



Étude et chiffrage d'un projet de valorisation de déchet : cas du projet d'hygiénisation des sous-produits d'animaux pour l'unité de méthanisation de Méthavéore

Abdoul Kaled Rachid Minougou

► To cite this version:

Abdoul Kaled Rachid Minougou. Étude et chiffrage d'un projet de valorisation de déchet : cas du projet d'hygiénisation des sous-produits d'animaux pour l'unité de méthanisation de Méthavéore. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2021. dumas-03613259

HAL Id: dumas-03613259

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03613259>

Submitted on 18 Mar 2022

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.



Etude et chiffrage d'un projet de valorisation de déchet : Cas du projet d'Hygiénisation des Sous-produits d'animaux pour l'unité de méthanisation de Methaveore

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME
MASTERE SPECIALISE GESTION, TRAITEMENTS ET VALORISATION DES
DECHETS
OPTION : DECHET INDUSTRIEL

Présenté et soutenu le 06/10/2021 par

Abdoul Kaled Rachid MINOUGOU

Encadrant ENSMN : Philippe SESSIECQ

Maître de stage : Corentin SELIGOUR

Jury d'évaluation du stage :

Président : Philippe SESSIECQ

Membres et correcteurs : Abdelsselam DAHOUN
 Phillippe OUDIN

Promotion 2020/2021

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, j'aimerais pouvoir rendre hommage à tous ceux qui de loin ou de près m'ont apporté leurs concours et leurs encouragements.

Je me fais un agréable devoir de remercier vivement mes encadreur, Phillipe SESSIECQ et Corentin SELIGOUR qui m'ont fait bénéficier de leurs connaissances et de leurs conseils ; je les suis reconnaissant pour leurs disponibilités.

Mes remerciements vont également au Président de la société Energy &+, Adrien Haller, sa Directrice Générale Julie BOUVIER et son Directeur Technique Alexis AUPIED qui m'ont donné l'opportunité d'effectuer mon stage de fin d'étude dans la société.

Je tiens aussi à exprimer toute ma reconnaissance à tous les enseignants de la formation GEDE de l'Ecole de Mines de Nancy pour leur apport sur le plan cognitif et surtout pour la qualité de la formation.

Mes vifs remerciements à toute l'équipe de Energy &+, pour son accueil chaleureux et sa gentillesse.

En fin, j'adresse mes sentiments de gratitude à tous mes amis et mes camarades de promotion qui m'ont aidé d'un énorme soutien.

RESUME

La biométhanisation représente une solution de traitement et de valorisation durable des biodéchets. Cependant le digestat obtenu à partir de la méthanisation des sous-produits peuvent présenter un risque sanitaire humain et animal dû à la contamination de ces derniers par des agents pathogènes. Ainsi pour réduire ces risques sanitaires, la réglementation française et européenne impose une hygiénisation thermique consistant à un maintien de température de 70°C pendant une heure des sous-produits animaux avec une taille de particules maximum de 12mm.

Dans le but de valoriser des sous-produits animaux, Méthavéore a décidé de mettre en place une unité d'Hygiénisation thermique sur son site. Il sera principalement constitué d'une cuve cuve d'hygiénisation de 10 m³, d'une chaufferie gaz de 500kW et deux fosses de stockages de 40m³ chacune.

Mots clés :

Biodéchets

Animaux

Chaufferie

Hygiénisation

Valorisation

ABSTRACT

Anaerobic digestion represents a solution for the sustainable treatment and recovery of bio-waste. However, the digestate obtained from the anaerobic digestion of animal waste may present a health risk to humans and animals due to a contamination by pathogens. Thus to reduce these health risks, French and European regulations impose thermal hygienization consisting in maintaining animal waste with a maximum particle size of 12mm at a temperature of 70 ° C for one hour .

To recovery animal waste, méthavéore has decided to set up a thermal hygienization unit on its site. It will mainly include a 10 m³ sanitation tank, a 500kW gas boiler and two storage of 40m³ each.

Keywords:

Bio-waste

Animals

Boiler room

hygienization

Recovery

Table des matières

REMERCIEMENTS	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT	iv
Liste des figures	vii
Liste des tableaux.....	viii
Liste des abréviations	ix
I. Introduction	1
II. Revues bibliographiques	2
II.1 Les déchets d'animaux	2
1 Les différentes catégories de SPAN	2
2 Collecte et transport des sous-produits animaux	3
3 Filières de traitement	3
II.2 La méthanisation	4
1 Les différentes étapes d'une unité méthanisation	4
1.1 Collecte, tri et prétraitement de la matière	5
1.2 Biométhanisation.....	5
1.2.1 Les différents types de matières adéquats pour la biométhanisation	7
1.2.2 Rendement de biogaz des matières fermentescibles	7
1.3 Traitement du biogaz.....	8
2 Les différents procédés de méthanisation	8
II.3 La Règlementation sur la méthanisation des SPAN	10
1 Classification des sous-produits animaux.....	10
2 Sous-produits animaux valorisables en unité de méthanisation.....	10
II.4 L'Hygiénisation des sous-produits animaux	11
III. Présentation de Energy &+.....	13
IV. Présentation du Projet.....	15
IV.1 Présentation de la zone d'étude	15
IV.2 Contexte	15
IV.3 Présentation du Site de Methavéore	16
IV.4 Présentation du procédé d'Hygiénisation.....	17
V. Méthodologie.....	20
V.1. Etude.....	20
1 Détermination du volume de la cuve d'Hygiénisation et de la puissance de la chaudière	20
2 Choix des circulateurs.....	21

3	Choix des tuyauteries.....	23
3.1	Tuyauteries de transfert des déchets.....	23
3.2	Tuyauterie de chauffage	23
4	Choix des pompes.....	23
5	Electricité et automatisme.....	25
V.2.	Chiffrage.....	25
VI.	Résultats	26
VI.1.	Etude.....	26
1	Détermination du volume de la cuve d'Hygiénisation et de la puissance de la chaudière	26
2	Choix des circulateurs.....	26
3	Choix des tuyauteries.....	26
3.1	Tuyauteries de transfert des déchets.....	26
3.2	Tuyauterie de chauffage	26
4	Choix des pompes.....	26
5	Electricité et automatisme.....	27
VI.2.	Chiffrage.....	30
VII.	Synthèse du travail	31
VIII.	Conclusion.....	32
	Bibliographie	33
IX.	Liste des Annexes.....	34

Liste des figures

Figure 1 : étapes du procédé de la méthanisation (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 2010)	6
Figure 2 : Rendement de biogaz de matières méthanisables (Blin, 2014)	8
Figure 3 : Identification des SPAn admissibles en unité de méthanisation (ADEME, 2018)..	10
Figure 4 : Localisation de Étoile-sur-Rhône sur la carte de France (France geo, s.d.).	15
Figure 5: site de méthaveore (Gaz d'aujourd'hui, 2021)	17
Figure 6	18
Figure 7	19
Figure 8 : Organigramme Energy &+	14
Figure 9	Erreur ! Signet non défini.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Description des SPAn.....	2
Tableau 2 : Les filières de traitement des SPAn	4
Tableau 3 : Les différents étapes de la méthanisation.....	7
Tableau 4 : Liste des entrées/sorties.....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 5 : Analyse fonctionnelle.....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 6 : Suite Analyse fonctionnelle	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 7 : Liste des consommateurs	Erreur ! Signet non défini.

Liste des abréviations

ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
EST	Encéphalopathie spongiforme transmissible
SPAN	Sous-produit Animal
C1	Sous-produit Animal de catégorie 1
C2	Sous-produit Animal de catégorie 2
C3	Sous-produit Animal de catégorie 2
ISDND	Installation de stockage de déchets non dangereux
STEP	Station d'épuration
OM	Ordures ménagères

I. Introduction

Les biodéchets sont constitués de déchets organiques issus de ressources végétales ou animales.

De nos jours, une partie de ces biodéchets sont encore incinérés ou enfouies. Ces modes de traitement conduisent à des pollutions diverses et à un gaspillage de ressources et matières énergie.

La biométhanisation représente une meilleure solution de traitement de ces déchets car elle permet leur double valorisation. En effet, elle conduit à la production du biogaz, un gaz principalement composé de méthane (valorisation énergétique) et à la production d'un digestat riche en matières minérales et épandables comme fertilisant agricole (valorisation matière).

Cependant, les biodéchets comportent souvent des agents pathogènes. En effet, les sous-produits d'animaux peuvent contenir des micro-organismes pouvant présenter des risques sanitaires. La méthanisation, aussi connu sous le nom de digestion anaérobie ne permet pas d'éliminer ces risques sanitaires. En effet, elle permet de diminuer le taux d'agents pathogènes mais ne les élimines pas tous.

La méthanisation thermophile qui est une méthanisation se déroulant à des températures élevées, est souvent considérée comme une solution technique permettant l'élimination des agents pathogènes. Cependant, la réglementation sanitaire française ne l'identifie comme un procédé hygiénisant. La réglementation française et européenne prévoit que les sous-produits animaux à valoriser dans une unité de méthanisation devraient subir au préalable une Hygiénisation/Pasteurisation sauf dérogations.

Dans notre travail de fin d'étude, nous allons nous intéresser à l'Hygiénisation des Sous-Produits d'animaux au vu de leurs valorisations dans une unité de méthanisation.

II. Revues bibliographiques

II.1 Les déchets d'animaux

Les déchets d'animaux ou sous-produits animaux, sont principalement constitués de déchets issu de l'abattage et le dépeçage des animaux et de produits d'origine animale ou de produits obtenus à partir d'animaux qui ne sont pas destinés à la consommation humaine et animales.

Les déchets de cuisines et de tables sont également assimilés à des sous-produits animaux. En effet tous les Déchets de cuisines et de tables, quel que soit, leur nature et leur origine sont définis comme des sous-produits d'animaux du fait qu'ils sont un mélange de déchets d'origine animale (lait, viande, poisson...) et d'autres types de déchets.

