



HAL
open science

Evaluation environnementale de la méthanisation des effluents d'élevage et d'industries agroalimentaires : Paramètres et méthodologie pour l'analyse du cycle de vie de deux scénarios de méthanisation et d'un scénario existant, sur le territoire du Coglais (Ille et Vilaine, 35)

A. Collet, Lynda Aissani, Fabrice Béline, Thierry Bioteau

► **To cite this version:**

A. Collet, Lynda Aissani, Fabrice Béline, Thierry Bioteau. Evaluation environnementale de la méthanisation des effluents d'élevage et d'industries agroalimentaires : Paramètres et méthodologie pour l'analyse du cycle de vie de deux scénarios de méthanisation et d'un scénario existant, sur le territoire du Coglais (Ille et Vilaine, 35). [Rapport Technique] irstea. 2011, pp.42. hal-02596443

HAL Id: hal-02596443

<https://hal.inrae.fr/hal-02596443>

Submitted on 15 May 2020

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

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

Evaluation environnementale de la méthanisation des effluents d'élevage et d'industries agroalimentaires

Paramètres et méthodologie pour l'analyse du cycle de vie de deux scénarios de méthanisation et d'un scénario existant, sur le territoire du Coglais (Ille et Vilaine, 35)



Résumé

Ce guide méthodologique a pour but de fournir les paramètres clefs de l'évaluation environnementale de deux scénarios alternatifs de méthanisation des effluents d'élevage par rapport à la situation existante sur le territoire du Coglais (Ille et Vilaine).

Ce territoire est directement concerné par des problématiques d'excédents azotés, liées à la forte concentration de son activité d'élevage et de l'épandage des effluents. Ainsi, les enjeux de cette étude se focalisent autour de la résorption de cet excédent, grâce à la mise en place d'une unité de méthanisation des effluents centralisée suivie de différents post-traitements du digestat dans un objectif d'exportation. Les deux systèmes retenus sont un post-traitement type évapoconcentration et un compostage, précédés d'une presse à vis (séparation de phases).

L'enjeu de cette étude est donc de comparer, au regard de leurs performances environnementales potentielles, ces trois scénarios et de se focaliser sur l'impact du transport et l'intérêt du post-traitement du digestat au regard de la possibilité d'export.

L'évaluation environnementale de ces trois scénarios est réalisée via l'utilisation de la méthodologie d'Analyse du Cycle de Vie (ACV). Cette ACV est réalisée à partir du logiciel GaBi.

La méthode de caractérisation des impacts environnementaux potentiels choisie est la méthode CML 2001 (version de novembre 2009). Cette méthode permet d'évaluer une dizaine de catégories d'impact mais dans le cadre de cette étude seules trois catégories seront étudiées de manière approfondie :

- Acidification [kg SO₂-Equiv.]
- Eutrophisation [kg Phosphate-Equiv.]
- Réchauffement climatique (100 ans) [kg CO₂-Equiv.]

Les scénarios ont été définis lors de deux comités de pilotage, composés de différents acteurs du territoire du Coglais et du Cemagref. Cette étude est menée dans le cadre du projet BIODECOL2.

Mots-clefs : analyse du cycle de vie (ACV), méthanisation, effluent d'élevage, post-traitement, facteurs d'émission, azote

SOMMAIRE

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	1
1 PRESENTATION GENERALE DU CONTEXTE ET DES SCENARIOS	2
1.1 COMITE DE PILOTAGE	2
1.2 CONTEXTE ET ELABORATION DES SCENARIOS.....	2
1.3 PRESENTATION DE L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE.....	3
2 LES SUBSTRATS ET LEURS CARACTERISTIQUES.....	4
2.1 LES SUBSTRATS ISSUS D'IAA	4
2.2 LES SUBSTRATS ISSUS D'EXPLOITATIONS AGRICOLES	6
2.2.1 <i>Utilisation du SIG</i>	6
2.2.1.1 Calcul du gisement mobilisable par exploitation sur la zone du BV des Echelles	6
2.2.1.2 Gisement mobilisé sur le BV des Echelles « élargi à 3 km »	7
2.3 LES SUBSTRATS A L'ECHELLE DU TERRITOIRE	9
2.3.1 <i>Localisation à l'aide du SIG</i>	9
2.3.2 <i>SIG et étude du transport</i>	10
2.4 METHODE DE CALCUL DU TRANSPORT SOUS GABI.....	10
3 EMISSIONS ET BILANS MASSIQUE RETENUS A CHAQUE ETAPE	12
3.1 STOCKAGE A LA FERME OU AU SEIN DES IAA	12
3.2 ETAPE DE TRANSPORT DE LA FERME ET IAA VERS L'UNITE DE METHANISATION	14
3.3 STOCKAGE DES EFFLUENTS AVANT LA METHANISATION.....	14
3.4 LE DIGESTEUR	15
3.4.1 <i>Bilan matière au niveau du méthaniseur</i>	15
3.4.2 <i>Calcul du biogaz produit en sortie de digesteur</i>	15
3.4.3 <i>Calcul du volume de digestat produit</i>	17
3.4.4 <i>Pertes biogaz, consommation énergétique du système et allocations</i>	17
3.5 LA PRESSE A VIS	18
3.6 ETAPES SPECIFIQUES DU SCENARIO BV (AVEC EVAPOCONCENTRATION).....	19
3.6.1 <i>Presse à vis</i>	19
3.6.2 <i>Stockage du digestat NON pressé et du REFUS de presse à vis</i>	19
3.6.3 <i>Acidification du digestat</i>	20
3.6.4 <i>Evapoconcentration</i>	20
3.6.5 <i>Stockage du produit concentré issu de l'évapoconcentration</i>	21
3.6.6 <i>Stockage de la fraction liquide issue de l'évapoconcentration</i>	21
3.7 ETAPES SPECIFIQUES DU SCENARIO HBV (AVEC COMPOSTAGE).....	22
3.7.1 <i>La presse à vis</i>	22
3.7.2 <i>Compostage</i>	22
3.7.3 <i>Stockage de la fraction liquide issue de la presse à vis</i>	24
3.8 ELEMENTS LIES AU SCENARIO EXISTANT	25
3.8.1 <i>Le stockage existant</i>	25
3.8.2 <i>Incinération</i>	26
3.9 RETOUR DES DIGESTATS, EPANDAGE ET EXPORT DE L'AZOTE	26
3.9.1 <i>Transports des effluents et digestats</i>	26
3.9.2 <i>Epandage</i>	27
3.9.2.1 <i>Surface d'épandage</i>	27
3.9.2.2 <i>Facteurs d'émission</i>	27
3.9.2.3 <i>Chantiers d'épandage modélisés</i>	28
3.9.2.4 <i>Allocation fertilisation</i>	29
3.9.3 <i>Eléments concernant l'épandage liés au scénario avec évapoconcentration</i>	29
3.9.4 <i>Eléments concernant l'épandage liés au scénario avec compostage</i>	31
3.9.5 <i>Eléments concernant l'épandage liés au scénario existant</i>	32

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ACV : analyse du cycle de vie
A/R : aller-retour
BV : bassin versant
C : carbone
Cemagref : Institut de recherche en sciences et technologies pour l'environnement
CH₄ : méthane
CO₂ : dioxyde de carbone
Coef : coefficient
eq. CO₂ : équivalent CO₂
g : gramme
GES : gaz à effet de serre
HBV : hors bassin versant
IAA : Industries Agroalimentaires
K : potassium
kg : kilogramme
kWh : kilowattheure
m³ : mètre cube
mat : matière
MO : Matière Organique
MS : Matière Sèche
MWh : mégawattheure
N : Azote
Nbr : nombre
N₂O : protoxyde d'azote
org : organique
P : phosphore
Qté : quantité
t : tonne
tep : tonne équivalent pétrole
t MB : tonne de matière brute
tot. : total (e)

Notes concernant la présentation des résultats :

Dès que possible l'écriture scientifique est utilisée avec un chiffre après la virgule. La précision des hypothèses ne permet pas de dire que ce chiffre après la virgule est significatif. Cependant, il permet d'indiquer que la valeur est non nulle.

1 PRESENTATION GENERALE DU CONTEXTE ET DES SCENARIOS

1.1 Comité de pilotage

Il est composé de membres du Cemagref et des acteurs du territoire.

- Cemagref : Lynda Aissani, Fabrice Béline, Thierry Bioteau, Romain Girault
- Acteurs du territoire : Armelle Damiano (AILE), Armelle Gac et Alicia Charpiot (Institut de l'Élevage), Thomas Malvoisin (bassin versant Loisançe-Minette), Céline Bongiorno (CA35), Hélène Béline (SIAEP Pays de Coglais)

Ce comité s'inscrit dans le cadre d'un stage de fin d'études d'ingénieurs en agriculture (ESITPA) pour une durée de 6 mois.

1.2 Contexte et élaboration des scénarios

La communauté de communes du Coglais, située au nord de Rennes dans le département de l'Ille et Vilaine, est composée de 11 communes. Le territoire étudié est le canton de St Brice en Coglès. D'un point de vue agricole, ce territoire est dominé par la production laitière.

A l'origine de cette étude, il s'agissait d'évaluer les différences de performances environnementales entre des scénarios de méthanisation collective et de méthanisation individuelle. Or, les caractéristiques du territoire et la volonté des acteurs ont orienté l'étude vers une problématique « azote ». En effet, le bassin versant (BV) des Echelles a été un des bassins versants bretons en contentieux avec l'Europe.

Ainsi au regard de cette problématique « azote » et dans le but d'exporter l'excédent azoté, l'accent a été mis sur la modélisation de scénarios alternatifs à la situation existante sur le territoire permettant de traiter et d'exporter une partie des effluents azotés. Ces scénarios alternatifs permettent non seulement d'évaluer les performances de la méthanisation et de la possible valorisation énergétique du biogaz produit mais également d'évaluer l'intérêt d'unités de post-traitement en aval dans un objectif d'exportation d'une partie des effluents traités.

Les scénarios de méthanisation sont « collectifs », en d'autres termes, une unité de méthanisation centralisée est modélisée avec l'utilisation de gisements issus des Industries Agro-alimentaires (IAA) et des exploitations agricoles présentes sur ce territoire. La puissance électrique de l'unité de méthanisation choisie est d'environ 1MW. La production de chaleur doit-être suffisamment importante pour répondre au besoin d'un post traitement « lourd » tel que l'évapoconcentration. Suite à la réunion du comité de pilotage et des choix de scénarios retenus, le territoire d'étude s'étend jusqu'à la ville d'Antrain pour y intégrer les trois IAA nécessaires pour atteindre la puissance de 1MW. Le BV des Echelles, près de Montours, est le point central de la problématique de gestion de l'excédent azoté. Les exploitations agricoles retenues se situent donc dans ce bassin versant.

L'idée est de mettre en place des scénarios proches de la réalité du territoire. L'intérêt est de **se focaliser sur les aspects transport et traitement du digestat.**

Trois scénarios ont été définis :

- un **scénario existant**, sans unité de méthanisation, avec stockage et épandage des effluents sur le BV
- un scénario avec une unité de méthanisation collective et compostage. La chaleur produite à partir du biogaz est utilisée par la laiterie à Antrain. Ce scénario est intitulé **scénario HBV** (Hors Bassin Versant).
- un scénario avec une unité de méthanisation collective et un procédé d'évapoconcentration. Ce post-traitement, très énergivore, utilise une grande partie de la chaleur produite à partir du biogaz, aucun autre type de valorisation de la chaleur n'est donc possible. L'unité est placée au cœur du BV des Echelles, proche des exploitations agricoles afin de limiter les transports. Ce scénario s'intitule **scénario BV** (Bassin Versant).

1.3 Présentation de l'analyse du cycle de vie

L'évaluation environnementale des différents scénarios suit les normes de référence ISO 14040 et 14044 (octobre 2006). L'ACV des différents scénarios est modélisée sur le logiciel GaBi et la méthode utilisée pour caractériser les impacts environnementaux potentiels est la méthode CML 2001; méthode « midpoint ». Cette méthode permet d'évaluer une dizaine de catégories d'impact « mi-parcours » mais seulement trois seront analysés de manière approfondie :

- Acidification [kg SO₂-Equiv.]
- Eutrophisation [kg Phosphate-Equiv.]
- Réchauffement climatique (100 ans) [kg CO₂-Equiv.]

Ces trois catégories représentent trois des grands enjeux environnementaux de la gestion des effluents d'élevage. De plus, deux de ces catégories d'impact, le réchauffement climatique et l'acidification, permettent de répondre à la problématique du transport.

L'unité fonctionnelle est de gérer la production annuelle d'effluents bovins, porcins et d'IAA sur le territoire du Coglais soit « **24375 t d'effluent issus d'IAA + 8046 t de lisier bovin + 47016 t de fumier bovin + 9652 t de lisier porcine** ». Les frontières de notre étude débutent au stockage des effluents jusqu'à l'épandage et/ l'export des digestats (voir annexe 1) soit une analyse « gate to cradle ».

Les impacts évités sont pris en compte et concernent :

- la valorisation de la chaleur et de l'électricité produites par le digesteur
- la valorisation de la valeur fertilisante (N, P, K) des digestats
- la valorisation de la chaleur et de l'électricité produites par l'incinérateur (scénario existant)

Notes importantes :

- Pour le scénario HBV, l'incorporation de déchets verts et de structurants est nécessaire pour composter le digestat. Or, ces déchets verts et structurants ne sont pas traités dans les autres scénarios. Donc, nous ne considérons pas les émissions liées au compostage de ces produits pour éviter tout biais dans les frontières (voir 3.7.2 Compostage).

Un document concernant la collecte des données est fourni en annexe. Pour chaque étape de la modélisation, ce document indique l'origine des données entrées dans le logiciel.

