bovins laitiers valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$88,9 * 0,9^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an jusqu'à 44,5% (hypothèse)
Ratio de lisier de bovins laitiers valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	$88,9 - \text{ratio valorisé en fertilisant}$	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant jusqu'à 44,5% (hypothèse)
Ratio de fumier de bovins laitiers valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$66,3 * 0,9^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an jusqu'à 33,2% (hypothèse)
Ratio de fumier de bovins laitiers valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	$66,3 - \text{ratio valorisé en fertilisant}$	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant jusqu'à 33,2% (hypothèse)
Ratio de lisier de bovins viandes valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$0 * 0,9^{an-1}$	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Ratio de fumier de bovins viandes valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$9,5 * 0,9^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an jusqu'à 4,8% (hypothèse)
Ratio de fumier de bovins viandes valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	$9,5 - \text{ratio valorisé en fertilisant}$	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant jusqu'à 4,8% (hypothèse)
Ratio de fumier composté d'ovins-caprins valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$100 * 0,9^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an jusqu'à 50% (hypothèse)
Ratio de fumier composté d'ovins-caprins valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	$100 - \text{ratio valorisé en fertilisant}$	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant jusqu'à 50% (hypothèse)
Ratio de lisier porcin valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$87,57 * 1,1^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an jusqu'à 43,8 (hypothèse)
Ratio de lisier porcin valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	$87,57 - \text{ratio valorisé en fertilisant}$	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant jusqu'à 43,8 (hypothèse)
Ratio de fientes de poules valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$100 * 0,9^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an jusqu'à 50% (hypothèse)
Ratio de fientes de poules valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	$100 - \text{ratio valorisé en fertilisant}$	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant jusqu'à 50% (hypothèse)
Ratio de fumier de volailles valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$100 * 0,9^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an jusqu'à 50% (hypothèse)
Ratio de fumier de volailles valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	$100 - \text{ratio valorisé en fertilisant}$	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant jusqu'à 50% (hypothèse)
Ratio de fumier de cheval valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$100 * 0,9^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an jusqu'à 50% (hypothèse)
Ratio de fumier de cheval valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	$100 - \text{ratio valorisé en fertilisant}$	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant jusqu'à 50% (hypothèse)
Ratio de fumier de lapin valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$100 * 0,9^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an jusqu'à 50% (hypothèse)

Ratio de fumier de lapin valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	100 – ratio valorisé en fertilisant	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant jusqu'à 50% (hypothèse)
--	-----------	-------------------------------------	--

NB : la variable « an » vaut 1 la première année de la période indiquée puis est incrémentée de 1 chaque année

Annexe 7.F : Scénario de rupture – « Planification, nouvelle canne et localisme alimentaire » (S5)

Objectifs et paramètres principaux des processus spatiaux

Processus spatial	Objectif (unité)	Année ou période	Valeur	Méthode d'estimation et/ou source(s)
Diversification de la canne à sucre	Taux annuel de diversification (%)	2019-2040	$1,4 * 1,1^{an-1}$	Valeurs de 2019 identiques au scénario de référence puis hypothèse modélisateur correspondant à une accélération de la diversification (10% par an) ainsi qu'une baisse de la part des prairies et des vergers (-10% par an), une augmentation de la part d'horticulture non alimentaire (5% par an) et une augmentation résiduelle conséquente du maraichage
	Part de diversification en maraichage (%)	2019-2040	$100 - \sum (parts\ de\ diversification)$	
	Part de diversification en vergers (%)	2019-2040	$72,1 * 0,9^{an-1}$	
	Part de diversification en horticulture non alimentaire (%)	2019-2040	$1,3 * 1,05^{an-1}$	
	Part de diversification en prairies (%)	2019-2040	$14 * 0,9^{an-1}$	
	Surface minimale de canne à sucre (ha)	2019-2040	6000	Hypothèse moyenne (4000 à 8000) dans le cas de la mise en place d'une filière axée sur la production de rhum et de sucres à haute valeur ajoutée ([EXP/04] ; [SCV/12])
Etalement urbain	Part de nouveaux logements par densification des pôles urbains (%)	2019-2040	50	Selon le Schéma d'Aménagement Régional (Région Réunion, 2020)
	Part de nouveaux logements en extensions urbaines par an (%)	2019-2040	20	
Conversion de friches	Surface annuelle convertie (ha)	2019-2040	$50 * (an-1)$	Hypothèse modélisateur à partir d'une valeur nulle en 2019, incrémentée de 50 ha par an jusqu'à plafonner à 350 ha
	Part de conversion en prairie (%)	2019-2040	33,3	Hypothèse modélisateur d'une répartition initiale équilibrée entre canne, prairie et horticulture avec une répartition à l'intérieur de cette dernière catégorie égale aux surfaces totales des différentes cultures selon DAAF Réunion (2020 a) puis augmentation progressive de la part de maraichage (10% par an) au détriment de la canne ; la part de vergers, d'horticulture non alimentaire et de prairies sont supposées constantes
	Part de conversion en maraichage (%)	2019-2040	$5,2 * 1,1^{an-1}$	
	Part de conversion en vergers (%)	2019-2040	28,0	
	Part de conversion en horticulture non alimentaire (%)	2019-2040	0,1	
	Part de conversion en canne (%)	2019-2040	$100 - \sum (parts\ de\ conversion)$	
Installation de photovoltaïque au sol	Part de la production du photovoltaïque installée au sol (%)	2019-2040	$31,0 * 0,9^{an-1}$	Hypothèse modélisateur : la valeur mesurée en 2019 baisse de 10% par an
	Zones d'implantation du photovoltaïque au sol (n'est pas une variable contrainte - sans unité)	2019-2040	U et AU du PLU hors parcelles agricoles	Voir Annexe 8.A.6

Valorisation électrique de la paille de canne	Quantité minimale de paille laissée au champ (tMS/ha)	2019-2040	10	Valeur garantissant un équilibre agronomique selon [SCV/11]
---	---	-----------	----	---

NB : la variable « an » vaut 1 la première année de la période indiquée puis est incrémentée de 1 chaque année

Variables contraintes

3.2.17 Besoins alimentaires et électriques par habitant

Variable contrainte (unité)	Année ou période	Valeur	Méthode d'estimation et/ou source(s)
Consommation de viandes, poissons, œufs sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	113,41	Voir Annexe 3. A
	2020	112,00	Evolution lissée entre la valeur de 2019 et celle de 2040
	2021	110,58	
	2022	109,16	
	2023	107,74	
	2024	106,33	
	2025	104,91	
	2026	103,49	
	2027	102,08	
	2028	100,66	
	2029	99,24	
	2030	97,82	
	2031	96,41	
	2032	94,99	
	2033	93,57	
	2034	92,15	
	2035	90,74	
	2036	89,32	
	2037	87,9	
	2038	86,49	
2039	85,07		
	2040	83,65	Santé Publique France (2019) ; Willet (2019)
Consommation de produits laitiers sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	89,62	Voir Annexe 3. A
	2020	94,05	Evolution lissée entre la valeur de 2019 et celle de 2040
	2021	98,48	
	2022	102,91	
	2023	107,33	
	2024	111,76	
	2025	116,19	
	2026	120,62	
	2027	125,05	
	2028	129,48	
	2029	133,91	
	2030	138,34	
	2031	142,77	
	2032	147,19	
	2033	151,62	
	2034	156,05	
	2035	160,48	
	2036	164,91	
	2037	169,34	
	2038	173,77	
2039	178,2		
	2040	182,63	Santé Publique France (2019) ; Willet (2019)

