Energies Réunion – Services EnR

Rapport - Analyse territoriale sur la méthanisation agricole à la Réunion

Livrable de la mission 2 du volet 5 du CPI N°DTE/20240491

Contrat	N°DTE/20240491 – Accompagnement à la structuration des filières biomasse et à l'émergence des projets	
Mission	Volet 5-Analyse territoriale sur la méthanisation agricole	
Rédaction version révisée	Tom ALLIGNET	28/05/2026
Relecture & validation interne	Francisco RUIZ – Énergies Réunion	01/06/2026
Validation externe	Yoland RAMSAMY & Ludovic ABEILARD – Région Réunion	02/06/2026
Diffusion	Région Réunion	

Introduction

À La Réunion, la gestion des effluents issus des élevages représente un défi majeur. Chaque élevage qui ne dispose pas de solution de traitement est tenue d'élaborer un plan d'épandage qui détaille les parcelles destinées à recevoir ces effluents, les cultures réalisées sur ces parcelles et les quantités d'effluents concernées. Cependant, dans les hauts de l'Ouest, Salazie, ou encore les plaines de Cafres et de Palmistes, le relief prononcé et le manque de terres agricoles disponibles imposent aux éleveurs de transporter leurs effluents sur des distances de plus en plus importantes, impactant économiquement et techniquement ces exploitations. Ces contraintes freinent, voire bloquent, le développement des élevages, malgré des ambitions affichées par les acteurs régionaux pour augmenter la production agricole, notamment à travers le Programme Régional de Souveraineté Alimentaire adopté en octobre 2023. D'autre part, la méthanisation est une solution de valorisation de effluents et des matières fermentescibles à la fois énergétique, contribuant à l'autonomie énergétique du territoire, et alimentaire, en produisant du digestat qui pourra retourner au sol (en substitution des fertilisants de synthèse) en réduisant la charge organique des effluents, les concentrant et, dans certaines conditions, ne nécessitant pas de plan d'épandage ; au regard de ses intérêts, la méthanisation est identifiée comme une solution à développer (dans le respect de la hiérarchie des usages et de la préservation de l'environnement) dans la Programmation Pluriannuelle de l'Energie 2019-2028 ainsi que dans le Schéma Régional Biomasse 2018-2023 et 2025-2030 (en cours d'élaboration).

Dans le cadre du contrat de prestation intégré n° DTE/20240491 « Accompagnement à la structuration des filières biomasses et accompagnement à l'émergence de projets », la Région Réunion a confié à Energies Réunion une étude centrée sur la méthanisation agricole à La Réunion avec comme objectif d'identifier les zones les plus favorables à l'implantation d'unités de méthanisation en tenant compte des spécificités géographiques, réglementaires, économiques et techniques du territoire. Il s'agit également d'analyser les conditions de faisabilité des projets, en considérant l'ensemble des éléments structurant un projet de méthanisation : disponibilité des intrants, accès aux exutoires, modalités de valorisation du biogaz et du digestat, organisation des filières et modèle économique.

Elle constitue ainsi une première étape structurante pour orienter les politiques publiques de soutien à la méthanisation agricole, en ciblant les zones les plus prometteuses et en objectivant les choix d'investissement à venir.

Table des matières

Introduction 1
I. Contexte et méthode 5
A. L'opportunité du développement de la méthanisation agricole 5
1. La gestion des effluents d'élevage à La Réunion 5
2. Les objectifs de transition vers les énergies renouvelables et d'autonomie énergétique 5
3. La méthanisation 6
B. Objectifs de l'étude 8
C. Méthodologie 8
D. Précision sur les limites des données utilisées 9
II. Analyse des paramètres clés à la viabilité d'un méthaniseur : intrants, exutoires et disponibilité foncière 10
A. Les ressources méthanisables disponibles 11
1. Des intrants de plusieurs natures 11
2. La répartition géographique et temporelle de ces ressources 13
B. Les exutoires pour les produits de la méthanisation 16
1. Le retour au sol ou le traitement du digestat 16
2. La valorisation du biogaz 17
3. Une répartition inégale des exutoires sur le territoire 18
4. La gestion logistique des composés 19
C. Zones foncières disponibles à l'implantation de méthaniseurs 21
1. Régime des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) 21
2. Contraintes règlementaires 21
III. Modélisation technico-économique d'installations de référence 24
A. Focus sur la construction de l'outil 25
1. Les données d'entrée : informations librement modifiables 25
2. Un ensemble d'hypothèses de calcul figées 26
3. Les sorties de l'outil 27
B. Limites de l'outil 28
1. Evaluation de l'investissement 28
2. Coût du traitement du digestat 29

3. Installations dédiées à la production de chaleur 29
4. Hygiénisation des intrants 30
5. Coût du transport 30
6. Absence de prise en compte du rendement énergétique et environnemental 30
IV. Résultats de l'outil de modélisation : la faisabilité d'un méthaniseur et les leviers de rentabilité 31
A. Evolution du LCOE en fonction du mix d'intrants 31
B. Les différents leviers de rentabilité économique et leur impact 34
1. Impact de la technologie de valorisation du biogaz 34
2. Impact du taux de subvention 35
3. Influence du transport des intrants ou des digestats 38
4. Influence de l'achat/vente des intrants ou des digestats 42
5. Influence du mode de traitement des digestats 46
C. Autres facteurs de rentabilité, non évaluables par l'outil 50
V. Identification des zones d'opportunité à l'implantation d'une unité de méthanisation à La Réunion 51
A. Les paramètres clés pour l'identification des zones d'opportunités 51
1. La disponibilité en intrants 51
2. Disposer d'exutoires pour le biogaz 53
3. Eviter la compétition : les installations en service et les projets en cours sur le territoire 56
B. Les zones d'intérêt pour l'implantation d'un méthaniseur agricole et des exemples d'installations 58
1. Zone Ouest 59
2. Le Tampon et les plaines 65
VI. Construction d'une stratégie de développement de la méthanisation 69
A. Disposer de porteurs en capacité de réussir un projet 69
1. La capacité financière et foncière 69
2. La maitrise de l'approvisionnement 69
3. La maitrise des exutoires 70
4. L'appel à un bureau d'études et une montée en compétence 70
B. Maintenir une dynamique locale favorable au développement de projets par les pouvoirs publics et les représentants de l'interprofession 71

1. Une complémentarité entre les acteurs du territoire 71
2. La création d'un réseau local d'acteurs 72
VII. Conclusion 74
Annexes 75
Glossaire 78
Bibliographie 79

I. Contexte et méthode

A. L'opportunité du développement de la méthanisation agricole

1. La gestion des effluents d'élevage à La Réunion

Il existe une grande diversité d'élevages en termes d'espèces (principalement bovins, porcins et avicoles), d'activité (élevage en bâtiment ou non, âge du cheptel) qui influence les caractéristiques physico-chimiques des effluents (quantité de matière sèche, composition) et leur collecte (qui ne peut se faire lorsque les animaux sont mis en pâture par exemple).

Le développement des filières d'élevage à La Réunion est une priorité affirmée dans le cadre du plan régional de souveraineté alimentaire (PRSA) signée en octobre 2023 par la préfecture, le Département, la Région de La Réunion, ainsi que par les acteurs représentatifs de l'agriculture et de l'agro-alimentaire. L'augmentation de la taille des cheptels entrainera à minima un maintien voire une hausse du tonnage d'effluents produits qui devront être traités.

Cette gestion est soumise à des contraintes techniques et réglementaires notamment vis-à-vis de la logistique, du stockage ou encore de l'identification de surface d'épandage disponible. Les spécificités géographiques du territoire réunionnais (insularité, enclavement des exploitations, topographie, répartition des activités et du foncier agricole) entrainent des contraintes environnementales et des charges supplémentaires pour les éleveurs.

2. Les objectifs de transition vers les énergies renouvelables et d'autonomie énergétique

Le mix énergétique de l'île de La Réunion dépend fortement des énergies fossiles : en 2023 celles-ci représentaient 75,3 % de la consommation d'énergie primaire, tandis que la part des énergies d'origine renouvelable produites localement s'élevait à 11,4 %. Cette dépendance est particulièrement marquée pour les usages liés au transport et à la production d'électricité. A la Réunion, en tant que zone non interconnectée au continent du fait de son insularité, cette dépendance constitue un enjeu stratégique majeur. La Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE) de la Réunion fixe l'objectif d'une autonomie électrique à l'horizon 2030, grâce à la montée en puissance des énergies renouvelables locales (biomasse, solaire, hydraulique et éolien).

Deux méthaniseurs sont en fonctionnement sur le territoire, valorisant des effluents industriels ou urbain, mais aucun n'utilise de ressources agricoles. La méthanisation figure dans les trajectoires définies par la PPE du territoire 2019-2028 fixant comme objectifs un développement progressif de la filière pour alimenter le réseau électrique réunionnais :

- +2,1 MW de puissance électrique installée entre 2018 et 2023
- +0,5 à 1 MW de puissance électrique supplémentaire entre 2023 et 2028

Le Schéma Régional Biomasse de la Réunion 2018-2023 et sa révision en cours, déterminent des objectifs par ressource (en particulier les effluents d'élevage) pour atteindre ces objectifs énergétiques.

3. La méthanisation

La méthanisation est un procédé biologique de dégradation de la matière organique en absence d'oxygène. Ce processus, se déroulant dans un digesteur, mobilise un ensemble de micro-organismes qui transforment des intrants tels que les effluents d'élevage, les biodéchets agricoles ou agroalimentaires en biogaz et en digestat.

Le biogaz produit contient principalement du méthane (CH_4) et du dioxyde de carbone (CO_2), et peut être valorisé sous différente forme (chaleur, électricité ou carburant) sur le site de production (dans le cas général) ou ailleurs (après transport du biogaz, ou par la mise dans un réseau du biométhane purifié).

Le digestat, quant à lui, est le résidu organique stabilisé issu de la digestion. On y retrouve le phosphore, le potassium et la majorité de l'azote contenu dans les intrants, il peut être utilisé comme fertilisant à la place d'engrais chimiques et en complément d'amendements de compost, fumiers et lisiers.

La réaction de la méthanisation repose sur un équilibre technique entre :

- Une plage de température (généralement 35 à 40 °C) et un pH (neutre) stable ;
- Un temps de séjour de la matière dans le digesteur adapté pour optimiser la dégradation de la matière ;
- Un ratio équilibré entre les apports carbonés et azotés.

En outre, la réaction peut se réaliser en milieu humide (en voie dite infiniment mélangé ou continue) dans laquelle l'entrée (d'intrants) et la sortie (de digestat) se fait de manière continue dans le milieu, qui est le cas majoritaire. Mais, elle peut également se réaliser en milieu sec (en voie dite sèche ou discontinue) où l'ensemble des intrants sont insérés en même temps dans une enceinte fermée sans échange avec l'extérieur (à l'exception de la récupération du biogaz ou de lixiviat liquide) pendant la durée de la réaction.

A la fois solution de traitement des biodéchets, voie de production d'une énergie renouvelable et de production de matière fertilisante, la méthanisation est aujourd'hui une technologie centrale dans la stratégie de transition énergétique liée à l'activité agricole, notamment en lien avec l'économie circulaire et l'économie des territoires.

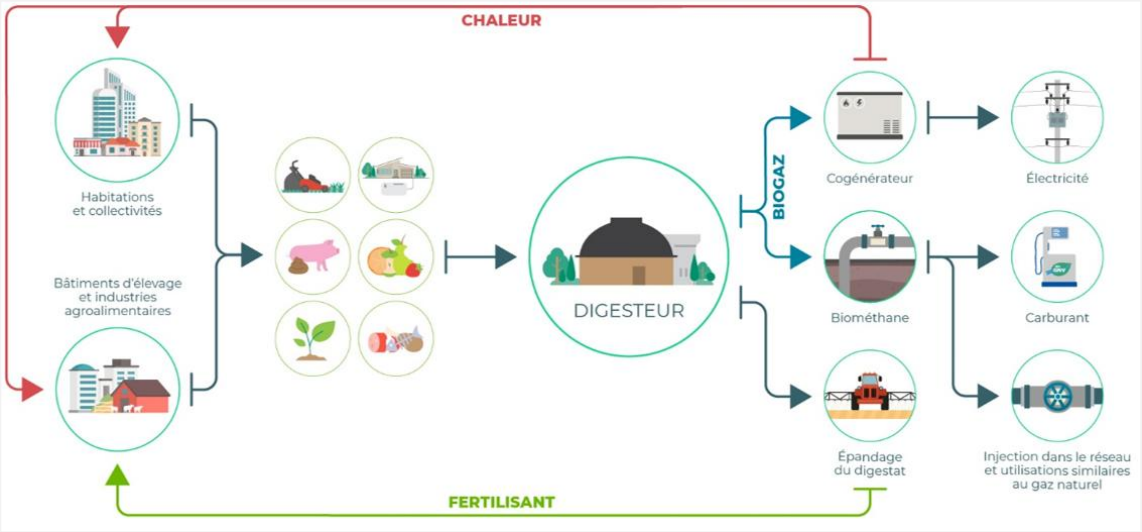


Figure 1 : Schéma fonctionnel de la méthanisation (Source : site infometha – www.infometha.org)

La méthanisation agricole est, en outre, un levier pour renforcer la résilience des systèmes agricoles par la génération d'un revenu complémentaire (ou une diminution de charges) ou pour faciliter l'agrandissement des élevages (en réduisant la contrainte sur la gestion des effluents). La diffusion de cette technologie contribuerait ainsi à l'autonomie alimentaire du territoire.

Par ailleurs, la méthanisation respecte la hiérarchie des usages de la biomasse définie dans la stratégie nationale de mobilisation de la biomasse. Elle renforce une valorisation locale des déchets, pour la production d'énergie, la réduction des importations (énergies fossiles et engrais) et le retour au sol des matières organiques via l'utilisation des digestats, permettant ainsi un bouclage des cycles. Cette voie de valorisation des effluents doit s'articuler avec le retour au sol direct ou le compostage, comme priorisé dans la programmation régionale de prévention et de gestion des déchets de La Réunion (PRPGD).

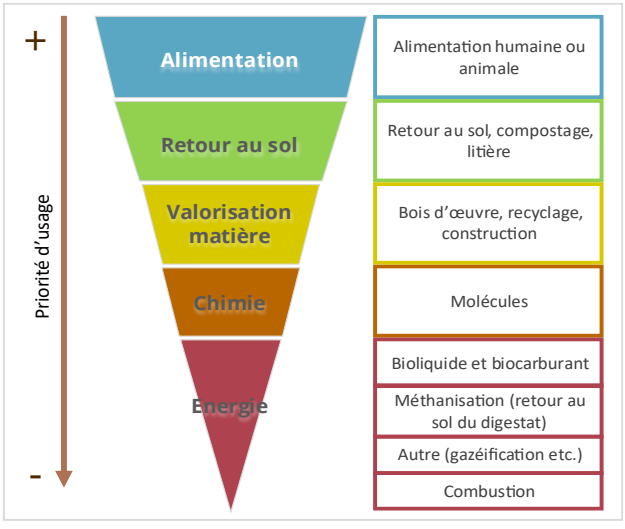


Figure 2- Schéma de la hiérarchie des usages de la biomasse (source : SRB de La Réunion)

En France hexagonale, l'augmentation du nombre de méthaniseurs montre l'intérêt pour cette solution de traitement et de valorisation des ressources biomasse. Son fonctionnement et son adaptabilité peuvent répondre aux spécificités des porteurs de projets dans une stratégie de durabilité des pratiques agricoles.

B. Objectifs de l'étude

L'objectif de cette étude est d'identifier les zones du territoire les plus propices au développement de projets de méthanisation agricole, en analysant les conditions techniques clés pour l'implantation d'installations de méthanisation à La Réunion.

Les principaux éléments pris en compte sont :

- Les ressources mobilisables et leur potentiel pour la méthanisation agricole, ainsi que les possibilités de valorisation, tant sur le plan énergétique à partir du biogaz que sur celui de la fertilisation agricole à partir du digestat ;
- La logistique, les infrastructures existantes et les contraintes géographiques, liées à l'installation d'un méthaniseur ;
- L'identification d'installations « types » de méthaniseurs en tenant compte des différentes composantes technico-économiques d'un projet.

L'étude s'inscrit dans une logique de préfiguration territoriale de la filière méthanisation à La Réunion, figurant dans les objectifs du Schéma Régional Biomasse 2025-2030 (en cours d'élaboration) et dans son plan d'action (en particulier dans son premier axe dédié à la mise en place de nouvelles installations de production d'énergie à partir de biomasse). Aussi, si cette étude s'intéresse principalement à la méthanisation agricole, nous intégrons également dans cette réflexion d'autres biodéchets (permettant l'amélioration du pouvoir méthanogène du mix en entrée) et à la méthanisation territoriale (sur du foncier et avec des intrants en partie non agricole).

C. Méthodologie

Dans un premier temps, une série d'entretiens ainsi qu'un recensement des données et des thématiques à traiter a été réalisée avec les différents acteurs et structures de référence (agricoles, recherche, pouvoirs publics). Les données ont été recueillies auprès de sources institutionnelles (OBR, DAAF, CIRAD, Chambre d'agriculture, etc.) pour compléter les bases de données publiques ou internes à la SPL Énergies Réunion.

Par la suite, des analyses cartographiques (via QGIS) et qualitatives ont permis de représenter géographiquement les ressources et informations clés à prendre en compte pour identifier les opportunités pour l'implantation d'un méthaniseur : concentration de

ressources, infrastructures énergétiques ou de transports, disponibilité foncière et débouchés du digestat ou du biogaz.

Dans un troisième temps, une analyse technico-économique a été réalisée avec la création d'un outil de modélisation technico-économiques, permettant de définir des installations dites « de référence » (comprenant un mix et un tonnage d'intrant, des valorisations du biogaz et du digestat, l'investissement et le coût de l'énergie acceptable).

Finalement, un croisement entre les deux étapes précédentes et des projets en cours de méthanisation ont permis d'identifier des zones d'intérêt pour le territoire. Cette identification a été complétée par une réflexion sur les différents leviers de structuration de la filière méthanisation à La Réunion.

L'approche générale s'est voulue agile, avec une réévaluation des résultats intermédiaires et une remise en question des travaux réalisés au fur et à mesure jusqu'à l'obtention des résultats finaux.

D. Précision sur les limites des données utilisées

La collecte de données a été lancée avant l'élaboration de la méthodologie afin d'identifier d'éventuelles contraintes à la réalisation de l'étude. En effet, les travaux se sont appuyés sur des données existantes et disponibles, ce qui peut limiter leur représentativité. Par exemple, il n'existe pas de donnée sur la production d'effluent par animal spécifique au territoire réunionnais, imposant l'extrapolation des données métropolitaines ; de même, il n'existe pas de cartographie publique actualisée des élevages et des cheptels à La Réunion, imposant l'utilisation d'une carte ancienne (2015). En outre, l'absence d'installations de méthanisation réunionnaises ne permet pas d'avoir des repères techniques et économiques robustes sur les coûts de la technologie à La Réunion, un surcoût a alors été déterminé sur la base de retours d'expériences.

Ces limites sont prises en compte dans ce travail, qui permet de donner des ordres de grandeur fiables à l'échelle territoriale, mais qui ne doit pas être considéré comme une analyse de faisabilité.

II. Analyse des paramètres clés à la viabilité d'un méthaniseur : intrants, exutoires et disponibilité foncière

La viabilité et la faisabilité d'un méthaniseur dépend principalement de 3 facteurs :

- La disponibilité de ressources méthanisables à proximité ;
- Des exutoires pour le biogaz et le digestat ;
- Du foncier disponible ;

En effet, un équilibre entre ces facteurs est nécessaire car :

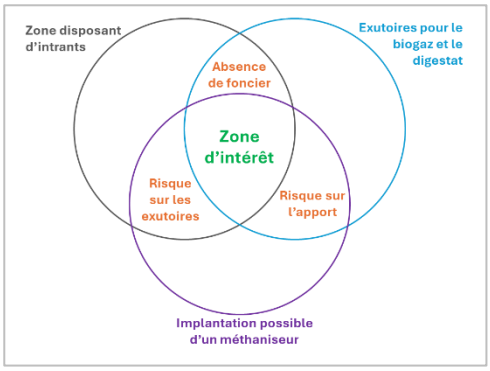


Figure 3 : Schéma des 3 paramètres clés de la durabilité d'une installation de méthanisation

- Une zone avec peu d'intrants entrainerait le transport de ressources éloignées ou un plus petit projet (avec des coûts de fonctionnement et/ou d'investissement relativement plus élevés) ;
- Si le digestat n'a pas d'exutoire, il faudra le transporter voire arrêter l'installation ; et, si le biogaz produit n'est pas valorisé cela entrainerait une perte nette économique et environnementale (destruction en torchère du gaz) ;
- Un projet sans foncier ou situé sur une zone à risques (inondation, séismes) aurait des difficultés à se monter (voire serait interdit).

Cette partie analyse indépendamment chacun de ces critères avant de procéder à leur croisement pour identifier des zones d'intérêt pour l'implantation de méthaniseurs sur le territoire (en partie V), comme schématisé dans la figure 3.

A. Les ressources méthanisables disponibles

1. Des intrants de plusieurs natures

Les effluents d'élevage

Les effluents d'élevage sont parmi les intrants les plus couramment utilisés dans les unités de méthanisation, généralement en raison de la stabilité de leur pouvoir méthanogène et leur composition (pouvant stabiliser la réaction de méthanisation) et de l'absence de valorisation autre que le retour au sol. De plus, le digestat obtenu après la méthanisation d'effluents d'élevage (si le process respecte le cahier des charges DigAgri[1]) n'est pas soumis à un plan d'épandage, réduisant les contraintes réglementaires pour l'exploitant par rapport à la méthanisation d'autres ressources et même de la gestion des effluents bruts.

On peut distinguer trois types d'effluents : les fumiers, les lisiers et les fientes. Chacun présente des spécificités qui influencent directement leur comportement dans un digesteur. Les fumiers (de bovins, d'ovins ou de caprins) sont généralement riches en matière sèche avec une forte proportion de fibres issues des litières (paille, foin), leur dégradabilité est lente et pas totale (la lignine n'est pas digérée), mais avec un pouvoir méthanogène qui peut être élevé. À l'inverse, les lisiers, notamment ceux issus de l'élevage porcin, sont liquides et peu concentrés en matière sèche ; ils sont rapidement dégradés, comprennent des microorganismes et un pouvoir tampon favorables à la digestion (par exemple lors de l'allumage du méthaniseur ou pour éviter la dérive de la réaction), ce qui compense leur faible pouvoir méthanogène. Finalement, les fientes de volailles se distinguent par un fort pouvoir méthanogène et un haut taux de matière sèche, mais également par une forte concentration en azote ammoniacal qui peut inhiber la réaction en cas d'apport excessif.

Comme indiqué ci-dessus, l'utilisation de ces effluents n'est pas exempte de contraintes et il est nécessaire d'équilibrer les parts dans le mix d'intrants introduit dans le digesteur entre le pouvoir méthanogène (pour obtenir le plus de biogaz possible) et les paramètres de stabilité de la réaction (les fumiers peuvent poser des problèmes de brassage ou d'injection, les lisiers et les fientes, lorsqu'ils sont trop riches en azote, peuvent entrainer un risque d'inhibition du process).

A La Réunion, les fumiers disposent déjà d'exutoires (retour au sol, compostage, production de terreau) tandis que les lisiers, et une partie des fientes, posent des problèmes aux éleveurs pour être épandues. Ainsi, même si tous les effluents sont considérés dans l'étude, l'objectif est de maximiser la part de lisiers traités par les éventuels méthaniseurs, et complété par des fientes de volailles.