2 LES SUBSTRATS ET LEURS CARACTERISTIQUES

Les substrats mobilisés sont situés sur les communes de St Brice en Coglès et Antrain. Trois IAA sont situées à Antrain : un abattoir (bovin), une industrie de fabrication d'arômes et une charcuterie. Les deux autres IAA sont situées à St Brice en Coglès : un abattoir de porc et une laiterie. Enfin, pour les substrats issus de l'élevage, ils se concentrent autour du BV des Echelles+3km.

2.1 Les substrats issus d'IAA

Dans le cadre du projet BIODECOL2, le Cemagref a réalisé, sur le territoire du Coglais, une campagne de caractérisation des substrats. Ces données ont été utilisées pour cette étude.

Les substrats issus d'IAA ont été sélectionnés selon plusieurs critères : l'accès à des informations pertinentes pour modéliser les émissions, les substrats doivent être mobilisable, sans contraintes sanitaires et sans concurrence avec d'autres filières.

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques des substrats utilisés lors de cette étude.

Origine	Localisation	Filière actuelle	effluents	tMB	MO en % de la MB	MS en% de la MB	N total kg/tMB	C total kg/tMB	P kg/tMB	K kg/tMB
Abattoir porcs Abera	Saint Brice en coglès	épandage (40%)+ incin(60%)	Boues biologiques	1,0E+04	4,8	6,03	3,6E+00	3,3E+01	1,8E+00	4,9E-01
Laiterie Armor protéine	Saint Brice en coglès	épandage	Boues biologiques	8,0E+03	4	6,92	5,1E+00	2,2E+01	5,2E+00	2,0E+00
Charcuterie Brient	Antrain	épandage	Boues biologiques	2,3E+03	4,1	6,16	4,6E+00	2,1E+01	3,0E+00	8,6E-01
Abattoir porcs Abera	Saint Brice en coglès	incinération	refus de tamisage	1,2E+03	31,1	32,9	1,8E+01	1,6E+02	7,9E-01	4,8E-01
Diananaturals	Antrain	épandage	oignons	1,1E+03	22	24,1	5,5E+00	1,0E+02	4,5E-01	2,7E+00
Abattoir bovins AIM	Antrain	épandage	matières stercoraires	4,2E+02	15,5	16,6	3,2E+00	7,8E+01	7,5E-01	8,3E-01
Charcuterie Brient	Antrain	incinération	graisses de flottation	4,0E+02	35	36,13	3,8E+00	2,5E+02	3,2E-01	2,1E-01
Abattoir bovins AIM	Antrain	épandage	graisses de flottation	3,9E+02	23,2	23,8	1,7E+00	1,8E+02	3,1E-01	1,4E-01
Charcuterie Brient	Antrain	incinération	déchet de viandes	2,0E+02	29,4	33,03	1,8E+01	1,0E+02	1,3E+00	1,1E+00
Abattoir bovins AIM	Antrain	épandage	fumier	9,1E+01	20,3	22,3	2,5E+00	9,9E+01	1,4E+00	1,5E+00
Abattoir bovins AIM	Antrain	épandage	refus de tamisage	9,0E+01	16,1	17	6,2E+00	8,7E+01	8,2E-01	2,9E-01

Figure 1 : caractéristiques des substrats IAA mobilisés

D'un point de vue énergétique, ce gisement représente 730 tep. Le tableau ci-dessous présente les valeurs pour chaque substrat.

Origine	Localisation	Filière actuelle	type	tMB	M ³ CH ₄ /tMB	total kWh
Laiterie Armor protéine	Saint Brice en coglès	épandage	Boues biologiques	8,0E+03	1,1E+01	9,0E+05
Abattoir porcs Abera	Saint Brice en coglès	épandage (40%)+incin(60%)	Boues biologiques	1,0E+04	1,2E+01	1,3E+06
		incinération	refus de tamisage	1,2E+03	1,7E+02	2,0E+06
Abattoir bovins AIM	Antrain	épandage	graisses de flottation	3,9E+02	2,6E+02	1,0E+06
		épandage	refus de tamisage	9,0E+01	8,0E+01	7,2E+04
		épandage	matières stercoraires	4,2E+02	5,3E+01	2,2E+05
		épandage	fumier	9,1E+01	5,7E+01	5,2E+04
Diananaturals	Antrain	épandage	oignons	1,1E+03	8,1E+01	8,7E+05
Charcuterie Brient	Antrain	incinération	graisses de flottation	4,0E+02	3,5E+02	1,4E+06
		épandage	Boues biologiques	2,3E+03	8,5E+00	1,9E+05
		incinération	déchet de viandes	2,0E+02	2,6E+02	5,1E+05

Figure 2 : caractéristiques énergétiques des substrats d'IAA

Ce gisement représente 730 tep soit l'équivalent de 2,0E+03 MW heure électrique ou 0.26 MW de puissance électrique installée.

Pour les scénarios, nous avons décidé de créer une unité de méthanisation de taille assez importante : environ 1 MW de puissance électrique installée. Une réflexion a donc été menée afin d'identifier une quantité suffisante et réaliste de substrats « méthanisables » à mobiliser au sein des exploitations agricoles du BV des Echelles. La puissance électrique moyenne à mobiliser au niveau des exploitations est d'environ 0,7 MW.

2.2 Les substrats issus d'exploitations agricoles

Les exploitations agricoles considérées sont centrées autour du BV des Echelles. Seuls les systèmes bovins et porcins ont été retenus car ils représentent la quasi-totalité des élevages du territoire. Les substrats d'origine « végétale » n'ont pas été pris en compte par manque de recul sur les quantités mobilisables et sur les potentiels méthanogènes de ces substrats. De plus, d'un point de vue ACV, le retour au sol après traitement de ces substrats d'origine « végétale » est difficilement modélisable et le manque de temps nous empêche d'approfondir cet aspect.

2.2.1 Utilisation du SIG

La localisation exacte des exploitations agricoles sur le territoire ne semblait pas essentielle au premier abord pour identifier qualitativement et quantitativement les gisements d'effluents mobilisables. Or, il s'est avéré que cette donnée était nécessaire pour attribuer à chaque exploitation une distance « exploitation-unité de méthanisation » afin de prendre en compte les impacts liés au transport. Nous nous sommes centrés autour du BV des Echelles et par tâtonnement, nous avons augmenté l'aire de collecte à « limite du BV + 500 m » (rayon du BV + 500 m), « limite du BV + 1 km... », jusqu'à atteindre nos objectifs en terme d'énergie à « limite du BV + 3km ». La méthodologie est décrite dans la partie ci-dessous.

2.2.1.1 Calcul du gisement mobilisable par exploitation sur la zone du BV des Echelles

Dans le cadre de BIODECOL2, des travaux de photo-interprétation ont été menés et les données obtenues ont été intégrées à cette étude (travaux d'Oleksander Tretyakov). Dans un premier temps, chaque type d'exploitation a été identifié à partir de photographies aériennes. Puis les surfaces des bâtiments, selon le cheptel, ont été référencées. Ainsi, pour chaque exploitation nous disposons de l'information sur le type de bâtiment (bovin/porcin..) et sa surface correspondante. A partir de ces données, nous avons pu réaliser notre étude de gisement.

Pour les exploitations bovines (en système fumier ou lisier) :

1) Détermination du coefficient UGB/m²

Ce coefficient est nécessaire pour calculer des quantités d'effluents disponibles (fumier ou lisier) par UGB sur notre zone. Nous ne disposons pas de données à l'échelle du BV mais uniquement à l'échelle du canton de St Brice (données

Agreste). A partir du nombre d'UGB présents et de la surface en bâtiment (m^2) sur le canton de St Brice, nous déterminons un coefficient UGB/ m^2 . Ce coefficient est extrapolé au BV des Echelles en supposant que les caractéristiques des exploitations du canton de St Brice sont identiques à celles des exploitations du BV des Echelles. Ce coefficient est de $0,0767$ UGB/ m^2 .

2) Détermination des surfaces bâtiment sur le BV

Dans un souci de réalisme, 80% de la surface des bâtiments bovin est mobilisée. De plus, nous avons arbitrairement attribué 10% de la surface des bâtiments à des exploitations en système « lisier » et 90% pour des exploitations en système « fumier » (en lien avec les pratiques réelles du territoire). Les exploitations en système lisier correspondent aux plus gros bâtiments.

3) Quantité d'effluents mobilisables

A partir de ces données et des données CORPEN sur la production de fumier ou lisier par UGB, nous déterminons un gisement potentiel par exploitation.

Pour les exploitations porcines :

1) Détermination du coefficient quantité de lisier/ m^2

A partir du nombre de truies présentes sur le canton de St Brice, de la production de lisier pour une truie et sa suite et de la surface en bâtiment, nous pouvons déterminer ce coefficient. Les données concernant les volumes de lisier produits sont issus des journées de Recherche Porcine en France (1996, 28, 241-248). Nous extrapolons ces résultats à la zone du BV des Echelles. Le coefficient est de $0,6059$ t de lisier/ m^2 .

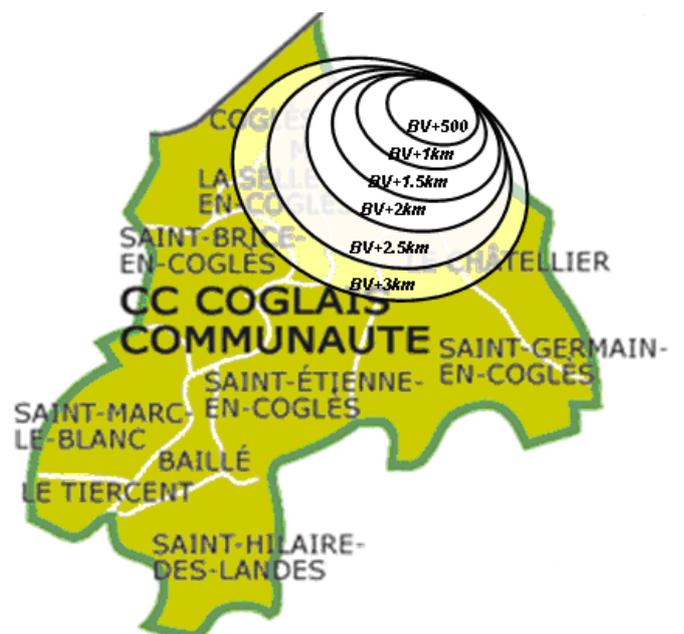
2) Détermination des surfaces bâtiment sur le BV

Dans un souci de réalisme, seulement 90% de la surface des bâtiments de porc est mobilisée. Arbitrairement, nous décidons que la totalité des élevages est conduite en système lisier.

A partir de ces données, nous déterminons un gisement potentiel par exploitation.

2.2.1.2 Gisement mobilisé sur le BV des Echelles « élargi à 3 km »

Par tâtonnement, nous avons augmenté l'aire de collecte des effluents bovins et porcins à « limite du BV + 500 m », « limite du BV + 1 km.... », jusqu'à atteindre nos objectifs en termes d'énergie à « limite du BV + 3 km ».



Surface collectée pour atteindre nos objectifs :

BOVINS

Résultats : 72 bâtiments

Dont 10% de la surface en lisier, soit 4 bâtiments avec une surface de 9711 m².

Dont 90% de la surface en fumier, soit 68 bâtiments d'une surface égale à 68109 m².

Exemple pour le fumier :

68109 m² × 0,0767 × 15 t de fumier × 60% du temps = 47 000 t/an

PORCINS

Soit : surface - (surface × 0,1) = 36 bâtiments = 15 928 m²

15 928 m² × 0,6059 = 9000 t/an

Porcs : -10% surface (plus petits bâtiments)

Qté lisier/m² = [Nb truies*(Qté lisier truie + sa suite=15.4 m³/an)]/surface bâtiment

= 0.6059 sur le territoire de St Brice en Coglès => 9600 t/an

Bovins : -20% surface (plus petits bâtiments)

- Lisier = 10% surface (plus gros bâtiments) => 8000 t/an
- Fumier = 90% surface => 47000 t/an

Coef UGB/m² sur St Brice en Coglès = 0.0767

Nbr UGB selon données Agreste sur St Brice en Coglès * 15T fumier ou 18 m³ lisier * 60% temps

Figure 3 : méthodologie pour le calcul des substrats agricoles

Origine	Substrats agricoles			
	type	quantité (t)	M ³ CH ₄ /t mat. brute	total kWh
BV+3 km	fumier bovin	4,7E+04	4,0E+01	1,9E+07
	lisier porc	9,7E+03	1,0E+01	9,6E+05

2,1E+07 kWh ←
1,8E+03 tep
5,1E+03 électricité produite Mwhé
6,4E-01 Pe : puissance électrique installée (MW)

Figure 4 : calcul du gisement agricole sur le BV + 3km en tep et Pe

Pour atteindre nos objectifs, la zone de collecte est « **limite du BV + 3 km** ». Le gisement mobilisable est donc de **1800 tep**, soit une puissance électrique installée de 0,64 MW, correspondant environ à nos objectifs (0,7 MW). Les étapes de conversion sont détaillées dans la figure ci-dessous.

Éléments de conversion

1m³CH₄ permet d'obtenir 9.94 kWh et 1 tep (tonne équivalent pétrole) équivaut à 11.628 MWh.

Sachant que nous avons pris un rendement réacteur de 80% du potentiel méthanogène et un rendement de la cogénératrice égal à 30% de l'énergie primaire (biogaz) pour le calcul de l'électricité produite. Pour le calcul de la puissance électrique installée, le fonctionnement annuel est de 8000 heures.