On distingue trois catégories de SPAN. En effet le règlement européen n°1069/2009 classe les SPAN sur la base de leurs risques sanitaires et environnementales.

1 Les différentes catégories de SPAN

Le tableau suivant présente les différentes catégories de SPAN.

Tableau 1 : Description des SPAN

Catégorie	Définition	Exemple	Remarques
C1	Les matières de la catégorie 1 représentent les déchets avec un haut risque sanitaire. En effet ce sont des déchets présentant des risques d'infections de maladies transmissibles aux êtres humains et aux animaux tel que des déchets infectés par une encéphalopathie spongiforme transmissible, ou des risques de présences de substances interdites et de contaminants dangereux pour l'environnement.	- Cadavres d'animaux infectés par une encéphalopathie spongiforme transmissible (EST),	Les déchets de cuisine et tables provenant de moyens de transport internationaux sont également considérés comme des sous-produits de catégorie 1.
C2	Les matières de catégorie 2 sont des	- Lisier	

	sous-produits animaux présentant des risques sanitaires négligeable. En effet ces déchets présentent des risques sanitaires classiques, d'où des maladies animales autres que les ESB et la maladie de la vache folle rencontrés dans les fermes, ou des risques de contaminations médicaments vétérinaires etc ...	- Fumier - Matières stercoraires - Viandes avariées - Poissons avariés	
C3	Ce sont les sous-produits animaux dits « sains », ils présentent un faible risque sanitaire pour la santé animale et publique. Ce sont entre autres des parties d'animaux abattues jugés propres à la consommation humaine non valorisable dans la chaîne alimentaire humaine et les anciennes denrées alimentaires d'origine animale non destinés à la consommation humaine.	- Déchets de cuisine et de table provenant de la France - Produits à base de viande ou de poisson - Os - Suifs	

2 Collecte et transport des sous-produits animaux

Il est impératif d'utiliser des emballages neufs hermétiquement clos ou des conteneurs ou véhicules étanches pour la collecte et le transport des sous-produits animaux.

Pendant ces opérations les SPAn doivent être identifiés et séparés en fonction des différentes catégories.

Les conteneurs réutilisables doivent être consacrés exclusivement au transport d'un seul type de produit et nettoyés, lavés et désinfectés après chaque utilisation.

Selon la catégorie, les sous-produits animaux sont destinés à différents filières de traitement.

3 Filières de traitement

Le tableau suivant présente les filières de traitement des sous-produits animaux en fonction de leurs catégories.

Tableau 2 : Les filières de traitement des SPAn

Catégorie	Filières de traitement	Remarques
C1	- Incinération - Mise en décharge	- Les graisses sont immédiatement incinérées tandis que les protéines sont préalablement transformées en farine animale avant leurs éliminations dans les unités d'incinérations. - Au préalable d'une mise en décharge, ces SPAN doivent subir au préalable un traitement thermique.
C2	- Incinération - Mise à la décharge - Méthanisation - Compostage	
C3	- Incinération - Mise à la décharge - Méthanisation - Compostage - Farines animales - Oléo Chimie	

II.2 La méthanisation

Aussi connu sous l'appellation de fermentation anaérobie, elle est la transformation de la matière organique dégradable sous l'influence d'enzymes produites par des micro-organismes en absence d'oxygène. Elle conduit à l'obtention de deux produits à savoir le biogaz et le digestat (matière non dégradée après le traitement) (Blin, 2014).

1 Les différentes étapes d'une unité méthanisation

De façon générale, les grandes étapes d'une unité de méthanisation peuvent être regroupés comme suit :

- La collecte le tri et le prétraitement de la matière
- La biométhanisation
- Le stockage du biogaz
- Le traitement du biogaz

- La valorisation du biogaz

1.1 Collecte, tri et prétraitement de la matière

La collecte consiste à récupérer les matières pour les acheminer vers le site de méthanisation. Elle assure l'approvisionnement en matières premières. Cette étape est importante pour le processus de la méthanisation car elle lui assure une meilleure qualité.

Le tri consiste à séparer les déchets fermentescibles d'éléments impactant négativement le système de méthanisation (plastique, verre, pierres etc.). Il assure une meilleure qualité de la matière première (Blin, 2014).

Le prétraitement consiste à effectuer souvent une pré-fermentation (maturation biologique parfois nécessaire), à broyer certaines matières pour assurer une granulométrie permettant un bon mélange et une fermentation de toute la biomasse. Il consiste également à faire un mélange pour obtenir un bon substrat fermentescible. (Blin, 2014).

1.2 Biométhanisation

Après la collecte, le tri et le prétraitement de la matière vient la biométhanisation (digestion anaérobie). C'est la partie la plus importante et elle se déroule en plusieurs étapes dans un digesteur. Chaque étape est assurée par l'action concertée d'un groupe de bactéries particulières. Les molécules qui ne seront pas dégradées ainsi que les déchets émis au cours de ces étapes composeront le digestat (Goulbaut & Pesenti, s.d.).

Les principales étapes de ces procédés sont : l'hydrolyse, l'acidogénèse, l'acétogénèse et la méthanogénèse (voir figure 1).

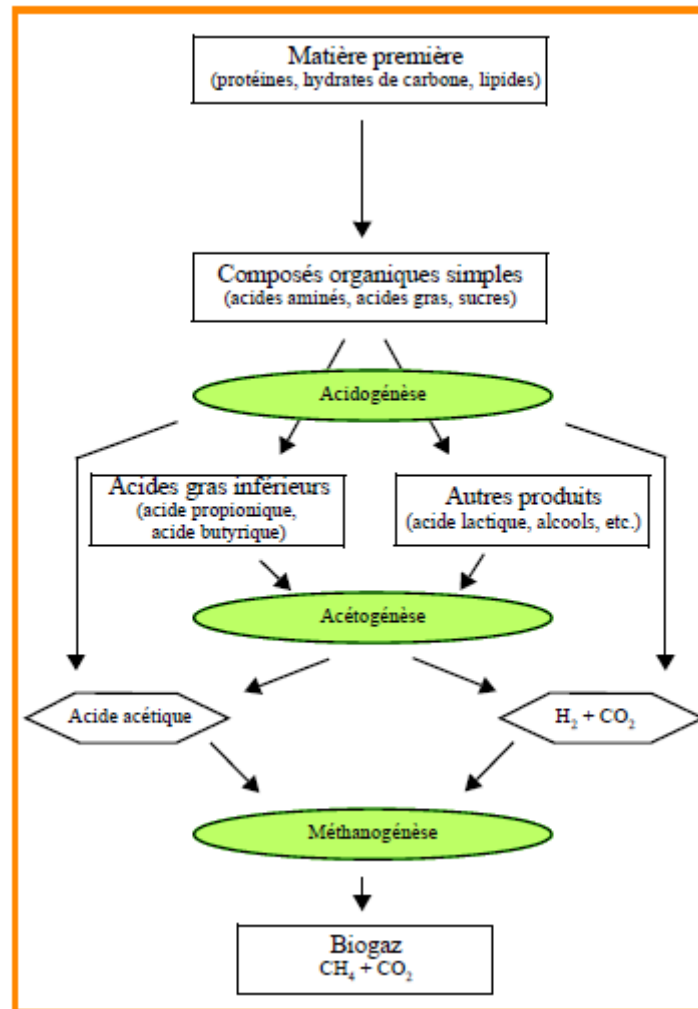


Figure 1 : étapes du procédé de la méthanisation (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 2010)

Tableau 3 : Les différents étapes de la méthanisation

Etapes	Descriptifs
Hydrolyse	C'est la phase dans laquelle les macromolécules organiques se trouvent décomposées pour donner des molécules simples
Acidogénèse	Elle conduit à la formation d'acide gras volatils et d'alcools en majeure partie grâce à des bactéries appelées bactéries acidogènes
Acétogénèse	Cette phase consiste à la production d'acétate qui est un des précurseurs directs du méthane à partir d'alcools, d'acides organiques et d'acides gras. Lors de cette réaction il est également produit du dihydrogène et du dioxyde de carbone
Méthanogénèse	C'est l'étape ultime pendant laquelle le méthane est produit à partir de l'acétate, du dioxyde de carbone et de l'hydrogène issus des étapes précédentes. Deux groupes de bactéries méthanogènes agissent dans cette étape d'où les hydrogénotrophes (H ₂ et CO ₂) et les acétotrophes (acétate) (Goulbaut & Pesenti, s.d.)

1.2.1 Les différents types de matières adéquats pour la biométhanisation

Il est important de noter que tous les types de biomasse, ne sont pas utilisable dans ce processus de dégradation anaérobie. En effet les matières organiques ligneuses issues de la filière du bois (branchages, copaux etc.) ne peuvent pas être digérées par les bactéries (Blin, 2014).

Les différents types de biomasse utilisables sont :

- Les productions agricoles : ensilage de maïs, d'herbes, pailles, fanes, menues pailles, etc.
- Les déjections animales : lisier, fumier, fiente
- Les déchets agroalimentaires : huiles, graisses, déchets de légume ou de fruits, etc.
- Les déchets de collectivités : Tontes de pelouse, feuilles, déchets organiques de restaurations et d'abattoirs, invendus, ordures ménagères, boues de stations d'épuration, etc.

1.2.2 Rendement de biogaz des matières fermentescibles

Le rendement de biogaz d'une matière fermentescible correspond à la quantité de biogaz productible lors de sa biodégradation en condition anaérobie durant processus de méthanisation.

La quantité de gaz produite dans une unité de méthanisation dépend essentiellement de la composition du substrat. Elle est estimée à l'aide du rendement en biogaz de chaque matière en intrants, éventuellement donné dans les tableaux de référence (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 2010).