[1] *Arrêté du 22 octobre 2020 approuvant un cahier des charges pour la mise sur le marché et l'utilisation de digestats de méthanisation d'intrants agricoles et/ou agro-alimentaires en tant que matières fertilisantes*

Autres ressources : biodéchets, résidus agricoles, etc.

Les biodéchets non-agricoles, par exemple les biodéchets des industries agroalimentaires ou du commerce et de la restauration, peuvent compléter le mix en entrée du méthaniseur. Il s'agit de ressources avec généralement un fort pouvoir méthanogène (intéressant pour la production de biogaz en limitant la taille de l'équipement) et avec un faible risque d'indésirables (plastiques, métaux, que l'on peut retrouver dans les déchets ménagers), mais entrainant des contraintes logistiques (transport, stock, car les sites de productions sont éloignés des zones agricoles) ou règlementaires (pour la gestion du digestat, ou pour le classement ICPE de l'installation). Nous les considérons comme intrants pouvant être introduits partiellement dans un mix d'intrants agricoles.

L'incorporation de sous-produits animaux (SPAn) de catégorie 2 et 3 (ceux de catégorie 1 sont interdits à la méthanisation) doivent faire l'objet d'une hygiénisation (pasteurisation) pour les SPAn 3 ou d'une stérilisation pour les SPAn 2, ce qui entraine des surcoûts (investissement, fonctionnement, énergie) et des activités supplémentaires.

D'autres résidus organiques agricoles pourraient également être intégrés dans un méthaniseur : en France hexagonale, certaines cultures intermédiaires (CIVE) ou des résidus végétaux sont méthanisées. Les cultures intermédiaires n'existent pas à La Réunion (en raison des pratiques et des contraintes foncières) et les connaissances sur la nature et les tonnages des autres résidus sont très faibles, nous ne les prenons donc pas en compte (nous les considérons déjà valorisées par ailleurs en litière, paillage, alimentation animale). En outre, l'incorporation de cultures dédiées à la production de matière fermentescible est réglementairement[2] limitée à 15% du tonnage total d'intrants dans un méthaniseur afin de protéger la destination alimentaire des productions agricoles.

[2] *Décret n° 2022-1120 du 4 août 2022 relatif aux cultures utilisées pour la production de biogaz et de biocarburants*

2. La répartition géographique et temporelle de ces ressources

Cartographie des ressources sur le territoire

A partir des entretiens et des données disponibles (recensement agricole, études de la Chambre d'Agriculture et du CIRAD, Schéma Régional Biomasse), les tonnages d'effluents agricoles et de biodéchets disponibles (car non utilisés par ailleurs) sur le territoire a été estimé, et associé à une quantité de biogaz productible (le pouvoir méthanogène). Le résultat de cette première estimation est présenté dans les 2 cartes suivantes.

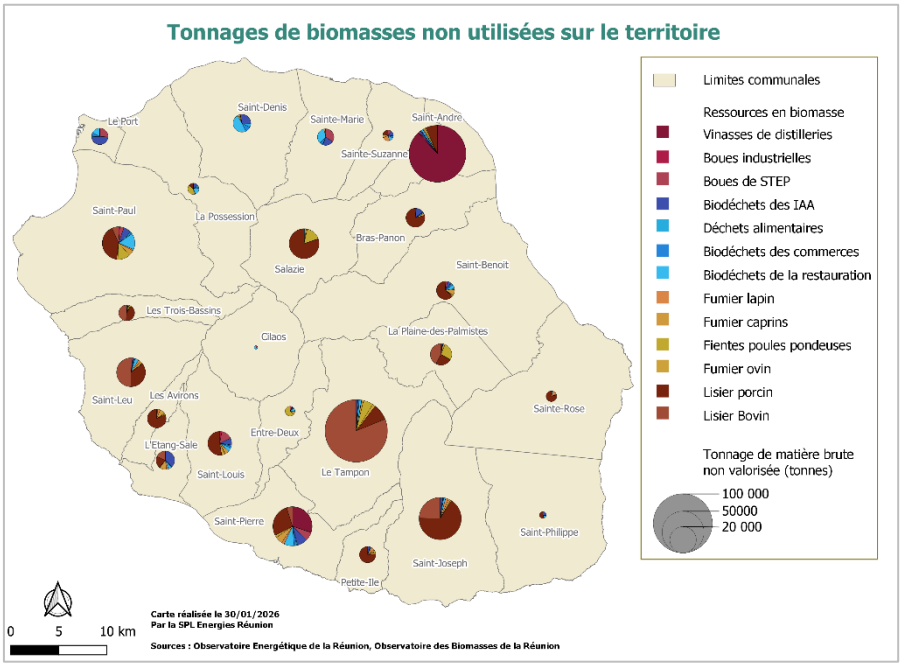


Figure 4 : Tonnages de biomasses méthanisables non valorisées sur le territoire

La figure 4 représente la répartition des biomasses méthanisables disponibles pour un usage énergétique sur le territoire, en tonnes de matière brute. Elle met en évidence les le type de matières fermentescibles, c'est-à-dire les effluents d'élevage (lisiers, fumiers et fientes) et les biodéchets issus de l'industrie agroalimentaire, des collectivités, ou d'autres activités tertiaires. On constate que les effluents d'élevage représentent une part importante voire la majorité des gisements pour chaque commune.

Toutefois, leur simple présence ne suffit pas à conclure l'intérêt de la méthanisation. Pour cela, il faut associer à ces tonnages leur capacité à produire du méthane, principal gaz composant du biogaz généré par le procédé de méthanisation et celui valorisable énergétiquement. Ainsi, la figure 5 représente le potentiel méthanogène de ces biomasses, c'est-à-dire la quantité de biométhane que produirait la méthanisation de la biomasse disponible.

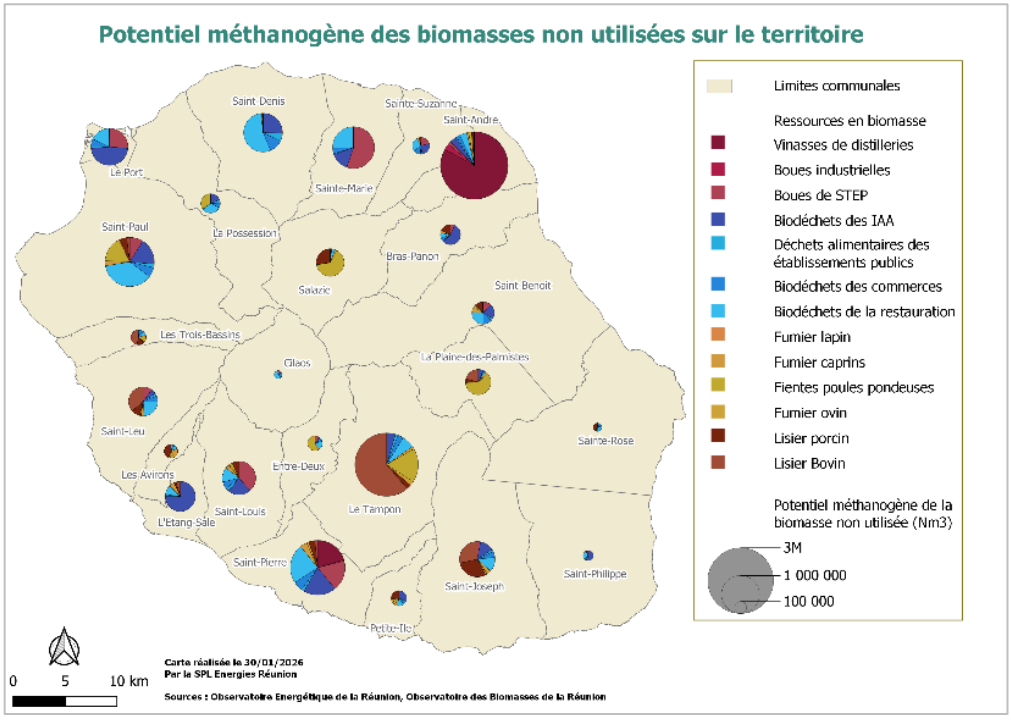


Figure 5 : Potentiel méthanogène équivalent des biomasses non valorisées

On constate alors que certaines communes présentent des ressources intéressantes pour la production de biogaz, c'est le cas des communes dans la zone des plaines (Le Tampon, La Plaine des Palmistes), de l'Ouest (Saint-Paul, Saint Leu, Saint Louis), du Sud (Saint-Joseph et Saint Pierre) ou Salazie.

Saisonnalité et disponibilité des intrants

L'alimentation continue du digesteur est un facteur clé de stabilité du procédé (maximisation de la production du biogaz en maintenant une activité constante des micro-organismes impliqués et spécialisation de ces micro-organismes). Ainsi, la question de la saisonnalité et de la stabilité de la composition des intrants est déterminante pour évaluer la stabilité de l'approvisionnement en matière organique tout au long de l'année.

Pour les effluents d'élevage produits à La Réunion, des échanges avec la chambre d'agriculture ont confirmés que la production présente peu de variabilité saisonnière. Contrairement aux systèmes d'élevage rencontrés dans l'hexagone, où les périodes de

mise à l'herbe, les variations climatiques et les cycles de reproduction influencent fortement le rythme de production des effluents. Les élevages réunionnais sont pour la plupart organisés selon des systèmes plus constants : les animaux produisant ces effluents sont majoritairement élevés en bâtiments ou en systèmes confinés, avec une alimentation majoritairement pilotée, ce qui permet une production régulière d'effluents, les élevages en pâture ou autres systèmes ouverts ne permettent pas la collecte des effluents.

De même, on peut considérer les tonnages de biodéchets constants au cours de l'année.

Par ailleurs, la collecte, le stockage et la manutention de ces matières imposent une organisation rigoureuse : curages périodiques, stockage tampon, transport (bien qu'il soit préférable de mobiliser des matières fraîches dans le méthaniseur pour éviter une perte de pouvoir méthanogène, il peut être intéressant de transporter des bennes ou cuves pleines de biomasse méthanisable).

B. Les exutoires pour les produits de la méthanisation

La méthanisation de biomasse produit 2 composés : du biogaz et du digestat, qui représentent un enjeu économique (par la génération de revenus ou de charges) ou techniques (encombrement, stock, transport) à un méthaniseur.

1. Le retour au sol ou le traitement du digestat

La méthanisation ne vise pas à éliminer les intrants, mais à les valoriser (via la production d'énergie) tout en gardant les éléments fertilisant et amendant. La qualité du digestat dépend du mélange d'intrants utilisé avec une diminution du volume (entre intrants et digestat) de 8 à 10 % et une réduction de la masse estimée de 5 à 10%, qui peut fortement varier en fonction de la nature des intrants.

La valeur amendante du digestat est similaire à celle des intrants (la quantité de phosphore et de potassium reste inchangée), tandis que sa valeur fertilisante est particulièrement intéressante, car la digestion anaérobie hydrolyse et convertit partiellement l'azote organique en ammonium (NH_4^+), augmentant ainsi la fraction d'azote minéral disponible dans le digestat ; toutefois une perte de 10% de l'azote total est observable dans la composition du digestat.

Ce digestat est intéressant pour l'agriculture, en solution alternative et/ou complémentaire à un épandage de matière organique fertilisante. La surface d'épandage nécessaire pour du digestat brut est similaire à celle d'effluents bruts, requérant alors du foncier disponible et une acceptation par les agriculteurs.

Dans le cas d'une méthanisation par voie liquide, les digestats obtenus (composés d'un mélange d'eau et de matières organiques) peuvent être traités afin de faciliter leur gestion. La grande majorité des installations réalisent une séparation de phase pour obtenir une phase aqueuse et une phase solide afin d'optimiser la logistique et l'usage en agriculture, la phase solide étant plus amendante (avec une majorité de l'azote organique) et la phase liquide disposant d'un pouvoir fertilisant (avec une majorité de l'azote minéral).

Outre la séparation de phase, il existe des solutions de traitement complémentaires, celles-ci étant marginales, destinées à des installations de grande capacité ou avec des contraintes très spécifiques et généralement appliquées après une étape de séparation de phase :

- Le séchage en utilisant une partie de la chaleur produite (par cogénération ou dans une chaudière), pour réduire la masse et le volume du digestat à transporter. Ce séchage peut être fait sur tapis de séchage (pour la phase solide) ou par évapo-concentration (pour la phase liquide ou du digestat brut). Toutefois, ce procédé consomme beaucoup d'énergie, et ne peut évaporer qu'une partie de l'eau du digestat, et entraine une majorité de l'azote dans la vapeur nécessitant un traitement des gaz pour sa récupération ;

- Une récupération de l'eau par filtration membranaire ou osmose inverse, qui permet de récupérer de l'eau purifiée d'une part et de la phase liquide concentrée en éléments fertilisants d'autre part.

Ces traitements complémentaires peuvent être intéressants pour normer le digestat (dans le cas de l'incorporation de biodéchets) et éviter ainsi le recourt à des plans d'épandage ou pour faciliter le transport ou la gestion de ce digestat. Cependant les coûts d'investissements, d'exploitation et les contraintes imposées par ces briques technologiques supplémentaires les rendent peu intéressants pour le contexte réunionnais.

2. La valorisation du biogaz

Le biogaz est composé en majorité de méthane, de dioxyde de carbone et d'autres gaz (H_2S, H_2O…). En France hexagonale, il est généralement injecté sur un réseau de gaz ou utilisé pour de la production d'électricité via un module de cogénération (produisant aussi de la chaleur). Il peut également être directement valorisé en chaleur ou encore produire du carburant de type BioGNV (cette étape est rarement faite sur site dans le cas de la méthanisation agricole).

Le choix d'un mode de valorisation du biogaz doit être adapté à la situation :

- La disponibilité foncière et les contraintes techniques : une chaudière à gaz ou un moteur de cogénération sont faciles à faire fonctionner et nécessitent peu voire aucun traitement du gaz ; la production de bioGNV requiert une purification et une compression du gaz et des équipements de stockage et de distribution du bioGNV, impliquant plus de matériel et donc un plus haut niveau de maitrise technique ;
- Les contraintes administratives et financières : un contrat de vente d'électricité peut durer 20 ans (la durée de vie d'une installation) mais la contractualisation est coûteuse et longue (en cas de négociation avec la Commission de Régulation de l'Energie, sans assurance de réussite) ; là où la vente de bioGNV est plus flexible mais soumise à la présence d'un acheteur avec des durées contractuelles potentiellement plus courtes ;
- Les besoins et équipements à proximité de l'installation, soit pour la chaleur (industrie, élevage), soir pour l'électricité (la distance à un réseau électrique) ou pour le transport :
    - A La Réunion, il n'a pas de réseau de gaz existant, ni de réseau de chaleur. Il est donc nécessaire d'avoir un besoin en chaleur à proximité de l'installation, avec un besoin en continu et stable au cours de l'année si on souhaite que l'installation produise et vende de la chaleur. Les besoins en chaleur pour l'agriculture sont limités, les élevages de volaille utilisent des chaudières à gaz mais le besoin n'est pas connu et varie au cours de l'année.
    - La cogénération avec vente d'électricité est la voie la plus simple à mettre

techniquement en place sous réserve d'un raccordement au réseau électrique. Les objectifs d'autonomie électrique du territoire rendent cette opportunité intéressante, toutefois la cogénération produit une chaleur fatale résiduelle à valoriser pour assurer un bon rendement énergétique global de l'installation ce qui revient à prendre également en compte le point ci-dessus ;

- Le bioGNV pourrait également être intéressant dans le cadre du verdissement de la mobilité, sous réserve d'avoir une flotte de véhicules capables d'utiliser ce carburant et donc un réseau de transport public (flotte de bus) ou privé (transporteurs, véhicules agricoles) à proximité.

3. Une répartition inégale des exutoires sur le territoire

L'implantation d'un méthaniseur doit prendre en compte :

- La proximité de parcelles agricoles (d'épandage) pour permettre la sortie du digestat de l'installation ;
- La présence d'un réseau électrique (pour la cogénération) et d'un besoin de chaleur résiduel, ou alors d'un réseau de transport pour l'utilisation et la vente du biogaz.

Les cartes suivantes représentent d'une part les parcelles agricoles (figure 6) et d'autre part (figure 7) les réseaux routier (pour l'usage du bioGNV) et électrique (pour un raccordement) ainsi que les zones d'activités économiques (pour l'utilisation de la chaleur) sur le territoire réunionnais

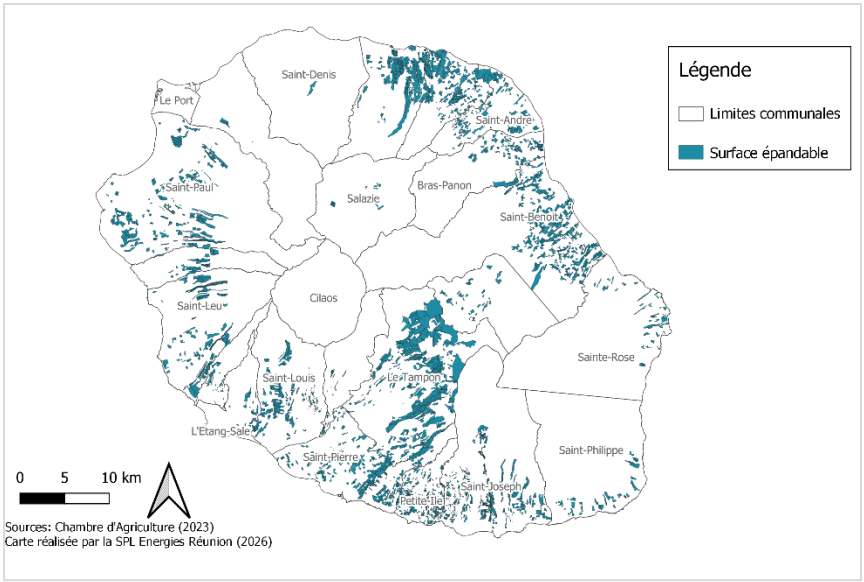


Figure 6 : Répartitions des parcelles agricoles sur le territoire

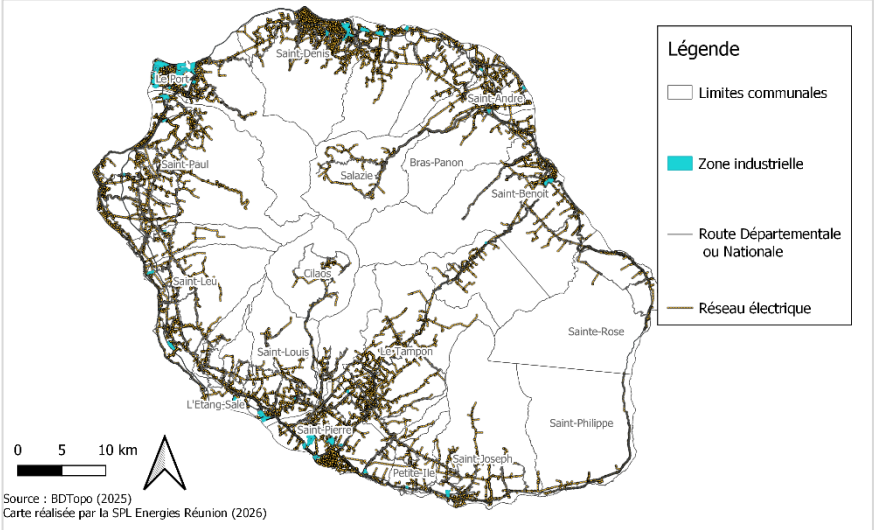


Figure 7 : Réseau routier (usage carburant), électrique (raccordement électrique) et des zones d'activités (besoins de chaleur) sur le territoire réunionnais

Les parcelles agricoles sont généralement situées dans les hauts du territoire et donc éloignées des pôles d'activités et des zones à forte densité urbaine, où on retrouve les flottes de bus et une activité dense de transport (en outre, on trouve proche des zones urbaines les zones de stockage des bus, intéressant pour implanter un site de recharge). Toutefois le réseau électrique est présent sur l'ensemble du territoire (qui faciliterait le raccordement d'un méthaniseur).

Les parcelles agricoles utilisées en prairie ou pour une culture sont généralement utilisables pour y épandre des effluents (ou du digestat), toutefois la règlementation décrit des critères d'éloignement entre les surfaces amendées ou fertilisées et les habitations ou les cours d'eau (ou points de captage) en tenant également compte de la pente.

4. La gestion logistique des composés

Le transport des matières est un critère de faisabilité et de rentabilité clé pour l'installation, à considérer au même titre que la technologie choisie ou le dimensionnement des équipements. Il influe directement sur les coûts d'exploitation, l'organisation quotidienne et la faisabilité technique du projet, notamment dans un territoire insulaire comme La Réunion.

Pour les intrants, la contrainte réside avant tout dans la dispersion géographique des ressources. Pour assurer un tonnage suffisant, il sera nécessaire d'avoir un

approvisionnement continu en effluents d'élevage, ou en biodéchets en provenance de plusieurs sites d'approvisionnement. Il faudra donc organiser une collecte régulière, parfois sur des périmètres étendus, avec des engins adaptés à la nature des substrats (liquides, solides ou mélangés).

Ce transport mobilise du personnel, consomme du carburant, et peut être perturbé par des aléas météo, des routes endommagées ou des difficultés d'accès. L'état du réseau routier, en particulier dans les zones rurales ou en altitude, impose des précautions supplémentaires (tonnage limité, accès, pentes…).

Le digestat, de son côté, doit également être transporté depuis le site de méthanisation jusqu'aux parcelles d'épandage. À La Réunion, les terres agricoles sont rarement regroupées autour d'un même pôle : elles sont morcelées, éloignées, et parfois situées sur des pentes difficiles d'accès. Ce morcellement allonge les trajets, et multiplie les allers-retours.

La logistique du transport des matières entrantes et sortantes doit donc être pensée en amont du projet pour être optimisées : limiter les distances, regrouper les apports, adapter le matériel, planifier les flux, repartir la prise en charge. Une mauvaise anticipation à ce niveau peut rapidement déséquilibrer le fonctionnement et la rentabilité d'une unité de méthanisation.

C. Zones foncières disponibles à l'implantation de méthaniseurs

Un ensemble de contraintes réglementaires spécifiques à l'implantation d'une installation doivent être analysées en amont de tout projet. Ces règles concernent à la fois la protection de l'environnement, l'urbanisation, ou encore la géographie du territoire.

1. Régime des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)

Les unités de méthanisation sont encadrées par le régime des ICPE (2781 et 2781-1 du Code de l'environnement). Selon les volumes traités et la nature des intrants dans le cas de matières végétales ou d'effluents, le projet est soumis à :

- Déclaration si le tonnage journalier traité est inférieur à 30 tonnes d'effluents d'élevage ;
- Enregistrement si le tonnage journalier traité est compris entre 30 et 100 tonnes ;
- Autorisation si le tonnage journalier traité est supérieur à 100 tonnes.

En fonction du régime, des exigences de plus en plus complexes s'appliquent à l'installation pour son implantation : éloignement aux habitations (de 100m pour une installation soumise à déclaration, et 200m pour les autres régimes), l'éloignement à des points de captage ou de stockage d'eau, des cours d'eau… Ces règlementations comprennent également des critères relatifs aux dispositifs de sécurité, la maîtrise des odeurs, le traitement des intrants et ou la gestion du digestat par exemple.

2. Contraintes règlementaires

Définition réglementaire d'un méthaniseur agricole

Nous considérons dans la suite de cette étude que nous nous plaçons dans le cas d'un méthaniseur agricole et d'une activité agricole au sens du Code rural et de la pêche maritime, c'est-à-dire :

- Un méthaniseur dont au moins 50% du biogaz produit est issus d'une production agricole[3] ;
- L'installation doit être exploitée par un exploitant (ou un groupement d'exploitants) agricole(s)[4].