2.3 Les substrats à l'échelle du territoire

2.3.1 Localisation à l'aide du SIG

Afin d'atteindre notre objectif de 1MW de puissance électrique installée, nous mobilisons donc à l'échelle du territoire : **730 tep d'IAA et 1800 tep agricoles.**

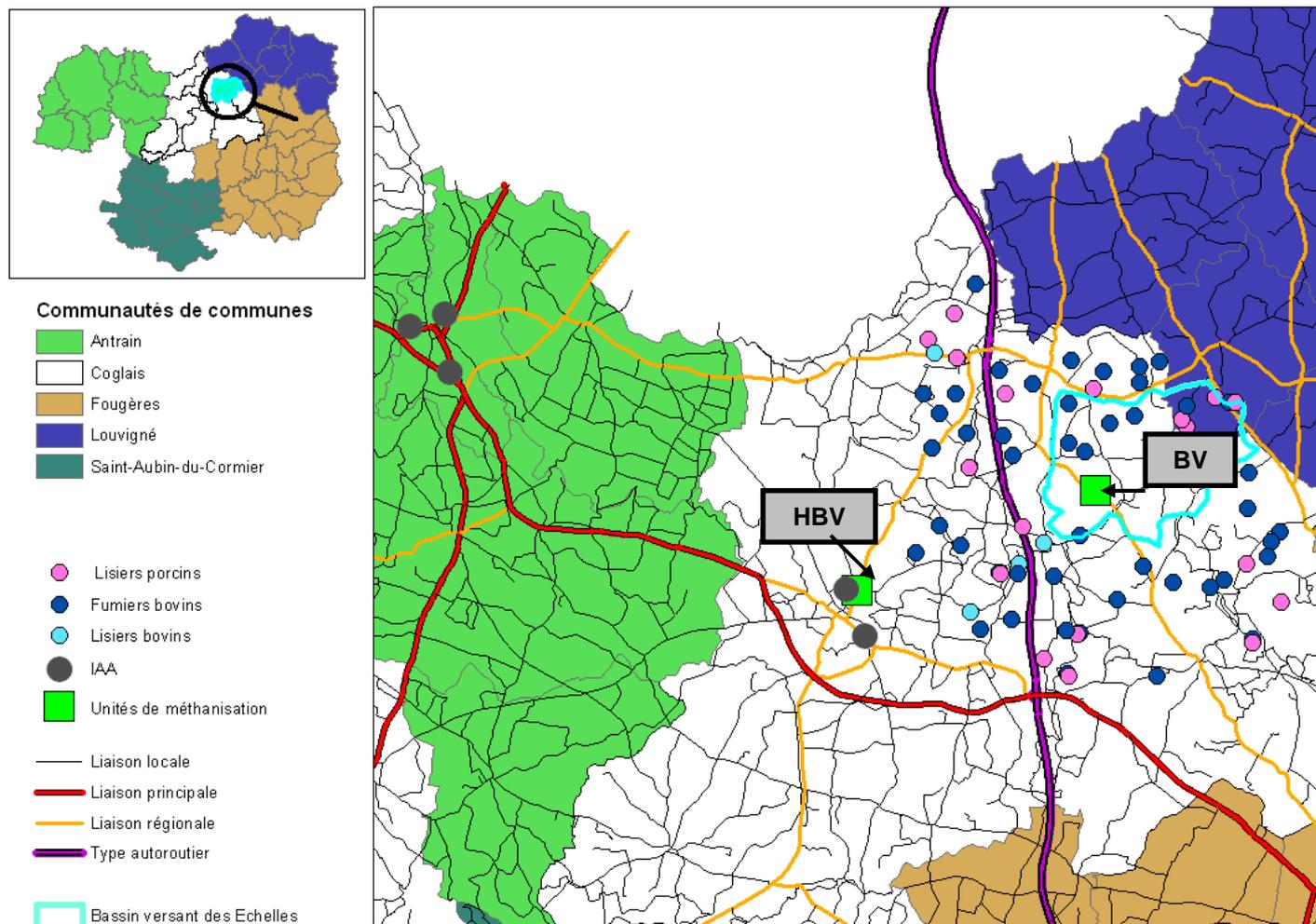


Figure 5 : localisation des sites intégrés

L'utilisation des outils SIG permet de localiser les différentes exploitations et les IAA. L'unité de méthanisation est identique entre les scénarios. Son emplacement varie : soit proche de la demande en chaleur (scénario HBV) soit au sein du BV (scénario BV). La carte ci-dessus situe les sites de notre étude. L'implantation des unités de méthanisation est faite de façon arbitraire, sans étude préalable du terrain (réglementation, proximité cours d'eau, zone naturelle...).

2.3.2 SIG et étude du transport

En localisant les différents sites à l'aide du SIG, nous pouvons calculer les distances entre les fermes et l'unité de méthanisation afin d'acheminer les effluents d'élevage par exemple. La méthode de calcul est détaillée dans la partie ci-dessous.

2.4 Méthode de calcul du transport sous GaBi

Le transport constitue un des postes clef de cette étude. Dans un premier temps, nous souhaitons prendre des tracteurs équipés de tonne à lisier ou benne à fumier pour le transport de la ferme vers l'unité de méthanisation et des camions pour les substrats d'IAA. Or, il y a peu de données disponibles sur le transport par tracteur dans la base de données Ecoinvent et aucune dans la base GaBi. De plus, les données exploitables dans la base Ecoinvent prennent en compte (entre autre): les matériaux de construction du tracteur, une surface couverte de hangar, un transport en tonne km peu adapté à notre cas, l'usure des pneus et un travail au champ (métaux lourds au sol) etc... Or, ce sont autant d'éléments non pris en compte dans la base de données GaBi. Il est donc incohérent de comparer un tracteur (Ecoinvent) et un camion sous GaBi. L'option retenue est de comparer deux camions différents sous GaBi.

Ainsi, nous prenons le process transport Truck de la base PE (GaBi) pour le tracteur avec un tonnage de 17,3 tonnes. Nous modifions la vitesse afin que l'ensemble du trajet soit réalisé à une vitesse moyenne de 27 km/h. Pour les camions, nous prenons également un process Truck de la base PE, mais d'une capacité de 24.5 tonnes, sans modifier la répartition des vitesses (27% du trajet à 82 km/h de moyenne, 43% du trajet à une moyenne de 70 km/h et 30% du trajet à 27 km/h de moyenne).

De plus, nous avons également modifié, dans les fiches process, la méthode de calcul de la consommation de diesel afin de prendre en compte: (1) le retour à vide du camion et (2) les allers-retours nécessaires pour transporter la totalité des effluents d'un point A à un point B.

Sous GaBi, la méthode de calcul est fonction de la tonne transportée « cargo ». Ainsi, la part fixe liée à la structure du camion n'est pas désagrégée, ce qui explique que lorsque le chargement du camion est nul, la consommation du camion est nulle. Dans notre méthode, nous avons donc désagrégé la formule afin d'obtenir une part fixe liée au camion, et une part variable selon son chargement. Cela nous permet de calculer un retour à vide. Autre point modifié : la distance parcourue. Sous GaBi, il nous faut renseigner la distance du point de départ à l'arrivée. Or nous souhaitons doubler cette distance pour modéliser les kilomètres du retour à vide. Dans notre méthode, la distance parcourue est multipliée par le nombre de trajet aller-retour effectué pour acheminer la totalité de l'effluent de A vers B.

GaBi

$$\left[\frac{\text{conso}_{\text{vide}} + (\text{conso}_{\text{plein}} - \text{conso}_{\text{vide}}) \times \text{tx charge}}{\text{charge utile max} \times \text{tx charge}} \times \text{distance} \right] \times \text{qté transportée}$$

Méthodologie adaptée

$$\left[\underbrace{\frac{(\text{conso}_{\text{plein}} - \text{conso}_{\text{vide}}) \times \text{tx charge}}{\text{qté transportée}}}_{\text{Conso liée à la charge}} + \underbrace{\frac{\text{conso}_{\text{vide}} \times 2}{\text{qté transportée}}}_{\text{Conso. Fixe}} \times \text{km}_{\text{aller}} \times \underbrace{\frac{\text{qté transportée}}{\text{charge utile max}}}_{\text{Nombre de trajets}} \right] \times \text{qté transportée}$$

Tx : taux de charge

Conso : consommation

Exemple de calcul de consommation de diesel (en kg) pour acheminer le lisier issu des exploitations bovines vers le méthaniseur

Le chargement à transporter est de 7965 tonnes, avec un tracteur équipé d'une tonne de 17.3 tonnes. Pour un aller, la distance moyenne de transport est de 5.2 km soit, pour la totalité du lisier une distance aller total de 2400 km ((7965/17.3)*5.2). Il faut veiller à rentrer uniquement la distance aller car la formule prend déjà en compte le retour à vide.

$$\left[\frac{(0,40130466 - 0,25874161) \times 1 + (0,25874161 \times 2)}{7965} \times 5,2 \times \frac{7965}{17,3} \right] \times 7965 = 1584 \text{ litres}$$

Si l'on ramène ces résultats à la consommation d'un camion, en kg pour 100 km :

$$\frac{1584}{(5,2 \times 2) \times (7965/17,3)} \times 100 = 33 \text{ kg pour 100 km}$$

3 EMISSIONS ET BILANS MASSIQUE RETENUS A CHAQUE ETAPE

Pour chaque étape il est précisé si les données concernent, un, deux ou les trois scénarios.

3.1 Stockage à la ferme ou au sein des IAA

Note préalable : cette partie concerne les trois scénarios.

Il s'agit du stockage au niveau des fumières et fosses, en sortie du bâtiment d'élevage ou en bout de chaîne de production de l'IAA. Pour les exploitations agricoles, les émissions liées au stockage des fumiers sous les animaux en bâtiment ne sont pas comptabilisées. Les FE retenus sont issus d'une étude réalisée par le Cemagref pour l'ADEME en 2006 : Flux de gaz à effet de serre (NH₄, N₂O) et à l'ammoniac (NH₃) lié à la gestion des déjections animales : synthèse bibliographique et élaboration d'une base de données. A. Gac, F. Béline et T. Bioteau. Août 2006.

Le stockage est non couvert et le temps de référence de cette étude est de 80 jours moyens (moyenne entre un effluent qui rentre à t=0 et un effluent à t=160). **Dans notre étude, le temps de stockage à la ferme ou en IAA est de 20 jours pour les scénarios avec méthanisation et de 80 jours pour l'existant.**

Stockage (en% N.st* et %C-CH₄st*) pour 80 jours moyens		
CH₄	<i>lisier</i>	16,7
	<i>fumier</i>	10,4
N₂O	<i>lisier</i>	0
	<i>fumier</i>	0,3
NH₃	<i>lisier</i>	3,5
	<i>fumier</i>	9,5
N₂	<i>lisier</i>	0
	<i>fumier</i>	1,5
CO₂	<i>lisier</i>	Qté CO ₂ = Qté CH ₄ / (16/44)
	<i>fumier</i>	(différent de l'étude ADEME)

*st : stocké

Figure 6 : facteurs d'émission au stockage au sein des exploitations agricoles pour 80 jours moyens, scénario existant

Exemple de calcul pour NH₃ pour un fumier:

$$\text{Quantité de NH}_3 \text{ émis} = \text{Qté N}_{\text{entrant}} * (9,5/100) * (17/14) * \text{temps}$$

Concernant les IAA, nous ne disposons d'aucune donnée existante sur les émissions au stockage. Afin de ne pas rendre ces émissions nulles, nous avons arbitrairement affecté les mêmes facteurs d'émission que pour les effluents d'élevage, avec un abattement pour le NH₃ car le stockage est couvert.

Au sein des substrats IAA, deux groupes ont été créés :

- les substrats « liquides » : boues biologiques, mat. stercoraires et graisses, avec des FE basés sur les lisiers
- les substrats « solides » : refus, viandes, pulpes d'oignons, fumiers issus d'abattoir avec des FE basés sur les fumiers

Après traitement des données, voici les émissions retenues (les valeurs non arrondies sont dans le rapport correspondant) :

Stockage	% C-CO2 sortant / C tot entrant	% C-CH4 sortant / C tot entrant	% N-N2 sortant / N tot entrant	% N-NH3 sortant / N tot entrant	% N-N2O sortant / N tot entrant
Existant : FE pour 80 jours					
fumier bovin	1,8	1,8	1,5	9,5	0,3
lisier bovin	5,5	5,5	0,0	3,5	0,0
lisier porcin	7,5	7,5	0,0	3,5	0,0
effluent IAA "liquide"	6,0	6,0	0,0	0,5	0,0
effluent IAA "solide"	1,8	1,8	1,5	1,4	0,3
Stockage ferme : FE pour 20 jours					
fumier bovin	0,5	0,5	0,4	2,4	0,1
lisier bovin	1,4	1,4	0,0	0,9	0,0
lisier porcin	1,9	1,9	0,0	0,9	0,0
Stockage ferme avant méthanisation : FE pour 10 jours					
fumier bovin	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0
lisier bovin	0,7	0,7	0,0	0,1	0,0
lisier porcin	0,9	0,9	0,0	0,1	0,0
Stockage IAA : FE pour 20 jours					
effluent IAA "liquide"	1,5	1,5	0,0	0,1	0,0
effluent IAA "solide"	0,5	0,5	0,4	0,4	0,1
Stockage IAA avant méthanisation : FE pour 10 jours					
effluent IAA "liquide"	0,8	0,8	0,0	0,1	0,0
effluent IAA "solide"	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0

NB : les valeurs en gras concernent des FE avec couverture du stockage.

Figure 7 : facteurs d'émission au stockage ferme ou IAA utilisés dans GaBi pour les scénarios avec méthanisation

Pour prendre en compte la couverture du stockage pour les IAA, les FE sont multipliés par 0,15 (Etude ADEME 2006).