Consommation de fruits et légumes sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	206,76	Voir Annexe 3. A
	2020	205,61	Evolution lissée entre la valeur de 2019 et celle de 2040
	2021	204,46	
	2022	203,31	
	2023	202,16	
	2024	201,01	
	2025	199,86	
	2026	198,71	
	2027	197,56	
	2028	196,41	
	2029	195,27	
	2030	194,12	
	2031	192,97	
	2032	191,82	
	2033	190,67	
	2034	189,52	
	2035	188,37	
	2036	187,22	
	2037	186,07	
	2038	184,92	
2039	183,77		
2040	182,63	Santé Publique France (2019) ; Willet (2019)	
Consommation de matières grasses sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	16,52	Voir Annexe 3. A
	2020	15,87	Evolution lissée entre la valeur de 2019 et celle de 2040
	2021	15,23	
	2022	14,58	
	2023	13,94	
	2024	13,29	
	2025	12,65	
	2026	12	
	2027	11,36	
	2028	10,71	
	2029	10,07	
	2030	9,42	
	2031	8,78	
	2032	8,13	
	2033	7,49	
	2034	6,84	
	2035	6,2	
	2036	5,55	
	2037	4,91	
	2038	4,26	
2039	3,62		
2040	2,97	Par hypothèse, on prend la consommation de France métropolitaine comme objectif (INSEE, 2017)	
Consommation de féculents sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	285,00	Voir Annexe 3. A
	2020	275,72	Evolution lissée entre la valeur de 2019 et celle de 2040
	2021	266,43	
	2022	257,15	
	2023	247,86	
	2024	238,57	
	2025	229,29	
	2026	220	
	2027	210,72	
	2028	201,43	
	2029	192,14	
	2030	182,86	
	2031	173,57	
	2032	164,29	
	2033	155	

	2034	145,72	
	2035	136,43	
	2036	127,14	
	2037	117,86	
	2038	108,57	
	2039	99,29	
	2040	90	Willett (2019)
Consommation de protéagineux sans compter le gaspillage alimentaire (Kg / habitant / an)	2019	8,54	Voir Annexe 3. A
	2020	8,63	Evolution lissée entre la valeur de 2019 et celle de 2040
	2021	8,72	
	2022	8,81	
	2023	8,9	
	2024	8,99	
	2025	9,08	
	2026	9,17	
	2027	9,26	
	2028	9,35	
	2029	9,44	
	2030	9,53	
	2031	9,62	
	2032	9,71	
	2033	9,8	
	2034	9,89	
	2035	9,99	
	2036	10,08	
	2037	10,17	
2038	10,26		
2039	10,35		
2040	10,44	Remond & Walrand (2017) ; Santé Publique France (2019)	
Autoconsommation de féculents (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	0,80	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Autoconsommation de matières grasses (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	0,00	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Autoconsommation de produits laitiers (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	0,00	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Autoconsommation de protéagineux (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	1,70	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Autoconsommation de viandes-poissons-œufs (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	3,20	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Autoconsommation de fruits et légumes (Kg / habitant / an)	2019 - 2040	67,50	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les féculents (%)	2019 - 2040	12,85	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les fruits et légumes (%)	2019 - 2040	10,6	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les matières grasses (%)	2019 - 2040	10,6	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation

Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les produits laitiers (%)	2019 - 2040	10,6	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les protéagineux (%)	2019 - 2040	10,6	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Gaspillage alimentaire des denrées produites pour les viandes, poissons, œufs (%)	2019 - 2040	10,6	Voir Annexe 3. A ; supposé constant sur la période de simulation
Seuil de saturation du marché des féculents (%)	2019 - 2040	$20 + 3 * (an - 1)$	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées faiblement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des fruits et légumes (%)	2019 - 2040	$80 + (an - 1)$	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées globalement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des protéagineux (%)	2019 - 2040	$80 + (an - 1)$	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées globalement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des oléagineux (%)	2019 - 2040	20	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées faiblement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des viandes, poissons et œufs (%)	2019 - 2040	80	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées globalement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des produits laitiers (%)	2019 - 2040	80	Hypothèse modélisateur : les denrées consommées sont considérées globalement substituables par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Seuil de saturation du marché des fourrages (%)	2019 - 2040	100	Hypothèse modélisateur : le fourrage consommé localement est considéré entièrement substituable par de la production locale sur l'ensemble du scénario
Saturation maximale du marché des denrées alimentaires (%)	2019 - 2040	100	La saturation maximale correspond à une couverture de 100% des besoins, l'option de stock n'est pas prise en compte
Saturation maximale du marché des fourrages (%)	2019 - 2040	120	Hypothèse modélisateur : la saturation maximale bénéficie d'une marge additionnelle de 20% par rapport à la consommation locale pour tenir compte de possibles stockages inter-saisonniers
Consommation électrique (MWh / habitant / an)	2019	3,497096481	Prévisions de consommations électriques selon le scénario Emeraude d'EDF (2022), corrigée de 0,20% pour correspondre à l'évolution de la population dans notre étude.
	2020	3,422590145	
	2021	3,508169393	
	2022	4,110184646	
	2023	3,803025189	
	2024	3,666638475	
	2025	3,710164563	
	2026	3,754798108	
	2027	3,802936817	
	2028	3,792943248	
	2029	3,909535078	
	2030	3,967830274	
	2031	4,029369477	
	2032	4,094193208	
	2033	4,128962229	
	2034	4,233584708	
	2035	4,308009929	
2036	4,385808809		
2037	4,466653571		
2038	4,574987555		
2039	4,637586746		

	2040	4,7276545	
--	------	-----------	--

NB : la variable « an » vaut 1 la première année de la période indiquée puis est incrémentée de 1 chaque année