[3] *Article L.311-1 du Code rural et de la pêche maritime*

[4] *Article D.311-18 du Code rural et de la pêche maritime*

Contraintes d'urbanisme et d'aménagement du territoire

L'implantation d'une unité de méthanisation doit prendre en compte les contraintes du Plan local d'urbanisme (PLU) et le Schéma d'Aménagement Régional (SAR). Ce dernier[5] a pour objectif (D.5) de « permettre le développement des installations de production d'énergies renouvelables contribuant à l'autonomie énergétique du territoire, notamment de méthanisation, tout en maintenant la vocation initiale des espaces. Les méthaniseurs agricoles peuvent s'implanter dans les espaces classés A ou N des PLU.

Au-delà des exigences réglementaires, le choix de l'emplacement doit également prendre en compte l'environnement proche. Il est préférable d'éviter une trop grande proximité avec les écoles ou les zones touristiques, et de veiller à une intégration paysagère soignée, afin de réduire les nuisances olfactives ou visuelles.

De plus, à La Réunion, la rareté des surfaces planes et accessibles, combinée à la pression foncière dans les bas et les besoins identifiés en amont rendent le choix du lieu d'implantation plus complexe.

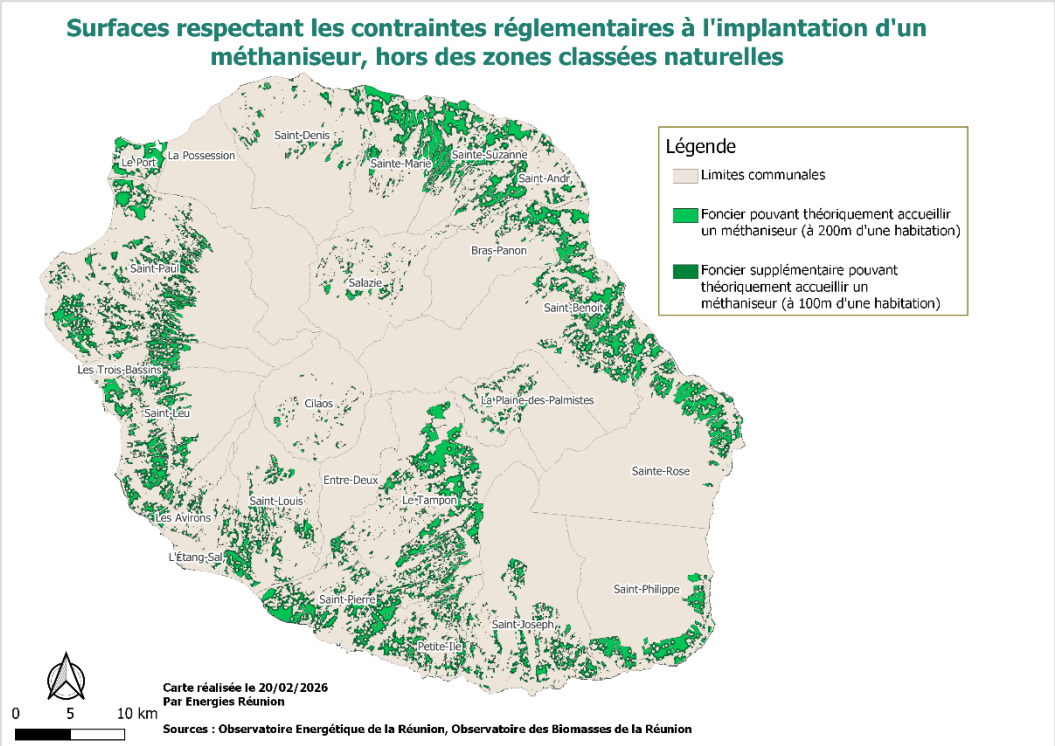


Figure 8: Accès au foncier et distances réglementaire

[5] SAR de La Réunion approuvé par décret N°2011- 1609 du 22 novembre

La figure 8 présente les zones avec la possibilité réglementaire et la disponibilité foncière pour l'implantation d'installations de méthanisation sur le territoire réunionnais, en tenant compte des cours d'eaux et des captages, de l'occupation des sols (exclusion des zones urbanisées) elle exclue en complément les zones naturelles des PLU (afin de garantir la protection de l'environnement) et les zones urbanisées (le sol étant déjà occupé).

On constate qu'un méthaniseur agricole pourrait théoriquement être implanté sur l'ensemble du territoire (hors cœur du parc national), ceci en raison de sa qualification de méthaniseur agricole. Toutefois cette disponibilité est à relativiser par la présence de fortes pentes ou l'usage actuel (en prairie ou production végétale) de ces espaces.

III. Modélisation technico-économique d'installations de référence

Pour dimensionner et comparer les différents mix, technologies, solutions de traitement envisageables et la sensibilité du coût de production de l'énergie et des investissements à ces différents paramètres, un outil de modélisation technico-économique a été construit (sous la forme d'un fichier Excel).

Le schéma fonctionnel ci-dessous résume l'architecture de cet outil :

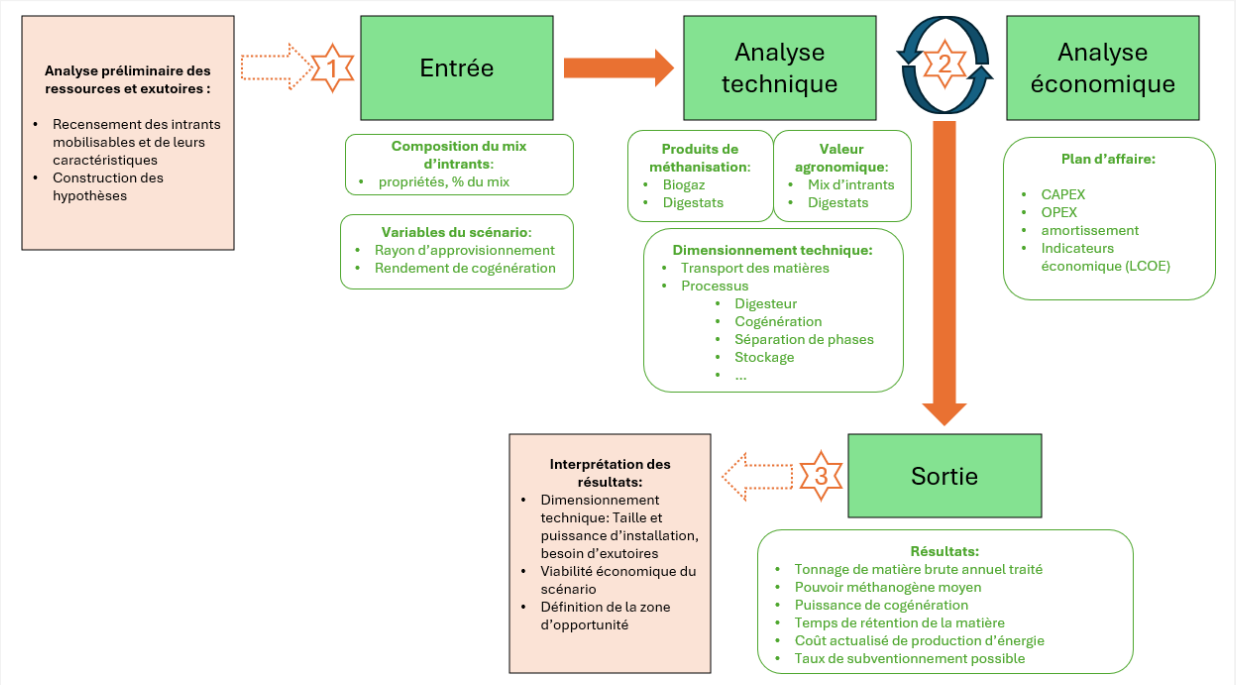


Figure 9 : Schéma fonctionnel de l'outil de modélisation technico-économique

A. Focus sur la construction de l'outil

L'outil a été conçu pour modéliser au mieux la diversité des situations, en tenant compte des données disponibles, du contexte réunionnais et en cherchant à maintenir une simplicité dans son utilisation.

1. Les données d'entrée : informations librement modifiables

Plusieurs informations doivent être entrées par l'utilisateur, il s'agit des éléments qui peuvent facilement varier d'un projet à un autre, voire faire l'objet d'une évolution pendant la maturation du projet pour assurer sa rentabilité (ces différents leviers de rentabilité seront analysés dans une partie ultérieure).

Ces paramètres sont :

- La composition du mix d'intrants (en tonne) comprenant notamment les effluents d'élevage répartis par type d'animal (bovin, porcin, avicole) et type de produits (fumier, lisier, fientes) ou les biodéchets répartis par nature ;
- Le mode de traitement du digestat : aucun (production d'un digestat brut), séparation de phase (obtention d'une phase liquide et solide), séchage de la phase solide ou de la phase liquide (utilisant d'une partie de la chaleur résiduelle de l'installation, dans le cas du séchage de la phase solide, du digestat sec est produit) ou extraction de l'azote du digestat de la phase solide ou liquide (qui produira du sulfate d'ammonium). En raison du faible nombre de données disponibles, l'extraction du CO_2 (pouvant être couplée à un équipement d'épuration du biogaz) n'est pas intégrée ;
- La rémunération de chaque intrant, qui peut être une source de revenue pour l'exploitant du méthaniseur (paiement pour le traitement d'un déchet fermentescible) ou une charge (achat d'une ressource fortement méthanogène). Par exemple en France hexagonale les effluents sont livrés gracieusement, mais les méthaniseurs achètent des huiles ou graisses alimentaires ;
- La rémunération du digestat, selon sa nature, qui peut représenter également un revenu pour l'exploitant (achat par un utilisateur d'un produit amendant ou fertilisant) ou une charge (rémunération d'un agriculteur pour épandre sur sa parcelle le digestat) ;
- Le transport des intrants et du digestat, avec d'une part la distance de transport pour chaque ressource entre le lieu de production et de valorisation (en km) et la répartition de la charge de transport entre l'exploitant du méthaniseur et le producteur d'intrant ou l'utilisateur du digestat. On ne considère pas d'optimisation du transport (le trajet est un aller-retour avec la moitié du trajet à vide) ;
- Le plan de financement, entre les subventions, l'emprunt bancaire (en précisant le

taux et la durée), l'apport en nature et l'apport en compte courant associé (le reste étant considéré comme de l'apport en cash). Pour ces 4 données, il est possible d'indiquer soit le montant correspondant, ou le pourcentage de l'investissement concerné.

2. Un ensemble d'hypothèses de calcul figées

Afin de faciliter la production de résultats, un ensemble de paramètres ou d'hypothèses permettant de réaliser les calculs dans l'outil ont été fixés à partir des données disponibles dans différentes études réalisés sur le territoire métropolitain ou réunionnais (ADEME, CRE, SOLAGRO, CIRAD). Ces données ne sont pas facilement accessibles pour un utilisateur, mais peuvent toutefois être ajustées en cas de besoin ou en fonction de l'évolution des connaissances.

Ces données concernent :

- La caractérisation des intrants : chaque ressource possède des propriétés physico-chimiques spécifiques (pouvoir méthanogène, taux de matière sèche de matière organique, valeur fertilisante) dont, pour un même produit, la valeur peut fortement varier en fonction des conditions de production de cet intrant (conditions d'élevage, alimentation, âge des animaux, activité réalisée dans le cas d'une industrie agro-alimentaire). Ces valeurs ont alors été fixées d'après la bibliographie existante. Toutefois, des lignes ont été laissées pour permettre l'ajout de ressources supplémentaires dans les intrants, à la condition de disposer de l'ensemble de ces caractéristiques.
- Le fonctionnement général de l'unité et des équipements : le temps de fonctionnement annuel de l'unité, le rendement des différentes étapes de la réaction, du traitement ou de la valorisation du biogaz et du digestat.
- Le transport : le coût est évalué pour un transport réalisé à l'aide de tracteurs agricoles et remorques d'une capacité de chargement moyenne de 14 tonnes (tonnage moyen estimé).
- Le montant total de l'investissement, en appliquant un ratio d'investissement rapporté à l'énergie ou au biogaz produit[6]. Ces ratios proviennent des études ou analyses réalisées sur le territoire hexagonal.
- Le montant des charges d'exploitation, qui peuvent dépendre ou non de la quantité de biogaz (ou d'électricité, bioGNV, chaleur) produit.

[6] Le tonnage total entrant dans l'installation n'influence pas le coût d'investissement.

3. Les sorties de l'outil

Indicateur économique clé : LCOE

En France hexagonale, l'existence de tarifs d'achats réglementés pour le biométhane ou l'électricité (celui-ci ayant été abrogé en septembre 2025) produit par un méthaniseur permet d'évaluer le chiffre d'affaires d'une installation projetée et donc de définir des indicateurs financiers clairs (Taux de Rentabilité Interne, Valeur Actualisée Nette). Or à La Réunion cette absence de tarifs réglementés impose d'utiliser un autre indicateur pour identifier la faisabilité économique d'un projet.

Nous nous appuyons alors sur une estimation du LCOE, le coût actualisé de la production d'énergie. Ce dernier représente le coût moyen pour produire une unité d'énergie sur toute la durée de vie du projet, il tient compte de :

- La somme annuelle de tous les coûts (amortissement de l'investissement, fonctionnement, maintenance pouvant être soumis à une inflation …) auxquels on soustrait les revenus, actualisés dans le temps ;
- La somme de l'énergie produite tout au long de la durée de fonctionnement de l'installation, actualisée dans le temps.

Ce LCOE indique une évaluation du prix de vente minimal de l'énergie produite (électricité, bioGNV, chaleur) permettant de couvrir l'ensemble des coûts de production. En définissant des seuils à ne pas dépasser, on peut alors évaluer l'acceptabilité (ou faisabilité) d'un projet.

Autres données de sortie

Comme indiqué précédemment, la faisabilité d'un méthaniseur ne s'évalue pas uniquement par un prisme économique, d'autres informations peuvent être prises en compte pour évaluer un projet, et sont également calculés dans l'outil :

- Sur le mix d'intrants : le tonnage journalier et régime ICPE ;
- La surface nécessaire pour retourner le digestat au sol ;
- La production énergétique, à la fois l'électricité, la chaleur (totale ou résiduelle), et le bioGNV ;
- Le montant des investissements et des subventions.

B. Limites de l'outil

Cet outil permet d'évaluer la faisabilité d'un projet de méthanisation et de définir les principales caractéristiques liées à l'économie du projet, à la matière entrante, sortante, ainsi qu'au biogaz et au milieu réactionnel. Toutefois, cela reste une première approche dépendante des données disponibles (généralement différentes du contexte réunionnais) et des contraintes d'usage de l'outil (qui reste relativement simple et facile d'usage).

Des choix ont donc dû être faits pour aboutir à la version utilisée dans cette étude, qui présente plusieurs limites que cette partie propose de mettre en lumière.

1. Evaluation de l'investissement

La détermination de l'investissement d'un type d'installation n'existant pas encore dans les outres-mers, est complexe :

- En ce qui concerne le cout d'investissement, la méthode qui pourrait sembler la plus exhaustive est de sommer le coût de chaque équipement d'une unité (digesteur, module de cogénération, stockage, tuyaux, moteurs, capteurs etc.). Toutefois, cette démarche est peu pertinente dans le cas d'une étude d'opportunité : d'une part, elle requiert de connaitre précisément l'ensemble des équipements ou des travaux nécessaires et de leurs coûts en tenant compte du contexte insulaire, mais aussi des frais d'assurance, d'expertise, des imprévus qui peuvent influencer l'investissement ; d'autre part, une telle approche est très peu flexible (chaque changement ou décision pourrait entrainer une révision totale des équipements nécessaires).
- Il est possible d'utiliser l'estimation d'une unité complète à partir d'un coût rapporté à la puissance électrique installée (ou de la quantité de biogaz produite). Cette deuxième possibilité permet d'éviter le risque d'omettre des éléments ou des charges dans le plan d'investissement, mais dégrade la précision des investissements. Il existe dans la littérature grise (études de l'ADEME, de la CRE etc.) des ratios spécifiques pour la métropole, auquel il faut ajouter un surcoût pour les adapter au contexte réunionnais (x3, d'après les experts, et des données économiques des projets réunionnais).
- La solution retenue est d'utiliser les ratios disponibles les plus représentatifs (notamment ceux issus d'une étude sur les installations de méthanisation par injection de la CRE). Cela permet de séparer l'investissement total en plusieurs « briques » (digesteur, aménagement, développement, génie civil…) et de remplacer la partie de transformation/valorisation du gaz avec des briques équivalentes issues d'autres études. La partie « traitement du digestat » est également évaluée à part, car en France hexagonale le digestat est soit épandu sur sa forme brute ou alors subit une séparation de phase, les autres traitements étant

appliqués lorsqu'il y a des enjeux de réduction de l'azote ou du tonnage pour du transport longue distance.

Toutefois, comme précisé, il s'agit d'une estimation des coûts en fonction de la quantité de biogaz produit. Ainsi, deux installations produisant la même quantité de biogaz auront un même montant d'investissement estimé, ceci même si l'une a une capacité de traitement bien supérieure (pour traiter des lisiers ou des éléments avec un faible pouvoir méthanogène, et donc des installations de grande taille) à l'autre (qui méthaniserait des fientes, ou des biodéchets avec un très fort pouvoir méthanogène). Cette limite est gênante dans la comparaison de situations extrêmes mais dans les faits les compositions des intrants seront relativement similaires et l'impact est assez faible.

En outre, les installations peuvent bénéficier d'économies d'échelles : plus elles produisent de biogaz moins l'investissement rapporté à l'énergie produite est élevée. Cet effet est généralement évalué sur des intervalles de puissance (ou de capacité de traitement) des installations, il peut donc y avoir des discontinuité dans l'évaluation de l'investissement en fonction de sa capacité de traitement (ceci est considéré par la suite), où une petite modification des intrants entraine une importante évolution de l'évaluation de l'investissement).

2. Coût du traitement du digestat

Outre l'investissement dans les équipements nécessaires pour réaliser les traitements envisagés, ces traitements impliquent des charges ou des besoins spécifiques :

- Une consommation électrique pour faire fonctionner le matériel ou pour produire de la chaleur afin d'évaporer l'eau ;
- Des opérations de manutentions des matières produites qui nécessitent de la main d'œuvre supplémentaire ;
- Des produits spécifiques, tels que de l'acide sulfuriques (pour traiter le biogaz ou les vapeurs produites) ou du charbon actif.

En raison de l'absence de données, l'estimation des coûts de traitement du digestat (sauf de la chaleur) provoqués par ces opérations supplémentaires n'ont pas été dimensionnés.

3. Installations dédiées à la production de chaleur

Un cas particulièrement problématique à l'estimation de l'investissement concerne les installations ne produisant que de la chaleur (pas de génération d'électricité ou de bioGNV). En effet, la bibliographie très limitée sur de tels équipements (pourtant fréquemment installés) conduisent une estimation de l'investissement similaire à celui

d'une installation de cogénération, ce qui semble étonnant connaissant la moindre technicité des chaudières face aux moteurs de cogénération.

4. Hygiénisation des intrants

Comme indiqué dans la partie II.A.1, l'incorporation des sous-produits animaux requiert des investissements, des coûts et une consommation énergétique supplémentaires. Ce cas particulier d'intrant n'est pas intégré dans l'outil pour pouvoir être modélisé.

5. Coût du transport

Selon la nature de la matière à transporter et la distance, plusieurs véhicules peuvent réaliser le transport des intrants et/ou des digestats : une benne (de différents capacités) tractée par un tracteur ou un camion pour les éléments solides, une tonne à lisier (tirée par un tracteur) ou un camion-citerne pour les éléments liquides. Chacune de ces options présente des avantages (coût, praticité, volume, rapidité…) et des inconvénients spécifiques ; de même, il est possible d'optimiser les flux de transport pour éviter un trajet à vide lors du transport.

Tous les coûts de transports sont supposés indépendants et réalisés avec une benne de 14 tonnes, avec un aller-retour entre le gisement (intrant ou digestat) et l'utilisateur, d'une distance fixe (donnée en entrée) avec un des trajets à vide.

6. Absence de prise en compte du rendement énergétique et environnemental

En lien avec le transport, mais également la gestion des produits et des équipements, est l'impact environnemental de l'installation. L'outil ne propose pas d'analyse de cycle de vie de l'installation, ni de bilan des émissions de gaz à effet de serre générés par l'installation, et en particulier le transport des matières. La réalisation de cette analyse pourrait s'avérer judicieuse pour les installations importantes (en termes de production de biogaz) car les directives européennes RED II (renforcée par RED III) définissent des critères pour évaluer la durabilité ou non de l'énergie produite par la méthanisation.

Il n'est pas non plus pris en compte le rendement énergétique du transport de la matière (énergie consommée par le transport et la manutention des intrants contre l'énergie produite par ces intrants), qui peut rendre l'utilisation d'un intrant éloigné ou très faiblement méthanogène inopportune.

IV. Résultats de l'outil de modélisation : la faisabilité d'un méthaniseur et les leviers de rentabilité

De nombreux paramètres entrent en compte pour évaluer la faisabilité économique et technique d'un méthaniseur, et leur détermination doit s'appuyer sur une analyse spécifique et approfondie de chaque projet.

Cette partie a donc pour objectif de dessiner les grandes lignes qui entrent en jeux pour évaluer la rentabilité économique d'un méthaniseur, combinée aux besoins du territoire.

A. Evolution du LCOE en fonction du mix d'intrants

Dans cette partie, nous cherchons à déterminer si, compte-tenu des surcoûts réunionnais, des modèles de méthaniseurs peuvent ne pas dépasser un certain coût de production de l'électricité. On ne s'intéresse ici que dans le cas de l'électricité, mais la réflexion serait similaire dans le cas du bioGNV.

Ainsi, nous cherchons à définir la part maximale de lisier (bovin ou porcin, constituant les effluents les plus problématiques à gérer sur le territoire) par rapport à un autre effluent d'élevage avec un pouvoir méthanogène supérieur, en fixant plusieurs paramètres :

- Le tonnage total d'intrants dans le méthaniseur (entre 5 et 60 000 tonnes par an) ;
- Un coût actualisé de de la production d'énergie (LCOE) recherché, entre 200€/MWh et 300€/MWh ;
- Un taux de subventions publiques à 45% (montant de l'aide FEDER de la fiche 2.2.4 au 31/12/2025) ;
- Aucune charge ou revenu provenant de l'achat/vente d'intrant et de digestat ni du transport de matière ;
- Pas de vente ni d'utilisation de la chaleur ;
- Le digestat est traité uniquement par séparation de phase.

Dans ces conditions nous testons deux mix correspondants à un mélange de deux intrants :

- Un mix de lisier porcin (à faible pouvoir méthanogène) et de fientes de poules pondeuses (à très haut pouvoir méthanogène) ;
- Un mix de lisier et de fumier de bovins (le fumier ayant un pouvoir méthanogène moins élevé que les fientes).