Si l'on reprend le même exemple que ci-dessus pour un fumier :

$$\begin{aligned}
 \text{Quantité de NH}_3 \text{ émis} &= \text{Qté N}_{\text{entrant}} * (9,5/100) * (17/14) * \text{temps} \\
 &= 1,6 \text{ E-04 t de NH}_3 \\
 &= 1,3 \text{ E-04 t de N- NH}_3 \\
 \text{Soit } 1,3 \text{ E-04 t de N-NH}_3 / \text{ quantité de N}_{\text{entrant}} * 100 \\
 &= 2 \% \text{ N- NH}_3 / \text{ N tot}_{\text{entrant}}
 \end{aligned}$$

Pour modéliser le stockage au niveau du scénario existant, les FE ont été multipliés par le coefficient 80/20 pour les ramener au temps de référence. De plus, arbitrairement, un abattement matière de 1% a été appliqué à cette étape.

3.2 Etape de transport de la ferme et IAA vers l'unité de méthanisation

Note préalable : Cette partie concerne les scénarios de méthanisation

Les distances parcourues sont calculées à partir de Arcgis et Network Analyst avec la méthode « chemin le plus court » grâce au géoréférencement des sites.

	SCENARIO BV		SCENARIO HBV		qté transportées (t)	nb de trajet (qté/tonnage cuve)
	trajet aller (en km)	trajet aller total (km*nb trajet)	trajet aller (en km)	trajet aller total (km*nb trajet)		
<i>lisier bovin</i>	5,4	2,5E+03	5,2	2,4E+03	8,0E+03	4,6E+02
<i>fumier bovin</i>	4,7	1,3E+04	7,5	2,0E+04	4,7E+04	2,7E+03
<i>lisier porcin</i>	5,3	2,9E+03	8,0	4,4E+03	9,6E+03	5,5E+02
ABERA abattoir porc	8,4	3,9E+03	1,2	5,4E+02	1,1E+04	4,6E+02
DIANA NATURALS	16,3	7,1E+02	12,7	5,5E+02	1,1E+03	4,4E+01
CHARCUTERIE BRIENT	16,9	2,0E+03	11,4	1,3E+03	2,9E+03	1,2E+02
AIM GROUPE abattoir bovin	17,1	6,9E+02	13,0	5,2E+02	9,9E+02	4,0E+01
ARMOR PROTEINES laiterie	7,4	2,4E+03	0,2	7,5E+01	7,9E+03	3,2E+02

Figure 8 : trajets en km pour les effluents d'élevage d'IAA vers l'unité de méthanisation

Pour la modélisation sous GaBi, nous rentrons le paramètre « trajet aller total » dans la fiche process (cf. partie 2.4).

3.3 Stockage des effluents avant la méthanisation

Note préalable : Cette partie concerne les scénarios de méthanisation et ne concerne pas le scénario existant.

A cette étape le stockage est couvert et d'une durée de 10 jours. Les facteurs d'émissions (FE) sont divisés par deux par rapport au stockage à la ferme et IAA (temps de stockage de 10 jours moyens contre 20 jours dans le cas précédent).

$$FE_{\text{stockage avant méthanisation}} = FE_{\text{stockage à la ferme ou IAA}} / 2$$

Pour le NH₃, la couverture au stockage induit une réduction des émissions de 85% (étude ADEME 2006). Le calcul du FE est donc :

$$FE_{\text{NH}_3 \text{ stockage avant méthanisation}} = (FE_{\text{NH}_3 \text{ stockage à la ferme ou IAA}} / 2) * (1 - 0,85)$$

Le potentiel de biogaz initial est déterminé grâce au travail de Romain Girault sur la caractérisation de substrats méthanisables. Les émissions de CO₂ et CH₄ sont calculées au niveau des étapes de stockage à la ferme et IAA et du stockage avant la méthanisation.

	stockage (kg)		stockage avant méthanisation (kg)		total stockage CH ₄ +CO ₂ émis (m ³)	BMP (NLbiogaz/kg ou m ³ /t)	tMB	Potentiel biogaz (m ³)	biogaz résiduel (m ³)
	Emissions CH ₄	Emissions CO ₂	Emissions CH ₄	Emissions CO ₂					
abattoir porc refus	1,2E+03	3,3E+03	5,9E+02	1,6E+03	5,3E+03	2,5E+02	1,2E+03	3,0E+05	2,3E+05
abattoir porc boues	6,8E+03	1,9E+04	3,3E+03	9,0E+03	3,0E+04	1,8E+01	1,0E+04	1,8E+05	1,2E+05
abattoir bovin graisses	1,4E+03	3,9E+03	6,8E+02	1,9E+03	6,2E+03	2,7E+02	3,9E+02	1,1E+05	8,0E+04
abattoir bovin refus	4,8E+01	1,3E+02	2,3E+01	6,5E+01	2,1E+02	1,2E+02	9,0E+01	1,1E+04	8,4E+03
abattoir bovin mat. stercoraires	6,6E+02	1,8E+03	3,2E+02	8,8E+02	2,9E+03	8,3E+01	4,2E+02	3,5E+04	2,6E+04
abattoir bovin fumier	5,5E+01	1,5E+02	2,7E+01	7,4E+01	2,4E+02	1,0E+02	9,1E+01	9,4E+03	7,3E+03
laiterie boues	3,5E+03	9,7E+03	1,7E+03	4,7E+03	1,5E+04	1,7E+01	8,0E+03	1,4E+05	9,6E+04
charcuterie boues	9,9E+02	2,7E+03	4,7E+02	1,3E+03	4,3E+03	1,4E+01	2,3E+03	3,2E+04	2,2E+04
charcuterie graisses	2,0E+03	5,6E+03	9,7E+02	2,7E+03	8,8E+03	4,5E+02	4,0E+02	1,8E+05	1,4E+05
charcuterie déchets viande	1,3E+02	3,5E+02	6,3E+01	1,7E+02	5,6E+02	3,5E+02	2,0E+02	6,9E+04	5,5E+04
fumier bovin	2,0E+04	5,4E+04	9,5E+03	2,6E+04	8,6E+04	7,3E+01	4,7E+04	3,4E+06	2,7E+06
lisier bovin	4,5E+03	1,2E+04	2,1E+03	5,9E+03	1,9E+04	1,5E+01	8,0E+03	1,2E+05	8,0E+04
lisier porcin	4,6E+03	1,3E+04	2,2E+03	6,0E+03	2,0E+04	3,0E+01	9,7E+03	2,9E+05	2,1E+05
diananatural	6,9E+02	1,9E+03	3,4E+02	9,3E+02	3,0E+03	1,5E+02	1,1E+03	1,7E+05	1,3E+05
total	4,6E+04	1,3E+05	2,2E+04	6,1E+04	2,0E+05			5,1E+06	3,9E+06

Figure 10 : calcul du biogaz résiduel (récupéré) en sortie de digesteur

NB : la masse volumique de la phase gazeuse du CO₂ est de 1,87 kg/m³ et celle du CH₄ de 0,68 kg/m³ (1,013 bar et 15 °C).

Les pertes de biogaz dues aux fuites (raccords de tuyauteries, valves non étanches...) ont été évaluées d'après des études menées par ELTRA (2003) et Olesen et coll. (2004) (rapport de l'Institut für Energetik und Umwelt en 2006). Les fuites sont évaluées à hauteur de 1,8% du biogaz produit par l'unité de méthanisation.

Potentiel de biogaz initial (m ³)	Pertes au stockage (m ³ CH ₄ et CO ₂)	Fuites de biogaz du fait d'un manque d'étanchéité (m ³)		Biogaz vers la cogénératrice (m ³)
		CH ₄ (m ³)	CO ₂ (m ³)	
5,0E+06	2,0E+05	4,1E+04	2,9E+04	3,8E+06

Figure 11 : calcul du biogaz produit entrant dans la cogénératrice

Le biogaz entrant dans la cogénératrice correspond à 76% du potentiel de biogaz initial.

3.4.3 Calcul du volume de digestat produit

Afin de prendre en compte la perte matière dans le digesteur, le poids du biogaz produit est soustrait à la quantité de substrat introduit dans le méthaniseur. Ainsi, avec 59% de méthane dans le biogaz, le poids du CH₄ est de 1,6 E+03 tonnes contre 3 E+03 tonnes pour le CO₂. Soit un poids total du biogaz produit de 4,5E+03 t. Le digestat sortant a une masse de 8,4 E+04 tonnes (8,8 E+04 t de d'effluent entrant -4,5 E+03 t).

3.4.4 Pertes biogaz, consommation énergétique du système et allocations

D'un point de vue énergétique, nous prenons l'hypothèse d'une consommation électrique égale à 10% de l'électricité totale produite par le méthaniseur (source : Institut für Energetik und Umwelt en 2006). Cette quantité d'électricité est notamment utilisée pour le brasseur et les pompes. 20% de l'énergie thermique produite par la cogénératrice est renvoyée pour chauffer le digesteur.

	scénario BV	scénario HBV	
biogaz produit	3,8E+06		Nm3
<i>dont 2% vers torchère</i>	<i>7,6E+04</i>		Nm3
<i>dont 98% vers la cogénératrice</i>	<i>3,7E+06</i>		Nm3
↓ production dans la cogénératrice			
<i>dont électricité</i>	2,7E+07		MJ → crédit électricité sc. BV+HBV
dont chaleur	4,7E+07		MJ
↓			
<i>besoin pour chauffer le digestat</i>	<i>9,3E+06</i>		MJ
<i>besoin pour l'évapoconcentration (sc. BV)</i>	2,2E+07		
<i>valorisation IAA (sc. HBV)</i>	-	3,7E+07	MJ → crédit chaleur sc. HBV

Figure 12 : production de chaleur et d'électricité en sortie de méthaniseur

Eléments liés à la torchère

2% du volume de biogaz produit est envoyé vers la torchère. Cette valeur est indiquée dans le rapport de l'ADEME : Analyse du Cycle de Vie des modes de valorisation énergétique du biogaz issu de méthanisation de la Fraction Fermentescible des Ordures Ménagères collectée sélectivement en France. Septembre 2007. Les émissions dans l'air du biogaz à la torchère sont issues de ce rapport.

Emissions dans l'air	g/Nm ³ biogaz brut vers la torchère
NO _x	0,2
SO _x	0,5
CH ₄	8,2

Éléments liés à la réalisation des allocations

L'électricité et la chaleur produites conjointement grâce à la cogénération peuvent être valorisées (utilisées). Cette valorisation se traduit en termes de modélisation ACV par la mise en place d'une règle d'allocation qui doit permettre de prendre en compte les impacts évités grâce à leur valorisation. La règle d'allocation utilisée est la règle d'extension des frontières des systèmes par soustraction aussi appelée substitution.

L'électricité produite se substitue donc à la production de la même quantité d'énergie électrique par le mix français. La chaleur produite et valorisée au niveau de la laiterie se substitue la production de chaleur grâce à une chaudière gaz. Pour l'incinération, nous substituons avec une chaudière à bois. Enfin, notons qu'il n'y a pas de substitution pour l'évapoconcentration.

3.5 La presse à vis

Note préalable : cette partie concerne les deux scénarios de méthanisation et ne concerne pas le scénario existant.

Il s'agit du processus de séparation de phases en amont du post-traitement. Pour le scénario BV, la moitié du digestat est envoyée vers la presse car le procédé d'évapoconcentration permet d'atteindre nos objectifs d'exportation d'azote avec seulement 50% du digestat traité. La fraction liquide est ensuite traitée par évapoconcentration (soit 95% de la masse entrante).

Pour le scénario HBV, 100% du digestat est traité par la presse à vis. La partie solide compostée (5% de la masse entrante).

Le bilan matière au niveau de la presse à vis est réalisé grâce aux données disponibles dans un rapport du Cemagref pour l'ADEME en 2005 : Bilan environnemental des procédés de traitement biologique des lisiers de porcs, L. Loyon, F. Béline, F. Guiziou, H. Boursier, P. Peu.

	refus de séparation (%)	lisier séparé (%)
Masse	5	95
C tot	41	59
MES	48	52
NTK	0	1
NH4+	6	94
P	25	75
K	5	95
Cu	10	90
Zn	11	89

Résultats exprimés en % du digestat entrant

Figure 13 : facteurs d'émission pour la presse à vis

On ne considère pas d'émission pour cette étape.

Les besoins en électricité sont estimés à 0.5 kWh/t de digestat (données issues du rapport : Etat de l'art des méthodes (rentables) pour l'élimination, la concentration ou la transformation de l'azote pour les installations de biogaz agricoles de taille petite/moyenne. Rapport final. Office fédéral de l'énergie OFEN (Suisse), 2009.

3.6 Etapes spécifiques du scénario BV (avec évapoconcentration)

3.6.1 Presse à vis

50% du digestat est dirigée vers la presse à vis (FE visibles dans la partie 3.5).