La qualité du biogaz dépend principalement de sa teneur méthane car cette dernière est sa composante combustible.

Rendements selon la biomasse

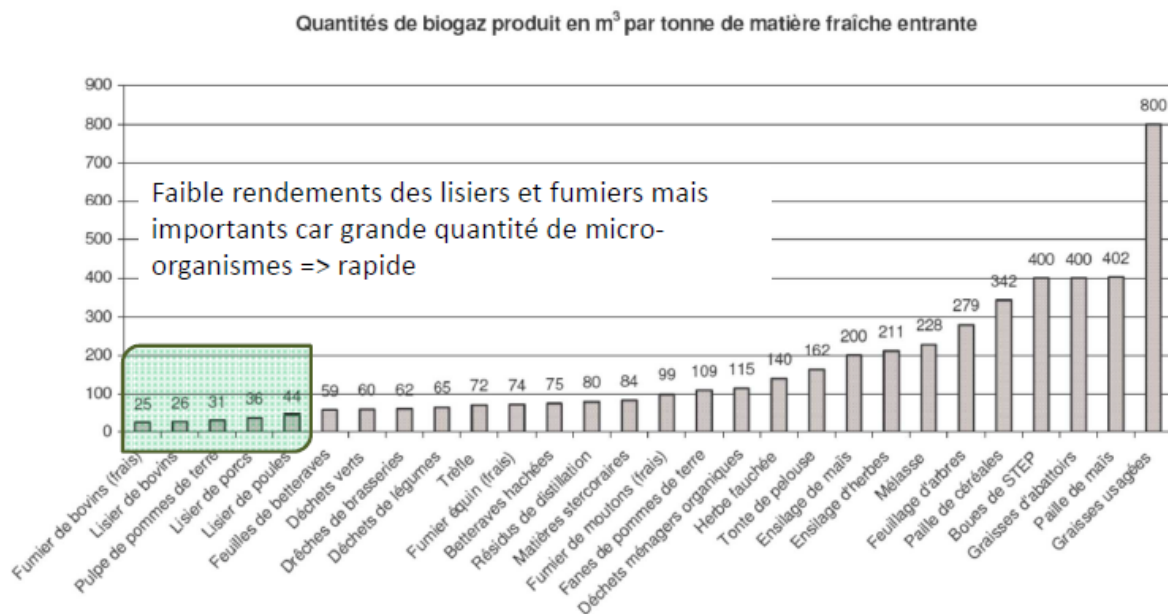


Figure 2 : Rendement de biogaz de matières méthanisables (Blin, 2014)

1.3 Traitement du biogaz

Le gaz produit par la biométhanisation est essentiellement constitué de méthane (50 à 75%) et du dioxyde de carbone (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 2010). On y trouve également d'autres éléments dont de la vapeur d'eau et du sulfure d'hydrogène qui doivent être éliminés pour valoriser correctement le biogaz.

En effet la vapeur d'eau, élément perturbateur de la combustion en association avec le sulfure d'hydrogène qui est un gaz toxique créent de l'acide sulfurique qui est un élément très corrosif.

2 Les différents procédés de méthanisation

On rencontre plusieurs types de procédés de production de biogaz d'où les principaux sont fonctions du lieu de la typologie d'intrant, de la teneur en matière sèche du substrat, du type d'introduction, de la température

Tableau 4 : Les différents types de méthanisation

Type de Méthanisation en fonction :	Types de procédés	Spécification
Du type d'intrants	Méthanisation Agricole	Installation méthanisant plus de 90% de matières agricoles
	Méthanisation des boues de STEP	Installation méthanisant des boues de STEP
	Méthanisation des déchets ISDND	Installation d'un système de Récupération du biogaz produit dans les ISDND
	Méthanisation Industrielles	Installations méthanisant plusieurs types d'intrants dont les porteurs de projets sont des industriels
	Méthanisation de déchets ménagers et biodéchets ou Méthanisation territoriale	Installations méthanisant des OM triées ou collectées sélectivement.
De la teneur en matière sèche du substrat	Fermentation humide	Installation de méthanisation avec un taux de matière sèche inférieur à 20%
	Fermentation sèche	Installation de méthanisation avec un taux de matière sèche inférieur compris entre 20% et 50%
Du type d'introduction du substrat/ régime de chargement du biodigesteur	Procédé continu	Digester chargé et déchargé continuellement avec un flux d'entrée homogène.
	Procédé semi continu	Digester alimenté plusieurs fois journalièrement
	Procédé discontinu	Digester alimenté une seule fois jusqu'à digestion complète et vidange.
De la température à l'intérieur du digestion	Digestion psychrophile	Température de digestion comprise entre 10 et 20°C
	Digestion mésophile	Température de digestion comprise entre 20 et 40°C
	Digestion thermophile	Température de digestion comprise entre 50 et 70°C

II.3 La Réglementation sur la méthanisation des SPAN

La méthanisation des sous-produits animaux peut engendrer des risques sanitaires. En effet le digestat obtenu à partir de la méthanisation des sous-produits peuvent présenter un risque sanitaire humain et animal dû à la contamination de ces derniers par des agents pathogènes.

Pour réduire les risques de contaminations, il est essentiel de trier les sous-produits animaux en fonction de leurs dangers et de leurs faire subir un traitement adéquat dans le but de réduire leurs risques sanitaires avant leurs valorisations.

1 Classification des sous-produits animaux

Le producteur ou détenteur des sous-produits animaux a l'obligation de les classer suivant les trois catégories de dangerosité (ADEME, 2018). En effet il doit fournir à l'exploitant de l'unité de méthanisation un document d'accompagnement commercial attestant du type de Span (ADEME, 2018).

La réglementation définit les listes des déchets de catégorie 1 et de catégorie 3, ces listes sont fermées et fixes.

Tous les types sous-produits animaux ne sont pas autorisés à être valorisés dans les unités de méthanisation. En effet les sous-produits présentant des risques sanitaires ne sont pas admissibles dans les unités de valorisation en biogaz de biodéchets.

2 Sous-produits animaux valorisables en unité de méthanisation

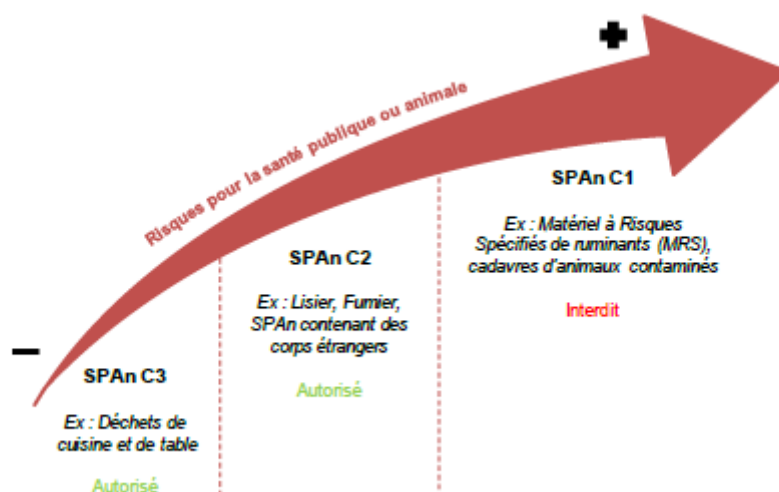


Figure 3 : Identification des SPAn admissibles en unité de méthanisation (ADEME, 2018)

Dans les unités de méthanisations, seuls des sous-produits de catégories 2 et de catégories 3 sont admissibles. En effet les sous-produits de catégorie 1 ne sont pas valorisables dans les unités de méthanisation du fait de leurs dangers.

Les annexes 3, 4, 5 et 6 représentent des listes de sous-produits animaux valorisables dans les unités de méthanisation

Le traitement des sous-produits en méthanisation est soumis à condition. En effet l'article 1 du Chapitre I dans l'annexe V de la réglementation (UE) n°142/2011 stipule qu'une usine de production de biogaz doit disposer d'une unité de pasteurisation ou d'hygiénisation incontournable pour les sous-produits animaux.

II.4 L'Hygiénisation des sous-produits animaux

La réglementation européenne exige l'installation d'une unité d'Hygiénisation ou de pasteurisation au sein des unités de production de biogaz valorisant les sous-produits animaux (RÈGLEMENT (UE) N° 142/2011 DE LA COMMISSION , 2011).

Le système d'Hygiénisation des sous-produits animaux exigé par la réglementation européenne doit être un procédé permettant principalement :

- La montée de température de ces biodéchets avec une taille de particules inférieure ou égale à 12 mm (le broyage à 12 mm ne s'applique pas au lisier, aux matières stercoraires, au lait et produits à base de lait, au colostrum, aux oeufs et produits à base d'œufs (ADEME, 2018).) et le maintien pendant une heure à la température de 70°C
- De contrôler que la température de 70°C est atteinte et maintenue durant une heure et d'enregistrer en permanence les résultats de ces dernières mesures.
- De prévenir un éventuel problème de montée en température insuffisante.

Il est possible pour les unités de méthanisation de bénéficier d'une dérogation à l'unité d'hygiénisation des sous-produits animaux. En effet pour le traitement de certains sous-produits animaux dans les unités de productions de biogaz, lorsque la Direction départementale de la cohésion sociale et de la protection des populations juge qu'il n'y a pas de risque sanitaire une dérogation de l'unité d'Hygiénisation peut être accordée (ADEME, 2018).

Dans les annexes 9, 10, 11 et 12 vous trouverez les quatre cas de figures suivants dans lesquelles l'exigence d'une unité d'hygiénisation s'impose et où il est possible d'obtenir une dérogation :

III. Présentation de Energy &+

Basée à Saint-Nolff en Bretagne, Energy&+ a été fondée il y a 15 ans par Adrien Haller sous le nom de AHCS.