Les résultats sont résumés dans les deux graphiques ci-dessous :

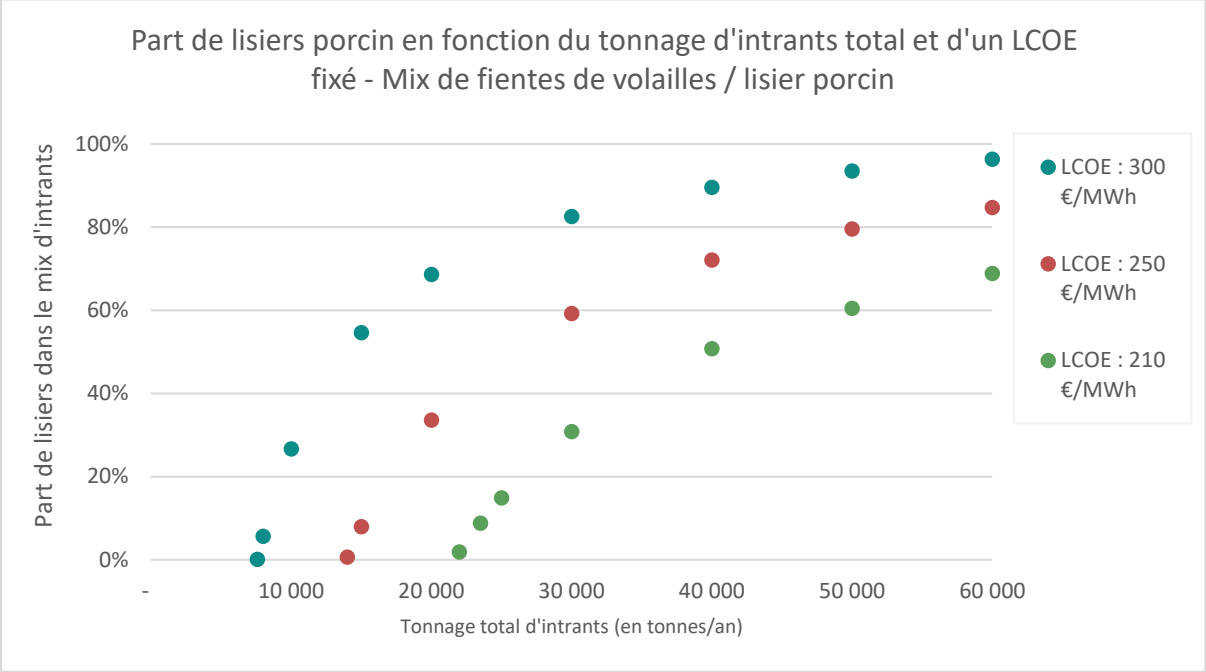


Figure 10 : Graphique représentant la part de lisier porcin (en % du mix, en ordonnée) en fonction du tonnage d'intrants total (en abscisse) et d'un LCOE fixé (graphiques) avec comme mix d'intrants un mélange de fientes de volailles et de lisier porcin

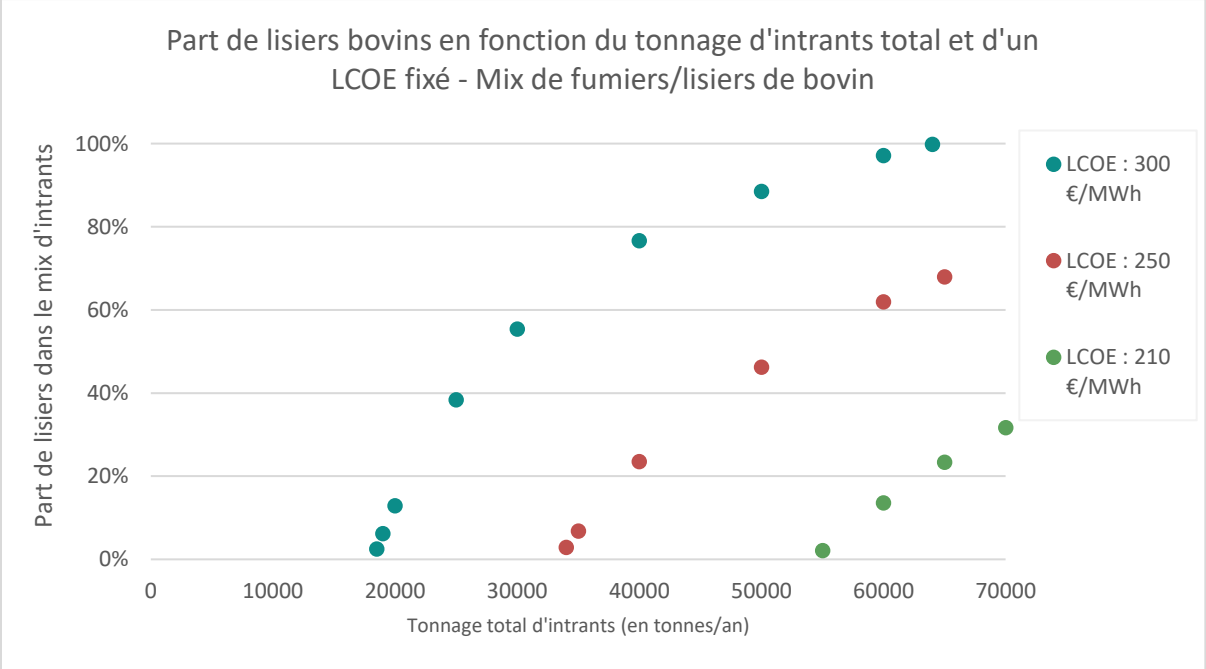


Figure 11 : Graphique représentant la part de lisier porcin (en % du mix, en ordonnée) en fonction du tonnage d'intrants total (en abscisse) et d'un LCOE fixé (graphiques) avec comme mix d'intrants un mélange de fumiers et de lisiers de bovin

Plusieurs enseignements peuvent être tirés de ces graphiques :

- A LCOE constant, on remarque que la part de lisier que l'on peut inclure dans le mix n'est pas une fonction linéaire du tonnage total, lorsque les tonnages sont faibles, l'incorporation augmente rapidement pour se stabiliser lorsque le tonnage total augmente ;
- Plus on se place proche de l'origine de l'axe des abscisses (un petit méthaniseur) plus le LCOE devient élevé et moins il est possible d'admettre de lisiers pour assurer un coût de l'énergie respectant les seuils fixés ;

  A un niveau de subventions de 45% de l'investissement et si on cherche un coût de l'énergie actualisé (LCOE) inférieur à 300€/MWh, il serait financièrement viable d'incorporer du lisier bovin dans le mix si l'installation traite 20 000 tonnes annuelles d'effluents ou plus. Si on cherche un LCOE inférieur à 210€/MWh, la capacité de traitement doit dépasser les 55 000 tonnes annuelles. Si le mix inclut des intrants à plus haut pouvoir méthanogène (telles que des fientes de poules pondeuses), il est possible d'incorporer des lisiers dans de plus petites installations. Cette contrainte provient de la nécessité d'assurer un pouvoir méthanogène moyen du mix d'intrants suffisant pour assurer une production de biogaz suffisante ;

  En complément, le LCOE (avec les hypothèses utilisées) ne peut descendre en dessous de 200 €/MWh ;
- De manière générale, seuls des méthaniseurs de grosse capacité de traitement (à supérieurs à 15 000 voire 30 000 tonnes/an) peuvent être alimentés pas une majorité de lisiers tout en produisant une énergie électrique à un coût inférieur à 300 €/MWh.

Par ailleurs, dans cette première analyse, nous négligeons les aspects techniques de l'exploitation pour illustrer la difficulté d'équilibrer un enjeu de rentabilité économique et la volonté d'utiliser la méthanisation comme solution de traitement de lisiers. Dans la réalité d'autres contraintes devraient être prises en compte : le taux d'humidité relativement faible des fumiers ou des fientes qui orienterait la méthanisation de ces effluents seuls vers des installations en voie sèche, ou le taux d'azote élevé de ces mêmes ressources qui entraine des risques sur la stabilité de la réaction de digestion.

B. Les différents leviers de rentabilité économique et leur impact

Outre le mix d'intrants dont va dépendre la production de biogaz, la faisabilité économique d'un méthaniseur peut être assurée par plusieurs leviers :

- le subventionnement à l'investissement ;
- le traitement appliqué au biogaz ;
- l'achat ou le dédommagement pour l'utilisation de certains intrants (par exemple pour s'approvisionner en intrant à très fort pouvoir méthanogène, ou pour apporter une solution à des éleveurs n'arrivant pas à se débarrasser de leurs effluents), idem pour les digestats ;
- la répartition des coûts de transports des intrants ou des digestats ;
- le traitement appliqué au digestat ;
- la vente de la chaleur résiduelle.

Dans la suite de cette partie, nous fixons deux mix correspondants à un mélange de deux intrants, en reprenant les ressources utilisées dans la partie V.A et en définissant les tonnages pour que le LCOE dans la situation de référence (décrite dans la partie V.A) soit de 250€/MWh (pour mieux faire apparaitre la variabilité des coûts). Ces deux mélanges sont :

- Un mix de lisier porcin (à faible pouvoir méthanogène) et de fientes de poules pondeuses (à très haut pouvoir méthanogène) à part égale pour un tonnage total de 51 000 tonnes ;
- Un mix de lisier et de fumier de bovins (le fumier ayant un pouvoir méthanogène moins élevé que les fientes) pour un tonnage total de 18 000 tonnes dont 7500 tonnes de fientes.

Les hypothèses reprennent celles fixées au début de la partie V.A, sauf pour celles liées au levier testé dans chacune des sous-parties concernées et explicitement citées dans chacune d'entre elles.

1. Impact de la technologie de valorisation du biogaz

Pour rappel, la partie II.B.3 présente les différents modes de valorisation envisageables du biogaz. Outre les contraintes techniques, chaque technologie représente des coûts et des opportunités différentes :

- La cogénération avec vente d'électricité propose un contrat long terme mais le coût de l'électricité produite doit être accepté par la CRE. Avant l'abrogation de l'arrêté du 13 décembre 2016, une installation de cogénération en France hexagonale pouvait bénéficier d'un tarif d'achat de 175 €/MWh, mais le coût de production de l'électricité à la Réunion (zone non interconnectée au réseau continental) est plus

élevé et la méthanisation pourrait contribuer (partiellement) à l'autonomie du territoire ;

- La production de chaleur pourrait se négocier de gré-à-gré et permettre une alimentation en chaleur à partir d'une ressource renouvelable (face aux combustibles fossiles). Par ailleurs, comme dit dans la partie IV.1.D sur les limites de l'outil, l'investissement est similaire à celui de la cogénération ;
- L'épuration et la production de bioGNV nécessite d'avoir une flotte de véhicules capables d'utiliser ce carburant mais se substituerait aux carburants fossiles soumis à une forte volatilité des coûts et une hausse constante de ces derniers. L'investissement et les coûts de fonctionnement (en particulier la maintenance) sont bien plus élevés mais produisent un combustible qui pourrait plus facilement être compétitif.

Nous ne présentons pas dans cette sous-partie de résultats chiffrés, la suite étant composée de nombreux exemples, des ordres de grandeurs des investissements, des coûts de fonctionnement, des LCOE en fonction des technologies utilisés et des hypothèses permettent d'illustrer les différences entre chaque technologie.

2. Impact du taux de subvention

La fiche 2.2.4 du programme FEDER Réunion 2021-2027 plafonne l'aide maximale des subventions à un projet de méthanisation à 45% de l'investissement. Tous les projets en réflexion sur le territoire reposent leur rentabilité sur cet accompagnement financier, mais aussi sur d'autres aides (par exemple l'ADEME ou FEADER).

Dans ces premiers tableaux, l'ensemble des résultats intermédiaires (parfois non pertinents dans cette sous-partie) sont détaillés, mais ne seront pas répétés dans la suite du document.

	MIX 1 : Mélange fixe 25 500 T Fumier/ 25 500 T Lisier bovin Financement restant par apport du porteur de projet Transport : non porté par l'exploitant Pas de coût d'achat/vente des intrants et digestat Traitement du digestat : séparation de phase Financement restant par apport du porteur de projet					**MIX 2 : Mélange fixe 10 500 T fientes/ 7 500T Lisier porcin** Financement restant par apport du porteur de projet Transport : non porté par l'exploitant Pas de coût d'achat/vente des intrants et digestat Traitement du digestat : séparation de phase Financement restant par apport du porteur de projet				
Variable d'analyse	**Taux de subv : Base 45%**	**Taux de subv : 0%**	**Taux de subv : 30%**	**Taux de subv : 70%**	**Taux de subv : 100%**	**Taux de subv : Base 45%**	**Taux de subv : 0%**	**Taux de subv : 30%**	**Taux de subv : 70%**	**Taux de subv : 100%**
Fumier bovins (Tmb/an)	25 500	25 500	25 500	25 500	25 500					
Lisiers bovins (Tmb/an)	25 500	25 500	25 500	25 500	25 500					
Fientes de p. pondeuses (Tmb/an)						10 500	10 500	10 500	10 500	10 500
Lisiers porcins (Tmb/an)						7 500	7 500	7 500	7 500	7 500

	MIX 1 : Mélange fixe 25 500 T Fumier/ 25 500 T Lisier bovin Financement restant par apport du porteur de projet Transport : non porté par l'exploitant Pas de coût d'achat/vente des intrants et digestat Traitement du digestat : séparation de phase Financement restant par apport du porteur de projet					MIX 2 : Mélange fixe 10 500 T fientes/ 7 500T Lisier porcin Financement restant par apport du porteur de projet Transport : non porté par l'exploitant Pas de coût d'achat/vente des intrants et digestat Traitement du digestat : séparation de phase Financement restant par apport du porteur de projet				
Variable d'analyse	**Taux de subv : Base 45%**	**Taux de subv : 0%**	**Taux de subv : 30%**	**Taux de subv : 70%**	**Taux de subv : 100%**	**Taux de subv : Base 45%**	**Taux de subv : 0%**	**Taux de subv : 30%**	**Taux de subv : 70%**	**Taux de subv : 100%**
ICPE	Autorisation					Enregistrement				
Pouvoir méthanogène moyen (m^3CH_4/T)	30,0					84,5				
Production de biométhane (Nm^3/an)	1 528 776					1 520 250				
	Cogénération					**Cogénération**				
Energie électrique disponible (MWh élec)	5 623					5 591				
Puissance moteurs (kW élec)	703					699				
Energie thermique résiduelle disponible (MWh th)	6 838					6 800				
Investissement (€)	17 313 927					17 201 402				
% Subvention	45%	0%	30%	70%	100%	45%	0%	30%	70%	100%
Montant subvention	7 799 356	0	5 199 570	12 132 331	17 331 901	7 740 631	0	5 160 421	12 040 982	17 201 402
Charges d'exploitation annuelles	733 982					728 042				
LCOE (€/MWh élec)	250	356	285	192	122	250	355	285	192	122
		+42%	+14%	-23%	-51%		+42%	+14%	-23%	-51%
	Production BioGNV					**Production BioGNV**				
BioGNV produit (kg)	1 210 791					1 204 038				
Flux traitement épurateur (Nm3/h)	191					190				
Investissement (€)	24 418 395					24 282 601				
% Subvention	45%	0%	30%	70%	100%	45%	0%	30%	70%	100%
Montant subvention	10 988 278	0	7 325 519	17 092 877	24 418 395	10 927 170	0	7 284 780	16 997 821	24 282 601
Charges d'exploitation annuelles	943 002					938 231				
LCOE (€/kg)	1,57	2,26	1,80	1,19	0,73	1,57	2,26	1,80	1,19	0,73
		+44%	+15%	-24%	-53%		+44%	+15%	-24%	-53%

	MIX 1 : Mélange fixe 25 500 T Fumier/ 25 500 T Lisier bovin Financement restant par apport du porteur de projet Transport : non porté par l'exploitant Pas de coût d'achat/vente des intrants et digestat Traitement du digestat : séparation de phase Financement restant par apport du porteur de projet					MIX 2 : Mélange fixe 10 500 T fientes/ 7 500T Lisier porcin Financement restant par apport du porteur de projet Transport : non porté par l'exploitant Pas de coût d'achat/vente des intrants et digestat Traitement du digestat : séparation de phase Financement restant par apport du porteur de projet				
Variable d'analyse	**Taux de subv : Base 45%**	**Taux de subv : 0%**	**Taux de subv : 30%**	**Taux de subv : 70%**	**Taux de subv : 100%**	**Taux de subv : Base 45%**	**Taux de subv : 0%**	**Taux de subv : 30%**	**Taux de subv : 70%**	**Taux de subv : 100%**
	Chaudière					**Chaudière**				
Energie thermique résiduelle disponible (MWh th)	10 637					10 578				
Puissance chaudière (MW th)	1 520					1 511				
Investissement (€)	18 829 731					18 708 753				
% Subvention	45%	0%	30%	70%	100%	45%	0%	30%	70%	100%
Montant subvention	8 473 379	-	5 648 919	13 180 812	18 829 731	8 418 939	-	5 612 626	13 096 127	18 708 753
Charges d'exploitation annuelles (€)	769 038					763 843				
LCOE (€/MWh th)	142	202	162	108	68	142	202	162	108	68
		+43%	+14%	-24%	-52%		+43%	+14%	-24%	-52%

On remarque que l'investissement représente près de deux tiers du LCOE (différence entre un taux de subvention à 0% et 100%) peu importe la technologie retenue, ce qui en fait un levier majeur dans la faisabilité d'un projet.

3. Influence du transport des intrants ou des digestats

La gestion logistique des intrants et des digestats nécessite du temps, ainsi qu'une capacité de transport et des coûts pour l'opérateur responsable de cette gestion. La taille relativement petite des élevages implique une mise en commun des effluents de plusieurs élevages pour assurer l'approvisionnement d'un méthaniseur, impliquant ainsi une étape de transport d'une partie des effluents vers l'installation. De même, le digestat devra être exporté de l'installation pour être retourné au sol.

La répartition de ces charges peut entrainer des coûts importants en fonction de la distance à parcourir.

Influence du transport des intrants

Nous faisons ici varier deux paramètres relatifs au transport :

- L'agent qui finance le transport de la matière correspond à l'exploitant de l'installation de méthanisation, scénario 1, ou à l'agriculteur (qui fournit les intrants), scénario 2, en considérant que la totalité des coûts de transport est respectivement portée par l'un de ces acteurs ;
- La distance du transport des intrants est définie entre 5 km (scénario 1) et 15 km (scénario 2), on considère que tous les intrants parcourent la même distance.

Le résultat de ces modélisations se trouve dans le tableau ci-dessous :

	MIX 1 : Mélange fixe 25 500 T Fumier/ 25 500 T Lisier bovin Taux de subvention : 45% de l'investissement Financement restant par apport du porteur de projet Transport du digestat : non porté par l'exploitant Pas de coût d'achat/vente des intrants et digestat Traitement du digestat : séparation de phase Financement restant par apport du porteur de projet				**MIX 2 : Mélange fixe 10 500 T fientes/ 7 500T Lisier porcin** Taux de subvention : 45% de l'investissement Financement restant par apport du porteur de projet Transport du digestat : non porté par l'exploitant Pas de coût d'achat/vente des intrants et digestat Traitement du digestat : séparation de phase Financement restant par apport du porteur de projet			
Variable d'analyse	Eloignement 5km 100% payé agriculteur	Eloignement 5km 100% payé exploitant	Eloignement 15km 100% payé agriculteur	Eloignement 15km 100% payé exploitant	Eloignement 5km 100% payé agriculteur	Eloignement 5km 100% payé exploitant	Eloignement 15km 100% payé agriculteur	Eloignement 15km 100% payé exploitant
Fumier bovins (Tmb/an)	25 500	25 500	25 500	25 500				
Lisiers bovins (Tmb/an)	25 500	25 500	25 500	25 500				
Fientes de p. pondeuses (Tmb/an)					10 500	10 500	10 500	10 500
Lisiers porcins (Tmb/an)					7 500	7 500	7 500	7 500
	Cogénération				**Cogénération**			

	MIX 1 : Mélange fixe 25 500 T Fumier/ 25 500 T Lisier bovin Taux de subvention : 45% de l'investissement Financement restant par apport du porteur de projet Transport du digestat : non porté par l'exploitant Pas de coût d'achat/vente des intrants et digestat Traitement du digestat : séparation de phase Financement restant par apport du porteur de projet				MIX 2 : Mélange fixe 10 500 T fientes/ 7 500T Lisier porcin Taux de subvention : 45% de l'investissement Financement restant par apport du porteur de projet Transport du digestat : non porté par l'exploitant Pas de coût d'achat/vente des intrants et digestat Traitement du digestat : séparation de phase Financement restant par apport du porteur de projet			
Variable d'analyse	Eloignement 5km 100% payé agriculteur	Eloignement 5km 100% payé exploitant	Eloignement 15km 100% payé agriculteur	Eloignement 15km 100% payé exploitant	Eloignement 5km 100% payé agriculteur	Eloignement 5km 100% payé exploitant	Eloignement 15km 100% payé agriculteur	Eloignement 15km 100% payé exploitant
Charges d'exploitation annuelles	733 039	843 854	733 039	1 065 486	728 042	767 154	728 042	845 377
LCOE (€/MWh élec)	250	269	250	306	250	257	250	270
		+7%		+22%		+3%		+8%
	Production BioGNV				Production BioGNV			
Charges d'exploitation annuelles	943 002	1 053 818	943 002	1 275 449	938 231	977 343	938 231	1 055 565
LCOE (€/kg)	1,57	1,66	1,57	1,83	1,57	1,60	1,57	1,66
		+5%		+16%		+2%		+6%
	Chaudière				Chaudière			
Charges d'exploitation annuelles	769 038	879 854	769 038	1 101 485	763 843	802 954	763 843	881 177
LCOE (€/MWh th)	142	151	142	171	142	151	142	171
		+7%		+21%		+2%		+7%

L'augmentation du LCOE en fonction du transport est proportionnelle à la distance à parcourir, cette hausse dépend toutefois :

- Du tonnage total d'intrants transportés (les proportions de chaque ressource étant maintenues, l'impact du coût de transport sur le LCOE est plus important). Par exemple si on modifie le tonnage total du mix 1 pour avoir 18 500 tonnes d'intrants (50% fumier / 50% lisier bovin) le LCOE augmente de +17% entre le coût de transport d'intrants non supporté par l'exploitant du méthaniseur et le paiement des coûts d'un transport de 15km de tous les effluents, contre +21% si le tonnage total est de 56 000 tonnes.
- Du pouvoir méthanogène des éléments transportés, des intrants de plus haut pouvoir méthanogène ont un moindre impact sur la hausse du LCOE si le coût de transport est porté par l'exploitant. En reprenant l'exemple utilisé au tiret précédent, pour un mix total de 18 500 tonnes, la hausse du LCOE est de +17% si l'exploitant finance le transport des intrants sur 15 km dans le cas du mix 1, contre +7% pour le mix 2, ce dernier ayant un pouvoir méthanogène moyen plus élevé.

Influence du transport du digestat

Nous appliquons la même démarche, en considérant cette fois non plus le transport des intrants mais celui des digestats, donc le transport peut être supporté par l'exploitant du méthaniseur ou le bénéficiaire de ce digestat.