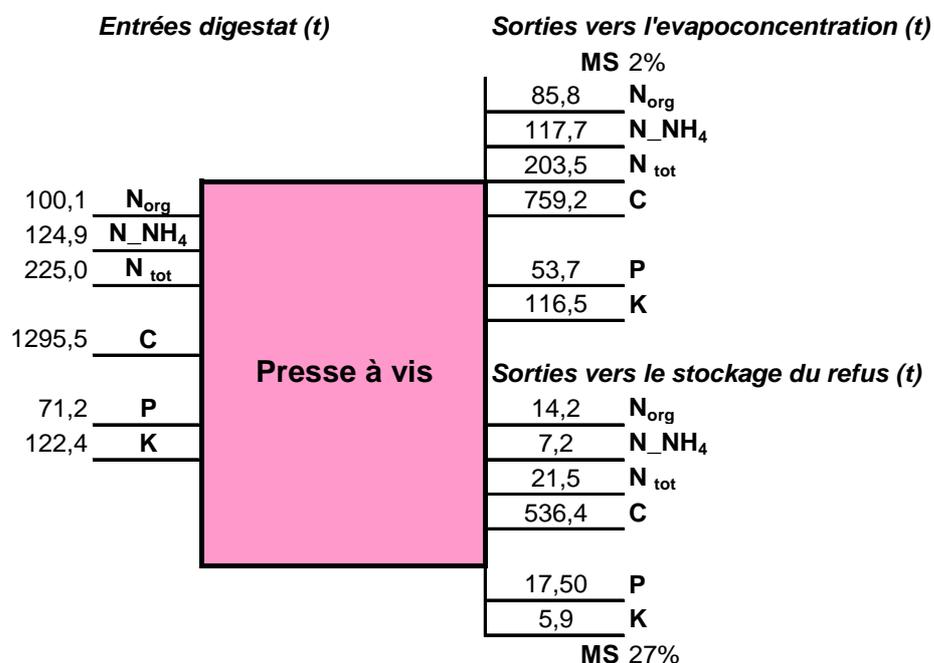


Figure 14 : graphique des flux N, P, K, C pour la presse à vis, scénario BV

Le refus de la presse à vis est stocké avec le digestat non pressé (cf. partie 3.6.2).

3.6.2 Stockage du digestat NON pressé et du REFUS de presse à vis

Cette étape regroupe le stockage de la moitié du digestat en sortie de méthaniseur (4,2 E+04 tonnes) et la phase solide du refus de presse à vis. Le temps de stockage est de 20 jours moyens.

Pour l'azote, à dire d'expert, nous avons pris l'hypothèse d'un FE deux fois plus important qu'un lisier brut stocké également 20 jours, avec une couverture au stockage (cf. Figure 7).

$$\text{Soit : } 2 \times 0,13 \% \text{ N_NH}_3 / \text{N}_{\text{total}}$$

$$\text{FE N_N}_2\text{O et FE N_N}_2 = 0$$

Pour le carbone, à dire d'expert, le FE du CH₄ et du CO₂ est basé sur le FE « liquide IAA stocké 20 jours avec couverture » × (1 - 0,625)

$$\text{Soit : } 1,50 \% \text{ C_CO}_2 \times (1 - 0,625)$$

$$1,50 \% \text{ C_CH}_4 \times (1 - 0,625)$$

N_NH3 (% N tot)	C_CO2 (% C tot)	C_CH4 (% C tot)
0,26%	0,56%	0,56%

Figure 15 : FE pour le stockage du digestat non pressé et refus liquide de presse à vis

A dire d'expert, un taux de minéralisation de 1% est appliqué.

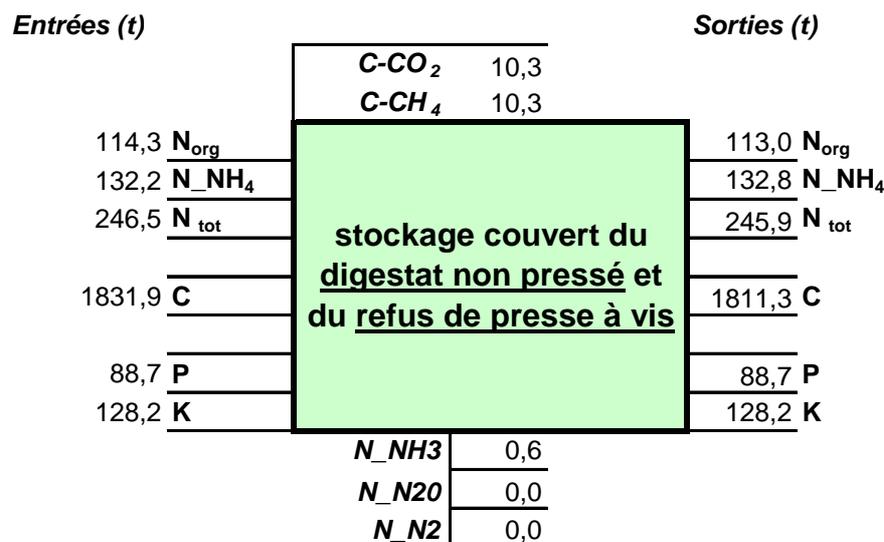


Figure 16 : flux N, P, K, C pour le stockage du digestat non pressé et du refus de presse à vis, scénario BV

3.6.3 Acidification du digestat

Cette étape, préalable, à l'évapoconcentration, permet de bloquer l'ammoniac dans le digestat grâce à la baisse du pH.

Selon le rapport sur la déshydratation des digestats (Septembre 2010, IFIP), la consommation est de 35 kg/h d'acide sulfurique en supposant 4 kg de NH₃/m³ de digestat avec un fonctionnement de 7400 h/ an et 10 000 m³/ an de digestat traité soit une consommation de **25,9 kg d'acide sulfurique/m³ de digestat**. Nous n'avons pas pu estimer la fiabilité de cette valeur n'ayant qu'une seule source d'information sur l'évapoconcentration.

3.6.4 Evapoconcentration

Le principe est de chauffer le digestat afin qu'une partie de l'eau s'évapore. L'eau, ne contenant pratiquement pas d'azote est récupéré. Le digestat s'épaissit mais reste liquide (MS max 25%). Cette technique permet ainsi une concentration du digestat.

Facteurs pour l'évapoconcentration	
fraction solide	18% masse entrante
fraction liquide	82% masse entrante
teneur mgN-tot/l	40 dans l'eau sortant

Figure 17 : données techniques sur l'évapoconcentration

Les données sont issues du document de l'OFEN (Suisse) et du rapport de l'IFIP sur la déshydratation des digestats. La teneur en azote de l'eau en sortie est la moyenne des données de Lemmens : entre 6-74 mg/l N-total, dans ce même rapport.

Le besoin en chaleur est fourni par la cogénératrice : 150 kWh/m³. La consommation électrique est de 7,9 kWh/m³ d'électricité.

Entrant et sortant

Méthode :

1. Hypothèse : 95% du carbone se retrouve dans la fraction solide, soit $759 \times 0.95 = 721$ t de C
2. Avec un taux de MS de 20% en sortie, la masse de concentré est de $3,6 \text{ E}+03$ t.
3. La masse de produit liquide est : $4 \text{ E}+04$ t de produit entrant dans le process – $3,6 \text{ E}+03$ t de produit concentré soit $3,6 \text{ E}+04$ t d'eau.

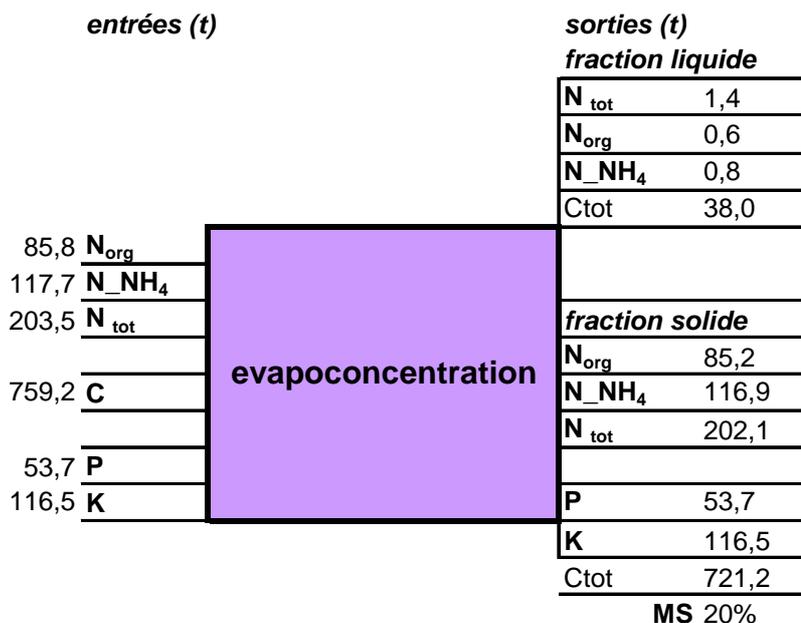


Figure 18 : flux N, P, K, C pour l'évapoconcentration, scénario BV

3.6.5 Stockage du produit concentré issu de l'évapoconcentration

Le temps de stockage est de 20 jours moyens. Nous ne considérons pas d'émissions azotées au stockage dues à l'ajout préalable d'acide et d'un manque de données.

3.6.6 Stockage de la fraction liquide issue de l'évapoconcentration

Le temps de stockage est de 20 jours moyens. La fraction liquide est directement épandue sur le site. Du fait du très faible contenu en azote de cette fraction liquide, nous ne considérons pas d'émissions suite à son épandage.

Les étapes de retour des digestats et d'épandage sont développées dans la partie 3.9 Retour des digestats, épandage et export de l'azote.

3.7 Etapes spécifiques du scénario HBV (avec compostage)

3.7.1 La presse à vis

Contrairement au scénario BV (avec évapoconcentration), la totalité du digestat est envoyée vers la presse à vis.

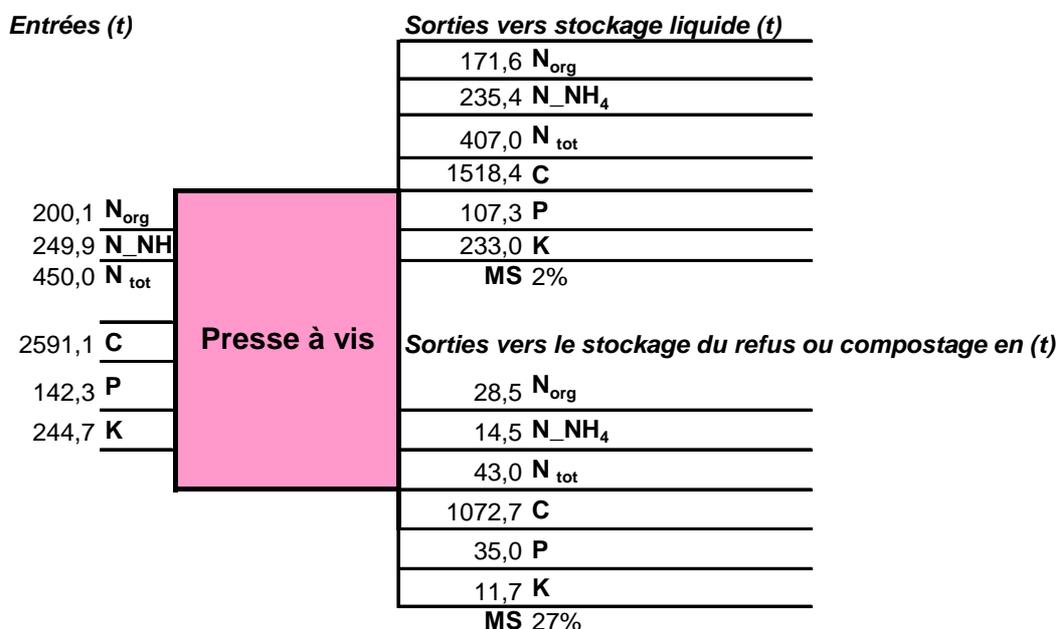


Figure 19 : flux N, P, K, C pour la presse à vis, scénario HBV

Les FE sont semblables en proportion au scénario BV au niveau de la presse à vis. Le refus solide est composté.

3.7.2 Compostage

En analysant la bibliographie, on note une grande variété de FE. Les valeurs retenues sont donc à relativiser et à préciser si le compostage apparaît comme impactant.

1) Emissions selon les données du Cemagref

Nous assimilons le compostage à un stockage de 40 jours moyens par manque de données fiables concernant les FE issus d'essais réalisés. Cette hypothèse doit être consolidée si les émissions au compostage ressortent lors de l'analyse des résultats. Les FE sont issus du rapport du Cemagref pour l'ADEME en 2006. Ce sont des données de FE pour des refus non méthanisés, ce qui justifie l'utilisation d'un facteur d'abattement de - 62.5% pour le CO₂ et le CH₄ émis car une partie du carbone du digestat entrant en compostage a déjà été convertie en biogaz durant la méthanisation (cf. Figure 20).

N _{NH₃} emis (en % de N _{NH₄} entrant)	30
C _{CH₄} (en % de C total entrant)	1
C _{CO₂} (en % de C total entrant)	15

Figure 20 : facteur d'émission pour le compostage (NH₃, CH₄ et CO₂)

Dans cette figure, les résultats tiennent compte du facteur -62.5.

Exemple pour NH₃ (données rapport ADEME):

$FE_{NH_3} = 28,9 \text{ gN/t.j}$ soit 1,156 kgN/t pour un stockage moyen de 20 jours.

Avec 3,8 kgN_NH₄/t : $1,156 / 3,8 \times 100 = 30 \%$ N_NH₄ entrant émis en N_NH₃

Dans ce cas, la masse de N_NH₃ émise est de 4,4 t.

2) Emissions selon les travaux de Cécile Tégliá, doctorante Cemagref

Ces données sont complétées par des travaux sur les émissions au compostage menés par Cécile Tégliá, doctorante au Cemagref (Rennes).

	Digestats agricoles*
NH ₃ (gN_NH ₃ /kgNT _{ini})	109,2
N ₂ O (gN_N ₂ O/kgNT _{ini})	48,9

Figure 21 : facteurs d'émission pour le compostage (NH₃ et N₂O)

*déchets agricoles composés de fumiers de bovins à 40% (en volume dans le mélange introduit dans le digesteur), déchets de céréales à 10% et fruits et légumes à 50%. Mesures réalisées dans un réacteur de 300l.