Depuis sa création en 2006, la société a beaucoup évolué. Son activité est rapidement passé du métier de plombier-chauffagiste chez des particuliers, à de l'industrie énergétique dédiée aux collectivités, aux agriculteurs et à l'industrie. En effet, Energy&+ est aujourd'hui une entreprise spécialisée dans le développement, la construction et l'exploitation de solutions d'énergie durables :

- Chaufferies biomasses

Energy&+ développe et conçoit des solutions de chaufferies de moyennes à grandes puissances fonctionnant avec plusieurs types de combustibles biomasses à savoir des plaquettes de bois, des résidus de cultures, etc...

- Méthanisation

La société intervient sur la mise en place de systèmes de transfert de substrats et de digestat ainsi que la conception, l'optimisation et la mise en place de solutions de chauffage thermique des digesteurs dans les unités de méthanisation.

- Hygiénisation

Depuis 2019, Energy&+ installe des procédés d'hygiénisations thermique clef dans les unités de méthanisation dans le but de leur permettre de valoriser une multitude de déchets.

Elle propose des solutions avec comme générateur thermique des chaudières biomasses, des chaudières gaz, des chaudières biogaz et des chaudières mixtes ou avec valorisation de thermiques sur des générateurs déjà disponible chez leurs clients.

- Pyrogazeification

La société propose des solutions de production électrique comportant un ensemble de pyrogazeificateur de bois et de moteur syngaz(gaz de synthèse issu de la pyrogazeification) couplé à un alternateur.

Lauréat de deux projets CRE sur la mise en place d'unités de production électrique par pyrogazeification, elle a l'ambition de devenir un des acteurs de référence de la pyrogazéification en France.

Energy&+ compte à ce jour une vingtaine de collaborateurs.

Son expertise sur différentes technologies, lui permet d'engager de nouveaux projets innovants.

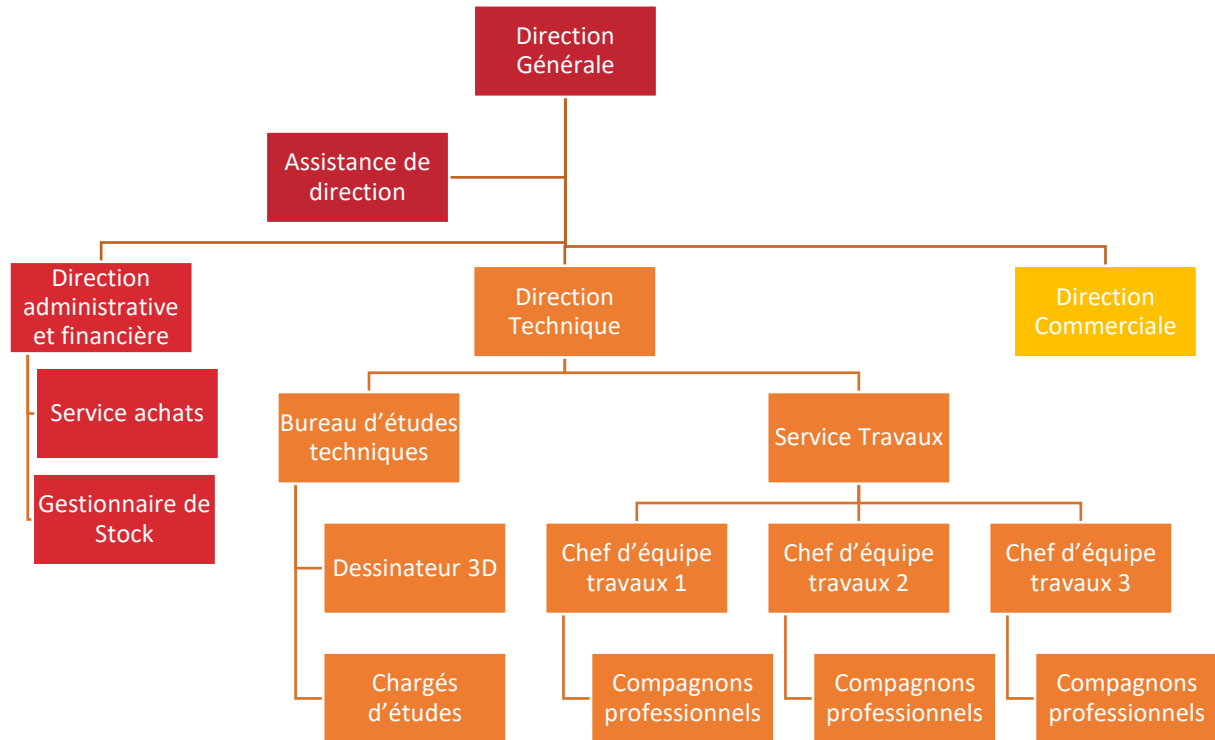


Figure 4 : Organigramme Energy &+

IV. Présentation du Projet

IV.1 Présentation de la zone d'étude

Située dans l'agglomération valentinoise la commune d'Etoile sur Rhône se trouve dans le département français de la Dôme en Région Rhône-Alpes, dans la nouvelle région Auvergne-Rhône-Alpes.



Figure 5 : Localisation de Étoile-sur-Rhône sur la carte de France (France geo, 2021).

Avec une superficie de 42,79 km² (France geo, 2021), la population de Etoile sur Rhône est estimée à 5505 habitants (Présentation de Étoile-sur-Rhône, 2021)..

IV.2 Contexte

La méthanisation est une solution écologique de traitement et de valorisation de déchets organiques.

La méthanisation agricole, qui est définie comme étant un procédé qui vise à transformer les matières organiques issues des fermes, notamment les déchets de ferme (déjections animales,

substrats de végétaux) en biogaz, se développe beaucoup de nos jours en France. L'ADEME répertoriât en janvier 2020 huit cent neuf (809) unités de méthanisation en France avec un pourcentage de 65% en faveur des unités de méthanisation agricole. Le développement des unités de méthanisation contribuant au traitement des effluents d'élevage et des résidus agricoles, de même que le Co-traitement des biodéchets sont soutenus par le pouvoir public-Français.

La méthanisation est particulièrement intéressante pour le traitement des déchets issues des industries agroalimentaires car leurs traitements demandent souvent des consommations d'énergies importantes et conduisent à la pollution de l'environnement.

Pour l'élimination de leurs déchets, les industries agroalimentaires ont de plus en plus recours aux services des unités de méthanisations agricoles car elles représentent une filière de traitement moins onéreuse que les autres filières de traitements.

Cependant, pour le traitement de déchets agroalimentaires dans une méthanisation agricole, la réglementation française et européenne impose certaines conditions entre autres l'installation d'un système d'Hygiénisation dans le but d'éliminer des risques sanitaires.

) C'est dans cette approche que l'unité de méthanisation agricole Methavéore a fait appel à la société Energy&+ pour la conception, la réalisation de son système d'Hygiénisation pour le traitement des sous-produits d'animaux.

IV.3 Présentation du Site de Methavéore

En activité depuis 2020, le site de Méthaveore est situé à Étoile-sur-Rhône dans la Drôme.

Il est détenu par trois agriculteurs, et dispose d'une capacité de production énergétique estimée à l'équivalent de la consommation annuelle de 4500 logements neufs chauffés au gaz d'où 18 millions de kWh.

Cette grande capacité de production d'énergie à partir de la digestion anaérobie est réalisée grâce à un système principalement composé d'une trémie d'incorporation, de deux digesteurs d'une capacité totale de 5200m³ et d'un post digesteur.



Figure 6: site de méthaveore (Gaz d'aujourd'hui, 2021)

Répertorié comme la Seizième unité de méthanisation de sa région et la première dans son département à injecter sa production de biométhane dans le réseau de Gaz GRDF, Methavéore alimente trois communes en gaz naturel.

IV.4 Présentation du procédé d'Hygiénisation

Le Solution du système d'hygiénisation proposé par société Energy &+ est une solution d'Hygiénisation thermique complètement automatisé et fonctionnant en continu.

Elle est principalement composée de plusieurs étapes d'où d'une étape de :

- Réception la matière à Hygiéniser. En effet la matière à Hygiéniser sera déversée dans une cuve de stockage de 40 m³ équipé d'un agitateur dans le but d'éviter une formation de décantation et de permettre une bonne homogénéité de la matière
- Transfert des déchets dans la cuve d'Hygiénisation. Le transfert des biodéchets dans la cuve d'hygiénisation sera assuré par une pompe à lobe de marque Borger. Il sera installé à l'amont de la pompe un broyeur en vue d'assurer une taille de particules maximales de 12 mm dans le fluide à Hygiéniser.
- Hygiénisation thermique assuré par une chaudière. L'Hygiénisation thermique sera assurée par un système principalement composé d'une chaudière gaz et de deux circulateurs fonctionnant en alternance.

- Transfert de la matière hygiénisé de la cuve d'Hygiénisation vers une cuve de stockage via une pompe à lobes Borger.
- Stockage de la matière Hygiénisé dans une cuve de 40 m3. L'exploitant assurera l'alimentation de ses digesteurs en matières Hygiénisés via cette cuve.