3.2.18 Données du mix électrique du territoire

Variable contrainte (unité)	Année ou période	Valeur	Méthode d'estimation et/ou source(s)
Part de production électrique provenant de sources locales hors bioélectricité et photovoltaïque (i.e. éolien, hydroélectricité, géothermie, houlomotricité, combustion de CSR) (%)	2019	14,1	Voir Annexe 3.A
	2020	16,5	Extrapolation linéaire entre les valeurs de 2019 et 2023
	2021	17,3	
	2022	18,5	
	2023	26,7	Selon la PPE (Région Réunion, 2022)
	2024	27,5	Extrapolation linéaire entre les valeurs de 2023 et 2028
	2025	28,3	
	2026	29	
	2027	29,8	
	2028	30,5	Selon la PPE (Région Réunion, 2022)
	2029	30,5	Extrapolation linéaire de la période 2019-2028 au-delà de 2028
	2030	30,6	
	2031	30,6	
	2032	30,7	
	2033	30,8	
	2034	31,3	
	2035	31,5	
2036	31,6		
2037	31,8		
2038	32		
2039	32,1		
2040	32,3		
Part de production électrique provenant de photovoltaïque toutes installations confondues (%)	2019	8,5	Voir Annexe 3.A
	2020	10,4	Extrapolation linéaire entre les valeurs de 2019 et 2023
	2021	11,3	
	2022	12,3	
	2023	13,3	Selon la PPE (Région Réunion, 2022)
	2024	14,9	Extrapolation linéaire entre les valeurs de 2023 et 2028
	2025	16,3	
	2026	17,6	
	2027	18,7	
	2028	19,7	Selon la PPE (Région Réunion, 2022)
	2029	19,9	Extrapolation linéaire de la période 2019-2028 au-delà de 2028
	2030	19,9	
	2031	19,9	
	2032	19,9	
	2033	19,9	
	2034	19,9	
	2035	19,9	
2036	19,9		
2037	19,9		
2038	19,9		
2039	19,9		
2040	19,9		

3.2.19 Données du cheptel

Variable contrainte (unité)	Année ou période	Valeur	Méthode d'estimation et/ou source(s)
Taille du cheptel bovin laitier (UGB)	2019	3688	Voir Annexe 3. B
	2020	3798,64	Hypothèse d'une croissance du cheptel de 3% par an
	2021	3912,6	
	2022	4029,98	
	2023	4150,88	
	2024	4275,4	
	2025	4403,66	
	2026	4535,77	
	2027	4671,85	
	2028	4812	
	2029	4956,36	
	2030	5105,05	
	2031	5258,21	
	2032	5415,95	
	2033	5578,43	
	2034	5745,78	
	2035	5918,16	
	2036	6095,7	
	2037	6278,57	
	2038	6466,93	
2039	6660,94		
2040	6860,77		
Taille du cheptel bovin viande (UGB)	2019	17912	Voir Annexe 3. B
	2020	18091,12	Hypothèse d'une croissance du cheptel de 3% par an
	2021	18272,03	
	2022	18454,75	
	2023	18639,3	
	2024	18825,69	
	2025	19013,95	
	2026	19204,09	
	2027	19396,13	
	2028	19590,09	
	2029	19785,99	
	2030	19983,85	
	2031	20183,69	
	2032	20385,53	
	2033	20589,38	
	2034	20795,28	
	2035	21003,23	
	2036	21213,26	
	2037	21425,39	
	2038	21639,65	
2039	21856,04		
2040	22074,6		
Taille du cheptel cunicole (UGB)	2019	459,635	Voir Annexe 3. B
	2020	566,1041	La production planifiée par les filières animales (ARIBEV & ARIV, 2019) sur la période 2020-2025 est convertie en taille de cheptel grâce à la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2021	579,0882	
	2022	589,4754	
	2023	602,4594	
	2024	612,8467	
	2025	625,8307	
2026	664,4119		

	2027	686,392	Extrapolation linéaire des données de la période 2019-2025 au-delà de 2025
	2028	708,3721	
	2029	730,3522	
	2030	752,3323	
	2031	774,3125	
	2032	796,2926	
	2033	818,2727	
	2034	840,2528	
	2035	862,233	
	2036	884,21	
	2037	906,19	
	2038	928,17	
	2039	950,15	
	2040	972,1336	
Taille du cheptel de caprins et ovins (UGB)	2019	2319,00	Voir Annexe 3. B
	2020	2407,49	Extrapolation linéaire des données de la période 2013-2019 ; les cheptels de la période 2013-2018 sont estimés à partir des données de production de la filière (DAAF Réunion, 2020 a) et de la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2021	2457,41	
	2022	2507,33	
	2023	2557,25	
	2024	2607,17	
	2025	2657,09	
	2026	2707,01	
	2027	2756,93	
	2028	2806,85	
	2029	2856,77	
	2030	2906,69	
	2031	2956,61	
	2032	3006,53	
	2033	3056,45	
	2034	3106,37	
	2035	3156,29	
2036	3206,21		
2037	3256,13		
2038	3306,05		
2039	3355,97		
2040	3405,89		
Taille du cheptel porcin (UGB)	2019	22189,7	Voir Annexe 3. B
	2020	20988,48	La production planifiée par les filières animales (ARIBEV & ARIV, 2019) sur la période 2020-2025 est convertie en taille de cheptel grâce à la productivité du cheptel (voir Annexe 3.B) supposée constante
	2021	21303,16	
	2022	21623,89	
	2023	21948,65	
	2024	22277,45	
	2025	22610,28	
	2026	22489,54	
	2027	22649,72	Extrapolation linéaire des données de la période 2019-2025 au-delà de 2025
	2028	22809,9	
	2029	22970,09	
	2030	23130,27	
	2031	23290,45	
	2032	23450,64	
2033	23610,82		
2034	23771		
2035	23931,19		
2036	24091,37		

	2037	24251,56	
	2038	24411,74	
	2039	24571,92	
	2040	24732,11	
Taille du cheptel de poules pondeuses (UGB)	2019 - 2040	10234,00	Voir Annexe 3. B ; supposé constant
Taille du cheptel de poulets de chair (UGB)	2019	13928,5	Voir Annexe 3. B
	2020	13649,93	Hypothèse d'une diminution du cheptel de 2% par an
	2021	13376,93	
	2022	13109,39	
	2023	12847,2	
	2024	12590,26	
	2025	12338,46	
	2026	12091,69	
	2027	11849,85	
	2028	11612,86	
	2029	11380,6	
	2030	11152,99	
	2031	10929,93	
	2032	10711,33	
	2033	10497,1	
	2034	10287,16	
	2035	10081,42	
2036	9879,79		
2037	9682,19		
2038	9488,55		
2039	9298,78		
2040	9112,8		
Taille du cheptel de cervidés (UGB)	2019	544	Voir Annexe 3. B
	2020	554,88	Hypothèse d'une croissance du cheptel de 2% par an
	2021	565,98	
	2022	577,3	
	2023	588,84	
	2024	600,62	
	2025	612,63	
	2026	624,89	
	2027	637,38	
	2028	650,13	
	2029	663,13	
	2030	676,4	
	2031	689,92	
	2032	703,72	
	2033	717,8	
	2034	732,15	
	2035	746,8	
2036	761,73		
2037	776,97		
2038	792,51		
2039	808,36		
2040	824,52		
Taille du cheptel équin (UGB)	2019	1561	Voir Annexe 3. B
	2020	1482,95	Hypothèse d'une diminution du cheptel de 5% par an
	2021	1408,8	
	2022	1338,36	
	2023	1271,44	
	2024	1207,87	

	2025	1147,48	
	2026	1090,1	
	2027	1035,6	
	2028	983,82	
	2029	934,63	
	2030	887,9	
	2031	843,5	
	2032	801,33	
	2033	761,26	
	2034	723,2	
	2035	687,04	
	2036	652,69	
	2037	620,05	
	2038	589,05	
	2039	559,6	
	2040	531,62	