Dans ce cas, avec 43 t de N total en entrée de compostage, les émissions de N_NH₃ sont de 4,7 t. Ces résultats sont du même ordre que ceux obtenus avec les FE issus du rapport de l'ADEME. Les émissions de N_N₂O sont estimées à 2,1 t (données C. Tégliá). Les émissions de N_N₂ sont 5 fois supérieures à N_N₂O (selon Fabrice Béline).

L'abattement d'environ 65% de CO₂ entre un effluent « agricole » digéré et non digéré est confirmé par ses expérimentations.

Bilan matière de l'étape de compostage :

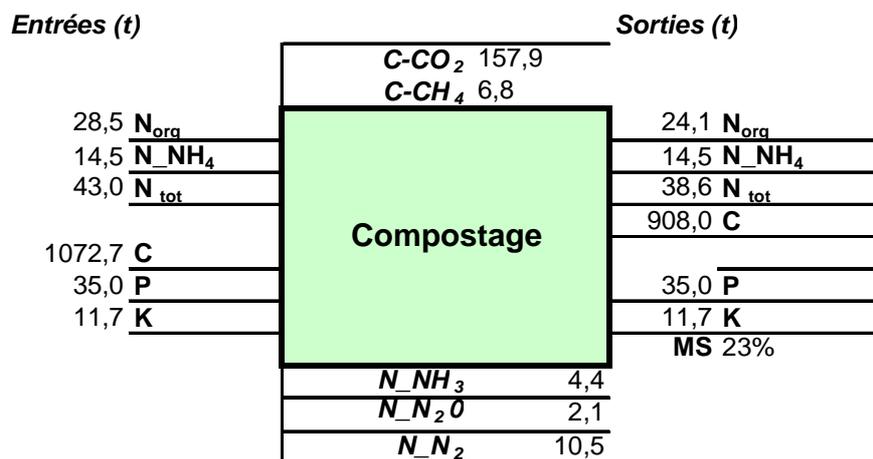


Figure 22 : flux N, P, K, C pour le compostage, scénario HBV

Rappel : ne sont considérées que les émissions de C_CO₂ et C_CH₄ exclusivement dues au digestat composté, sans prise en compte des émissions provoqués par le compostage des déchets verts et du structurant nécessaire au compostage des digestat.

Nous avons utilisé un bilan matière réalisé par Veolia Environnement afin de déterminer la quantité de compost en sortie.

	boue	déchets verts	co-produit structurant	structurant
entrée (t)	4,0E+03	1,8E+03	1,6E+02	2,0E+03
entrée (m ³)	4,4E+03	4,5E+03	7,9E+02	7,9E+03
total (m ³)	1,8E+04			
mélange (m ³)	1,5E+04			
fermentation : 6 semaines avec aération forcée (m ³)	1,1E+04			
criblage (m ³)	1,3E+04			
compost criblé (m³)	4,5E+03	refus criblé (m³) 8,4E+03		
maturation : 4 semaines (m ³)	4,1E+03			
masse compost (t)	2,0E+03			

Figure 23 : bilan matière du compostage

D'après ce bilan, avec 4 E+04 t de digestat entrant, la quantité de compost en sortie est de 2 E+03 t.

3.7.3 Stockage de la fraction liquide issue de la presse à vis

Pour la fraction liquide issue de la presse à vis, les FE sont identiques à ceux d'un digestat non pressé (voir Figure 15 : FE pour le stockage du digestat non pressé et refus liquide de presse à vis). Le produit est stocké 20 jours avec une couverture.

Entrées (t)		Sorties (t)
	C-CO₂	8,5
	C-CH₄	8,5
171,6 N_{org}	stockage fraction liquide	169,7 N_{org}
235,4 N_{NH₄}		236,7 N_{NH₄}
407,0 N_{tot}		406,4 N_{tot}
1518,4 C	MS	
107,3 P	2%	1501,3 C
233,0 K		107,3 P
		233,0 K
	N_{NH₃}	0,6
	N_{N₂O}	0,0
	N_{N₂}	0,0

Figure 24 : flux N, P, K, C pour le stockage de la fraction liquide issue de la presse, scénario HBV
Les étapes de retour des digestats et d'épandage sont développées dans la partie 3.9 Retour des digestats, épandage et export de l'azote.

3.8 Éléments liés au scénario existant

3.8.1 Le stockage existant

Les schémas ci-dessous représentent l'étape de stockage à la ferme (80 jours) pour le scénario existant. Les FE utilisés sont visibles dans la Figure 7. Les quantités sont exprimées en tonnes.

entrées (t)			sorties (t)	
		58,7	C-CO ₂	
		58,7	C-CH ₄	
N _{org} 211,6	fumier bovin (stockage existant)		203,7	N _{org}
N _{tot} 258,6			229,4	N _{tot}
N _{NH₄} 47,0			25,7	N _{NH₄}
C 3173,6			3056,2	C
		3,9	N _{N₂}	
		24,6	N _{NH₃}	
		0,8	N _{N₂O}	
		13,4	C-CO ₂	
		13,4	C-CH ₄	
N _{org} 16,9	lisier bovin (stockage existant)		15,0	N _{org}
N _{tot} 33,8			32,6	N _{tot}
N _{NH₄} 16,9			17,6	N _{NH₄}
C 246,2			219,3	C
		0,0	N _{N₂}	
		1,2	N _{NH₃}	
		0,0	N _{N₂O}	
		13,7	C-CO ₂	
		13,7	C-CH ₄	
N _{org} 15,9	lisier porcin (stockage existant)		13,5	N _{org}
N _{tot} 45,4			43,8	N _{tot}
N _{NH₄} 29,5			30,3	N _{NH₄}
C 182,4			155,0	C
		0,0	N _{N₂}	
		1,6	N _{NH₃}	
		0,0	N _{N₂O}	

Figure 25 : flux N et C pour le stockage du lisier bovin et porcin et du fumier bovin, scénario existant

Les mêmes calculs ont été menés pour le stockage des effluents d'IAA mais ils ne sont pas présentés dans ce document.

3.8.2 Incinération

Les déchets de viande et les graisses de flottation de la charcuterie, ainsi que les refus de tamisage de l'abattoir de porc et 60% de ces boues sont envoyés vers Lamballe pour être incinérés. Nous avons utilisé, pour modéliser l'incinération, un procédé de la base PE de GaBi (« RER Municipal waste »). Ce procédé n'a pas été modifié dans le cadre de l'étude et permet donc au regard des déchets entrants de produire de la chaleur et de l'électricité par cogénération. Cette électricité et cette chaleur produite sont valorisées et entraînent, de ce fait, des impacts évités liés à la substitution à de modes de production classiques de chaleur et d'électricité.

L'abattoir de porc, situé à Saint Brice en Coglès, est à 208 km A/R du site d'incinération de Lamballe. La charcuterie, située à Antrain, est à 196 km.

3.9 Retour des digestats, épandage et export de l'azote

3.9.1 Transports des effluents et digestats

Note préalable : cette partie concerne les trois scénarios.

- Pour les scénarios avec méthanisation :

Deux étapes ont été prises en compte :

1. le transport de l'unité de méthanisation vers la ferme ou vers les IAA : cette distance varie par rapport à l'aller car le nombre de trajet n'est pas identique (selon la quantité épandue)
2. le trajet effectué lors de l'épandage, pour les digestats épandus au niveau des fermes et de la plaine de Caen : il s'agit des A/R pour remplir la cuve. Arbitrairement, nous décidons d'un trajet de 2 km aller, soit 4 km A/R.

Nous ne prenons pas en compte l'étape n°2 pour le plan d'épandage (PE) des IAA puisque, arbitrairement, nous avons gardé une pression d'épandage constante pour les trois scénarios. De plus, nous ne disposons pas de données concernant la taille du plan d'épandage des IAA existant.

- Epandage des effluents dans le scénario existant :

Seul le point n°2 a été pris en compte.

Pour chaque scénario la méthode de calcul des trajets A/R pour remplir la cuve est :

Avec une cuve de 16 t

1. [quantité d'effluent à épandre (t) / SAU (ha)] / 16 t = nombre de cuve par ha
2. Nbr de cuve par ha x SAU (ha) x 4 (km) = nombre de kilomètres parcourus

3.9.2 Épandage

Note préalable : cette partie concerne les trois scénarios.

3.9.2.1 Surface d'épandage

La zone d'épandage pour le territoire BV + 3 km est identique pour les trois scénarios. **Nous faisons l'hypothèse d'exclure mes prairies de la zone d'épandage.** Les surfaces cultivées sont conservées car plus de la moitié sont en maïs (culture recevant au moins un apport organique par an sur ce type de territoire).

On peut noter que la superficie obtenue est surestimée du fait de l'impossibilité de soustraire les surfaces des exploitations non incluses dans la collecte des effluents. Pour les 68 fermes collectées, la surface d'épandage est donc égale à 2325 ha. Nous avons divisé cette surface proportionnellement au nombre d'exploitation de type « bovin fumier », « bovin lisier » et « lisier porc ».

SAU Zone BV+3 km (données 2009)
4045 ha (68 fermes)
1720 ha prairie
2325 ha épandue

soit 34 ha par ferme

1564 ha/ferme fumier bovin

136 ha/ferme lisier bovin

612 ha/ferme lisier porc

3.9.2.2 Facteurs d'émission

Le tableau ci-dessous présente les FE retenus. Ces données sont issues de la publication de Gac et al. en 2006.

	<i>avec pendillard</i>				
	lisier bovin	lisier porc	digestat	concentré	compost
% N _{N2O} / Ntot	1,0	1,0	1,0	1,0	1
% N _{NH3} /N tot	13,7	13,7	15,8	0,0	*

* **compost** émissions de 60 kgN_{NH3}/t N

Figure 26 : facteurs d'émission à l'épandage

Cas particulier du lessivage de l'azote :

Pour le lessivage de l'azote, nous raisonnons en fonction de la fertilisation minérale apportée à l'hectare. Plus la fertilisation à l'hectare est importante, plus la quantité de NO₃ lessivée par hectare sera grande. Cette relation suit la courbe présentée ci-dessous et constitue la base de nos calculs. Le détail est présenté pour chaque scénario dans les parties 3.9.3, 3.9.4 et 3.9.5.

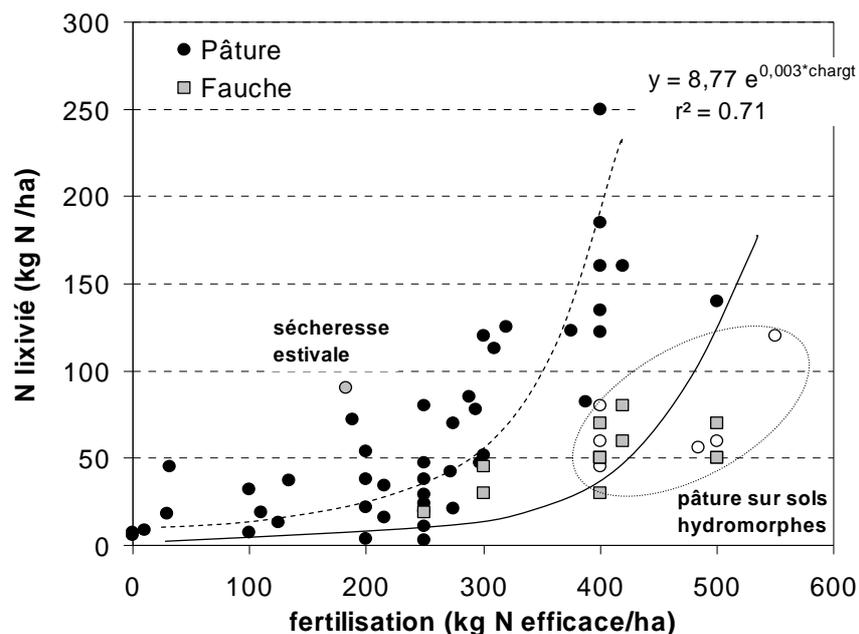


Figure 27 : Effet de la fertilisation (ou du chargement) sur les pertes de nitrate par lixiviation.
Esco élevage et azote

3.9.2.3 Chantiers d'épandage modélisés

Nous ne disposons pas de données sur les FE des effluents d'IAA épandus dans le scénario existant. De plus, pour le plan d'épandage des IAA, nous avons décidé de garder la même quantité d'azote épandue, et quasiment le même tonnage quel que soit le scénario. L'impact de l'épandage des effluents issus d'IAA sera donc identique entre les trois scénarios. **Nous pouvons dès lors, négliger cette étape et ne pas modéliser les émissions liés au plan d'épandage des IAA.**

scénario existant	t (N)	t MB	scénario BV	t (N)	t MB	scénario HBV	t (N)	t MB
vers les élevages	3,1E+02	6,4E+04	vers BV+3km	1,7E+02	3,0E+04	vers BV+3km	3,3E+02	6,5E+04
vers épandage IAA	7,5E+01		vers export caen	2,0E+02	3,6E+03	vers export caen	3,9E+01	2,0E+03
vers incinération	4,8E+01		vers épandage IAA	7,5E+01	1,3E+04	vers épandage IAA	7,5E+01	1,5E+04
			eau épandue sur site	1,5E-01	3,6E+04			
total	4,3E+02		total	4,5E+02		total	4,5E+02	

Figure 28 : plan d'épandage des trois scénarios en tonne d'azote et tonne de produit épandu
En souligné : le plan d'épandage IAA non modélisé

Les chantiers d'épandage modélisés sont donc :

- Pour l'existant : l'épandage des effluents d'élevage au niveau des exploitations
- Pour le scénario BV : l'épandage du digestat au niveau des fermes, l'épandage du concentré sur la plaine de Caen et l'aspersion de l'eau issue du process d'évapoconcentration autour du site de méthanisation
- Pour le scénario HBV : l'épandage du digestat au niveau des fermes et l'épandage du compost sur la plaine de Caen.