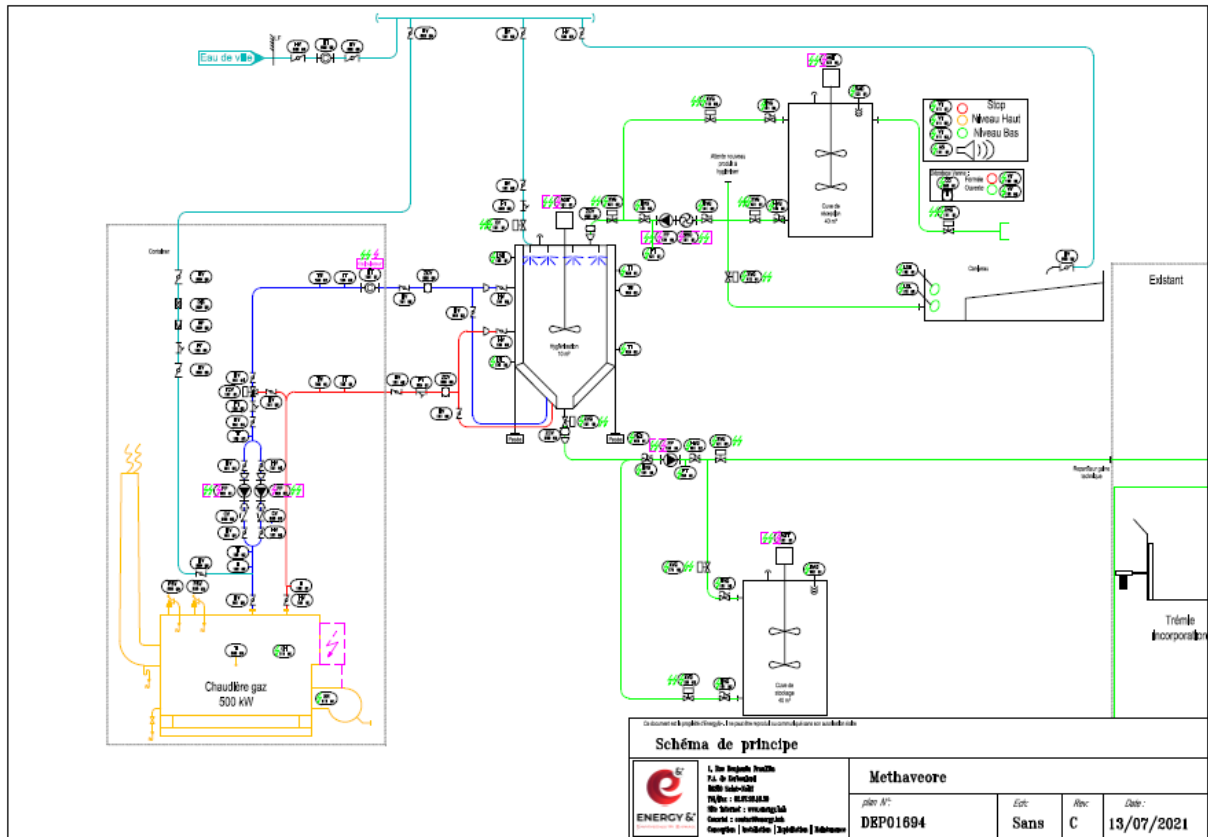


Figure 7 : Schéma de principe

Chacune des trois cuves est munie d'un agitateur dans le but d'éviter le phénomène de décantation, d'assurer l'homogénéité du fluide pour faciliter ses transferts, et d'augmenter l'échange thermique.

L'agitation au niveau de la cuve d'hygiénisation permet également d'avoir une température uniforme à l'intérieur afin d'assurer une bonne hygiénisation de la matière.



Figure 8 : Représentation 3D de l'installation

V. Méthodologie

V.1. Etude

1 Détermination du volume de la cuve d'Hygiénisation et de la puissance de la chaudière

Le volume de la cuve d'Hygiénisation a été déterminé en fonction des besoins du client, d'où de son cahier des charges établi.

Le système proposé a été établi sur la base d'une capacité de stockage de 40m³ (livraison de matière chaque deux jours avec un camion de 40m³) quantité de matière de 20 m³ à hygiéniser journalièrement avec un système thermique à chaudière fonctionnant au gaz naturel. L'installation a également été dimensionné dans le but d'éviter des cycles de fonctionnement de nuit. Ainsi nous avons fait le choix de la chaudière en considérant un temps de fonctionnement maximal de 9h d'où un fonctionnement entre 8h et 17h.

Il a été nécessaire de faire des simulations en prenant compte différents nombres de cycle, différents volumes de cuves et également différentes puissances de chaudières.

Un cycle d'Hygiénisation comprend le temps de remplissage et de vidange de la cuve d'hygiénisation ainsi que le temps de chauffage de la matière (temps d'hygiénisation).

Pour déterminer le temps de cycle nous avons utilisé la formule suivante :

$$t = \frac{V_{ch}}{Q_{Rch}} + \frac{V_{ch}}{Q_{Vch}} + t_h \quad (1)$$

Où

$\frac{V_{ch}}{Q_{Rch}}$ représente le temps de remplissage de la cuve ;

$\frac{V_{ch}}{Q_{Vch}}$ le temps de vidange de la cuve d'hygiénisation ;

t_h le temps d'hygiénisation

Pour la détermination du temps d'hygiénisation nous avons établi un bilan d'énergie de l'hygiénisation présenté ci-dessous sur :

$$E + C = A$$

Avec ;

A (accumulation d'énergie) = $m \, cp \, (Tf - Ti)$ Représentant l'accumulation d'énergie qui est l'énergie thermique d'hygiénisation ;

E (Entrée d'énergie) = $P * t_h = HS(T_{ep} - T_{mh}) * t_h$ Représentant l'apport d'énergie thermique par conduction et convection ;

C (Création d'énergie) = 0. Dans le présent système nous n'avons pas de création d'énergie.

Ainsi on obtient un bilan d'énergie qui se traduit par la formule suivante :

$$HS(T_{ep} - T_{mh}) * t_h = m \, cp \, (Tf - Ti) \quad (2)$$

$$\frac{1}{H} = \frac{1}{h_i} + \frac{e}{\lambda_{inox}} + \frac{1}{h_e} \quad (3)$$

H	Coefficient d'échange global	W/m ² /K
h_i	Coefficient de convection interne	W/m ² /K
h_e	Coefficient de convection externe	W/m ² /K
e	Épaisseur inox	m
λ_{inox}	Coefficient de conductivité inox	W/m/K
V_{ch}	Volume cuve Hygiénisation	m ³
Q_{Rch}	Débit de remplissage cuve Hygiénisation	m ³ /h
Q_{Vch}	Débit de vidange cuve Hygiénisation	m ³ /h
S	Surface d'échange	m ²
m	Masse de la matière à Hygiéniser	kg
Tf	Température finale	K
Ti	Température initiale	K
T_{ep}	Température eau de processus	K
T_{mh}	Température de la matière à Hygiéniser	K

2 Choix des circulateurs

Le choix du circulateur dépend principalement du débit, de HMT, des conditions de fonctionnement et de l'application dans laquelle elle est destinée.

Le choix des circulateurs est effectué après le choix du générateur thermique (chaudière).

La détermination du débit de fonctionnement des circulateurs a été faite via la formule ci-dessous :

$$Q_c = \left(\frac{P}{h_s - h_e} \right) * \frac{1}{\delta} \quad (4)$$

Avec $\left(\frac{P}{h_s - h_e} \right) = \frac{1}{\left(\frac{h_s - h_e}{P} \right)}$ étant le débit massique horaire (kg d'eau/h)

Q_c	Débit circulateur	m ³ /h
P	Puissance source thermique	W
δ	Masse volumique	Kg/ m ³
h_s	Enthalpie sortante fluide caloporteur	Wh/ kg
h_e	Enthalpie entrante fluide caloporteur	Wh/ kg

Pour le calcul de la HMT la hauteur géométrique n'est pas prise en compte car le circulateur fonctionne en circuit fermé ainsi la HMT est égale à la somme de pertes de charges d'où :

$$HMT = \sum Pdc \quad (5)$$

Pour le calcul des pertes nous avons utilisé un outil de calcul utilisant la formule de Manning-Strickler pour le calcul des pertes de charges linéaires :

$$\sum Pdc = \frac{L * 4^{10/3} * Q^2}{D^{16/3} * K_s^2 * \pi^2} + \sum K \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

Avec $\frac{L * 4^{10/3} * Q^2}{D^{16/3} * K_s^2 * \pi^2}$ (formule de Manning-Strickler) étant les pertes de charges linéaires

$K \frac{v^2}{2g}$ étant le formule des pertes de chartes singulières (spécifications de détermination de K dans les annexes 14,15,16 et 17)

HMT	Hauteur manométrique totale	m
Pdc	Pertes de charges	m
K_s	Coefficient de rugosité	
Q	Débit	m ³ /s
v	Vitesse d'écoulement	m/s
D	Diamètre de la conduite	m
g	Accélération de la pesanteur	m/s ²
L	Longueur	m
K	Coefficient de pertes de charges singulière	

3 Choix des tuyauteries

Le dimensionnement des canalisations consiste à déterminer les diamètres en fonction de la matière et du débit véhiculer en respectant différentes contraintes dans le but de permettre un fonctionnement optimal de l'installation.

3.1 Tuyauteries de transfert des déchets

Nous avons effectué le choix des tuyauteries en tenant compte de la température des fluides, de leurs modes de transfert et également de leurs natures.

3.2 Tuyauterie de chauffage

Le choix de la tuyauterie de chauffage, d'où de la tuyauterie pour le transport d'eau chaude de process est déterminer à l'aide de la formule de la suivante (formule du diamètre tiré de la formule de l'aire du cylindre car les tuyauteries sont de forme cylindriques) :

$$D = \sqrt{\frac{(4*S)}{\pi}} \quad (7)$$

avec

$$S = \frac{Q_c}{v} \quad (8)$$

Après avoir obtenu la valeur du diamètre nécessaire on détermine le diamètre de la tuyauterie à l'aide du tableau des diamètres de tuyauteries (Voir annexe ...)

D	Diamètre	m
S	Section	m ²
Q_c	Débit circulateur	m ³ /s
v	Vitesse du fluide	m/s

Le choix de la vitesse a été effectuer grâce au tableau représentant les valeurs limites à ne pas dépasser pour éviter des nuisances sonores (voir annexe 13)

4 Choix des pompes

Comme le choix des circulateurs, le choix de la pompe dépend principalement du débit souhaité, des pertes de charges des réseaux, des conditions de fonctionnement et de l'application dans laquelle elle est destinée.