Le résultat de ces modélisations se trouve dans le tableau ci-dessous :

	MIX 1 : Mélange fixe 25 500 T Fumier/ 25 500 T Lisier bovin Taux de subvention : 45% de l'investissement Financement restant par apport du porteur de projet Transport des intrants : non porté par l'exploitant Pas de coût d'achat/vente des intrants et digestat Traitement du digestat : séparation de phase Financement restant par apport du porteur de projet				**MIX 2 : Mélange fixe 10 500 T fientes/ 7 500T Lisier porcin** Taux de subvention : 45% de l'investissement Financement restant par apport du porteur de projet Transport des intrants : non porté par l'exploitant Pas de coût d'achat/vente des intrants et digestat Traitement du digestat : séparation de phase Financement restant par apport du porteur de projet			
Variable d'analyse	Eloignement 5km 100% payé agriculteur	Eloignement 5km 100% payé exploitant	Eloignement 15km 100% payé agriculteur	Eloignement 15km 100% payé exploitant	Eloignement 5km 100% payé agriculteur	Eloignement 5km 100% payé exploitant	Eloignement 15km 100% payé agriculteur	Eloignement 15km 100% payé exploitant
Fumier bovins	25 500	25 500	25 500	25 500				
Lisiers bovins	25 500	25 500	25 500	25 500				
Fientes de p. pondeuses					10 500	10 500	10 500	10 500
Lisiers porcins					7 500	7 500	7 500	7 500
Digestat phase solide (Tmb/an)	7 148	7 148	7 148	7 148	2 201	2 273	2 273	2 273
Digestat phase liquide (Tmb/an)	40 508	40 508	40 508	40 508	12 474	12 879	12 879	12 879
	Cogénération				**Cogénération**			
Charges d'exploitation annuelles	733 039	836 590	733 039	1 043 691	728 042	759 930	728 042	823 704
LCOE (€/MWh élec)	250	268	250	302	250	256	250	266
		+7%		+21%		+2%		+6%
	Production BioGNV				**Production BioGNV**			
Charges d'exploitation annuelles	943 002	1 046 553	943 002	1 253 655	938 231	970 118	938 231	1 033 893
LCOE (€/kg)	1,57	1,65	1,57	1,81	1,57	1,60	1,57	1,65
		+5%		+15%		+2%		+5%

	MIX 1 : Mélange fixe 25 500 T Fumier/ 25 500 T Lisier bovin Taux de subvention : 45% de l'investissement Financement restant par apport du porteur de projet Transport des intrants : non porté par l'exploitant Pas de coût d'achat/vente des intrants et digestat Traitement du digestat : séparation de phase Financement restant par apport du porteur de projet				MIX 2 : Mélange fixe 10 500 T fientes/ 7 500T Lisier porcin Taux de subvention : 45% de l'investissement Financement restant par apport du porteur de projet Transport des intrants : non porté par l'exploitant Pas de coût d'achat/vente des intrants et digestat Traitement du digestat : séparation de phase Financement restant par apport du porteur de projet			
Variable d'analyse	Eloignement 5km 100% payé agriculteur	Eloignement 5km 100% payé exploitant	Eloignement 15km 100% payé agriculteur	Eloignement 15km 100% payé exploitant	Eloignement 5km 100% payé agriculteur	Eloignement 5km 100% payé exploitant	Eloignement 15km 100% payé agriculteur	Eloignement 15km 100% payé exploitant
	Chaudière				**Chaudière**			
Charges d'exploitation annuelles	769 038	872 589	769 038	1 079 691	763 843	795 730	763 843	859 504
LCOE (€/MWh th)	142	151	142	169	142	144	142	150
		+6%		+19%		+2%		+6%

La diminution du tonnage entre les intrants et le digestat permet de réduire les coûts de transport et donc l'impact de ces charges sur le LCOE si elles sont supportées par l'exploitant du méthaniseur. Pour le reste, les conclusions restent similaires à celles relatives au transport des intrants.

4. Influence de l'achat/vente des intrants ou des digestats

Selon l'intérêt que suscite leur appropriation ou leur évacuation, les intrants (ou le digestat) peuvent faire l'objet d'un flux financier entre l'exploitant de l'installation et le détenteur (ou utilisateur) de la matière.

Par exemple, un industriel, responsable de la gestion de ses déchets organiques doit payer le traitement de ces derniers, tandis qu'un exploitant de méthaniseur pourrait être prêt à acheter de la matière à très haut pouvoir méthanogène (comme des huiles alimentaires usagées) pour augmenter la production de biogaz. De même, selon comment il est considéré, un digestat pourrait être une ressource à exporter de l'installation de méthanisation ou bien une ressource fertilisante d'intérêt pour le territoire (ou un agriculteur).

Achat des intrants

Dans cette modélisation nous étudions l'impact du tarif d'achat des intrants. Ce tarif peut être négatif (rémunération par le détenteur de l'intrant du traitement de la ressource) ou positif (achat de la matière digestible). Pour chaque scénario étudié, le coût ou la rémunération associé(e) aux intrants sera considéré(e) selon deux scénarios : 5 €/tonne et 10 €/t.

Le résultat de ces modélisations se trouve dans le tableau ci-dessous :

	MIX 1 : Mélange fixe 25 500 T Fumier/ 25 500 T Lisier bovin Taux de subvention : 45% de l'investissement Financement restant par apport du porteur de projet Transport : non porté par l'exploitant Pas de coût d'achat/vente des digestats Traitement du digestat : séparation de phase					**MIX 2 : Mélange fixe 10 500 T fientes/ 7 500 T Lisier porcin** Taux de subvention : 45% de l'investissement Financement restant par apport du porteur de projet Transport : non porté par l'exploitant Pas de coût d'achat/vente des digestat Traitement du digestat : séparation de phase				
Variable d'analyse	Aucun	Achat intrant 5€/T	Achat intrant 10€/T	Rémunération traitement intrant 5€/T	Rémunération traitement intrant 10€/T	Aucun	Achat intrant 5€/T	Achat intrant 10€/T	Rémunération traitement intrant 5€/T	Rémunération traitement intrant 10€/T
Fumier bovins	25 500	25 500	25 500	25 500	25 500					
Lisiers bovins	25 500	25 500	25 500	25 500	25 500					
Fientes de p. pondeuses						10 500	10 500	10 500	10 500	10 500
Lisiers porcins						7 500	7 500	7 500	7 500	7 500
	Cogénération					**Cogénération**				
Charges d'exploitation annuelles	733 039	988 039	1 243 039	733 039	733 039	728 042	818 042	908 042	728 042	728 042
	250	293	335	208	166	250	265	280	235	220

	MIX 1 : Mélange fixe 25 500 T Fumier/ 25 500 T Lisier bovin Taux de subvention : 45% de l'investissement Financement restant par apport du porteur de projet Transport : non porté par l'exploitant Pas de coût d'achat/vente des digestats Traitement du digestat : séparation de phase					MIX 2 : Mélange fixe 10 500 T fientes/ 7 500 T Lisier porcin Taux de subvention : 45% de l'investissement Financement restant par apport du porteur de projet Transport : non porté par l'exploitant Pas de coût d'achat/vente des digestat Traitement du digestat : séparation de phase				
Variable d'analyse	Aucun	Achat intrant 5€/T	Achat intrant 10€/T	Rémunération traitement intrant 5€/T	Rémunération traitement intrant 10€/T	Aucun	Achat intrant 5€/T	Achat intrant 10€/T	Rémunération traitement intrant 5€/T	Rémunération traitement intrant 10€/T
LCOE (€/MWh élec)		+17%	+34%	-17%	-34%		+6%	+12%	-6%	-12%
	Production BioGNV					**Production BioGNV**				
Charges d'exploitation annuelles	943 002	1 198 002	1 453 002	943 002	943 002	938 231	1 028 231	1 118 231	938 231	938 231
LCOE (€/kg)	1,57	1,77	1,97	1,38	1,18	1,57	1,64	1,71	1,50	1,43
		+13%	+25%	-13%	-25%		+4%	+9%	-4%	-9%
	Chaudière					**Chaudière**				
Charges d'exploitation annuelles	769 038	1 024 038	1 279 038	769 038	769 038	763 843	853 843	943 843	763 843	763 843
LCOE (€/MWh th)	142	164	186	119	97	142	150	157	134	126
		+16%	+32%	-16%	-32%		+6%	+11%	-6%	-11%

De manière évidente, l'impact de cette charge ou de cette recette d'exploitation supplémentaire (selon s'il s'agit d'un achat/rémunération des intrants) est proportionnel au montant et dépend du tonnage d'intrants.

L'impact de ce facteur est très important, la rémunération de l'exploitant à 10€/T d'intrant traité diminue de 11% (mix 2) à 32% (mix 1) le LCOE, et peut donc rendre viable une installation.

A titre de comparaison, l'opération de traitement des ordures ménagères (actuellement enfouis et comprenant un mélange entre déchets inertes et organiques) coûtait aux collectivités 134€/tonnes (d'après les chiffres clés publiés par l'Observatoire Réunionnais des Déchets).

Achat/vente du digestat

Nous appliquons la même démarche, en considérant cette fois non plus le cas de l'achat ou la vente des intrants mais celui des digestats.

Le résultat de ces modélisations se trouve dans le tableau ci-dessous :

	MIX 1 : Mélange fixe 25 500 T Fumier/ 25 500 T Lisier bovin Taux de subvention : 45% de l'investissement Financement restant par apport du porteur de projet Pas de coût d'achat/vente des intrants Traitement du digestat : séparation de phase					MIX 2 : Mélange fixe 10 500 T fientes/ 7 500T Lisier porcin Taux de subvention : 45% de l'investissement Financement restant par apport du porteur de projet Transport : non porté par l'exploitant Pas de coût d'achat/vente des intrants Traitement du digestat : séparation de phase				
Variable d'analyse	Aucun	Export du digestat à 10€/T	Export du digestat à 5€/T	Vente digestat 10€/T	Vente digestat 5€/T	Aucun	Export du digestat à 10€/T	Export du digestat à 5€/T	Vente digestat 10€/T	Vente digestat 5€/T
Fumier bovins	25 500	25 500	25 500	25 500	25 500					
Lisiers bovins	25 500	25 500	25 500	25 500	25 500					
Fientes de p. pondeuses						10 500	10 500	10 500	10 500	10 500
Lisiers porcins						7 500	7 500	7 500	7 500	7 500
Digestat phase solide (Tmb/an)	7 148	7 148	7 148	7 148	7 148	2 201	2 201	2 201	2 201	2 201
Digestat phase liquide (Tmb/an)	40 508	40 508	40 508	40 508	40 508	12 474	12 474	12 474	12 474	12 474
	Cogénération					**Cogénération**				
Charges d'exploitation annuelles	733 039	1 209 604	971 322	733 039	733 039	728 042	874 795	801 419	728 042	728 042
LCOE (€/MWh élec)	250	330	290	171	211	250	275	263	226	238
		+32%	+16%	-32%	-16%		10%	5%	-10%	-5%
	Production BioGNV					**Production BioGNV**				
Charges d'exploitation annuelles	943 002	1 419 568	1 181 285	943 002	943 002	938 231	1 084 983	1 011 607	938 231	938 231
LCOE (€/kg)	1,57	1,94	1,76	1,21	1,39	1,57	1,69	1,63	1,46	1,52
		+23%	+12%	-23%	-12%		+7%	+4%	-7%	-4%
	Chaudière					**Chaudière**				
Charges d'exploitation annuelles	769 038	1 245 604	1 007 321	769 038	769 038	763 843	910 595	837 219	763 843	763 843

	MIX 1 : Mélange fixe 25 500 T Fumier/ 25 500 T Lisier bovin Taux de subvention : 45% de l'investissement Financement restant par apport du porteur de projet Pas de coût d'achat/vente des intrants Traitement du digestat : séparation de phase					MIX 2 : Mélange fixe 10 500 T fientes/ 7 500T Lisier porcin Taux de subvention : 45% de l'investissement Financement restant par apport du porteur de projet Transport : non porté par l'exploitant Pas de coût d'achat/vente des intrants Traitement du digestat : séparation de phase				
Variable d'analyse	Aucun	Export du digestat à 10€/T	Export du digestat à 5€/T	Vente digestat 10€/T	Vente digestat 5€/T	Aucun	Export du digestat à 10€/T	Export du digestat à 5€/T	Vente digestat 10€/T	Vente digestat 5€/T
LCOE (€/MWh th)	142	183	163	100	121	142	155	148	129	135
		+30%	+15%	-30%	-15%		+9%	+5%	-9%	-5%

Comme pour le paiement des intrants, la gestion du digestat est un facteur clé de la rentabilité de l'installation de méthanisation. Combiné à l'enjeu de trouver une destination à ces digestats (pour éviter leur accumulation sur site), ce critère peut représenter un des facteurs clés de la viabilité d'une installation.

5. Influence du mode de traitement des digestats

Le digestat brut en sortie de milieu de réaction peut subir plusieurs traitements :

- La séparation de phase (par centrifugation ou presse)
- Le séchage, valorisant la chaleur produite dans l'installation et réalisé après une séparation de phase, afin de diminuer le poids et le volume du digestat (un traitement de la vapeur pour y retirer l'azote serait nécessaire)
- L'extraction de l'azote de la phase solide (stripping de l'azote) ou liquide (traitement par boues activées) du digestat (à nouveau après une séparation de phase).

Ces différents traitements nécessitent des équipements (comme indiqué dans la partie IV.2.B), des ressources (par exemple de l'acide sulfurique ou de l'électricité) ou des interventions supplémentaires (seuls les investissements et parfois les coûts de fonctionnement sont disponibles dans la littérature) et produisent de nouveaux produits (digestat sec, du sulfate d'ammonium), qui doivent être exportés de l'installation et retournés au sol.

Deux paramètres sont ainsi modifiés :

- Le mode de traitement des digestats ;
- Le transport des digestats (à une distance de 15km), pris en charge par l'utilisateur ou par l'exploitant de l'installation.

Pour le stripping de l'azote en phase solide, nous n'avons pas trouvé d'estimation des investissements ou des coûts de fonctionnement relatifs à ce matériel, nous disposons et transmettons donc uniquement les résultats techniques relatifs à cette technologie.

Les résultats de la modélisation pour le mix 1 sont présentés dans le tableau ci-dessous :

	MIX 1 : Mélange fixe 25 500 T Fumier/ 25 500 T Lisier bovin Taux de subvention : 45% de l'investissement Financement restant par apport du porteur de projet Transport des intrants : non porté par l'exploitant Pas de coût d'achat/vente des intrants et digestat Distance aux parcelles d'épandage : 15km											
	Aucun		**Séparation de phase Transport digestat utilisateur**		**Séparation + Séchage phase solide**		**Séparation + Séchage phase liquide**		**Stripping azote phase solide**		**Traitement par boues activées**	
	Transport par utilisateur	**Transport par exploitant**	**Transport par utilisateur**	**Transport par exploitant**	**Transport par utilisateur**	**Transport par exploitant**	**Transport par utilisateur**	**Transport par exploitant**	**Transport par utilisateur**	**Transport par exploitant**	**Transport par utilisateur**	**Transport par exploitant**
Fumier bovins	25 500		25 500		25 500		25 500		25 500		25 500	
Lisiers bovins	25 500		25 500		25 500		25 500		25 500		25 500	
Digestat brut	47 657											

	MIX 1 : Mélange fixe 25 500 T Fumier/ 25 500 T Lisier bovin Taux de subvention : 45% de l'investissement Financement restant par apport du porteur de projet Transport des intrants : non porté par l'exploitant Pas de coût d'achat/vente des intrants et digestat Distance aux parcelles d'épandage : 15km											
	Aucun		Séparation de phase Transport digestat utilisateur		Séparation + Séchage phase solide		Séparation + Séchage phase liquide		Stripping azote phase solide		Traitement par boues activées	
	Transport par utilisateur	Transport par exploitant	Transport par utilisateur	Transport par exploitant	Transport par utilisateur	Transport par exploitant	Transport par utilisateur	Transport par exploitant	Transport par utilisateur	Transport par exploitant	Transport par utilisateur	Transport par exploitant
Digestat liquide			40 508		40 508		36 253		40 508		40 406	
Digestat solide			7 148		960		7 148		7 148		7 148	
Digestat sec					1 934							
Sulfate d'ammonium					71		1 899		92			
Coût total de transport des digestats (€)	310 653		310 653		283 377		295 297		311 251		309 984	
	Cogénération											
Investissement (€)	17 193 927		17 313 927		18 522 769		22 285 751		*Manque de données*		20 352 033	
% Subvention	45%		45%		45%		45%		*Manque de données*		45%	
Charges d'exploitation annuelles	728 539	1 039 191	733 039	1 043 691	778 370	1 061 748	919 482	1 214 779	*Manque de données*		846 968	1 156 952
LCOE (€/MWh élec)	249	301	250	302	264	311	306	355	*Manque de données*		284	336
		+21%	+1%	+21%	+6%	+25%	+23%	+43%	*Manque de données*		+14%	+35%
	Production BioGNV											
Investissement (€)	24 298 395		24 418 395		25 627 238		29 390 220		*Manque de données*		27 456 501	
% Subvention	45%		45%		45%		45%		*Manque de données*		45%	
Charges d'exploitation annuelles	940 302	1 250 955	943 002	1 253 655	970 201	1 253 578	1 054 868	1 350 165	*Manque de données*		1 011 359	1 321 343
LCOE (€/kg)	1,57	1,81	1,57	1,81	1,64	1,85	1,83	2,06	*Manque de données*		1,73	1,97
		+15%	+0%	+16%	+4%	+18%	+17%	+31%	*Manque de données*		+10%	+26%
	Chaudière											
Investissement (€)	18 709 731		18 829 731		20 038 573		23 801 555		*Manque de données*		21 867 837	
% Subvention	45%		45%		45%		45%		*Manque de données*		45%	
Charges d'exploitation annuelles	8 419 379	8 419 379	8 473 379	8 473 379	9 017 358	9 017 358	10 710 700	10 710 700	*Manque de données*		9 840 527	9 840 527
LCOE (€/MWh th)	141	168	142	169	149	174	171	197	*Manque de données*		160	187
		+19%	+1%	+20%	+6%	+23%	+21%	+40%	*Manque de données*		+13%	+33%

Les résultats de la modélisation pour le mix 2 sont présentés dans le tableau ci-dessous :

	MIX 2 : Mélange fixe 10 500 T fientes/ 7 500 T Lisier porcin Taux de subvention : 45% de l'investissement Financement restant par apport du porteur de projet Transport des intrants : non porté par l'exploitant Pas de coût d'achat/vente des intrants et digestat											
	Aucun		Séparation de phase Transport digestat utilisateur		Séparation + Séchage phase solide		Séparation + Séchage phase liquide		Stripping azote phase solide		Traitement par boues activées	
	Transport par utilisateur	Transport par exploitant	Transport par utilisateur	Transport par exploitant	Transport par utilisateur	Transport par exploitant	Transport par utilisateur	Transport par exploitant	Transport par utilisateur	Transport par exploitant	Transport par utilisateur	Transport par exploitant
Fientes de p. pondeuses	10 500		10 500		10 500		10 500		10 500		10 500	
Lisiers porcins	7 500		7 500		7 500		7 500		7 500		7 500	
Digestat brut	14 675											
Digestat liquide			12 474		12 474		8 243		12 474		12 397	
Digestat solide			2 201				2 201		2 201		2 201	
Digestat sec					1 923							
Sulfate d'ammonium					34		1 422		69			
Coût total de transport des digestats (€)	95 661		95 661		94 068		77 347		96 109		95 161	
	Cogénération											
Investissement (€)	17 141 402		17 201 402		18 288 780		19 313 743		*Manque de données*		18 136 947	
% Subvention	45%		45%		45%		45%		*Manque de données*		45%	
Charges d'exploitation annuelles	725 792	821 454	728 042	823 704	768 819	862 888	807 255	884 603	*Manque de données*		763 125	858 286
LCOE (€/MWh élec)	250	266	250	266	262	278	274	287	*Manque de données*		261	277
		+6%	+0%	+6%	+5%	+11%	+9%	+14%	*Manque de données*		+4%	+10%
	Production BioGNV											
Investissement (€)	24 222 601		24 282 601		25 369 978		26 394 942		*Manque de données*		25 218 146	
% Subvention	45%		45%		45%		45%		*Manque de données*		45%	
Charges d'exploitation annuelles	941 215	1 039 982	942 565	1 041 332	956 204	1 028 491	991 022	1 073 081	*Manque de données*		964 298	1 062 467
LCOE (€/kg)	1,57	1,64	1,57	1,65	1,60	1,66	1,68	1,74	*Manque de données*		1,62	1,69

	MIX 2 : Mélange fixe 10 500 T fientes/ 7 500 T Lisier porcin Taux de subvention : 45% de l'investissement Financement restant par apport du porteur de projet Transport des intrants : non porté par l'exploitant Pas de coût d'achat/vente des intrants et digestat											
	Aucun		Séparation de phase Transport digestat utilisateur		Séparation + Séchage phase solide		Séparation + Séchage phase liquide		Stripping azote phase solide		Traitement par boues activées	
	Transport par utilisateur	Transport par exploitant	Transport par utilisateur	Transport par exploitant	Transport par utilisateur	Transport par exploitant	Transport par utilisateur	Transport par exploitant	Transport par utilisateur	Transport par exploitant	Transport par utilisateur	Transport par exploitant
		+5%	+0%	+5%	+2%	+6%	+7%	+11%	*Manque de données*		+3%	+8%
	Chaudière											
Investissement (€)	18 648 753		18 708 753		19 796 131		20 821 094		*Manque de données*		19 644 298	
% Subvention	45%		45%		45%		45%		*Manque de données*		45%	
Charges d'exploitation annuelles	761 593	857 254	763 843	859 504	804 619	898 688	843 055	920 403	Manque de données		798 926	894 087
LCOE (€/MWh th)	141	150	142	150	148	156	154	161	*Manque de données*		147	156
		+6%	+0%	+6%	+5%	+11%	+9%	+14%	*Manque de données*		+4%	+10%

Selon le mode de traitement retenu, le LCOE augmente de manière non perceptible (dans le cas de la séparation de phase) à +22% (pour la séparation de phase et le séchage de la phase liquide), avec un effet important de la quantité traitée de digestat (et donc indirectement à celle d'intrant) sur ce surcoût : la hausse du LCOE est plus importante (pour une technologie donnée) dans le cas du mix 1 que dans le mix 2.

Le coût de transport diminue lorsqu'une technologie de séchage (réduisant la quantité d'eau dans ce digestat) est appliquée, mais cette diminution n'est pas perceptible dans le LCOE (cette évolution est très faible au regard des montants en jeux). En effet, l'impact du financement du transport par l'exploitant entraine une hausse similaire du LCOE (par rapport à la situation ou le transport est à la charge de l'utilisateur) pour chacune des technologies, l'impact étant le plus limité dans le cas d'une séparation de phase suivie d'un séchage de la phase solide. Par exemple pour le mix 2 (dans le cas d'une production de chaleur, soit les deux dernières lignes du tableau), le LCOE varie d'environ 6% (entre 4,8% et 6,0% selon la technologie) selon l'agent responsable du transport.

Ainsi, une technologie de traitement spécifique (en dehors de la séparation de phase) du digestat ne doit pas être considérée comme un levier d'amélioration de la rentabilité d'une installation, elle peut toutefois être opportune pour valoriser de la chaleur résiduelle, ou pour réduire des risques environnementaux (dans l'objectif notamment de réduire la quantité d'azote par exemple).

C. Autres facteurs de rentabilité, non évaluables par l'outil

Un approvisionnement sécurisé et régulier en intrants est obligatoire pour le bon fonctionnement du méthaniseur. Les effluents ou autres intrants mobilisés doivent être suffisamment frais afin de conserver leur pouvoir méthanogène, le stockage de ces matières en guise de tampon doit être considéré comme une solution provisoire et écourtée au maximum.

- La nature des intrants impacte le temps de rétention des matières au sein du digesteurs, un taux de matière organique plus important par unité volume du mix augmentant le temps nécessaire à la digestion.
- La valorisation de la chaleur fatale hors autoconsommation est nécessaire, pour permettre l'obtention d'aides à l'investissement et la viabilité du projet.
- L'optimisation logistique, par la mutualisation des collectes et l'optimisation du transport ainsi que la répartition de cette prise en charge par les différentes parties prenantes (exploitant, fournisseur des intrants, et agriculteur utilisateur du digestat).

V. Identification des zones d'opportunité à l'implantation d'une unité de méthanisation à La Réunion

Le fonctionnement d'un méthaniseur est un équilibre entre différents paramètres, dépendants les uns des autres. A titre d'exemple, pour augmenter le tonnage d'intrants (et bénéficier d'économies d'échelles), le rayon d'approvisionnement doit être vu à la hausse augmentant les coûts de transport qui peuvent être répartis entre les agriculteurs et l'exploitant. De même, selon la nature de l'intrant, un faible pouvoir méthanogène impliquant une augmentation de la taille des équipements peut être compensé par une redevance.