Ces éléments sont détaillés dans les parties 3.9.3, 3.9.4 et 3.9.5.

3.9.2.4 Allocation fertilisation

L'épandage des digestats et composts permet un apport d'élément NPK au sol pouvant se substituer en parti à des engrais minéraux. Nous faisons alors l'hypothèse d'un taux de substitution de 50% pour réaliser l'allocation des éléments fertilisants N, P, K en substitution à des engrais minéraux. Pour l'azote, ce facteur s'applique sur l'azote total. Nous utilisons les procédés de production d'engrais minéraux fournis par la base de données Ecoinvent.

3.9.3 Éléments concernant l'épandage liés au scénario avec évapoconcentration

Pour le scénario BV, trois types de produit sont épandus : un concentré, l'eau issue du process d'évapoconcentration et le mélange du digestat et refus de presse.

Répartition des quantités d'azote :

1. le plan d'épandage IAA est inchangé
2. la quantité totale de concentré est épandue dans la plaine de Caen
3. l'azote restant retourne vers les exploitations agricoles

La répartition est visible au niveau de: Figure 28 : plan d'épandage des trois scénarios en tonne d'azote et tonne de produit épandu.

Le mélange digestat et refus, dont la teneur en MS est de 4%, sera épandu avec une cuve équipée de pendillard. Pour le concentré, la teneur en MS est de 20%. L'eau issue du process sera épandue par asperseur, dont nous négligerons la consommation au regard de la quantité épandue.

▪ Détails des calculs pour l'épandage du digestat au niveau du PE des IAA

Nous prenons en compte uniquement la distance pour ramener le digestat vers les industries (cf. partie 3.9.1). Cette distance est donc identique à l'aller (cf. Figure 8). Les résultats sont présentés dans la Figure 31.

▪ Détails des calculs pour l'épandage du digestat sur les exploitations agricoles

Le transport s'effectue en deux étapes : le trajet de l'unité de méthanisation vers la ferme puis les A/R entre la ferme et le champ. Le transport lié aux A/R est décrit dans le tableau ci-dessous.

Pour le détail des calculs des A/R, voir partie 3.9.1 Transports des effluents et digestats.

type de ferme	scénario "départ"		scénario BV, avec évapoconcentration			
	effluent (t)	%	effluent (t)	SAU (ha)	effluent (t/ha)	N/ha (kg)
<i>fumier bovin</i>	47016	73	22251	1564	14	80
<i>lisier bovin</i>	8046	12	3658	136	27	151
<i>lisier porcin</i>	9652	15	4572	612	7	42
total	64714	100	30481			
"plaine de caen"			3606	1453	2	140

Figure 29 : Epandage du digestat vers les exploitations agricoles , scénario HBV

Les résultats du ratio azote/ha sont cohérents d'un point de vue législatif et par rapport à nos objectifs (abaissement quantité azote/ha), sauf pour le lisier bovin qui reste supérieur à 140u/ha. Cela est dû à la répartition, assez « arbitraire » des surfaces d'épandage selon le nombre d'exploitation (cf. partie 3.9.2.1).

▪ Détails des calculs pour l'épandage du concentré

Nous prenons en compte une distance de 274 km aller entre St Brice en Coglès et Caen. La fraction solide est épandue au niveau de la plaine de Caen sur une surface minimum de 1453 ha, correspondant à une pression d'épandage de 140 kg N_{org}/ha. La fraction liquide sortie d'évapoconcentration est épandue directement sur le site.

		concentré	
		fraction liquide (a)	fraction solide (b)
masse	(t)	3,6E+04	3,6E+03
N tot	(t)	1,5E-01	2,0E+02
N org	(t)	6,4E-02	8,6E+01
N_NH4	(t)	8,8E-02	1,2E+02
C tot	(t)	3,8E+01	7,2E+02
P	(t)		5,4E+01
K	(t)		1,2E+02
MS	(%)	1	20

(a) épandue directement sur le site

(b) exportée plaine de caen (140 kgNorg/ha soit 1453 ha d'épandage)

Figure 30 : Epandage du concentré vers la plaine de Caen, scénario BV

▪ Détails du transport retour vers le méthaniseur, PE IAA et A/R pour remplir la cuve

scénario BV	RETOUR vers le méthaniseur		A/R remplissage cuve		qté transportées (t)	nb de trajet (qté/tonnage cuve)
	trajet retour (en km)	trajet retour total (km*nb trajet)	trajet (en km)	trajet total (km*nb trajet)		
<i>lisier bovin</i>	5,4	1,1E+03	2,0	4,2E+02	3,7E+03	2,1E+02
<i>fumier bovin</i>	4,7	6,1E+03	2,0	2,6E+03	2,2E+04	1,3E+03
<i>lisier porcin</i>	5,3	1,4E+03	2,0	5,3E+02	4,6E+03	2,6E+02
export concentré (camion)	137	2,9E+04	-	-	3,6E+03	1,5E+02
A/R remplissage cuve (tracteur)	-	-	2,0	4,2E+02		2,1E+02
retour digestat vers PE IAA BV	13,2	7,2E+03			1,3E+04	5,4E+02

Figure 31 : détails du transport retour et A/R pour le scénario avec évapoconcentration (BV)

- Détails des émissions et allocations retenues pour l'épandage

	N org (t)	N tot (t)	N_NH4 (t)	pertes N (t)		
				N_NH3 volatilisé	N_N20 atm	N_NO3 lessivé
ferme "fumier bovin"	5,7E+01	1,2E+02	6,7E+01	2,0E+01	1,2E+00	2,2E+01
ferme "lisier bovin"	9,4E+00	2,1E+01	1,1E+01	3,2E+00	2,1E-01	2,6E+00
ferme "lisier porc"	1,2E+01	2,6E+01	1,4E+01	4,0E+00	2,6E-01	7,3E+00
concentré	8,6E+01	2,0E+02	1,2E+02	0,0E+00	2,0E+00	2,6E+01
eau	6,4E-02	1,5E-01	8,8E-02	0,0E+00	1,5E-03	1,3E-02

Figure 32 : bilan des émissions à l'épandage et des allocations, scénario BV

Rappel : le calcul de l'azote lessivé dépend de la courbe présentée Figure 27. Nous ne prenons en compte que la valeur fertilisante azotée du produit épandue (pas de considération du phosphore).

3.9.4 Eléments concernant l'épandage liés au scénario avec compostage

Deux produits sont épandus : la fraction liquide sortie de presse et le compost. La fraction liquide est répartie sur le territoire de la manière suivante : le PE pour l'IAA est inchangée (soit 75 t N) et le reste de l'azote disponible est épandu sur la zone BV + 3km (voir Figure 28)..

Le compost (2036 t) est exporté au niveau de la plaine de Caen. La surface d'épandage est de 276 ha pour une pression d'azote organique de 140 kg/ha.

- Détails des calculs pour l'épandage du produit liquide sorti de presse sur les exploitations agricoles

type de ferme	scénario HBV avec compostage			
	effluent (t)	SAU (ha)	effluent (t/ha)	N/ha (kg)
fumier bovin	47237	1564	30	154
lisier bovin	8084	136	59	303
lisier porcin	9697	612	16	81
total	65018			

Figure 33 : Epandage du digestat vers les exploitations agricoles, scénario HBV

Pour le détail des calculs des A/R, voir partie 3.9.1 Transports des effluents et digestats.

La dose d'azote épandue à l'hectare est au-dessus de nos objectifs et surtout au-dessus de la réglementation en vigueur (notamment pour le lisier bovin). De plus, d'un point de vue agronomique, épandre quatre cuves de lisier de 16 t par hectare est incohérent. Ces résultats sont donc à relativiser par rapport aux hypothèses présent sur la surface d'épandage (3.9.2.1 Surface d'épandage).

- Détails du transport retour vers le méthaniseur, PE IAA et A/R pour remplir la cuve

scénario HBV	RETOUR vers le méthaniseur		A/R remplissage cuve		qté transportées (t)	nb de trajet (qté/tonnage cuve)
	trajet retour (en km)	trajet retour total (km*nb trajet)	trajet (en km)	trajet total (km*nb trajet)		
lisier bovin	5,2	2,4E+03	2,0	9,3E+02	8,1E+03	4,7E+02
fumier bovin	7,5	2,0E+04	2,0	5,5E+03	4,7E+04	2,7E+03
lisier porcin	8,0	4,5E+03	2,0	1,1E+03	9,7E+03	5,6E+02
export compost (camion)	137	1,1E+04			2,0E+03	8,3E+01
A/R remplissage cuve (tracteur)			2	2,4E+02		1,2E+02
retour digestat vers PE IAA HBV	7,7	4,6E+03			1,5E+04	6,0E+02

Figure 34 : détails du transport retour et A/R pour le scénario avec compostage (HBV)

- Détails des émissions et allocations retenues pour l'épandage

	N org (t)	N tot (t)	N_NH4 (t)	pertes N (t)		
				N_NH3 volatilisé	N_N20 atm	N_NO3 lessivé
ferme "fumier bovin"	1,0E+02	2,4E+02	1,4E+02	3,8E+01	2,4E+00	2,9E+01
ferme "lisier bovin"	1,7E+01	4,1E+01	2,4E+01	6,5E+00	4,1E-01	6,8E+00
ferme "lisier porc"	2,1E+01	4,9E+01	2,9E+01	7,8E+00	4,9E-01	8,0E+00
compost	2,4E+01	3,9E+01	1,4E+01	2,3E+00	3,9E-01	5,0E+00

Figure 35 : bilan des émissions à l'épandage et des allocations, scénario HBV

Rappel : le calcul de l'azote lessivé est fonction de la courbe présentée dans en Figure 27. Nous ne prenons en compte que la valeur fertilisante azotée du produit épandue (pas de considération du phosphore).

3.9.5 Eléments concernant l'épandage liés au scénario existant

Pour les effluents d'élevage, nous sommes face à la même incertitude sur les surfaces d'épandage disponibles pour chaque ferme ce qui peut entraîner des excédents incohérents.

type de ferme	scénario existant			
	effluent (t)	SAU (ha)	effluent (t/ha)	N/ha (kg)
fumier bovin	46546	1564	30	164
lisier bovin	7966	136	59	246
lisier porcin	9555	612	16	73
total	64067			

Figure 36 : Epandage des effluents d'élevage vers les exploitations agricoles (cuves/ha, A/R et N/ha), scénario existant

Pour le détail des calculs des A/R, voir partie 3.9.1 Transports des effluents et digestats.

- Détails du transport

Scénario EXISTANT

incinération	trajet aller km	km aller total	tonnage	nb trajet
Abattoir porc	104	3,1E+04	7,3E+03	3,0E+02
Charcuterie	98	2,4E+03	5,9E+02	2,4E+01

AR cuve	trajet (en km)	trajet total (km*nb trajet)	qté transportées (t)	nb de trajet (qté/tonnage cuve)
<i>lisier bovin</i>	2	9,2E+02	8,0E+03	4,6E+02
<i>fumier bovin</i>	2	5,4E+03	4,7E+04	2,7E+03
<i>lisier porcin</i>	2	1,1E+03	9,6E+03	5,5E+02

Figure 37 : détails du transport pour le scénario existant

- Détails des émissions et allocations retenues pour le scénario existant

	N org (t)	N tot (t)	N_NH4 (t)	pertes N (t)		
				N_NH3 volatilisé	N_N20 atm	N_NO3 lessivé
ferme "fumier bovin"	2,0E+02	2,3E+02	2,6E+01	2,4E+01	2,3E+00	3,1E+01
ferme "lisier bovin"	1,5E+01	3,3E+01	1,8E+01	4,5E+00	3,3E-01	5,0E+00
ferme "lisier porc"	1,3E+01	4,4E+01	3,0E+01	6,0E+00	4,4E-01	8,0E+00

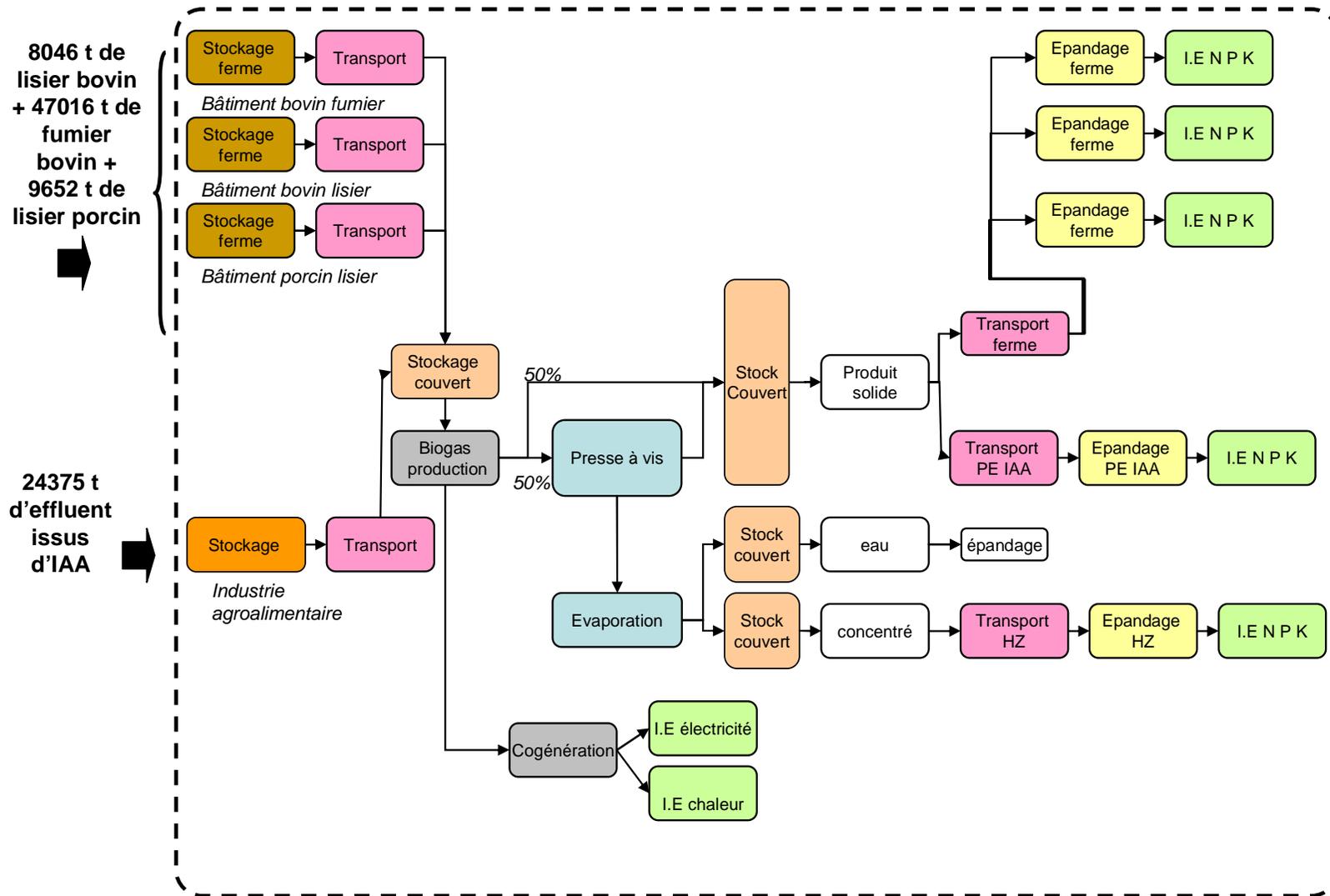
Figure 38 : bilan des émissions à l'épandage et des allocations, scénario existant