Les pertes de charges sont déterminées via les formules suivantes :

$$HMT = H_{geo} + \sum Pdc \quad (9)$$

Pour le calcul des pertes de charges linéaires nous avons utilisé la formule de Darcy-Weisbach.

$$\sum Pdc = \frac{\lambda * v^2 * L}{2 * D * g} + \sum K \frac{v^2}{2g} \quad (10)$$

$$K = 4 * ft * x \quad (11)$$

Avec $\frac{\lambda * v^2 * L}{2 * D * g}$ la formule des pertes de charges linéaires

$K \frac{v^2}{2g}$ étant la formule des pertes de charges singulières (spécifications de détermination de K dans les annexes 14,15,16 et 17)

$$\lambda = \frac{64}{Re} \text{ si } Re < 2000 \quad (12)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right) \text{ si } Re > 2000 \quad (13)$$

$$\text{avec } Re = \frac{\delta * D * v}{\mu} \quad (14)$$

HMT	Hauteur manométrique totale	M
$\sum Pdc$	Somme des pertes de charge	
λ	Coefficient de friction	
v	Vitesse d'écoulement	m/s
δ	Masse volumique	Kg/ m ³
D	Diamètre de la conduite	M
g	Accélération de la pesanteur	m/s ²
L	Longueur	M
K	Coefficient de pertes de charges singulière	
Re	Nombre de Reynolds	
ε	Rugosité relative	
μ	Viscosité Dynamique	Kg/(m.s)

5 Electricité et automatisme

Cette partie consiste à relever les caractéristiques électriques de tous les consommateurs électriques du système et de choisir les instruments de mesures et de contrôles nécessaires au bon fonctionnement du processus.

Cette partie a également consistée à la rédaction de l'analyse fonctionnel du processus et de déterminer les différents et types d'entrées et sorties nécessaire dans le but de faire le choix des modules des entrées et sorties et de l'automate.

Le travail expliqué ci-dessus a pour but de permettre la rédaction d'un cahier de charges pour des demandes de prix de prestations sur l'électricité et l'automatisme de l'installation.

V.2. Chiffrage

Le chiffrage consiste à effectuer une estimation du budget nécessaire pour la réalisation du projet. Il intègre en plus du volet économique un volet technique et relationnel.

En effet pour la réalisation du chiffrage d'un projet il y'a lieu de :

- De faire des analyses de technologies d'équipements dans le but de choisir ceux qui seront adéquats.
- De faire des consultations de prix pour la fourniture d'équipements
- De faire des consultations pour les sous-traitances
- De discuter avec les personnes expérimentées

VI. Résultats

VI.1. Etude

1 Détermination du volume de la cuve d'Hygiénisation et de la puissance de la chaudière

Dans un souci de fonctionnement optimal des équipements du système, nous avons décidé de mettre en place une cuve d'Hygiénisation d'une capacité utile de 10 m³ d'où deux cycles d'Hygiénisation.

Les simulations pour la détermination de la puissance de la chaudière et du temps de cycle nous ont permis de choisir une chaudière gaz de 500kW permettant de réaliser un temps de cycle de d'Hygiénisation d'environ 4h.

2 Choix des circulateurs

La chaudière sera exploitée avec un $\Delta T=20$ d'où une température d'eau de processus entrante dans la chaudière à 70°C et sortante de la Chaudière à 90°C. Ainsi le circulateur devra posséder une HMT minimale de 3,65 m avec une perte de charge linéaire de 2,07m sur une longueur de tuyauteries de 48,32m et permettre la fourniture d'un débit de 22,06 m³/h.

3 Choix des tuyauteries

3.1 Tuyauteries de transfert des déchets

Le Transfert des matières à Hygiéniser sera réalisé dans des canalisations en inox de diamètre DN150.

Un transfert du fluide avec une tuyauterie en DN150 permettra de prévenir des éventuels blocages. En effet il est recommandé dans la littérature de la méthanisation, l'utilisation de tuyauteries de diamètre minimal DN100 pour le transport sous pression des substrats.

3.2 Tuyauterie de chauffage

Les tuyauteries du processus de chauffage seront réalisées avec de l'acier.

Les calculs nous ont permis de retenir un diamètre DN80 pour un débit de 22,08 m³ et une vitesse d'écoulement de 1,15 m/s respectant la vitesse limite de 1,20 m/s.

4 Choix des pompes

Nous avons opté pour la mise en place deux pompes d'un débit de 20m³/h pour le transfert des déchets d'où une pour le transfert la matière de la cuve de réception vers la cuve

d'hygiénisation et l'autre pour le transfert de la cuve d'Hygiénisation vers la cuve de stockage.

Elles doivent avoir respectivement une HMT de 5,08 m avec des pertes de charges linéaires de 164,08 mm sur une longueur d'environ 12 m et une hauteur géométrique de 4,5m et une HMT de 6,34 m avec des pertes de charges linéaires de 130,58 mm sur une longueur d'environ 9,55m et une hauteur géométrique de 5,8 m.

Pour nos calculs nous avons émis une hypothèse de viscosités de matières égale à 300cP.

5 Electricité et automatisme

Les différents annexes 18, 19, 20 et les tableaux récapitulatifs de l'analyse fonctionnelle ci-dessous sont les tableaux de synthèses de l'étude électricité/automatisme menée dans le but d'établir le cahier de charge adéquat pour les demandeur de prix.

L'installation devra être équipée de deux coffrets électriques dont l'un sera installé dans la chaufferie (Armoire Chaufferie) et l'autre dans le local d'Hygiénisation (Armoire Process Hygiénisation).

Tableau 5 : Analyse fonctionnelle

	111	112	113	121	122	123	124
Fonction	Rempissage CUVE RECEPTION Normal	Vidange Carneau	Agitation cuve de RECEPTION	Rempissage Cuve d'HYGIENISATION	Agitation cuve Hygiénisation	Hygiénisation	Vidange Cuve Hygiénisation
Déclencheur	Actionneur marche-arrêt 200 CO 01	112 LSH 01 Activé	132 RAD 01 Niveau Seuil 1 actif	Automatique : Copie précédent Hygiénisation terminée et vidange éfectuée Manuel : Forçage de la fonction par l'opérateur (IHM)	123 PES 01 > Poids CH 2,5 tonnes (Poids réglable IHM)	Automatique : Rempissage CH terminée Manuel : Forçage de la fonction par l'opérateur (IHM)	Automatique : Hygiénisation CH terminée Manuel : Forçage de la fonction par l'opérateur (IHM)
Pré-requis	111 HWG 01 : Fermée 112 RAD 01 Niveau inférieur au seuil 2	141 HWG 02 : Ouverte 141 HWG 03 : Ouverte 141 HWG 04 : Ouverte 112 RAD 01 Niveau inférieur au seuil 2	132 RAD 01 Niveau Seuil 1 actif	111 HWG 01 : Fermée 112 HWG 01 : Fermée 151 HWG 01 : Fermée 131 HWG 01 : Ouverte 131 HWG 02 : Ouverte 123 PES 01 < Poids CH Pleine (CH pas pleine) et Si 112 RAD 01 Niveau supérieur ou égal au Seuil 1	134 LSL 01 activée	123 PES 01 > Poids CH mini à déterminer 151 HWG 01 : Fermée	151 HWG 01 : Ouverte 151 HWG 02 : Ouverte 151 HWG 04 : Ouverte 151 HWG 02 Fermée 171 HWG 02 Fermée
Actions	Ouvrir 111 HWG 01	Ouvrir 112 HWG 01 Fermé 131 HWG 01 Fermé 131 HWG 02 Ouvrir 112 HWG 02 Démarrer broieur 131 BRD 01 10 secondes après le démarrage du broieur, démarrer la pompe à lobes 131 PP 01	Démarrer 121 AGIT 01 (Temps d'agitation 11 et temps entre deux agitations 12 à définir par le client)	Ouvrir 131 HWG 01 Ouvrir 131 HWG 02 Démarrer broieur 131 BRD 01 10 secondes après le démarrage du broieur, démarrer la pompe à lobes 131 PP 01 Demande de marche Chaudière enclenchée	Démarrer agitateur CH 141 AGIT 01	Enregistrer le poids à hygiéniser Maintien demande de marche Chaudière Suivant les conditions ci-dessous : Si Température CH > T Consigne + Y1 Arrêt Chauffage Si Température CH < T Consigne + Y2 Démarrage Chauffage	Ouvrir 151 HWG 01 Ouvrir 171 HWG 01 Démarrer pompe à lobes 151 PP 01
Fonctions arrêtées	Aucune	Rempissage Cuve d'HYGIENISATION	Aucune	Vidange Carneau Vidange Hygiénisation	Aucune	Rempissage Cuve d'HYGIENISATION Vidange Cuve Hygiénisation	Rempissage Cuve d'HYGIENISATION Hygiénisation
Conditions Arrêt	132 RAD 01 Niveau très haut Seuil 3 ou 200 CO 01 Position fermée	132 RAD 01 Niveau à déterminer (Cuve de Reception pleine) 112 LSH 01 désactivé	132 RAD 01 Niveau inférieur au seuil 1	123 PES 01 > Poids cuve Pleine (Cuve pleine) 134 LSH 01 actif 112 RAD 01 Niveau inférieur au Seuil 1	123 PES 01 < Poids CH intérieur à 2 tonnes	Température (133 TT 01 133 TT 02) et Durée Hygiénisation conformes au paramétrages opérateurs sur IHM	123 PES 01 : Poids résiduel inférieur à 21kg et stable pendant 13 secondes 152 RAD 01 Niveau supérieur Seuil 2
Actions après arrêt	Fermé 111 HWG 01	Arrêt Pompe 131 PP 01 Arrêt Broieur 131 BRD 01 Fermé 112 HWG 01 Fermé 112 HWG 02	Arrêt 121 AGIT 01	Arrêt Pompe 131 PP 01 Arrêt Broieur 131 BRD 01 Fermé 131 HWG 02	Arrêt agitateur CH 141 AGIT 01	Arrêt demande de marche Chaudière Enregistrement et Historisation *	Arrêt pompe à lobes 151 PP 01
Remarques	Aucune	Arrêt du broieur 5 secondes après arrêt de la pompe Fermeture des vannes en même temps que l'arrêt de la pompe	11 et 12 paramétrables par l'opérateur sur IHM	Poids Cuve pleine paramétrable par l'opérateur (IHM) Après démarrage de la pompe 131 PP 01 si pas de détection de débit au bout de 10 secondes (131 FT 01) alors arrêt de la pompe et alarme	Aucune	Poids mini paramétrable par l'opérateur (IHM) Température hygiénisation paramétrable par l'opérateur (IHM) Temps d'hygiénisation paramétrable par l'opérateur (IHM) Y1 et Y2 paramétrables par l'opérateur sur IHM Y1 > Y2	Pendant fonctionnement de la pompe 151 PP 01 si pas de détection de débit pendant 10 secondes (151 FT 01) alors arrêt de la pompe et alarme Y1 et Y2 paramétrables par l'opérateur