3.2.20 Flux de biomasses

Variable contrainte (unité)	Année ou période	Valeur	Méthode d'estimation et/ou source(s)
(Spécial) Augmentation du taux de fibres de la canne à sucre (%)	2019-2040	2	Augmentation étalée sur toute la période de simulation (hypothèse modélisateur) ; Augmentation totale selon [SCV/20]
Production exportée de viandes-poissons-œufs du territoire (%)	2019-2040	16,00	Voir Annexe 3. E ; ramené à la production locale de 2019 ; supposé constant
Production exportée de fruits-légumes du territoire (%)	2019-2040	4,40	Voir Annexe 3. E ; ramené à la production locale de 2019 ; supposé constant
Production locale des pêcheries industrielles (tMB)	2019-2040	1812,00	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Part des surfaces maraichères en jachères (%)	2019-2040	25,20	DAAF Réunion (2020 a) ; supposé constant
Production annuelle globale d'affouragement vert (tMS)	2019-2040	33612,00	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Gisement de bois de palettes (tMB)	2019-2040	9500,00	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Gisement de biodéchets par habitant (tMS / habitant)	2019-2040	0,027	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Ratio de biodéchets valorisés en méthanisation dans les décharges (%)	2019-2023	100*0,9 ^{an-1}	Etat initial selon Annexe 3. E puis par hypothèses : diminution de 10% par an jusqu'à 2023 ; en 2024, cette fraction est retranchée en plus de la mobilisation en faveur de la méthanisation ; la fraction devient nulle après 2025
	2024	21,35	
	2025-2040	0	
Ratio de biodéchets valorisés en méthanisation (%)	2019-2023	0	Planifié non mobilisé pour cet usage en 2023 et mobilisable à 75,3% en 2025 d'après SPL Horizon Réunion (2017 b) ; on suppose la mobilisation à 75,3% à partir de 2025 et de moitié l'année précédente
	2024	37,7	
	2025-2040	75,3	

Ratio de biodéchets valorisés comme fertilisants (%)	2019-2025	$100 - (\text{ratio valorisé en décharge} + \text{ratio valorisé en méthanisation}) / 2$	Nul en 2019 puis augmentation égale à la moitié de la diminution du ratio de biodéchets valorisés en méthanisation dans les décharges avec plafonnement à 40,00% (hypothèse)
	2026-2040	$12,35 * 0,9^{\text{an}-1}$	
Ratio de biodéchets valorisés en alimentation animale (%)	2019-2025	$100 - (\text{ratio valorisé en décharge} + \text{ratio valorisé en méthanisation}) / 2$	Nul en 2019 puis augmentation égale à la moitié de la diminution du ratio de biodéchets valorisés en méthanisation dans les décharges avec plafonnement à 40,00% (hypothèse)
	2026-2040	$12,35 + (12,35 - \text{ratio valorisé en fertilisant})$	
Ratio de bois de palettes valorisé en fertilisation (%)	2019-2025	3,10	Voir Annexe 3. E ; supposé constant puis diminution à 0 après 2026 au profit de la valorisation électrique (hypothèse)
	2026-2040	0	
Ratio de bois de palettes valorisé en combustion (%)	2019	0	Nul en 2019 puis croissance linéaire (hypothèse modélisateur) jusqu'à 75,8% en 2023, maximum mobilisé à cette date selon la SPL Horizon Réunion (2020) ; la croissance se poursuit ensuite jusqu'à mobilisation totale du gisement (hypothèse et [Ent/SCV11])
	2020	19,0	
	2021	37,9	
	2022	57,0	
	2023	75,8	
	2024-2025	$75,8 * 1,1^{\text{an}}$	
Ratio de boues de STEU et industrielle valorisées en fertilisation (%)	2019-2032	$14,2 * 1,1^{\text{an}-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis croissance de 10% par an jusqu'à mobilisation de 50% du gisement par hypothèse
	2033-2040	50	
Ratio de boues de STEU et industrielle valorisées en méthanisation (%)	2019-2022	$19,3 + 0,825 * (\text{an}-1)$	Etat initial selon Annexe 3. E puis par hypothèse : (i) croissance linéaire de la part en méthanisation jusqu'à (ii) valorisations en combustion et méthanisation égales à 22,6% pour un total de 45,23% valorisé électriquement en 2023 ce qui est cohérent avec SPL Horizon Réunion (2020), puis (ii) croissance à parts identiques de la combustion et de la méthanisation (10% par an) jusqu'à mobilisation de 25% du gisement chacun à partir de 2025
	2023-2024	$22,6 * 1,1^{\text{an}-1}$	
	2025-2040	25	
Ratio de boues de STEU et industrielle valorisées en combustion (%)	2019-2022	0	Etat initial selon Annexe 3. E et supposé constant jusqu'à ce que la valorisation en méthanisation entre en compétition avec le gisement à partir de 2026 avec un gisement global alors supposé entièrement mobilisable (hypothèse) ; la part valorisée en fertilisant plafonne à 50% à partir de 2036
	2023-2024	$22,6 * 1,1^{\text{an}-1}$	
	2025-2040	25	
Ratio de déchets carnés et de pêche valorisés en fertilisation (%)	2019-2025	76,20	Etat initial selon Annexe 3. E et supposé constant jusqu'à ce que la valorisation en méthanisation entre en compétition avec le gisement à partir de 2026 avec un gisement global alors supposé entièrement mobilisable (hypothèse) ; la part valorisée en fertilisant plafonne à 50% à partir de 2036
	2026-2035	$100 - \text{ratio en méthanisation}$	
	2036-2040	50	
Ratio de déchets carnés et de pêche valorisés en méthanisation (%)	2019-2025	0	Par hypothèse, la part restante du gisement (23,8%) est mobilisée en 2026 (car pas de méthanisation de ce gisement avant cette date d'après SPL Horizon Réunion, 2020) suivi d'une croissance de 10% par an jusqu'à atteindre 50% à partir de 2036
	2026-2035	$23,8 * 1,1^{\text{an}-1}$	
	2036-2040	50	
Ratio de déchets végétaux valorisés en fertilisation (%)	2019-2020	$36,80 * 1,1^{\text{an}-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis croissance de 10% par an jusqu'à 44% pour laisser le reste du gisement à la valorisation électrique d'après le SRB (SPL Horizon Réunion, 2020)
	2021-2040	44	
Ratio de déchets végétaux valorisés en méthanisation (%)	2019-2023	0	Par hypothèse, la valorisation démarre en 2025 à hauteur de ce qui avait été planifié dans le SRB pour 2023 (SPL Horizon Réunion, 2020), de
	2024	10,8	