Table des illustrations

Figure 1 : caractéristiques des substrats IAA mobilisés.....	5
Figure 2 : caractéristiques énergétiques des substrats d'IAA	5
Figure 3 : méthodologie pour le calcul des substrats agricoles.....	8
Figure 4 : calcul du gisement agricole sur le BV + 3km en tep et Pe	8
Figure 5 : localisation des sites intégrés.....	9
Figure 6 : facteurs d'émission au stockage au sein des exploitations agricoles pour 80 jours moyens, scénario existant.....	12
Figure 7 : facteurs d'émission au stockage ferme ou IAA utilisés dans GaBi pour les scénarios avec méthanisation	13
Figure 8 : trajets en km pour les effluents d'élevage d'IAA vers l'unité de méthanisation.....	14
Figure 9 : flux N, P, K, C au stockage et pendant la méthanisation (en tonnes).....	15
Figure 10 : calcul du biogaz résiduel (récupéré) en sortie de digesteur	16
Figure 11 : calcul du biogaz produit entrant dans la cogénératrice.....	16
Figure 12 : production de chaleur et d'électricité en sortie de méthaniseur.....	17
Figure 13 : facteurs d'émission pour la presse à vis	18
Figure 14 : graphique des flux N, P, K, C pour la presse à vis, scénario BV	19
Figure 15 : FE pour le stockage du digestat non pressé et refus liquide de presse à vis.....	19
Figure 16 : flux N, P, K, C pour le stockage du digestat non pressé et du refus de presse à vis, scénario BV	20
Figure 17 : données techniques sur l'évapoconcentration.....	20
Figure 18 : flux N, P, K, C pour l'évapoconcentration, scénario BV	21
Figure 19 : flux N, P, K, C pour la presse à vis, scénario HBV	22
Figure 20 : facteur d'émission pour le compostage (NH ₃ , CH ₄ et CO ₂).....	22
Figure 21 : facteurs d'émission pour le compostage (NH ₃ et N ₂ O).....	23
Figure 22 : flux N, P, K, C pour le compostage, scénario HBV	23
Figure 23 : bilan matière du compostage	24
Figure 24 : flux N, P, K, C pour le stockage de la fraction liquide issue de la presse, scénario HBV	24
Figure 25 : flux N et C pour le stockage du lisier bovin et porcin et du fumier bovin, scénario existant	25
Figure 26 : facteurs d'émission à l'épandage.....	27
Figure 27 : Effet de la fertilisation (ou du chargement) sur les pertes de nitrate par lixiviation.	28
Figure 28 : plan d'épandage des trois scénarios en tonne d'azote et tonne de produit épandu	28
Figure 29 : Epandage du digestat vers les exploitations agricoles , scénario HBV	29
Figure 30 : Epandage du concentré vers la plaine de Caen, scénario BV	30
Figure 31 : détails du transport retour et A/R pour le scénario avec évapoconcentration (BV)	30
Figure 32 : bilan des émissions à l'épandage et des allocations, scénario BV.....	31
Figure 33 : Epandage du digestat vers les exploitations agricoles, scénario HBV	31
Figure 34 : détails du transport retour et A/R pour le scénario avec compostage (HBV).....	32
Figure 35 : bilan des émissions à l'épandage et des allocations, scénario HBV.....	32
Figure 36 : Epandage des effluents d'élevage vers les exploitations agricoles (cuves/ha, A/R et N/ha), scénario existant	32
Figure 37 : détails du transport pour le scénario existant.....	33
Figure 38 : bilan des émissions à l'épandage et des allocations, scénario existant.....	33

Scénario BV

Post-traitement poussé : évapoconcentration

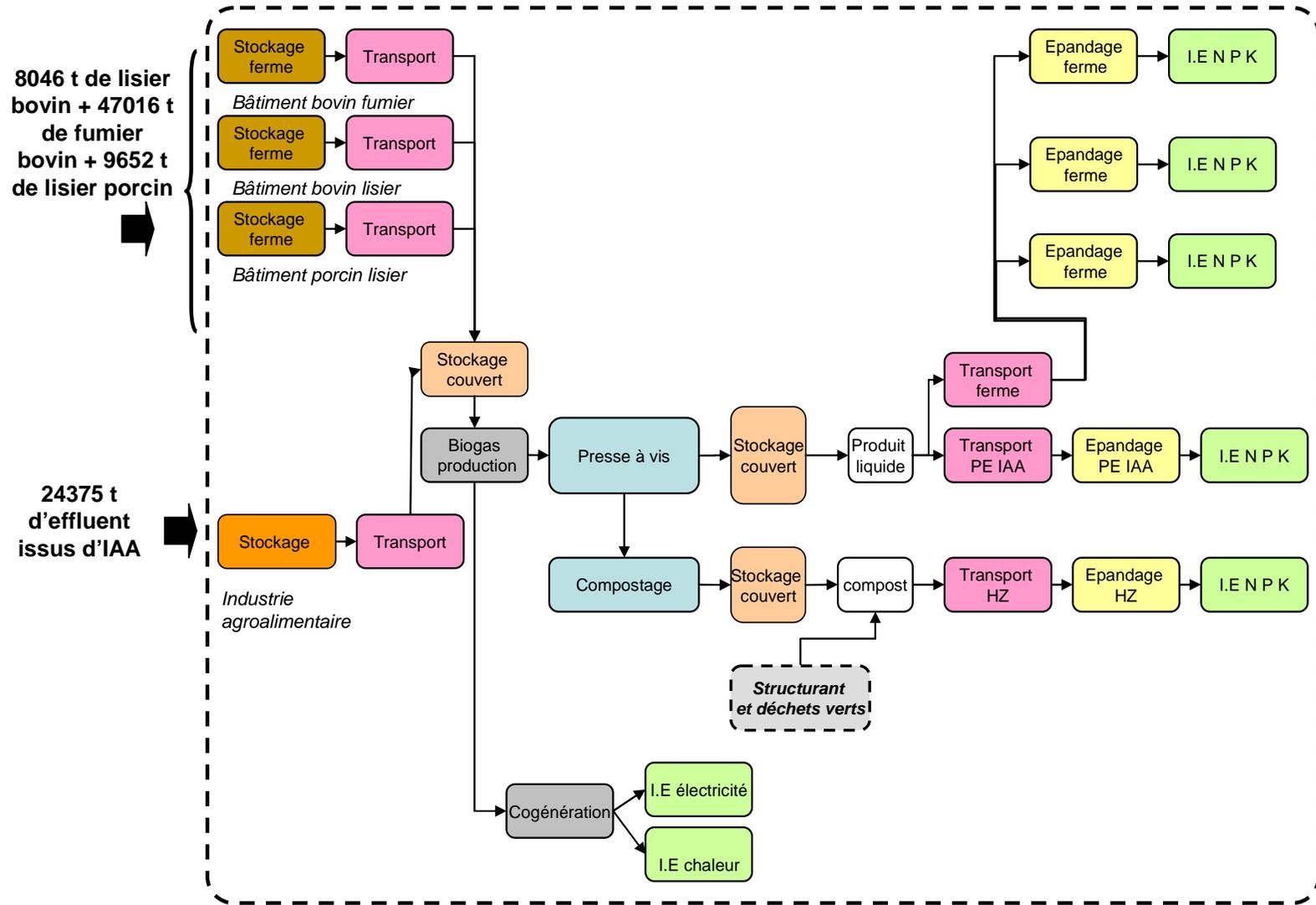


I.E* : Impact Evité HZ : Hors Zone PE : plan d'épandage stock : stockage

Schéma des scénarios évalués

Annexe 1

Scénario HBV Compostage et valorisation chaleur par la laiterie



I.E* : Impact Evité HZ : Hors Zone PE : plan d'épandage stock : stockage couv : couvert

Scénario existant

8046 t de lisier bovin + 47016 t de fumier bovin + 9652 t de lisier porcin



Stockage fumière

Bâtiment bovin fumier

Stockage Fosse non couverte

Bâtiment bovin lisier

Stockage Fosse non couverte

Bâtiment porcin lisier

Epandage ferme

I.E N P K

Epandage ferme

I.E N P K

24375 t d'effluent issus d'IAA



Stockage

Industrie agroalimentaire

PE IAA

I.E N P K

Incinération

I.E Chaleur

I.E : Impact Evité

Annexe 2

	Caractérisation des substrats	SIG	Emissions au stockage		Digesteur			Traitement du digestat			Transport	Epannage		Procédés issus des bases de données ACV				
			A la ferme et IAA	Effluents digérés et sortis de presse	Potentiel métha.	Conso. Elec. et chaleur	Fuites, torchère	Presse à vis	Evapoconcentration	compostage		FE et lessivage	Allocation	Transport	Incinération	Cogénération	Electricité	Fertilisation
AUT1	x																	
AUT2	x																	
AUT3						x												
AUT4								x	x									
AUT5								x										
AUT6									x									
AUT7										x								
AUT8												x			x			x
AUT9													x	x			x	
AUT10												x						
CEM1	x				x													
CEM2			x	x								x						
CEM3											x							
CEM4								x										
EXP1	x																	
EXP2		x																
EXP3										x								
EXP4										x								
EXP5	x		x	x	x	x		x	x			x	x					
EXP6							x			x		x	x	x	x	x	x	x

Cemagref

CEM1 : Romain Girault : caractérisation des substrats IAA sur le territoire. Volet 2 du projet BIODECOL2

CEM2 : Flux de gaz à effet de serre (NH₄, N₂O) et à l'ammoniac (NH₃) lié à la gestion des déjections animales : synthèse bibliographique et élaboration d'une base de données. A. Gac, F. Béline et T. Bioteau. Août 2006. Rapport ADEME

CEM3 : Cemagref de Montoldre, projet ECODEFI, livrable n°4 Eco-évaluation environnementale des engins agricoles pendant l'épandage. Février 2011

CEM4 : Bilan environnemental des procédés de traitement biologique des lisiers de porcs, L. Loyon, F. Béline, F. Guiziou, H. Boursier, P. Peu. Avril 2005

Autres sources

AUT1 : CORPEN : données sur les effluents d'élevage (production et caractérisation des fumiers bovin, lisier bovin et porcin)

AUT2 : Actualisation des volumes et des quantités d'azote, de phosphore et de potasse rejetés dans le lisier par un élevage naisseur-engraisseur. 1996 Journées Rech. Porcine en France, 28, 241 - 248.

AUT3 : Eco-analyse de la valorisation du biogaz issu des matières premières renouvelables, Institut für Energetik und Umwelt (2006). Document fourni par Armelle Damiano (AILE)

AUT4 : Etat de l'art des méthodes (rentables) pour l'élimination, la concentration ou la transformation de l'azote pour les installations de biogaz agricoles de taille petite/moyenne. Rapport final. Office fédéral de l'énergie OFEN (Suisse). 2009

AUT5 : ADEME, Analyse du Cycle de Vie des modes de valorisation énergétique du biogaz issu de méthanisation de la Fraction Fermentescible des Ordures Ménagères collectée sélectivement en France. Septembre 2007

AUT6 : La déshydratation des digestats. Synthèse bibliographique. Etude IFIP – Institut du porc. Septembre 2010. Alexandre Rugani, Pascal Lévasseur et Michel Marcon

AUT7 : Compostage de boues de STEP, bilan matière type pour 100 tonnes de boues. (Document interne Veolia environnement, 2004).

AUT8 : base de données EcoInvent

AUT9 : base de données GaBi

AUT10 : Effet de la fertilisation (ou du chargement) sur les pertes de nitrate par lixiviation, Esco élevage et azote.

Expertises

EXP1 : Romain Girault, Cemagref

EXP2 : Thierry Bioteau, Cemagref et Oleksander Tretyakov

EXP3 : Cécile Teglia, doctorante au Cemagref

EXP4 : Pascal Mallard, Cemagref

EXP5 : Lynda Aissani, Cemagref

EXP6 : Fabrice Béline, Cemagref