A. Les paramètres clés pour l'identification des zones d'opportunités

Pour rappel, 3 critères principaux sont à considérer pour répondre au besoin du territoire :

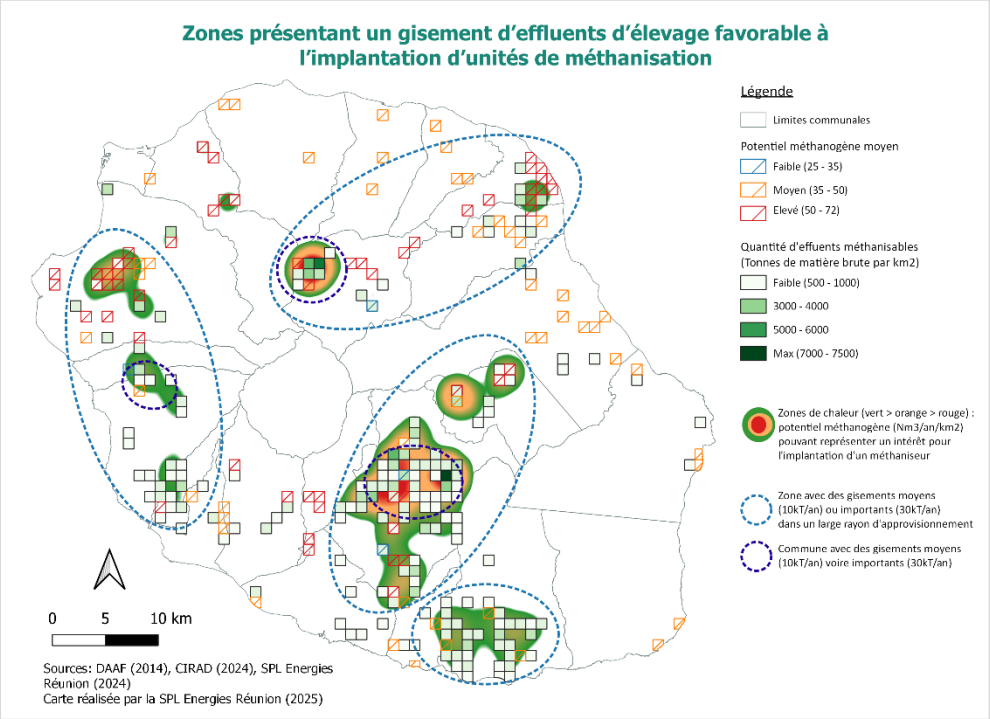
- Disposer d'intrants, en particulier d'effluents d'élevage ;
- Disposer d'exutoires, à la fois pour le biogaz (réseau électrique à proximité, réseau de transport…) et le digestat (parcelles agricoles) ;
- Disposer de foncier pouvant accueillir une installation d'après les critères ICPE et les contraintes d'aménagement territorial. La carte présentée dans la partie II.C a montré que des parcelles pouvant théoriquement accueillir un méthaniseur étaient présentes sur l'ensemble du territoire. Ainsi nous ne considérons pas, dans cette partie, ce paramètre comme limitant.

1. La disponibilité en intrants

La cartographie présentée ci-après représente pour le territoire réunionnais :

- Les tonnages d'effluents méthanisables, agrégés à une maille de 1 km² : plus la zone apparaît en vert foncé, plus les volumes potentiellement mobilisables sont élevés
- Le pouvoir méthanogène moyen associé à ces effluents, indiquant ainsi les secteurs où la composition des matières organiques est la plus favorable à la production de biogaz.

- La carte de chaleur synthétise le potentiel méthanogène global, obtenu en croisant les tonnages disponibles et leur pouvoir méthanogène. Cette dernière permet de repérer rapidement les zones du territoire les plus propices au développement d'unités de méthanisation, en révélant les secteurs où l'énergie récupérable serait la plus importante.



Plusieurs zones se dessinent et sont mise en évidence par les tirets bleus et violet :

- Dans l'ouest, avec de nombreux élevages bovins et porcins :
    - Une importante production d'effluents dans la zone de Trois-Bassins et de Saint Leu (27,9 ktonnes/an) ;
    - Des ressources méthanogènes (fientes de volaille) dans les hauts de Saint-Paul couplés à d'importants tonnages (19,6 ktonnes/an) et des tonnages importants vers les Avirons qui rendent la zone ouest riche en ressource méthanisable, l'ensemble des quatre communes produisant 56,0 ktonnes d'effluents annuellement.
- Dans la zone des plaines :
    - La commune du Tampon comprend de très importants tonnages (108,0 ktonnes/an) principalement de lisiers bovins mais également quelques milliers de tonnes de fumiers bovins et de fientes de volaille ;
    - On retrouve également la Plaine des Palmistes où sont produits 12,4 ktonnes/an dont 25% correspondent à des fientes de volailles.

- Dans Salazie et l'Est :
    - Une production de lisiers porcins à Saint Benoit, Bras Panon et Saint André (entre 5,5 et 8,0 ktonnes annuel) et plus importante à Salazie (18,8 ktonnes/an)
    - Des gisements complémentaires de fientes de poules pondeuses à Salazie (3,8 ktonnes annuels)
- A Saint-Joseph, où il existe de nombreux bovins et porcins, ces derniers représentant près des deux tiers des 47,3 ktonnes d'effluents (?) produits dans la commune.

2. Disposer d'exutoires pour le biogaz

En complément des gisements d'intrants, il est indispensable de considérer les exutoires, étant un facteur essentiel au fonctionnement et la rentabilité du méthaniseur. Comme précisé en amont, les exutoires de méthanisation correspondent à l'énergie produite et au digestat.

Utilisation du biogaz

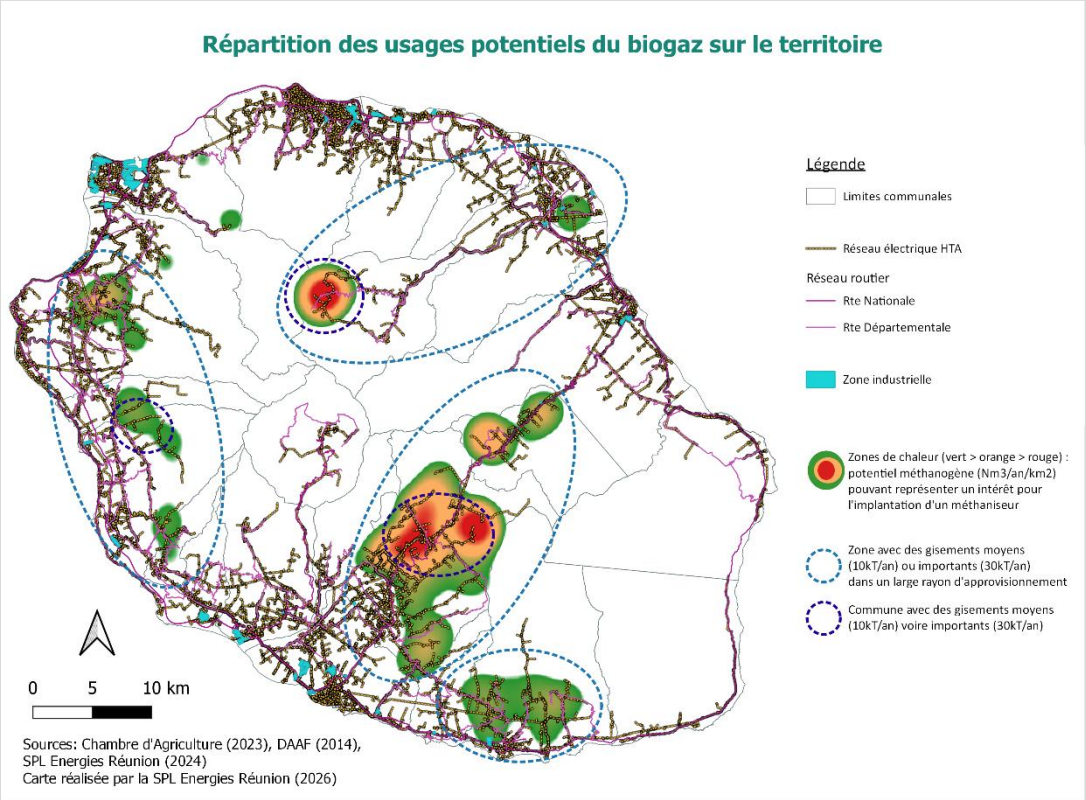
Concernant l'énergie produite, plusieurs options sont envisageables :

- L'injection de l'électricité produite sur le réseau local (réseau HTA). A première vue la cogénération est le process le plus adaptée au territoire en vendant l'électricité produite à un tarif d'achat définit par la CRE à long terme (20 ans). Toutefois, l'instruction d'un contrat d'achat peut prendre plusieurs années et le tarif d'achat doit être compétitif face aux autres moyens de production du parc électrique ;
- La production de bioGNV pour alimenter des véhicules individuels ou des transports en commun, qui requiert la proximité d'un réseau routier voire d'un terminal des lignes de transport en commun pour alimenter une flotte de bus. La volatilité et le tarif des carburants donne des avantages au bioGNV local, mais l'investissement nécessaire pour une telle installation est important et il faut du matériel roulant capable d'utiliser ce carburant ;
- La production de chaleur. Celle-ci pourrait alimenter une installation industrielle (par exemple une usine de transformation alimentaire) ou agricole (pour chauffer un bâtiment d'élevage) à proximité du méthaniseur. Cette valorisation pourrait également être indispensable pour atteindre un bon rendement énergétique d'une installation de cogénération (le rendement électrique est de 37% voire 40%), mais devra trouver un équilibre entre des besoins intermittents (fonctionnement hebdomadaire d'une usine, stades du développement des animaux) et la production continue d'un digesteur.

La carte ci-après reprend les ellipses et la carte de chaleur précédemment construite, et les différents éléments permettant d'envisager les exutoires du biogaz :

- Le réseau routier principal (routes nationales et départementales) qui reflète l'accessibilité des véhicules à des véhicules ;
- Le réseau électrique HTA sur lequel pourrait se raccorder un méthaniseur ;
- Les zones industrielles du territoire, pouvant avoir besoin de chaleur.

Les élevages se situent dans les zones entourées par les ellipses.



On peut constater que, dans les zones précédemment citées comme disposant d'importantes ressources en biomasse :

- Le réseau électrique permet d'envisager un raccordement tout autour du territoire
- La densité du réseau routier permettrait d'envisager théoriquement la distribution de bioGNV dans chaque zone, toutefois les zones de l'ouest et Salazie sont plus difficilement accessibles ce qui peut entrainer des contraintes à l'alimentation d'une flotte de transport en commun (ce point étant à approfondir par ailleurs) ;
- Les zones d'activités et industrielles sont très éloignées des zones de production d'effluents d'élevage, un méthaniseur alimentant une installation industrielle impliquerait un transport sur de longues distances de ces effluents.

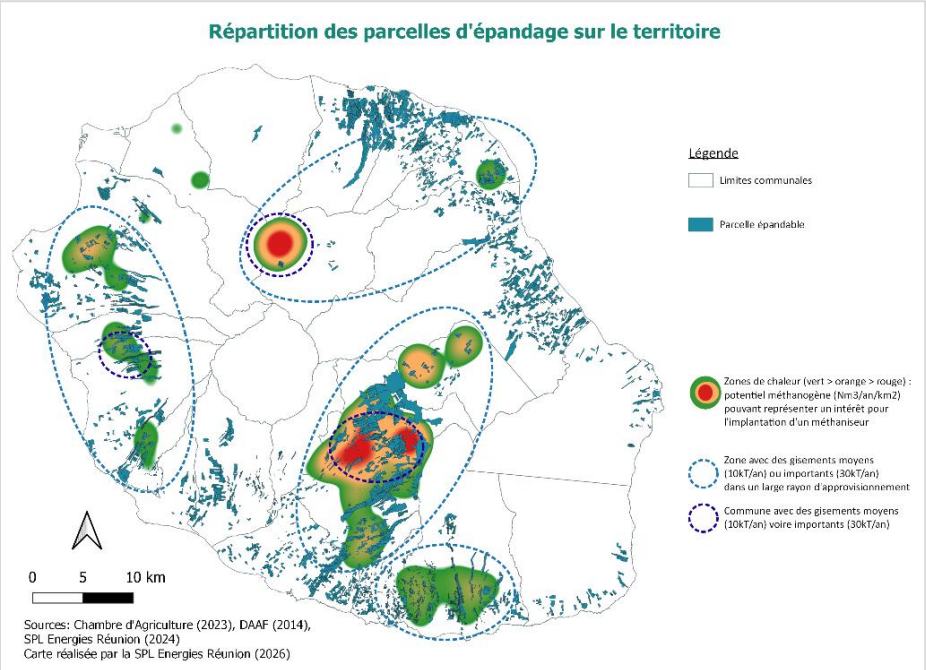
Utilisation du digestat

Concernant le digestat, la valorisation la plus simple, et le plus généralement pratiqué en métropole, est le retour au sol qui peut être réalisée sans plan d'épandage si le process de méthanisation respecte le cahier des charges DigAgri.

Sachant que la quantité de digestat (volume, tonnage) et la teneur en azote sont réduites par rapport aux intrants, l'application au digestat des mêmes contraintes réglementaires que celles appliqués aux effluents bruts (notamment en termes de quantité d'élément fertilisants), la surface d'épandage est réduite. Cependant, la fraction d'éléments minéralisés est plus facilement assimilée par les cultures mais peut être plus facilement lessivé (par rapport à l'azote organique), il est donc nécessaire de définir un fractionnement différent de l'épandage du digestat face à de l'épandage d'effluent brut.

On s'intéresse alors aux surfaces d'épandages sur le territoire, représentée sur la carte ci-après, tandis que le tableau présente les surfaces épandables des communes proches des zones identifiées précédemment :

Communes	Surface épandable totale (ha)
Saint-Paul	2 372
Sainte-Suzanne	1 405
Saint-Joseph	1 700
Saint-Benoît	4 268
Saint-André	1047
Bras-Panon	810
Sainte-Marie	1 929
Saint-Leu	1 830
Petite-Ile	684
Saint-Louis	1 142
Saint-Pierre	3 302
Le Tampon	7 365
La Plaine-des-Palmistes	487
Les Avirons	207
Salazie	114
Les Trois-Bassins	554



Dans la zone des plaines, on retrouve d'importantes surfaces agricoles épandables (des prairies) à proximité des élevages. Dans les autres zones, un transport du digestat serait nécessaire :

- Dans l'Ouest et le sud, on retrouve des surfaces épandables à proximité des élevages mais les parcelles disponibles concernent principalement les surfaces cannières situées plus proches du littoral
- Dans l'Est, le cirque de Salazie comprend de très faibles surfaces d'épandage, et les surfaces d'épandage, à nouveau cannières, ne sont généralement pas à proximité directe des élevages. Du transport des digestats, ou une implantation adaptée d'un méthaniseur dans cette zone serait à prévoir.

3. Eviter la compétition : les installations en service et les projets en cours sur le territoire

A date, deux méthaniseurs sont en fonctionnement à La Réunion, chacun étant mono-intrant (des boues d'épuration à la STEP du Grand Prado, et des vinasses à la distillerie Rivière du Mât) et n'ont pas vocation à en intégrer de nouveaux.

Actuellement, plusieurs projets d'implantation de méthaniseur sont en développement sur le territoire :

Projet	Zone d'implantation	Approvisionnement prévisionnel (en ktonnes annuels)	Valorisation du biogaz
CASUD / SICALAIT	CASUD (le Tampon)	Lisiers bovins : 32,3 Fumiers bovins : 3,5 HAU : 0,26	Electricité (BioGNV en réflexion)
Metharun	CIREST (Saint André)	Fientes de volaille : 4,0 Lisier de canard : 2,4 Ensilage de canne fourragère : 0,9	Electricité
MethaBose	CIREST	*En cours de réflexion* 10 à 15 ktonnes/an, dont 2/3 d'effluents d'élevage	*En cours de réflexion*
Distillerie Rivière du Mât	CIREST (Saint Benoit)	Lisier porcins : 5, kt Fientes volaille : 0,8 kt Biodéchets et boues des IAA : 14,8 kt	Electricité
STEP de Pierrefonds	CIVIS (Saint Pierre)	Boues STEP : *à définir* *Autres intrants en cours de réflexion*	Electricité
RunEVA	CIVIS (Saint Pierre)	FFOM : 15 Biodéchets : 15	Electricité

Projet	Zone d'implantation	Approvisionnement prévisionnel (en ktonnes annuels)	Valorisation du biogaz
M Environnement / Biobeebox	TO (Saint Paul)	Biodéchets : 3	Electricité

La majorité de ces projets prévoient une utilisation d'effluents d'élevage de différente nature. Si dans certaines zones, en particulier dans l'Est, la densité des projets en cours entraine un risque de tension sur les ressources, une répartition de méthaniseurs sur le territoire permettrait de pouvoir mutualiser des capacités (maintenance, matériel de rechange) ou de dynamiser l'émergence de nouveaux usages, en particulier le bioGNV pour lequel la disponibilité de plusieurs points de ravitaillement faciliterait le développement des usages.

En dehors des projets de méthanisation, nous pouvons également signaler que d'autres solutions existent actuellement pour la valorisation des effluents d'élevage :

- Volailles : fabrication de granulés utilisé comme fertilisant dans Salazie
- Séparation de phase des lisiers porcins dans le sud
- Ouest : compostage des fientes de volaille en développement

Pour les biodéchets, nous pouvons également signaler le développement d'équipements de compostage pour les industriels sur des plateformes dédiées (et gérées par un prestataire).

La prise en compte des solutions actuels de gestion des effluents et des matières fermentescibles et des projets est nécessaire pour éviter de créer des tensions sur les ressources et des investissements pour des équipements non viables.

B. Les zones d'intérêt pour l'implantation d'un méthaniseur agricole et des exemples d'installations

Au regard des résultats précédent, deux zones semblent être intéressantes pour y mener une réflexion sur l'implantation d'un méthaniseur agricole :

- La zone ouest, autour dans les hauts du territoire de l'ouest, pour la production d'électricité ;
- La zone des plaines, où certes un projet d'une taille importante est porté par la CASUD et la SICALAIT, mais l'importance des gisements pourrait laisser envisager la place pour un autre méthaniseur de plus petite capacité mais alimenté par des intrants de plus haut pouvoir méthanogène.

Afin d'éviter une compétition entre les projets, nous excluons la zone de Saint Joseph de la réflexion. Malgré un projet au niveau du lycée agricole mené à la fin des années 2010 la méthanisation à destination principalement des effluents agricoles entrerait en conflit avec le projet de centrifugation et compostage des lisiers porcins porté par la CPPR.

Pour la zone de l'Est, trois projets sont en cours de réflexion et cherchent à mobiliser des effluents d'élevage. Ces projets étant au stade d'étude de faisabilité et étant accompagnés par des bureaux d'études spécialisés, nous pouvons considérer que leur approvisionnement et leur dimensionnement sera optimisé et mobilisera toute la ressource techniquement et économiquement utilisable.

Nous analyserons, à partir des ressources disponibles, des exemples de méthaniseurs viables envisageables pour ces deux zones (et sous quelles conditions).

Au sein de ces zones, nous chercherons à définir, à l'aide des gisements disponibles, des élevages présents, et des exutoires à proximité :

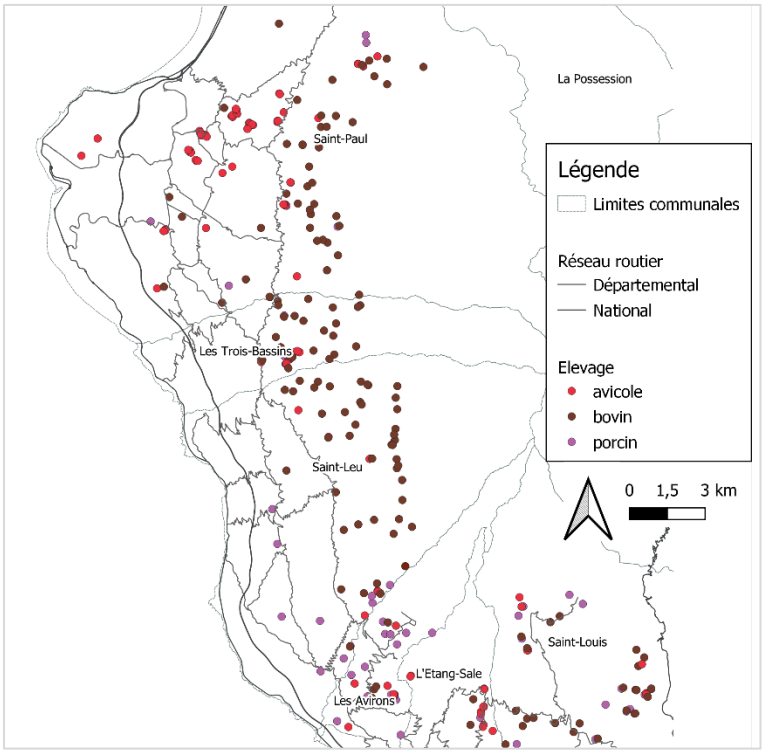
- Des mélanges d'intrants pouvant alimenter (en termes de tonnages) et faire fonctionner (en termes de caractéristiques physico-chimiques) un méthaniseur ;
- Le rayon d'approvisionnement ;
- Les surfaces d'épandage du digestat et le rayon de transport de ces digestats.

Les hypothèses techniques et économiques appliquées s'appuient sur les hypothèses décrites dans la partie V.A, avec des variations de certaines d'entre elles pour améliorer la rentabilité de ces exemples de méthaniseurs. Les principales hypothèses techniques et économiques sont indiquées dans les tableaux résumant chaque modélisation (respectivement dans les premières et troisièmes colonnes des tableaux).

Dans les tableaux sont également indiqués des indicateurs techniques (zones d'approvisionnement, mix d'intrant) ou économiques (LCOE, coût de transport par élevage etc.)

1. Zone Ouest

Comme l'illustre la figure ci-dessous, la zone ouest (de Saint-Paul aux Avirons) est composée de nombreux élevages bovins en altitude à Saint Paul, Trois-Bassins et Saint Leu, de nombreux élevages porcins dans le sud de Saint Leu et aux Avirons et d'élevages avicoles concentrés à plusieurs endroits.



Dans cette zone, nous proposons d'analyser la viabilité de trois projets « type » de méthanisation :

i) une unité située à la frontière entre Trois-Bassins et Saint Leu et alimentée par des lisiers (bovins et porcin) et des fumiers de volailles,

ii) une unité implantée entre Saint Leu et les Avirons alimentée par des lisiers porcins et des fientes de volaille.

iii) une unité implantée entre Trois-Bassins et les Avirons alimentée par des lisiers (bovins et porcins) et du fumier de volaille avec un rayon d'approvisionnement et des tonnages traités plus important que dans les installations i) et ii).

Unité située à la frontière entre Trois-Bassins et Saint-Leu (< 15 ktonnes/an d'intrants) alimentée principalement par des lisiers (bovins et porcins) et un peu de fumier de volaille.

Il serait possible de compléter le mix avec des biodéchets provenant des zones d'activités de Saint Paul, du Port, ou d'Etang-Salé.