	2025-2027	$21,5 * 1,1^{an-1}$	moitié l'année précédente, et en supposant une égale répartition entre combustion et méthanisation puis hypothèse d'une croissance de 10% par an jusqu'à mobilisation de 28% du gisement pour la combustion et la même part pour la méthanisation (le reste étant mobilisé comme fertilisant)
	2028-2040	28	
Ratio de déchets végétaux valorisés en combustion (%)	2019-2023	0	
	2024	10,8	
	2025-2027	$21,5 * 1,1^{an-1}$	
	2028-2040	28	
Ratio de mélasse valorisée en alimentation animale (%)	2019-2040	16,00	Voir Annexe 3. E ; supposé constant (hypothèse)
Ratio de mélasse valorisée en turbine à combustion après fermentation-distillation (%)	2019-2030	$28,6 * 1,1^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis croissance annuelle de 10% jusqu'à mobilisation de 84% du gisement à partir de 2031 (hypothèse)
	2031-2040	84	
Ratio de vinasses de distillerie valorisées en fertilisation (%)	2019-2037	$4,70 * 1,1^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis croissance annuelle de 10% et plafonnement à 26,4% (hypothèse)
	2037-2040	26,4	
Ratio de vinasses de distillerie valorisées en méthanisation (%)	2019-2024	$36,40 + 6,2 * (an-1)$	Etat initial selon Annexe 3. E puis hypothèse d'une croissance linéaire pour atteindre 73,6% en 2025 ; cette valeur correspond à la planification pour 2023 d'après SPL Horizon Réunion (2017 b) mais son déploiement a été retardé ; ratio supposé constant ensuite (hypothèse)
	2025-2040	73,6	
Ratio d'écumes de sucreries valorisées en fertilisation (%)	2019-2040	100,00	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Ratio de bois de forêts et résidus d'exploitation valorisé en combustion (%)	2019-2022	0	Etat initial selon Annexe 3. E puis croissance à partir de 2023 d'après SPL Horizon Réunion (2020) : 1 la première année puis incrémentation de 10 chaque année jusqu'à mobilisation totale du gisement
	2023-2032	$1 + 10 * (an-1)$	
	2033-2040	100	
Ratio de lisier de bovins laitiers valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$88,9 * 0,9^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an jusqu'à 44,5% (hypothèse)
Ratio de lisier de bovins laitiers valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	$88,9 - \text{ratio valorisé en fertilisant}$	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant jusqu'à 44,5% (hypothèse)
Ratio de fumier de bovins laitiers valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$66,3 * 0,9^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an jusqu'à 33,2% (hypothèse)
Ratio de fumier de bovins laitiers valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	$66,3 - \text{ratio valorisé en fertilisant}$	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant jusqu'à 33,2% (hypothèse)
Ratio de lisier de bovins viandes valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$0 * 0,9^{an-1}$	Voir Annexe 3. E ; supposé constant
Ratio de fumier de bovins viandes valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$9,5 * 0,9^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an jusqu'à 4,8% (hypothèse)
Ratio de fumier de bovins viandes valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	$9,5 - \text{ratio valorisé en fertilisant}$	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant jusqu'à 4,8% (hypothèse)

Ratio de fumier composté d'ovins-caprins valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$100 * 0,9^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an jusqu'à 50% (hypothèse)
Ratio de fumier composté d'ovins-caprins valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	$100 - ratio\ valorisé\ en\ fertilisant$	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant jusqu'à 50% (hypothèse)
Ratio de lisier porcin valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$87,57 * 1,1^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an jusqu'à 43,8 (hypothèse)
Ratio de lisier porcin valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	$87,57 - ratio\ valorisé\ en\ fertilisant$	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant jusqu'à 43,8 (hypothèse)
Ratio de fientes de poules valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$100 * 0,9^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an jusqu'à 50% (hypothèse)
Ratio de fientes de poules valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	$100 - ratio\ valorisé\ en\ fertilisant$	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant jusqu'à 50% (hypothèse)
Ratio de fumier de volailles valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$100 * 0,9^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an jusqu'à 50% (hypothèse)
Ratio de fumier de volailles valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	$100 - ratio\ valorisé\ en\ fertilisant$	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant jusqu'à 50% (hypothèse)
Ratio de fumier de cheval valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$100 * 0,9^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an jusqu'à 50% (hypothèse)
Ratio de fumier de cheval valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	$100 - ratio\ valorisé\ en\ fertilisant$	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant jusqu'à 50% (hypothèse)
Ratio de fumier de lapin valorisé en fertilisant (%)	2019-2040	$100 * 0,9^{an-1}$	Etat initial selon Annexe 3. E puis décroissance de 10% par an jusqu'à 50% (hypothèse)
Ratio de fumier de lapin valorisé en méthanisation (%)	2019-2040	$100 - ratio\ valorisé\ en\ fertilisant$	Nul en 2019 puis croissance au fur et à mesure de la baisse du ratio valorisé en fertilisant jusqu'à 50% (hypothèse)

NB : la variable « an » vaut 1 la première année de la période indiquée puis est incrémentée de 1 chaque année

Annexe 8 : Calibrages partagés des processus spatiaux modélisés dans ProdRun (variables contextuelles et taille des parcelles qui changent d'usage)

Annexe 8.A : Variables contextuelles

Diversification de la canne à sucre

1.1.1 Localisation de la diversification en horticulture

Le modèle essaie de reproduire la distribution observée des parcelles diversifiées en horticulture en fonction de l'altitude et de la pente. La présence d'irrigation ou d'habitations (eau domestique) joue également sur la diversification. Le paramètre de déviation est de xx% supplémentaire chaque année.

- Diversification en horticulture observée par analyse spatiale sur la période 2016-2019 selon 15 gammes d'altitude :

Altitude	< 100m	100m-200m	200m-300m	300m-400m	400m-500m	500m-600m	600m-700m	> 700m
Fréquence	28,2%	20,6%	16,3%	12,0%	8,4%	5,8%	4,4%	4,4%

- ***Diversification en horticulture observée par analyse spatiale sur la période 2016-2019 selon 11 gammes de pente :***

Pente	< 5%	5 - 10%	10 - 15%	15 - 20%	> 20%
Fréquence	33,8%	35,3%	19,0%	7,6%	4,3%

1.1.2 Localisation de la diversification en prairie

Le modèle essaie de reproduire la distribution observée des parcelles diversifiées en prairie en fonction de l'altitude et de la pente. Le paramètre de déviation est de xx% supplémentaire chaque année.

- **Diversification en prairie observée par analyse spatiale sur la période 2016-2019 selon 18 gammes d'altitude :**

Altitude	< 100m	100m-200m	200m-300m	300m-400m	400m-500m	500m-600m	600m-700m	700m-800m	> 800m
Fréquence	27,4%	16,8%	12,3%	12,3%	10,8%	6,3%	5,2%	4,5%	4,4%

- **Diversification en prairie observée par analyse spatiale sur la période 2016-2019 selon 11 gammes de pente :**

Pente	< 5%	5 - 10%	10 - 15%	15 - 20%	20 - 25%	25 - 30%	> 30%
Fréquence	17,3%	23,6%	21,0%	15,6%	10,2%	5,6%	6,7%

1.1.3 Localisation quelle que soit la culture de diversification

- La présence d'irrigation (agricole ou domestique) est un élément permettant la diversification de la canne. Par hypothèse, on estime que l'absence d'un périmètre irrigué proche ou d'habitations (eau domestique, uniquement pour la diversification en horticulture) divise par deux la probabilité de diversification quelle que soit la culture de diversification.