Tableau 6: Suite Analyse fonctionnelle

13.5	13.1	13.2	14.1	14.2	14.3	15
Nettoyage Cuve Hygiénisation	Agitation cuve Stockage	Incorporation Méthanisation	Voyant Vanne de dépotage	Voyants Réception	Alarme Sonore Réception	Enregistrement et Historisation
Automatique : Vidange CH terminée Manuel : Forçage de la fonction par l'opérateur (H/H)	152 RAD 01 Niveau Seuil 1 actif	Demande process méthanisation via Liaison communication	Permanent	Permanent	Permanent	Les données ci-dessous devront être enregistrées et historisées pour consultation Heure et date début cycle Heure et date fin Température Hygiénisation atteinte Heure et date fin cycle Température moyenne Poids après remplissage Poids après vidange Poids du cycle hygiénisé (calcul) Index énergétique début cycle Index énergétique fin cycle Index énergétique cycle (calcul) Courbe de température Cuve Courbe de puissance instantanée compneur
151 HWG 01 : Ouverte 151 HWG 02 : Ouverte 151 HWG 04 : Ouverte 151 XVG 02 : Fermée 171 XVG 02 : Fermée	152 RAD 01 Niveau Seuil 1 actif	Prérequis Hygiénisation : 151 XVG 01 : Fermée 151 HWG 01 : Ouverte 151 HWG 02 : Ouverte 151 HWG 03 : Ouverte 171 XVG 01 : Fermée Prérequis Méthanisation : Vannes guillemettes automatiques ouvertes	Mise sous tension	Mise sous tension	Mise sous tension	
Pendant 12 secondes : Ouvrir 101 XY 01 141 AGIT 01 Puis pendant 13 secondes : Ouvrir 151 XVG 01 Ouvrir 171 XVG 01 Démarrer pompe à lobes 151 PP 01	Démarrer 151 AGIT 01 (Temps d'agitation 16 et temps entre deux agitations 17 à définir)	Ouvrir 151 XVG 02 Ouvrir 171 XVG 02 Démarrer pompe à lobes 151 PP 01	Si 111 XVG 01 ouverte 112 YY 02 allumé Si 111 XVG 01 fermée 112 YY 01 allumé	Seuil 3 : Activer 111 YY 03 Seuil 2 : Activer 111 YY 02 Seuil 1 : Activer 111 YY 01 En fonction de 132 RAD 01	Seuil 3 : Activer 111 AS 01 Seuil 2 : Activer par intermittence 111 AS 01 (15/15s) En fonction de 132 RAD 01	
Vidange Cuve Hygiénisation	Aucune	Vidange Cuve Hygiénisation	Aucune	Aucune	Aucune	
Automatique v12 et 13	152 RAD 01 Niveau inférieur au seuil 1	152 RAD 01 (Cuve de Réception Vide) Perse demande d'incorporation méthanisation	Jamais	132 RAD 01 (Cuve de Réception Pleine) 200 CDO 01 (Commutateur pour vanne de dépotage)	200 BP 01 Appuyé (Bouton Poussoir) La fonction ne s'arrête pas une impulsion permet d'arrêter l'alarme et ne l'empêche pas de se réenclencher	
Fermer 151 XVG 01 Fermer 171 XVG 01 Arrêter pompe à lobes 151 PP 01	Arrêt 151 AGIT 01	Arrêt pompe à lobes 151 PP 01 Fermer 151 XVG 02 Fermer 171 XVG 02	Aucune	Désactiver 111 YY 01 Désactiver 111 YY 02 Désactiver 111 YY 03 Désactiver 111 AS 01	Aucune	
Pendant fonctionnement de la pompe 151 PP 01 si pas de détection de débit pendant 10 secondes (151 FT 01) alors arrêt de la pompe et alarme 14 et 15 paramétrables par l'opérateur	16 et 17 paramétrables par l'opérateur sur l'IHM	Pendant fonctionnement de la pompe 151 PP 01 si pas de détection de débit pendant 10 secondes (151 FT 01) alors arrêt de la pompe et alarme		Les seuils seront à définir via le signal analogique de la sonde à la mise en service Chaque passage de seuil doit être affiché sur l'IHM	Niveau Haut = Seuil 2 = Son par intermittence Niveau très haut = Seuil 3 = Son continu	

VI.2. Chiffrage

Comme stipuler dans la partie méthodologie, le chiffrage a pour but d'estimer la coute de la mise en place du livrable, que représente le tableau ci-dessous. Ces prix n'inclus pas la taxe sur la valeur ajoutée.

Tableau 7: Cout estimatif de l'installation

	Désignation	Cout (€)
Local Hygiénisation	Cuve de réception	39167,18
	Cuve d'Hygiénisation	74750,76
	Cuve de stockage	42027,6
	Réseaux de transfert du déchet	72008,48
	Réseau de Chauffage	13489,41
	Réseau pneumatique	1752
	Electricité	30600
Chaufferie	Container	19560
	Chaudière	15462,64
	Réseau gaz naturel	8274,11
	Réseau de chauffage	14796,61
	Fumisterie	4872
	Electricité	6660
	Sécurité et entretien chaufferie	468,32
Gestion de chantier		1494
Total		345383,11

VII. Synthèse du travail

L'étude que nous avons menée dans le présent document, a permis principalement de participer à la détermination des solutions techniques à mettre en place pour la construction et la mise en place de l'unité d'hygiénisation du site de méthavéore.

En effet grâce à des recherches documentaires, des calculs de dimensionnement, et des consultations techniques et économiques auprès différents fournisseurs nous avons déterminé entre autres :

- Le volume de la cuve d'hygiénisation nécessaire.
- La puissance du générateur thermique.
- Le temps du cycle hygiénisation et le nombre de cycle d'hygiénisation réalisable journalièrement.
- Les dimensions des tuyauteries pour le transport des fluides.
- Les pertes de charges et débits des circulateurs de chauffage.
- Les pertes de charges et débits des pompes de transfert de matières
- Des équipements à installer et leurs couts d'achats

VIII. Conclusion

Le site de méthavéore, situé dans la Dôme en Région Rhône-Alpes, sera muni d'une unité d'hygiénisation thermique avec une cuve d'hygiénisation de 10 m³ et un générateur thermique de 500 kW (chaudière gaz).

L'installation fonctionnant en discontinu ou batch sera capable d'effectuer un cycle d'hygiénisation d'environ 4h comprenant le temps de remplissage de la cuve, le temps d'hygiénisation (temps d'échange thermique) et le temps de vidange de la cuve. Ainsi cette unité de méthanisation sera capable d'hygiéniser journalièrement 20 m³ de matières journalièrement entre 8h et 17h, d'où elle permettra le traitement et la valorisation de 20 m³ de déchets d'animaux dans la méthanisation.