Frontière entre Trois-Bassins et Saint Leu – Régime ICPE : Enregistrement			
Intrants (en % du tonnage total de la zone et nombre d'élevages correspondants[7]) **Et autres données techniques**	**Cas**	**Hypothèses économiques appliquées**	**Coût de l'énergie**
Lisier bovin 8,0 kton/an (59% - 10 élev) Lisier porcin 5,0 kton/an (50% - 10 élev) Fumier volaille 0,7 kton/an (64% - 44 élev) Approvisionnement : 6 km (zone autour du centre-ville) Coût moyen par élevage : 558 €/an Digestat Retour au sol en prairie (pas de traitement spécifique) : 73ha – 2km + 3€/ton frais d'épandage Coût moyen par élevage : 796 €/an Production énergétique Si cogénération : 0,89 GWh Si BioGNV : 192 tonnes	1.1	Taux de subvention : 45% (FA 2.2.4 FEDER) Pas de coût de transport Pas de coût d'intrants Pas de vente de la chaleur	Electricité : 403 €/MWh BioGNV : 2,56 €/kg
	1.2	**Taux de subvention : 75%** Pas de coût de transport Pas de coût d'intrants Pas de vente de la chaleur	Electricité : 303 €/MWh BioGNV : 1,88 €/kg
	1.3	Taux de subvention : 75% **Gestion du digestat réalisée par l'exploitant** Pas de coût d'intrants Pas de vente de la chaleur	Electricité : 357 €/MWh BioGNV : 2,13 €/kg
Lisier bovin 8,0 kton/an (59% - 10 élev) Lisier porcin 5,0 kton/an (50% - 10 élev) Fumier volaille 0,7 kton/an (64% - 44 élev) **Biodéchets (Le Port, St Paul, Etang-Salé)** **3000 tonnes (33% de la production de la zone)** Approvisionnement : Effluents 6 km (zone autour du centre-ville) Biodéchets : 30km (13€/ton)	1.4	Taux de subvention : 45% (FA 2.2.4 FEDER) Pas de coût de transport Pas de coût d'intrants Pas de vente de la chaleur	Electricité : 322 €/MWh BioGNV : 2,01 €/kg
	1.5	**Taux de subvention : 75%** Pas de coût de transport Pas de coût d'intrants Pas de vente de la chaleur	Electricité : 233 €/MWh BioGNV : 1,43€/kg

[7] Cette estimation du nombre d'élevage est une estimation d'après le tonnage total de chaque effluent (estimé dans l'étude du CIRAD et de la Chambre d'Agriculture) et le nombre d'exploitations de la commune correspondante (d'après les résultats du recensement général agricole qui diffère des données cartographiques disponibles).

Frontière entre Trois-Bassins et Saint Leu – Régime ICPE : Enregistrement			
Intrants (en % du tonnage total de la zone et nombre d'élevages correspondants[7]) Et autres données techniques	Cas	Hypothèses économiques appliquées	Coût de l'énergie
Digestat Retour au sol en prairie (pas de traitement spécifique) : 85ha – A 2km + 3€/T de frais d'épandage Coût moyen par élevage : 930 €/an Production énergétique Si cogénération : 2,2 GWh Si BioGNV : 478 tonnes	1.6	Taux de subvention : 75% **Gestion du digestat réalisée par l'exploitant** Pas de coût d'intrants Pas de vente de la chaleur	Electricité : 258 €/MWh BioGNV : 1,55 €/kg

Un tel modèle d'installation, valorisant uniquement 13,7 ktonnes/an d'effluents d'élevage, ne permettrait pas de produire de l'énergie à un coût raisonnable (cas 1.1, 1.2 et 1.3) si le niveau de subvention à l'investissement est au niveau de la fiche action FEDER 2.2.4. Toutefois l'utilisation de biodéchets d'industries agroalimentaires ou d'intrants avec un fort pouvoir méthanogène permettrait de diminuer le coût de l'énergie, rendant le projet plus acceptable (cas 1.4, 1.5 et 1.6).

Installation située entre Les Avirons et Saint-Leu (< 15 ktonnes/an d'intrants) alimentée principalement par des lisiers porcins et du fumier de volaille

Il serait possible de compléter le mix avec des biodéchets provenant des zones d'activités d'Etang-Salé ou de Saint Pierre.

Frontière entre les Avirons et Saint Leu – Régime ICPE : Enregistrement			
Intrants (en % du tonnage total de la zone et nombre d'élevages correspondants[8]) Et autres données techniques	Cas	Hypothèses économiques appliquées	Coût de l'énergie
Lisier porcin 10,0 kton/an (64% - 19 élev) Fumier volaille 0,5 kton/an (49% - 50 élev)	2.1	Taux de subvention : 45% (FA 2.2.4 FEDER) Pas de coût de transport Pas de coût d'intrants Pas de vente de la chaleur	Electricité : 450 €/MWh BioGNV : 2,75 €/kg

[8] Cette estimation du nombre d'élevage est une estimation d'après le tonnage total de chaque effluent (estimé dans l'étude du CIRAD et de la Chambre d'Agriculture) et le nombre d'exploitations de la commune correspondante (d'après les résultats du recensement général agricole qui diffère des données cartographiques disponibles).

Frontière entre les Avirons et Saint Leu – Régime ICPE : Enregistrement			
Intrants (en % du tonnage total de la zone et nombre d'élevages correspondants[8]) **Et autres données techniques**	**Cas**	**Hypothèses économiques appliquées**	**Coût de l'énergie**
Approvisionnement : 2,5 km (Le Plate Saint Leu) Coût moyen par élevage : 178 €/an Digestat Retour au sol en prairie : 37ha – 2km Et retour au sol en parcelle cannière : 100 ha – 2km +3€/T épandage Coût moyen par élevage : 611 €/an Production énergétique Si cogénération : 0,65 GWh Si BioGNV : 141 tonnes	2.2	**Taux de subvention : 75%** Pas de coût de transport Pas de coût d'intrants Pas de vente de la chaleur	Electricité : 346 €/MWh BioGNV : 2,05 €/kg
	2.3	Taux de subvention : 75% **Gestion du digestat réalisée par l'exploitant** Pas de coût d'intrants Pas de vente de la chaleur	Electricité : 402 €/MWh BioGNV : 2,31 €/kg
Lisier porcin 10,0 kton/an (64% - 19 élev) Fumier volaille 0,5 kton/an (49% - 58 élev) **Biodéchets (St Pierre, Etang-Salé)** **2000 tonnes (30%)** Approvisionnement : 2,5 km (Le Plate Saint Leu) Coût moyen par élevage : 271€/an Biodéchets : 15km (6,5€/ton) Digestat Retour au sol en prairie : 37ha – 2km Et retour au sol en parcelle cannière : 105 ha – 2km +3€/T épandage Coût moyen par élevage : 700 €/an Production énergétique Si cogénération : 1,5 GWh Si BioGNV : 331 tonnes	2.4	Taux de subvention : 45% (FA 2.2.4 FEDER) Pas de coût de transport Pas de coût d'intrants Pas de vente de la chaleur	Electricité : 356 €/MWh BioGNV : 2,16 €/kg
	2.5	**Taux de subvention : 75%** Pas de coût de transport Pas de coût d'intrants Pas de vente de la chaleur	Electricité : 260 €/MWh BioGNV : 1,55 €/kg
	2.6	Taux de subvention : 75% **Gestion du digestat réalisé par l'exploitant** Pas de coût d'intrants Pas de vente de la chaleur	Electricité : 288 €/MWh BioGNV : 1,68 €/kg

Sauf en cas de subventions importantes et d'intégration de biodéchets à haut pouvoir méthanogène, un méthaniseur agricole dans cette zone n'est pas économiquement viable.

Installation dans les hauts de l'ouest (> 15 ktonnes/an d'intrants avec un périmètre d'approvisionnement plus large) alimentée par des lisiers (bovins et porcins) et un peu de fumier de volaille

Hauts de l'Ouest (St Paul, Trois-Bassins, St Leu, Avirons) – Régime ICPE : Enregistrement			
Intrants (en % du tonnage total de la zone et nombre d'élevages correspondants[9]) **Et autres données techniques**	**Cas**	**Hypothèses économiques appliquées**	**Coût de l'énergie**
Lisier bovin 10,0 kton/an (64% - 14 élev) Lisier porcin 15,0 kton/an (50% - 34 élev) Fumier volaille 1,0 kton/an (34% - 87 élev) Approvisionnement : 11,5 km (zone autour La Chaloupe Saint Leu) Coût moyen par élevage : 962 €/an Digestat Retour au sol en prairie (pas de traitement spécifique) : 137 ha – 5km +3€/T épandage Coût moyen par élevage : 961 €/an Production énergétique Si cogénération : 1,5 GWh Si BioGNV : 337 tonnes	3.1	Taux de subvention : 45% (FA 2.2.4 FEDER) Pas de coût de transport Pas de coût d'intrants Pas de vente de la chaleur	Electricité : 355 €/MWh BioGNV : 2,15 €/kg
	3.2	Taux de subvention : 75% Pas de coût de transport Pas de coût d'intrants Pas de vente de la chaleur	Electricité : 259 €/MWh BioGNV : 1,54 €/kg
	3.3	Taux de subvention : 75% Gestion du digestat réalisée par l'exploitant Pas de coût d'intrants Pas de vente de la chaleur	Electricité : 337 €/MWh BioGNV : 1,90 €/kg
	3.4	Taux de subvention : 75% Pas de coût de transport Pas de coût d'intrants Redevance de 2€/tonnes de lisiers traité (surcoût éleveurs bovins de 1430€/an et porcin de 882€/an) Pas de vente de la chaleur	Electricité : 229 €/MWh BioGNV : 1,41 €/kg
	3.5	Taux de subvention : 45% (FA 2.2.4 FEDER) Pas de coût de transport des intrants Redevance de 2€/tonnes de lisiers traité (surcoût éleveurs bovins de 1430€/an et porcin de 882€/an) Gestion du digestat réalisée par l'exploitant Pas de vente de la chaleur	Electricité : 307 €/MWh BioGNV : 1,77 €/kg

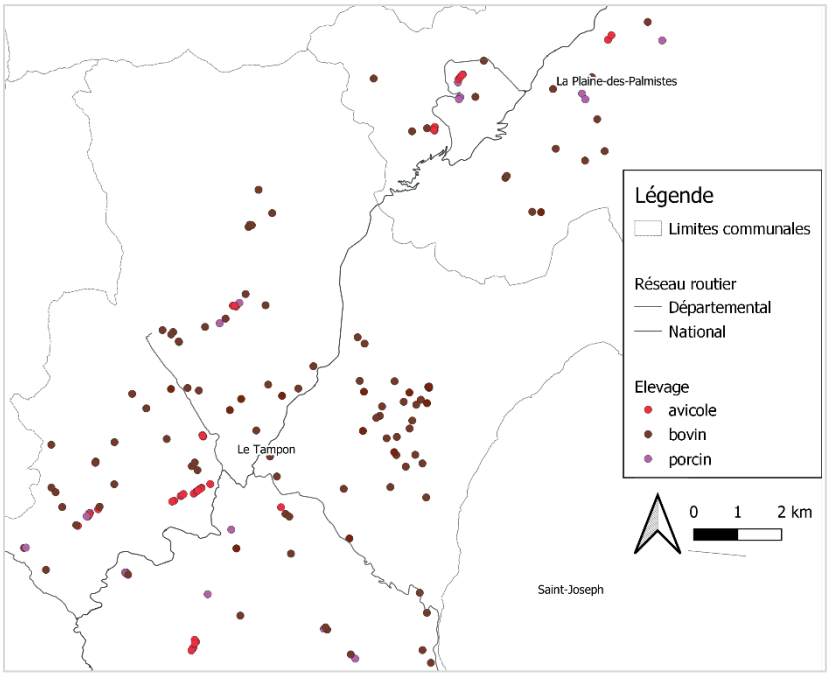
[9] Cette estimation du nombre d'élevage est une estimation d'après le tonnage total de chaque effluent (estimé dans l'étude du CIRAD et de la Chambre d'Agriculture) et le nombre d'exploitations de la commune correspondante (d'après les résultats du recensement général agricole qui diffère des données cartographiques disponibles).

Un tel modèle d'installation, valorisant uniquement 26 ktonnes/an d'effluents d'élevage, pourrait produire de l'énergie à un coût raisonnable si le niveau de subvention à l'investissement dépasse les 70%.

Pour réduire le coût de production de l'énergie, comme dans le cas des 2 exemples précédent, ce mix pourrait être complété avec des biodéchets provenant des zones d'activités de la zone ouest et sud-ouest (les résultats ne sont pas indiqués pour limiter le nombre de modèles restitués).

2. Le Tampon et les plaines

Deux zones se dessinent sur ce secteur, au niveau du vingt-deuxième kilomètre où l'on retrouve des élevages bovins et des élevages de volaille, et au niveau de Bourg-Murat où se trouvent de nombreux élevages bovins. Dans le sud du Tampon, on peut également constater la présence d'élevage porcins, et la commune de la Plaine-des-Palmistes comprend une diversité de ces élevages répartis sur son territoire. La figure suivante montre ces deux zones.



Le projet de méthanisation porté par la CASUD et la SICALAIT se reposent sur la mobilisation de 40% des 77 ktonnes de lisiers bovins produits (hors pâturages) sur la commune. D'autres installations d'une capacité similaires pourraient être envisageables (en y intégrant du fumier, du lisier porcin ou des fientes), mais un modèle intégrant des intrants à plus fort pouvoir méthanogène pourrait également être envisagé.

C'est pourquoi, nous proposons d'étudier le cas hypothétique d'un autre projet, se reposant sur l'utilisation d'une proportion plus importante d'intrants avec un pouvoir méthanogène supérieur aux lisiers.

Le Tampon – Régime ICPE : Déclaration (sauf si utilisation biodéchets)			
Intrants (en % du tonnage total de la zone et nombre d'élevages correspondants[10]) **Et autres données techniques**	**Cas**	**Hypothèses économiques appliquées**	**Coût de l'énergie**
Fumier bovin 1,1 kton/an (7,3% - 4 élev) Lisier bovin 5,2 kton/an (6,7% - 5 élev) Lisier porcin 3,0 kton/an (37% - 7 élev) Fientes poules pondeuses 1,6 kton/an (33% - 5 élev) Approvisionnement : 5 km (zone autour du 22è km) Coût moyen par élevage : 1128€/an Digestat Retour au sol en prairie (pas de traitement spécifique) : 80ha – A proximité directe (on considère 2km) +3€/T épandage Coût moyen par élevage : 1857€/an Production énergétique Si cogénération : 1,4 GWh Si BioGNV : 297 tonnes	4.1	Taux de subvention : 45% (FA 2.2.4 FEDER) Pas de coût de transport Pas de coût d'intrants Pas de vente de la chaleur	Electricité : 365 €/MWh BioGNV : 2,2 €/kg
	4.2	**Taux de subvention : 75%** Pas de coût de transport Pas de coût d'intrants Pas de vente de la chaleur	Electricité : 268 €/MWh BioGNV : 1,59 €/kg
	4.3	Taux de subvention : 75% **Gestion du digestat réalisée par l'exploitant** Pas de coût d'intrants Pas de vente de la chaleur	Electricité : 294 €/MWh BioGNV : 1,71 €/kg
Fumier bovin 1,1 kton/an (7,3% - 4 élev) Lisier bovin 5,2 kton/an (6,7% - 5 élev) Lisier porcin 3,0 kton/an (37% - 7 élev) Fientes poules pondeuses 1,6 kton/an (33% - 5 élev) **Biodéchets** **3,0 kton/an**	4.4	Taux de subvention : 45% (FA 2.2.4 FEDER) Pas de coût de transport Pas de coût d'intrants Pas de vente de la chaleur	Electricité : 309 €/MWh BioGNV : 1,94 €/kg

[10] Cette estimation du nombre d'élevage est une estimation d'après le tonnage total de chaque effluent (estimé dans l'étude du CIRAD et de la Chambre d'Agriculture) et le nombre d'exploitations de la commune correspondante (d'après les résultats du recensement général agricole qui diffère des données cartographiques disponibles).

Le Tampon – Régime ICPE : Déclaration (sauf si utilisation biodéchets)			
Intrants (en % du tonnage total de la zone et nombre d'élevages correspondants[10]) **Et autres données techniques**	**Cas**	**Hypothèses économiques appliquées**	**Coût de l'énergie**
Approvisionnement : 5 km pour les effluents (zone autour du 22è km) Coût moyen par élevage : 1128€/an **33 km biodéchets (Saint Pierre et Etang Salé) – 14€/T de transport** Digestat Retour au sol en prairie (pas de traitement spécifique) : 80ha – A proximité directe (on considère 2km) +3€/T épandage Coût moyen par élevage : 2265€/an Production énergétique Si cogénération : 2,7 GWh Si BioGNV : 582 tonnes	4.5	Taux de subvention : 75% Transport des biodéchets par l'exploitant (43 k€) Pas de coût d'intrants Pas de vente de la chaleur	Electricité : 237 €/MWh BioGNV : 1,44 €/kg
Méthaniseur implanté à proximité des zones d'activités Fumier bovin 1,1 kton/an (7,3% - 4 élev) Lisier bovin 5,2 kton/an (6,7% - 5 élev) Lisier porcin 3,0 kton/an (37% - 7 élev) Fientes poules pondeuses 1,6 kton/an (33% - 5 élev) **Biodéchets** **3,0 kton/an** **Approvisionnement :** **15 km pour les effluents** **Coût moyen par élevage : 2265 €/an** **5 km biodéchets (Saint Pierre et Etang Salé) – 2€/T de transport** Digestat Retour au sol en parcelles cannières (pas de traitement spécifique) : 120ha – Parcelles cannières à proximité (on considère 5km) +3€/T épandage Coût moyen par élevage : 3028€/an Production énergétique Si cogénération : 2,7 GWh Si BioGNV : 582 tonnes	4.6	**Taux de subvention : 75%** Transport des effluents par les agriculteurs Pas de coût d'intrants Pas de vente de la chaleur	Electricité : 222€/MWh BioGNV : 1,37€/kg
	4.7	Taux de subvention : 45% (FA 2.2.4 FEDER) Transport des effluents par l'exploitant Pas de coût d'intrants Vente de la chaleur : 100€/MWh (uniquement si cogénération)	Electricité : 228€/MWh BioGNV : 2,05€/kg
	4.8	Taux de subvention : 75% Transport des effluents par l'exploitant Pas de coût d'intrants Vente de la chaleur : 100€/MWh	Electricité : 142€/MWh BioGNV : 1,49€/kg

Sous réserve d'un taux de subvention élevé (supérieur à 75%) un tel modèle d'installation, valorisant uniquement 10,9 ktonnes/an d'effluents d'élevage, dont des fumiers et fientes avec un pouvoir méthanogène élevé, serait économiquement intéressant en particulier pour une production de bioGNV.

Dans les derniers cas (4.6 à 4.8), le déplacement du méthaniseur vers des zones d'activités pouvant utiliser la chaleur serait économiquement avantageux si le tarif de vente de cette chaleur à l'utilisateur compense le transport des intrants agricoles et si le besoin de chaleur est régulier (la production de gaz étant constant, il est important de limiter le stockage du gaz) ; ce biogaz pourrait également être compétitif face à d'autres sources d'énergie (électricité, autres biomasses). Toutefois, cette organisation suppose le transport d'importants volumes d'effluents d'élevage fortement dilués (idem pour du digestat s'il n'est pas possible de l'épandre à proximité), ce qui augmente l'impact environnemental de l'installation.

VI. Construction d'une stratégie de développement de la méthanisation

En complément de cette analyse quantitative des opportunités du territoire, nous nous intéressons aux conditions qui favoriseront la réussite des projets et l'émergence d'une filière robuste de méthanisation (en particulier agricole) à La Réunion.

A. Disposer de porteurs en capacité de réussir un projet

Cela a été signalé tout au long du travail, plusieurs paramètres clés de faisabilité technique ou de rentabilité d'un méthaniseur doivent être consolidés par un porteur de projet lors de la maturation avant la mise en service d'un projet.

1. La capacité financière et foncière

Un projet de méthanisation se construit sur plusieurs années entre les premières études de faisabilité et la mise en service (entre 3 et 5 ans, la négociation avec la CRE pouvant allonger cette période). Ces années seront dédiées à la réalisation d'une étude de faisabilité, de terrain (sol, géomètre…), ou des démarches auprès des services de l'Etat (dossier ICPE, agrément sanitaire…), à la consultation et la sélection des équipements et des entreprises pour l'aménagement de l'installation et au suivi de ces travaux.

Il est en outre nécessaire de disposer du foncier sur lequel s'implantera l'installation lors des études de terrains, en particulier s'il s'agit de foncier agricole dont l'aménagement nécessitera une approbation en CDPENAF (commission de préservation des espaces naturels, agricoles et forestiers), et ce pendant les phases de maturation du projet.

Ainsi, un porteur de projet doit disposer d'une capacité financière suffisante, à la fois pour soutenir les charges liées au développement du projet (pendant plusieurs années avant la génération de revenus) mais également pour mobiliser des subventions et accéder aux financements bancaires nécessaires à la réalisation d'investissements de plusieurs centaines de milliers voire de millions d'euros.

2. La maitrise de l'approvisionnement

La durée de fonctionnement d'un méthaniseur peut dépasser les 20 ans, et les contrats d'achats de l'énergie produite en métropole courent sur 15 ans (pour l'injection de gaz) ou 20 ans (pour la cogénération), et peuvent être renouvelés.

Le fonctionnement d'un méthaniseur s'inscrit dans une logique de moyen et de long terme, il est donc indispensable d'assurer les approvisionnements en intrants tout au long de ce fonctionnement. Plusieurs solutions peuvent être envisagées pour assurer cette durabilité :

- Inclure les fournisseurs d'intrants dans les actionnaires du méthaniseurs ;
- Etablir des contrats avec ces détenteurs ;

- En complément d'un contrat : acheter ces intrants, ou facturer une redevance plus faible que les autres solutions de traitement de ces ressources.

Cette négociation doit s'adapter aux enjeux de chaque acteur : la gestion logistique actuelle des effluents et de leur épandage est déjà organisée sur le territoire selon des pratiques propres à chaque exploitant. Les huiles alimentaires usagées n'ont pas de valorisation localement et doivent être exportées au frais des producteurs de ces déchets. Un méthaniseur, pour s'intégrer durablement dans le territoire, doit s'avérer bénéfique économiquement et/ou techniquement pour les parties prenantes.

3. La maitrise des exutoires

A l'instar des intrants, la maitrise des exutoires est un facteur de viabilité des installations de méthanisation. Plusieurs solutions peuvent être envisagées pour assurer ces exutoires dans la durée :

- Etablir des contrats d'achat de l'énergie pour la durée de fonctionnement de l'installation. C'est le cas pour la CRE qui établit un tarif d'achat de l'électricité produite sur 20 ans. Dans le cas du bioGNV, il serait envisageable de contractualiser avec des gestionnaires de flotte de transport (marchandise ou personnes), ces contrats auraient toutefois une durée limitée (en particulier ceux relatifs aux collectivités territoriales) ;
- Intégrer les bénéficiaires du biogaz (chaleur, électricité, bioGNV) ou du digestat (agriculteurs) dans l'actionnariat de l'installation ;
- Conditionner l'apport d'effluent par un éleveur à la mise à disposition de parcelles d'épandage. Cette stratégie, appliquée pour le projet de centrifugation de lisiers porcins à St Joseph, pourrait néanmoins freiner les éleveurs à s'engager.

4. L'appel à un bureau d'études et une montée en compétence

A chaque étape du développement du projet, un ensemble de compétences techniques, juridiques, commerciales, réglementaires sont à mettre en œuvre :définir le mix d'intrants, contractualiser avec les fournisseurs d'intrants et les utilisateurs du digestat, dessiner la synoptique de l'installation, consulter les entreprises, préparer et suivre les dossiers administratifs … toutes ces étapes peuvent bloquer ou mettre en danger la réussite d'un projet.

De plus, une fois l'installation en service, il est important de maitriser les gestes techniques relatifs au fonctionnement de l'installation, de connaitre les indicateurs de suivi et surtout les causes qui peuvent entrainer un dysfonctionnement du processus pour mettre en œuvre rapidement des actions correctives, ou bien de réaliser un reporting correct de l'activité.