Etalement urbain

3.2.21 Placement des extensions urbaines

Le modèle essaie de reproduire la distribution observée des extensions urbaines en fonction de l'usage initial des sols des parcelles avant construction. De plus, les extensions urbaines ne peuvent apparaître que dans certains périmètres pré-identifiés dans les documents d'aménagement du territoire. Le paramètre de déviation est de xx% supplémentaire chaque année.

- ***Etalement urbain (par extensions urbaines) observé par analyse spatiale sur la période 2016-2019 selon l'usage initial des sols avant construction :***

Usage initial des parcelles avant construction	Forêts, milieux naturels	Friches	Canne à sucre	Prairies	Cultures horticoles
Fréquence	45,53%	42,25%	2,59%	2,83%	6,80%

- La définition des extensions urbaines implique que ces dernières ne peuvent se développer que sur des périmètres prévus à cet effet dans les documents de planification urbaine. Dans notre étude, on considérera que les extensions urbaines sont limitées aux parcelles U et AU du PLU en priorité, voire aux parcelles qui ne respectent pas cette consigne mais s'inscrivent néanmoins dans les ZPU dans un second temps. Pour simuler cet ordre de priorité, on assigne par hypothèse un coefficient de probabilité de 1 à l'apparition d'extensions urbaines en zone U et AU du PLU mais une probabilité de seulement 0,1 aux extensions urbaines en ZPU mais n'étant classée ni U, ni AU au titre du PLU.

3.2.22 Placement des constructions hors armature

Le modèle essaie de reproduire la distribution observée des constructions hors armature en fonction de l'usage initial des sols des parcelles avant construction, la pente, la distance à la route la plus proche, la distance au pôle urbain le plus proche et la distance à la construction hors armature la plus proche. De plus, la présence de zones protégées empêche le développement de l'urbanisation. Le paramètre de déviation est de xx% supplémentaire chaque année.

- ***Etalement urbain (par constructions hors armature) observé par analyse spatiale sur la période 2016-2019 selon l'usage initial des sols avant construction :***

Usage initial des parcelles avant construction	Forêts, milieux naturels	Friches	Canne à sucre	Prairies	Cultures horticoles
Fréquence	14,5%	13,1%	14,4%	22,0%	36,0%

- ***Etalement urbain (par constructions hors armature) observé par analyse spatiale sur la période 2016-2019 selon 10 gammes de pente (on fixe le maximum à 50% en dépit de quelques valeurs extrêmes supérieures) :***

Pente	< 5%	5 - 10%	10 - 15%	15 - 20%	20 - 25%	25 - 30%	30 - 35%	35 - 40%	40 - 45%	45% - 50%
Fréquence	30,45%	22,33%	17,58%	11,68%	6,93%	4,21%	2,56%	1,29%	0,98%	1,90%

- ***Etalement urbain (par constructions hors armature) observé par analyse spatiale sur la période 2016-2019 selon la distance à la route la plus proche : 100% des constructions hors armature observées se trouvent à moins de 60m d'une route. Cette distance est donc utilisée comme condition pour la sélection des parcelles où peuvent apparaître des constructions hors armature.***

- ***Etalement urbain (par constructions hors armature) observé par analyse spatiale sur la période 2016-2019 selon 3 gammes de distance au pôle urbain le plus proche :***

Distance au pôle urbain le plus proche	< 500m	500m - 1km	> 1 km
Fréquence	71,02%	18,42%	10,56%

- ***Etalement urbain (par constructions hors armature) observé par analyse spatiale sur la période 2016-2019 selon 2 gammes de distance à la construction hors armature la plus proche :***

Distance à la construction hors armature la plus proche	< 10m	> 10m
Fréquence	63,38%	36,62%

- Pour cadrer les constructions hors armature, on prend également en compte les zones dites « protégées » au sens large. Concrètement, certaines parcelles ne peuvent voir apparaître de constructions hors armature : les terrains en cœur de Parc National (hormis les abords immédiats de quelques villages isolés appelés « *ilets* » à La Réunion) ainsi que les parcelles propriété de ou gérées par l’Etat (plantations de l’Office National des Forêts) ou le Département (espaces naturels sensibles).

Conversion de friches

3.2.23 Localisation des friches converties

Lorsque le modèle essaie de convertir une friche en terre agricole via le processus de conversion des friches, la probabilité que l’opération soit réalisée dépend de la présence d’eau pour l’irrigation. En effet, plusieurs enquêtés ont souligné l’importance de l’irrigation pour la mise en valeur des friches. C’est le cas par exemple de [PRV/11] : « Il y a eu à un moment donné l’agriculture. Maintenant il y a de l’eau, il faut que ces terrains-là reviennent en valeur ». Ionescu (2022) note également l’importance de l’irrigation dans la récupération des friches pour le cas de la culture de la canne à sucre. Par hypothèse, on estime que l’absence d’un périmètre irrigué dans les 100m ou l’absence d’habitations dans les 50 m (eau domestique, uniquement pour les cultures horticoles) divise par deux la probabilité de récupération de friche.

3.2.24 Affectation des friches converties en canne à sucre, prairie ou horticulture

Chaque scénario définit à l’avance le pourcentage de friches converties en canne à sucre, prairie et cultures horticoles. Pour décider si une parcelle de friche convertie va participer aux objectifs

d'augmentation des surfaces de canne à sucre, de prairies ou de cultures horticoles, on estime la distribution de ces 3 types de cultures dans l'état initial (2019) en fonction de la pente et de l'altitude. On traduit ces fréquences sous forme de probabilités : pour une parcelle convertie donnée d'altitude A et de pente P, si p1 est la probabilité de trouver la culture C dans la même gamme de pente que P en 2019, et p2 est la probabilité de trouver la culture C dans la même gamme d'altitude que A en 2019, alors p1 x p2 est la probabilité que la friche convertie accueille la culture C.

- Fréquences des distributions observées par culture selon l'altitude en 2019 :

Altitude	0 - 100 m	100 - 200 m	200 - 300 m	300 - 400 m	400 - 500 m	500 - 600 m	600 - 700 m	700 - 800 m	800 - 900 m	900 - 1000m	1000 - 1100	1100 - 1200	1200 - 1300	1300 - 1400	1400 - 1500	1500 - 1600	1600 - 1700
Canne	18%	17%	16%	14%	13%	10%*	7%*	4%*	1%*	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Prairie	7%	4%	4%	4%	5%	5%	6%	7%	8%	9%	11%	9%	7%	5%	3%	3%	3%
Horticulture	16%	14%	11%	10%	10%	7%	7%	6%	5%	5%	4%	3%	2%	0%	0%	0%	0%

*L'ensemble des fréquences de distribution des parcelles de canne est calculé pour le territoire entier. Mais pour les communes de l'est (Région dite « au vent »), il n'y a plus de canne au-delà de 500m d'altitude (Ionescu, 2022) et la fréquence tombe donc ici à 0.

- Fréquences des distributions observées par culture selon la pente en 2019 :

Pente	0 - 10%	10 - 20%	20 - 30%	30 - 40%
Canne à sucre	30%	50%	19%	1%
Prairie	24%	46%	25%	5%
Horticulture	28%	45%	22%	5%

Installation de photovoltaïque au sol

Lorsque le modèle essaie de convertir une parcelle en installation photovoltaïque au sol, la probabilité que l'opération soit réalisée est le produit de 4 probabilités successives correspondantes aux 4 variables contextuelles pertinentes suivantes : l'harmonisation des capacités installées par poste source, la pente, le classement réglementaire selon les PLU et l'altitude. Le calibrage par ces variables contextuelles est ici essentiellement basé sur de la littérature existante ainsi que des hypothèses du modélisateur.

- La pénétration d'électricité photovoltaïque pose un certain nombre de contraintes à l'équilibre du réseau électrique du territoire d'étude. La minimisation de ces contraintes peut se résumer à une dispersion optimale des capacités installées en photovoltaïque sur tout le territoire en tenant notamment compte de l'ensoleillement moyen et de sa variabilité par rapport aux besoins de chaque poste source, correspondant à un bassin de distribution d'électricité. Il existe 17 de ces postes sources à La Réunion et Tapachès et al. (2020) ont proposé une distribution idéale du photovoltaïque actuellement installé à La Réunion tenant compte des contraintes susmentionnées. Par différence entre les capacités installées actuellement et cette distribution idéale on peut établir une valeur positive ou négative par poste source : une valeur positive signifie que le poste est en-deçà de l'optimum (déficientaire en photovoltaïque installé), tandis qu'une valeur négative indique que le poste est excédentaire (trop de photovoltaïque est installé). Dans le modèle, on fait donc l'hypothèse que les centrales photovoltaïques seront d'abord installées de manière à viser cet optimum de distribution. Chaque poste source s'accompagne concrètement d'une probabilité recalculée chaque année et qui reflète la différence entre la capacité installée et l'optimum : le différentiel maximum correspond à une probabilité arbitrairement fixée à 1, le minimum à 0,05 et les autres probabilités sont calculées proportionnellement. Les valeurs de ces différentiels et les probabilités d'installation de photovoltaïque associées pour l'état initial (2019) sont :

N° Poste source*	Différentiel	Probabilité
1	+2 MW	0,53
2	+12 MW	0,74
3	+5 MW	0,59
4	+10 MW	0,70
5	-4 MW	0,40
6	-21 MW	0,05
7	+6 MW	0,61
8	-1 MW	0,47
9	+0 MW**	0,49
10	+1 MW	0,51
11	-11 MW	0,26
12	+1 MW	0,51
13	-10 MW	0,28
14	-7 MW	0,34
15	+27 MW	1,00
16	-2 MW	0,45
17	-6 MW	0,36
18	-3 MW	0,43

*Les numéros des postes sources sont indiqués sur la figure suivante.

**Le poste source N°9 n'a pas de valeur renseignée dans l'étude source. On fixe par hypothèse le différentiel à 0.

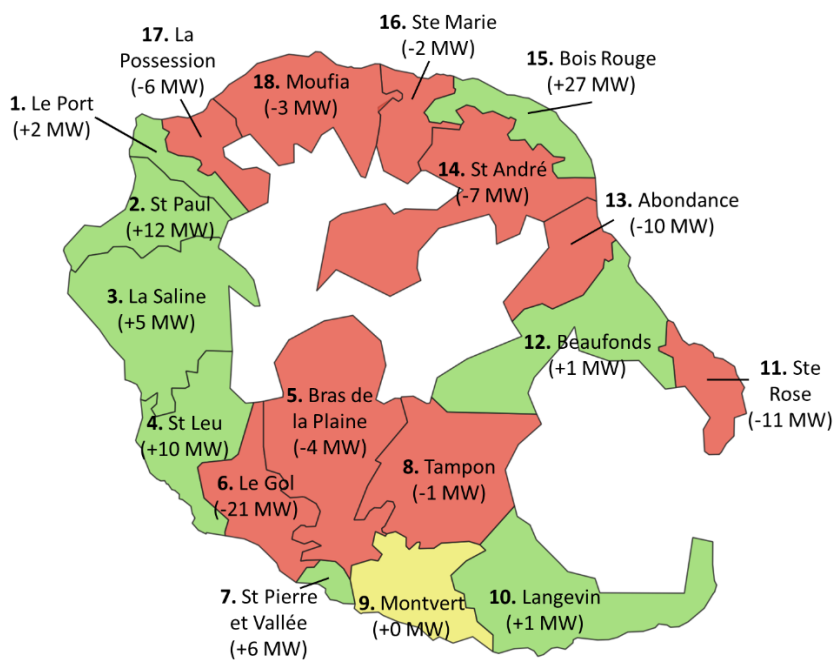


Figure : Carte des différentiels entre capacité photovoltaïque installée et optimale en 2019 par poste source. Les emprises des postes sources sont représentés : en rouge pour les excédentaires, en vert pour les déficitaires, en jaune en l'absence de donnée (mis à 0 par hypothèse) (réalisation : auteur / données : Tapachès et al., 2020).

- Les installations photovoltaïques au sol reposent sur des armatures dont on fait l'hypothèse qu'elles subissent des contraintes mécaniques analogues à d'autres bâtiments. On applique

donc ici les mêmes probabilités que les fréquences de présence des constructions hors armature en fonction de la pente observée en 2019 (voir Annexe 8.A.2.2).

- Dans le modèle, les installations photovoltaïques au sol ne peuvent se développer par défaut que sur les zones U et AU selon le PLU (Sénat, 2015 ; Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, 2011). Cependant, comme précisé dans certains scénarios, ces installations peuvent apparaître sur d'autres types de parcelles. Dans ce cas, la probabilité d'apparition est de 1 si la parcelle respecte les conditions les plus strictes, et de 0.1 si la parcelle rentre dans une catégorie particulière autorisée par le scénario.
- La classification proposée par Tapachès et al. (2020) identifie les gammes d'altitude les plus favorables à l'installation de photovoltaïque (essentiellement pour des raisons d'ensoleillement). A partir de cette étude, les probabilités d'installation de photovoltaïque au sol sont ici définies par hypothèse en fixant une probabilité de 1 pour les zones les plus favorables :

Gamme d'altitude	< 250 m	250 – 500 m (et 500 m – 2000 m dans les cirques uniquement)	> 500 m hors cirques (et > 2000 m dans les cirques)
Caractérisation de l'ensoleillement	Fort	Modéré	Faible
Probabilité	1	0,2	0,05

Annexe 8.B : Taille des parcelles changeant d'usage

Processus	Taille minimale de parcelle (ha)	Taille maximale de parcelle (ha)	Probabilités par classe de taille	Méthode d'estimation et/ou source(s)
Diversification cannière (horticulture)	0,02*	6	<5000 m ² = 91,6% / 5000m ² à 1ha = 4,7% / 1ha à 6ha = 3,7%	Analyse spatiale conduite par l'auteur
Diversification cannière (horticulture)	0,02*	7	<5000 m ² = 87,4% / 5000m ² à 1ha = 7,2% / 1ha à 7ha = 2,4%	Analyse spatiale conduite par l'auteur