Un accompagnement par un bureau d'étude spécialisé permet de garantir la qualité des analyses menées lors du développement du projet et la montée en compétence du futur exploitant, voire un suivi au cours de la vie de l'installation. Le label QualiMétha développé

par l'ATEE est pensé pour garantir aux porteurs de projet les compétences des bureaux d'études spécialisés sur les différentes étapes du montage d'un projet. Certains dispositifs d'aides, par exemple ceux de l'ADEME, requièrent d'être accompagnés par un bureau d'étude labellisé pour y accéder.

B. Maintenir une dynamique locale favorable au développement de projets par les pouvoirs publics et les représentants de l'interprofession

1. Une complémentarité entre les acteurs du territoire

Le montage d'un projet de méthanisation agricole, en particulier sur le territoire réunionnais, n'est pas une démarche individuelle :

- Qu'il s'agisse de l'approvisionnement ou des exutoires, seuls les grands groupes peuvent être en maitrise de bout en bout des flux de matière, sinon il est nécessaire de mobiliser plusieurs agriculteurs ;
- Une installation de méthanisation est soumise à un régime ICPE, doit respecter différentes dispositions réglementaires : hygiénisation si nécessaire, respect du cahier des charges DigAgri pour faciliter le retour au sol du digestat, agrément sanitaire … qui nécessitent l'intervention de plusieurs services de l'Etat sur le territoire ;
- Le financement de l'installation, avec la sollicitation de gestionnaires de fonds d'aides européens (FEDER) ou nationaux (fonds chaleur ou économie circulaire), des institutions bancaires pour l'obtention de prêts ou avec des structures capables d'apporter des fonds ;
- L'actionnariat de la société d'exploitation peut prendre de nombreuses formes et peut impliquer (ou non) l'exploitant, les fournisseurs, le monteur de l'installation, des collectivités, des financeurs.

La structuration d'un réseau local permettant la mobilisation de différentes parties prenantes :

- Les représentants de la profession agricole (Chambre d'Agriculture, coopératives, syndicats agricoles) :
    - Identification et mise en réseau de fournisseurs d'intrants ou de bénéficiaires du digestat ;
    - Conseils et communication sur l'utilisation du digestat ;
    - Structuration d'un modèle collectif agricole pour réaliser des étapes ou le portage d'un projet : CUMA, SCIC …

    - Identification de foncier agricole
- Les représentants des industriels (Chambre de Commerce et d'Industrie, Chambre de Métier et d'Artisanat) :
    - Mise en réseau de fournisseurs de biodéchets ;
    - Identification de porteurs ou d'exploitants ;
    - Identification d'opportunités d'utilisation de la chaleur ;
- Représentants des services de l'Etat :
    - Prévenir les blocages réglementaires et techniques, notamment en accompagnant la compréhension des procédures (ICPE, hygiénisation, cahier des charges DigAgri, etc.) ;
    - Faciliter le développement des projets, notamment sur les sujets sensibles tels que les plans d'épandage, les procédures auprès de la CRE, ou la mise à disposition de données territoriales ;
    - Sensibilisation, formation (ADEME), mise en relation avec des bureaux d'études ou des sociétés spécialisées ;
    - Gestion de dispositifs de soutien aux projets.
- Collectivités locales (Région, Département, EPCI, communes, syndicats de traitement de déchets) :
    - Soutien pour l'obtention de subvention, de foncier ou dans la négociation avec les services de l'Etat ;
    - Participation à l'actionnariat ;
    - Mise en réseau des acteurs et appui aux démarches collectives ;
    - Accompagnement et soutien technique via des agences ou services techniques, mise en relation avec des bureaux d'études spécialisés ;
    - Apport d'intrants (biodéchets, déchets verts) ;
    - Gestion de dispositifs de soutien aux projets.

2. La création d'un réseau local d'acteurs

L'axe 1 du plan d'action du Schéma Régional Biomasse de la Réunion 2025-2030 (SRB) comporte deux actions pour permettre la mise en service de méthaniseurs (en particulier agricoles) à La Réunion :

- une action d'accompagnement de porteurs de projet de méthanisation ;
- la mise en place d'un groupe de travail, public ou privé dans l'objectif d'amener ces projets à leur réalisation.

Ces actions vont pouvoir se traduire concrètement de plusieurs manières pour répondre au mieux aux besoins des acteurs :

- Des réunions de transmissions d'informations ou d'échanges avec un large panel

d'acteurs pour partager sur la situation générale du développement de la méthanisation sur le territoire ou des retours d'expériences

- Des groupes d'échanges spécifiques dédiés à un sujet ou une thématique, rassemblant uniquement les parties prenantes sur ce sujet
- Des ateliers ou groupes de travail restreints centrés sur un projet pour mettre en place des actions spécifiques pour faciliter sa mise en service

VII. Conclusion

Cette étude a permis de définir à partir des données existantes, différentes zones intéressantes pour l'implantation de méthaniseurs agricoles, et d'identifier les facteurs de réussite de potentiels projets en tenant compte du contexte réunionnais.

Plusieurs zones semblent intéressantes pour l'implantation d'un méthaniseur :

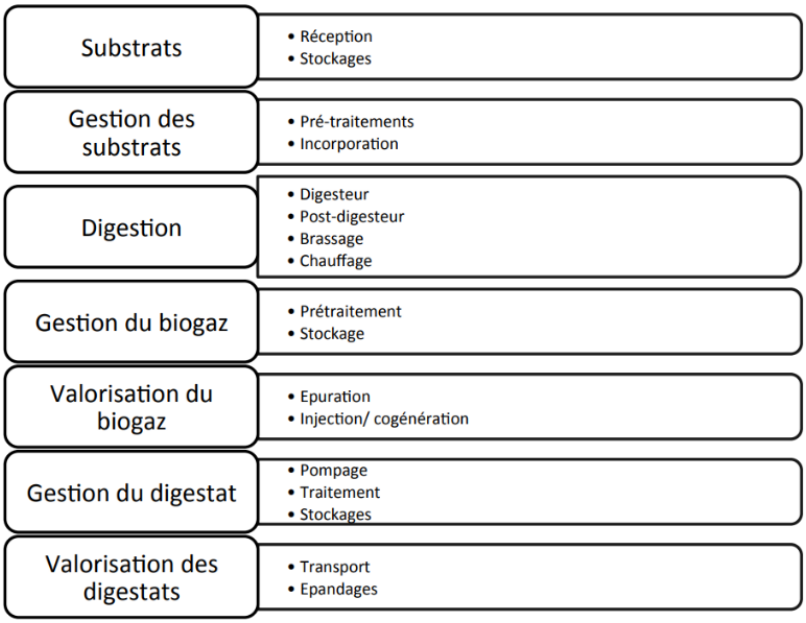
- L'Est de l'ile, où des projets de méthanisation agricole et industrielle sont en développement ;
- La zone des plaines, sur laquelle il y a déjà un projet porté par la CASUD et la SICALAIT, mais qui permet la possibilité de réfléchir à un autre projet de méthanisation agricole avec une capacité de traitement plus faible, utilisant les fumiers et fientes produites dans cette zone ;
- L'Ouest de l'ile, avec un méthaniseur alimenté par des biodéchets et des effluents d'élevage.

En raison des coûts d'investissement très élevés à La Réunion, la méthanisation de lisiers n'est envisageable que lorsque le tonnage traité est important (au-dessus de 15 000 tonnes annuels traités) et combiné à d'autres ressources fermentescibles avec un fort pouvoir méthanogène pour assurer une production suffisante de biogaz.

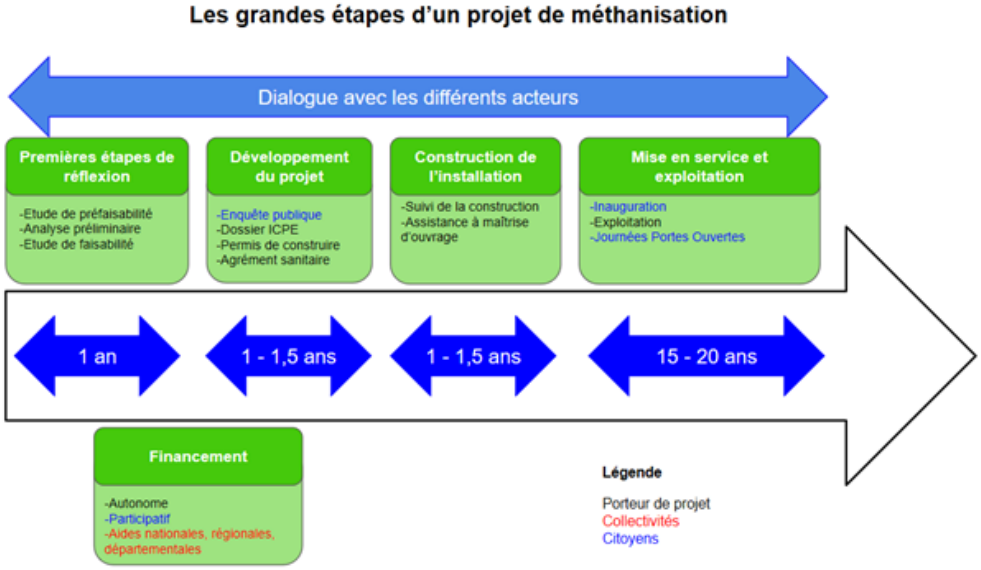
Si la cogénération est une solution simple à mettre en œuvre et nécessitant un niveau plus faible d'investissement (comparé à l'épuration du biogaz et la production de bioGNV), le tarif de l'électricité (LCOE) est assez élevé et nécessite un tarif d'achat défini après une négociation avec la CRE longue et coûteuse, tandis que la production de bioGNV permet de produire un carburant plus facilement compétitif face au carburant fossile, mais implique un usage (ou une recharge des véhicules) à proximité du site de production ou d'un transport de ce bioGNV entre le site de production et d'utilisation.

Annexes

Annexe 1: Etapes du fonctionnement d'une installation de méthanisation (AILE, 2018)



Annexe 2: Rôle et étape d'un projet de méthanisation (Portail National de la Méthanisation)



Annexe 3:Exemple-Feuille d'entrée Excel « Outil de modélisation technico-économique »

MIX EN ENTREE

	Nature du produit	Tonnage	% dans le mix	Pouvoir méthanogène	Taux de matière sèche	Taux de matière organique	Densité de la matière	Valeur NPK de la matière brute (kg/100Kg)			Caractéristiques du mix entrant			
		Matière brute entrante (T)	%	Pouvoir méthanogène m3 CH4/T	%(Matière sèche/Matière brute)	% (Matière organique/ Matière brute)	Densité (p)	N (kg/T)	P2O5 (kg/T)	K2O (kg/T)	Pouvoir méthanogène du gisement (m3 CH4)	Matière organique correspondant (t)	Matière sèche correspondant (t)	Volume du gisement correspondant (m3)
Gisements agricoles	Fumier bovins		0%	46	28%	18%	0,60	6	3,4	6,7	-	-	-	-
	Lisiers bovins	10	5%	13	7%	5%	1,00	2	1,1	3	132	0	1	10
	Fumiers de volailles de chair	-	0%	88	56%	49%	1,00	21,8	21,6	23,3	-	-	-	-
	Fientes de p. pondeuses	-	0%	110	72%	38%	0,60	12,4	20,4	10,8	-	-	-	-
	Lisiers porcins	-	0%	10	5%	3%	1,00	3	2,5	3,2	-	-	-	-
	Fumiers ovins	-	0%	40	29%	22%	0,60	8,6	4	13,3	-	-	-	-
	Fumiers caprins	-	0%		32%	27%	0,60	9,7	4,3	13,9	-	-	-	-
	Autre effluent n°1	-	0%				0,60				-	-	-	-
	Autre effluent n°2	-	0%				0,60				-	-	-	-
	Autre effluent n°3	-	0%				1,00				-	-	-	-
	Total / an	10	5%		7%	5%	1,00				132	0	1	10
	Total / jours	0									0	0	0	0
Biodéchets et autres biomasses	Biodéchets IAA	200	95%	120	30%	30%	0,90	2,5	0,6	1	23 997	60	60	222
	Vinasses	-	0%	32	8%	20%	0,90	3	3	3	-	-	-	-
	Boues STEP IAA		0%	220	100%	100%	0,90	3	3	3	-	-	-	-
	Boues STEP Urbaines	-	0%	123	56%	20%	0,90	3	3	3	-	-	-	-
	Biodéchets alimentaire	-	0%	109	32%	20%	0,90	3	3	3	-	-	-	-
	Biodéchets commerces	-	0%	130	58%	20%	0,90	3	3	3	-	-	-	-
	Biodéchets restaurants	-	0%	130	58%	20%	0,90	3	3	3	-	-	-	-
	Autre biodéchet n°1	-	0%				1,00				-	-	-	-
	Autre biodéchet n°2	-	0%				0,60				-	-	-	-
	Autre biodéchet n°3	-	0%				1,00				-	-	-	-
	Total /an	200	95%		30%	30%	0,90				23 997	60	60	222
	Total / jours	1									66	0	0	1
Mix	Total / an	210			29%	29%	0,90	2,48	11,03	0,19	24 129	60	61	232
	Total / jours	1									66	0	0,2	1

Traitement digestat (si aucun, il y aura uniquement du digestat brut)

	Traitement
Séparation de phase	Oui
Séchage d'une phase suite à	Aucun

Achat / Rémunération des intrants et gestion du transport

	Nature du produit	Tarif d'achat par l'exploitant du méthaniseur (€/Tmb) Si négatif : rémunération de l'exploitant	Charge pour l'exploitant (€)	Revenu pour l'exploitant (€)	Distance moyenne approvisionnement (km)	Part du transport payé par l'exploitant (%)	Part du transport payé par l'agriculteur (%)
Gisements agricoles	Fumier bovins	0	-	-	5	0%	100%
	Lisiers bovins	0	-	-	5	0%	100%
	Fumiers de volailles de chair	0	-	-	5	0%	100%
	Fientes de p. pondeuses	0	-	-	5	0%	100%
	Lisiers porcins	0	-	-	5	0%	100%
	Fumiers ovins	0	-	-	5	0%	100%
	Fumiers caprins	0	-	-	5	0%	100%
	Autre effluent n°1	0	-	-	5	0%	100%
	Autre effluent n°2	0	-	-	5	0%	100%
	Autre effluent n°3	0	-	-	5	0%	100%
	TOTAL						
Biodéchets et autres biomasses	Biodéchets IAA	0	-	-	5	0%	100%
	Vinasses	0	-	-	5	0%	100%
	Boues STEP IAA	0	-	-	5	0%	100%
	Boues STEP Urbaines	0	-	-	5	0%	100%
	Biodéchets alimentaire	0	-	-	5	0%	100%
	Biodéchets commerces	0	-	-	5	0%	100%
	Biodéchets restaurants	0	-	-	5	0%	100%
	Autre biodéchet n°1	0	-	-	5	0%	100%
	Autre biodéchet n°2	0	-	-	5	0%	100%
	Autre biodéchet n°3	0	-	-	5	0%	100%
	TOTAL		-	-			

Achat / Rémunération du digestat et gestion du transport

	Tarif de vente du digestat par l'exploitant (€/Tmb) Si négatif : charge pour l'exploitant	Coût de l'épandage (€/T)	Distance moyenne vers site d'utilisation (km)	Part du coût de gestion du digestat payé par l'exploitant (%)	Part du coût de gestion du digestat payé par l'utilisateur (%)
Digestat brut	-5	0	5	0%	100%
Digestat liquide	-5	0	5	0%	100%
Digestat solide	-5	0	5	0%	100%
Digestat sec	-5	0	5	0%	100%
Sulfate d'ammonium	-5	0	5	0%	100%

Investissement

	En % de l'investissement	Montant max (si applicable)
Subvention	45%	
Emprunt bancaire		
Apport en nature		
Apport en CCA (compte courant associé)		
TOTAL	45%	-

Complément sur la dette bancaire	Taux de l'emprunt	4%
	Durée (en années)	20

Annexe 4: Exemple- Extrait de la Feuille de synthèse des résultat Excel « Outil de modélisation technico-économique »

Composition du mix		
Nature de la matière	T/an	% dans le mix
Lisiers	25500	50%
Fumiers	25500	50%
Fientes	0	0%
Autres agricoles	0	0%
Biodéchets	0	0%
Autres ressources biodéchets	0	0%
Total (T/an)	51000	
Total journalier (T/j)	139,7	Autorisation

Biogaz	
Pouvoir méthanogène moyen (m3CH4/T)	30,0
Production de biométhane (Nm3/an)	1 528 776
PCI du biométhane (kWh)	15 196 033

Digestion	
Volume du digesteur (m3)	5 293
Temps de rétention (j)	26

Digestats					
	Tonnage	surface de retour au sol (ha) - N limite			
		Fertilisation canne à sucre	Fertilisation tomates	Fertilisation prarie	Epandage
Digestat brut	47 657	1 700,0	1 773,9	596,5	-
Digestat liquide	-	-	-	-	-
Digestat solide	-	-	-	-	-
Digestat sec	-	-	-	-	-
Sulfate d'ammonium	-	-	-	-	-

Energie			
	Cogénération	Production BioGNV	Chaudière
Energie electrique disponible (MWh élec)	5 623		
Puissance moteurs (MW élec)	703		
Energie thermique résiduelle disponible (MWh th)	6 838		10 637
Puissance chaudière (MW th)			1 520
BioGNV produit (kg)		1 210 791	
Flux traitement épurateur (Nm3/h)		191	

Investissement et économie			
	Cogénération	Production BioGNV	Chaudière
Investissement (€)	17 193 927	24 298 395	18 709 731
% Subvention	45%	45%	45%
Montant subvention	7 737 267	10 934 278	8 419 379
Charges d'exploitation annuelles	728 539	940 302	764 538
LCOE	€/MWh élec	€/kg	€/MWh th
	164,3	1,17	96,1

Glossaire

- **Biomasse** : ensemble des matières organiques pouvant devenir des sources d'énergie. Elles peuvent être utilisées soit directement (bois énergie) soit après une méthanisation de la matière organique (biogaz) ou de nouvelles transformations chimiques (biocarburant). Elles peuvent aussi être utilisées pour le compostage.
- **Gisement** : correspond à la quantité d'un type de biomasse produite sur un secteur donné
- **Méthanisation** : Procédé biologique permettant de valoriser des matières organiques en produisant du biogaz qui est source d'énergie renouvelable et un digestat utilisé comme fertilisant.
- **Biogaz** : Le biogaz est le gaz produit par fermentation de matières organiques. C'est un gaz combustible composé essentiellement de méthane et de dioxyde de carbone.
- **Digestat** : Le digestat est un produit homogène et stabilisé. Il est issu du processus de méthanisation des matières organiques.
- **ICPE** : Toute exploitation industrielle ou agricole susceptible de créer des risques pour les tiers-riverains et/ou de provoquer des pollutions ou nuisances vis-à-vis de l'environnement, est potentiellement une installation classée pour la protection de l'environnement.
- **Cogénération** : La cogénération consiste à produire et à utiliser simultanément de l'électricité et de la chaleur à partir d'une même énergie primaire et au sein de la même installation
- **Pouvoir calorifique inférieur (PCI)** : Quantité d'énergie thermique libérée lors de la combustion complète d'un combustible, sans tenir compte de la chaleur latente de la vapeur d'eau formée.
- **Potentiel méthanogène :** synonyme de pouvoir méthanogène. Utilisé ici également pour exprimer la quantité totale de biométhane susceptible d'être produite sur une zone particulière (en tonne/an) en tenant compte des ressources présentes et de leur pouvoir méthanogène respectif
- **Pouvoir méthanogène** : Quantité de méthane susceptible d'être produite, exprimée en mètres cubes de méthane par tonne (m3/t) d'intrants de méthanisation.
- **CRE** : Commission de Régulation de l'Energie

Bibliographie

- ADEME-APCA, Mai 2022, « Analyse technico-économique de 84 unités de méthanisation agricole »
- ADEME-GRDF, Mars 2021, « Guide de financement de la méthanisation »
- ADEME, 2015, « Fiche technique Méthanisation »
- ADEME-AILE-EREP, Juin 2015, Benchmark des stratégies européennes des filière de production et de valorisation de biogaz et prospectives pour la filière française de méthanisation »
- ADEME, 2016, « Guide pratique sur la chaleur issue de la méthanisation »
- AGRESTE, 2020, « Recensement agricole 2020 »
- AGRESTE, Avril 2025, « Bilan des importations de produits agricoles à la Réunion »
- Chambre d'agriculture, 2023, « Coûts 2023 des matériels agricoles »
- Préfecture de la Réunion, octobre 2023, « Plan Régional de souveraineté alimentaire de la Réunion » / « Les filières animales à la Réunion »
- SOLAGRO, 2011, « Schéma Directeur Méthanisation Biomasse » La Réunion
- SPL Energies Réunion, 2016, « Note technique méthanisation »
- SPL Horizon Réunion, Novembre 2023, « Bilan de l'atelier de concertation 1 du Schéma Régional Biomasse »
- SPL Energies Réunion, 2018 « Faisabilité, intérêt et plus-value des projets de méthanisation agricole sur le territoire réunionnais, d'un point de vue économique et agronomique »
- Région Réunion, préfecture de la Réunion - Schéma Régional Biomasse de la Réunion 2018-2023, Document d'orientation
- Région Réunion, préfecture de la Réunion - Schéma Régional Biomasse de la Réunion 2025-2030 [Non publié]
- France Agrimer, « Référentiel des catégories d'intrants et potentiel méthanogène par défaut »
- C. Aubry et al., Octobre 2014, « Dimensions économique et sociotechnique de l'épandage des MAFOR »
- F. Guilayn et al., Juin 2020, « Séparation de phases et digestats : profils d'efficacité basés sur les intrants de digestion anaérobie et le choix du séparateur »
- P. Buffière et al., Juillet 2007, « Guide méthodologique pour l'exploitation d'unités de méthanisation de déchets solide »
- Alvanitakis M., Kerdodé C., Versini A., Conrozier R., Vayssières J., 2023. Bilan des gisements de MAFORs et des besoins des cultures à l'échelle des communes de La Réunion en vue de l'autonomisation en fertilisants de l'île. Rapport technique

CIRAD - Chambre d'Agriculture, 24 p

- Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, 2020 « Eléments d'estimation de l'impact de la méthanisation sur la qualité de l'air en Auvergne-Rhône-Alpes »
- Union Européenne - Directive 91/676/CEE du Conseil, du 12 décembre 1991, concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles
- Commission de Régulation de l'Energie, 2024 « Bilan technique et économique des installations de production de biométhane injecté (hors STEP et ISDND) »
- IFIP, 2023 « La petite méthanisation : une opportunité pour réduire les émissions directes de gaz à effet de serre en élevage »
- AILE, 2017 « Gestion et traitement des digestats issus de méthanisation »
- AAMF, 2021 « Fiche conseil BioGNV : BioGNV non injecté Données économiques sur les stations »
- RAEE, 2014 « Guide technique à destination des gestionnaires de flottes des collectivités territoriales »
- CEREMA, 2018 « Développer l'offre de la chaleur issue de la méthanisation Barrières et leviers pour une meilleure valorisation »
- ENGIE, AAMF, 2022 « L'utilisation des digestats en agriculture Les bonnes pratiques à mettre en œuvre »
- JORF - Arrêté du 22 octobre 2020 approuvant un cahier des charges pour la mise sur le marché et l'utilisation de digestats de méthanisation d'intrants agricoles et/ou agro-alimentaires en tant que matières fertilisantes
- Action agricole Picarde, 2025, « Valoriser le CO2, une solution prometteuse pour l'environnement »
- Techniques de l'ingénieur, 2025 « De l'intérêt de capter le CO2 biogénique »
- GRDF, 2022 « Monter sa station BioGNV : Guide à destination des agriculteurs méthaniseurs »
- OER, 2025 « Bilan Energétique de la Réunion 2024 »
- Agorah, 2025 « Agorah'Scope N°10 – Le coût de la gestion des déchets ménagers et assimilés à La Réunion »