Etalement urbain (extensions urbaines)	0,02*	Taille de la parcelle cadastrale	Pas de classes	Hypothèses modélisateur
Etalement urbain (constructions hors armature)	~0,6 (20m ² avec tampon de 10m ²)**	~0,99 (130 m ² avec tampon de 10m ²)**	< 50m ² = 4,6% / 50m ² à 79m ² = 24,1% / 80m ² à 119m ² = 53,8% / > 119m ² = 17,5% (avec tampon de 10m ²)**	Agorah (2017 a) ; données en ligne de l'Agorah ³⁰ ; hypothèses modélisateur
Conversion de friches	0,02*	5	<5000 m ² = 82,5% / 5000m ² à 1 ha = 7,6% / 1 ha à 5 ha = 9,9%	Analyse spatiale conduite par l'auteur
Photovoltaïque au sol	0,25	8	Pas de classes	Analyse de 13 installations locales par l'auteur***

*Cette surface de parcelle correspond à l'unité minimale de collecte (i.e. la surface la plus petite considérée par défaut dans la cartographie d'usage des sols initiale)

**Pour les constructions hors armature : (i) les tranches de tailles de parcelles et leurs fréquences associées sont tirées de la littérature, (ii) les extremums sont des hypothèses du modélisateur et (iii) le tampon de 10m² correspond à la moitié du tampon utilisé pour le calcul de la tache urbaine dans Agorah (2017 a), car on peut supposer que les constructions hors armature sont entourées de moins de surface artificialisées (routes, trottoirs, parkings, aménagements de jardin, etc.) que les bâtiments situés en zone urbaine. De plus, on a vérifié que cette dernière valeur permet d'obtenir une croissance de la surface en logement continue avec celle des années précédentes dans le scénario de référence.

***Les 13 installations photovoltaïques analysées en détail sont les suivantes (une partie des surfaces des installations a été mesurée par analyse spatiale avec QGIS) :

Commune	Propriétaire	Puissance de la centrale (kWc)	Type de centrale	Surface totale de l'installation (ha)	Sources internet
Etang Salé	Akuo Energy	1500	Sur bassins piscicoles	0,96	https://www.akuoenergy.com/fr/les-cedres https://www.eib.org/attachments/registers/50267656.pdf
Saint-Joseph	Akuo Energy	1400	Sur serres	2,82	https://www.akuoenergy.com/fr/agrinerie-v

³⁰ http://peigeo.re:8080/dashboard/7-Parc_locatif_privé/7_Parc_locatif_privé.html (consulté le 20.11.2022 : données de 2019)

<i>Saint-Pierre</i>	<i>Akuo Energy</i>	<i>2600</i>	<i>Au sol</i>	<i>3,5</i>	https://www.akuoenergy.com/fr/ligne-des-400
<i>Saint-Pierre</i>	<i>Akuo Energy</i>	<i>2100</i>	<i>Au sol</i>	<i>3,7</i>	https://www.akuoenergy.com/fr/pierrefonds
<i>Le Tampon</i>	<i>Photosol</i>	<i>3500</i>	<i>Au sol</i>	<i>3,7</i>	https://www.photosol.fr/nos-centrales
<i>Saint-Louis</i>	<i>Akuo Energy</i>	<i>1800</i>	<i>Sur serres</i>	<i>4</i>	https://www.akuoenergy.com/fr/aqrinergie-95-fr-518-fr
<i>Sainte-Suzanne</i>	<i>Albioma - Photosol</i>	<i>2000</i>	<i>Au sol</i>	<i>4</i>	https://www.albioma.com/implantation/la-reunion/la-star/
<i>Sainte-Suzanne</i>	<i>Quadran</i>	<i>3350</i>	<i>Au sol</i>	<i>4,6</i>	https://openinframap.org/stats/area/R%C3%A9union/plants
<i>Etang Salé</i>	<i>Akuo Energy</i>	<i>7500</i>	<i>Au sol</i>	<i>7,75</i>	https://www.akuoenergy.com/fr/les-cedres https://www.eib.org/attachments/registers/50267656.pdf
<i>Sainte Rose</i>	<i>Total Energies / EDF</i>	<i>5090</i>	<i>Au sol</i>	<i>8,17</i>	https://www.sunzil.com/realisation/manqassaye/
<i>Saint-André</i>	<i>Akuo Energy</i>	<i>1600</i>	<i>Au sol</i>	<i>8,92</i>	https://www.akuoenergy.com/fr/aqrisol
<i>Saint-Benoît</i>	<i>Albioma</i>	<i>8000</i>	<i>Au sol</i>	<i>10</i>	https://asbethleem.wixsite.com/asbethleem/projet-ferme-photovoltaique-bethleem
<i>Sainte Rose</i>	<i>EDF</i>	<i>10400</i>	<i>Au sol</i>	<i>14,6</i>	https://www.sunzil.com/realisation/la-roseraye/

Annexe 9 : Calibrage des nouvelles cultures alimentaires développées à grande échelle dans le scénario de rupture (S5)

Annexe 9.A : Nouvelles espèces de polyculture maraichère développées à grande échelle

Nom vernaculaire	Catégorie alimentaire	Besoin en eau minimum*	Exigences en altitude (m)*	Rendement (tMB/ha) [nombre de cycles]	Besoin en azote disponible (kg NH ₃ / ha)	Apport d'azote à la parcelle (kg NH ₃ / ha)	Source(s)
Maïs	Féculent	550	Non	3 [2]	132	0	Dodet (2022)
Soja	Protéagineux	450	0 - 2000	3 [2]	0	88	
Pois cajan ou zembrevate	Protéagineux	0	700 - 2000	5 [1]	0	50	
Sorgho	Féculent	450	Non	2 [2]	140	0	
Arachide	Protéagineux	450	< 600	3 [1]	40	50	Dodet (2022) ; Agrifarming (2023)
	Huile			1,1 [1]			
Manioc	Féculent	0	< 600	30 [1]	0	0	Dodet (2022)
	Légume frais			5 [1]			
Riz	Féculent	Inconnu	600 - 1000	4,5 [1]	0	0	[SPE/04]

* Ces exigences si elles sont respectées permettent une culture pluviale (sans irrigation).

Annexe 9.B : Nouvelles espèces pour les vergers développées à grande échelle

Nom vernaculaire	Catégorie alimentaire	Besoin en eau minimum	Exigences en altitude (m)	Rendement (tMB/ha) [nombre de cycles]	Besoin en azote disponible (kg NH ₃ / ha)	Source(s)
Fruit à pain	Féculent	Acclimatation possible aux zones sèches	Zone mégatherme (hypothèse : <600 m)	5,23 [1]	Inconnu (par hypothèse on prend la moyenne des autres arbres fruitiers modélisés = 106)	Liu et al. (2014)
Moringa	Huile	Très faible à nul	Zone mégatherme (hypothèse : <600 m)	0,258 [1]	Supposé nul car légumineuse	Saini et al. (2016)