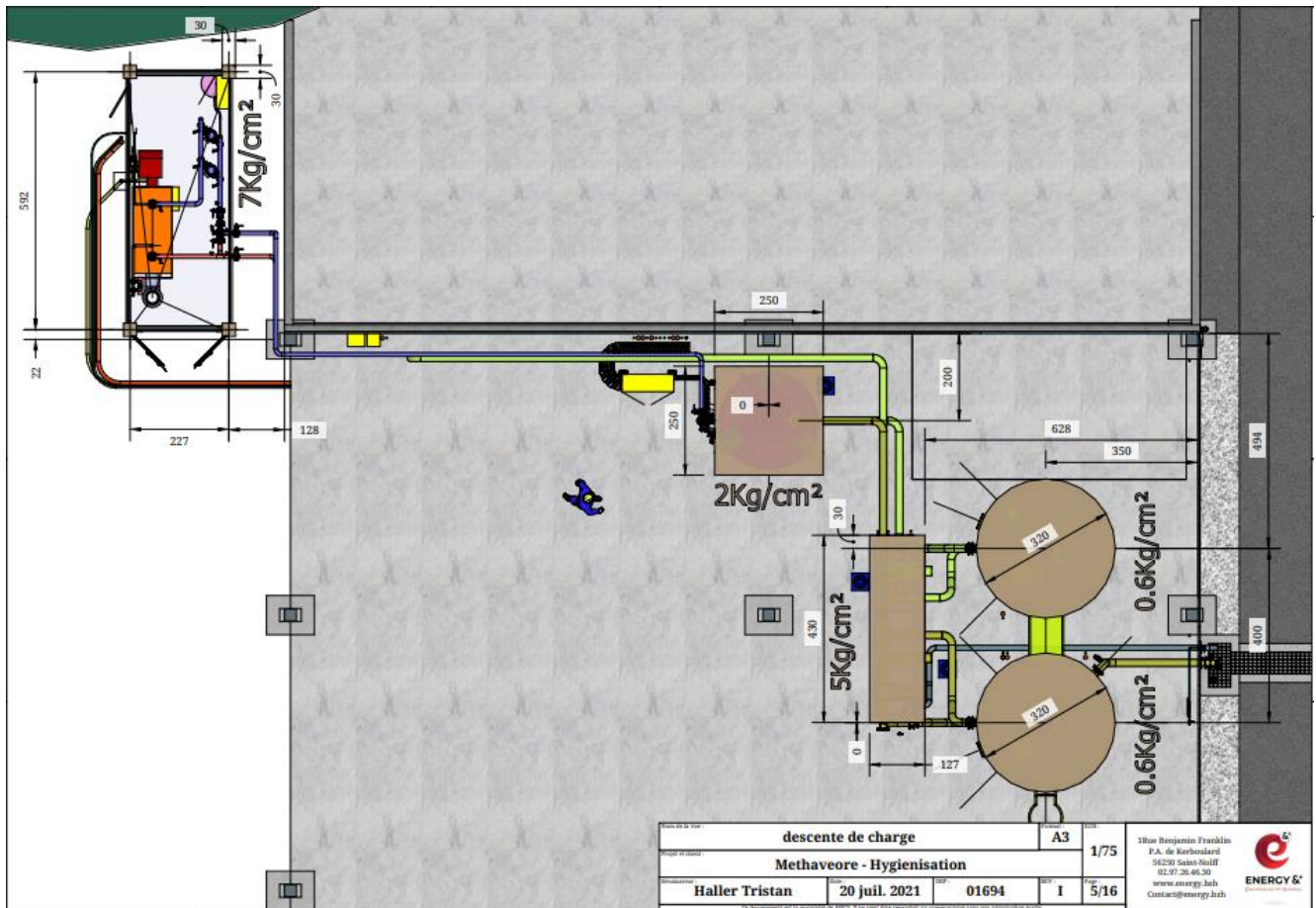
La mise en place de cette unité d'hygiénisation est estimée à 414 460 € TTC.

Bibliographie

- Planning and Instalng Bioenergy systems:A Guide for Installers,Architects and Engineers.* (2005). James & James (Science Publishers) Ltd.
- ADEME. (2010). *Comment se transforme la matière organique en energie.*
- ADEME. (2018, mai). GUIDE D'ACCESSION A L'AGRÉMENT SANITAIRE POUR LE TRAITEMENT DE SOUS-PRODUITS ANIMAUX CARNÉS.
- Autralian Meat Processor Corporation. (2017). *Biogas Capture, Storage and Combustion Guidelines for Meat Processing Plants version 2.*
- Autralian Pork Limited. (2015). *Code of practice for On-farm Biogas Production and use at piggeries.*
- Blin, J. (2014). *Cours de Biomasse Energie, Master en GEE/ER,fondation 2IE.* Ouafadougou.
- Club biogaz. (2011). Guide de bonnes pratiques pour les projets de méthanisation.
- France geo. (2021). *Présentation de Étoile-sur-Rhône.* Récupéré sur Villes & villages de France: <http://francegeo.free.fr/ville.php?nom=etoile-sur-rhone>
- Gaz d'aujourd'hui.* (2021, 03 05). Récupéré sur <https://www.gazdaujourd'hui.fr/methaveore-premiere-unite-a-injecter-du-gaz-vert-dans-la-drome/>
- Goulbaut, A., & Pesenti, A. (s.d.). *En quoi le biogaz issu de la methanisation est-il une alternative durable aux énergies fossiles.* Récupéré sur <https://methanisation386492061.wordpress.com/>
- Grenelle Environnement. (2012). *Circuits Hydrauliques, composants et règles de conceptions.*
- Le méthane: Polluant ou Ecologique.* (s.d.). Récupéré sur utilisation-methane.fr/gd/M-e2-methanisation.htm
- Le planificateur ACONTRESENS.* (2011, Aout). Récupéré sur https://planificateur.a-contresens.net/afrique/burkina_faso/centre/koubri/2358956.html
- Présentation de Étoile-sur-Rhône.* (2021). Récupéré sur Villes à vivre: <https://www.villesavivre.fr/etoile-sur-rhone-26124/>
- RÈGLEMENT (UE) N° 142/2011 DE LA COMMISSION . (2011, février 25). *RÈGLEMENT (UE) N° 142/2011 DE LA COMMISSION .*
- Sessieq, P. (2020). *Cours de Traitement biologique des déchets.*
- ThermExcel. (2021). *ThermExcel.* Récupéré sur https://www.thermexcel.com/french/ressourc/pdc_singu.htm

IX. Liste des Annexes

Annexe 1 : Vue de dessus de l'installation d'Hygiénisation.....	35
Annexe 2 : Définitions (ADEME, 2018)	36
Annexe 3 : Classement des œufs et ovoproduits (ADEME, 2018).....	37
Annexe 4 : Classement du lait, colostrum, produits à base de lait et de colostrum (ADEME, 2018).....	37
Annexe 5 : Classement des viandes poissons et produits à base de viandes et poissons (ADEME, 2018).....	38
Annexe 6 : Classement de quelques autres SPAN (ADEME, 2018)	38
Annexe 7 : Dangers biologiques représentant un risque d'infection pour l'homme par contact direct de SPAN (ADEME, 2018).....	39
Annexe 8 : Dangers biologiques représentant un risque d'infection pour l'animal par contact direct de SPAN (ADEME, 2018).....	39
Annexe 9 : Exigences de la valorisation des SPAN dans la méthanisation (cas 1) (ADEME, 2018).....	40
Annexe 10 Exigences de la valorisation des SPAN dans la méthanisation (cas 2) (ADEME, 2018).....	40
Annexe 11 Exigences de la valorisation des SPAN dans la méthanisation (cas 3) (ADEME, 2018).....	41
Annexe 12 Exigences de la valorisation des SPAN dans la méthanisation (cas 4) (ADEME, 2018).....	42
Annexe 13 : Valeurs limites des vitesses dans les tuyauteries de chauffage (Grenelle Environnement, 2012).....	43
Annexe 14 : Valeurs de x pour calcul des coefficients de pertes de Charges (ThermExcel, 2021).....	44
Annexe 15. Coefficients ft en fonction des diamètres en cm (ThermExcel, 2021)	45
Annexe 16 : Coefficients de pertes de charges singulières (ThermExcel, 2021).....	46
Annexe 17 : Coefficients de pertes de charges singulières (ThermExcel, 2021).....	46
Annexe 18 : liste des entrées/sorties de l'armoire chaufferie.....	47
Annexe 19 : liste des entrées sorties de l'armoire process hygiénisation 1/2	47
Annexe 20 : liste des entrées sorties de l'armoire process hygiénisation 2/2	47



Annexe 1 : Vue de dessus de l'installation d'Hygiénisation

Liées aux sous-produits animaux	Liées à la méthode HACCP
SPAn (Sous-produits animaux) : les cadavres entiers ou parties d'animaux, les produits d'origine animale ou d'autres produits obtenus à partir d'animaux et qui ne sont pas destinés à la consommation humaine.	HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point ou Analyse des dangers – Points critiques pour leur maîtrise) : système qui identifie, évalue et maîtrise les dangers significatifs au regard de la sécurité de l'homme, des animaux et de l'environnement.
Déchets de cuisine et de table ¹ (DCT) : tous les déchets d'aliments y compris les huiles de cuisson usagées provenant de la restauration et des cuisines, y compris les cuisines centrales et les cuisines des ménages.	Danger : possibilité de causer un dommage ; le danger peut être de nature biologique, chimique ou physique.
Denrées alimentaires : toute substance ou produit, transformé, partiellement transformé ou non transformé, destiné à être ingéré ou raisonnablement susceptible d'être ingéré par l'être humain.	Risque : conséquence de la présence d'un danger, analysé et mesuré en fréquence et en gravité.
Denrées alimentaires crues : denrées alimentaires qui n'ont pas subi de transformation (denrées alimentaires non transformées).	CCP (Point Critique pour la maîtrise) : étape du procédé à laquelle une ou plusieurs mesures de maîtrise sont essentielles pour qu'un danger soit prévenu, éliminé ou ramené à un niveau acceptable.
Denrées alimentaires transformées : denrées alimentaires ayant subi toute action entraînant une modification importante du produit initial, y compris par chauffage, fumaison, salaison, maturation, dessiccation, marinage, extraction, extrusion, ou une combinaison de ces procédés.	PRPo (Programme Prérequis Opérationnel) : mesure de maîtrise essentielle pour maîtriser la probabilité d'apparition d'un danger. Il est mis en place pour répondre à une étape critique de l'analyse des dangers. Contrairement aux CCP, il est contrôlé et surveillé mais pas forcément en instantané et en continu.

Annexe 2 : Définitions (ADEME, 2018)

Dénomination du SPAN	Producteur	Catégorie Sous-catégorie	Remarques
Œufs clairs présentant des pathogènes ou des résidus médicamenteux supérieurs aux Limites Maximales de Résidus (LMR)	Ecloseries, élevage de ponte	2 9 h)	
Œufs, coquilles, cuticules, jus provenant d'animaux qui ont présenté des signes de maladies transmissibles à l'Homme ou à l'animal		2 9 h)	
Œufs en incubation (embryonnés)	Ecloseries	2 9 f iii)	
Œufs et ovoproduits présentant un risque sanitaire (avarie, putréfaction etc.)	GMS, IAA, artisans, écloseries, centre de conditionnement	2 9 h)	
Œufs et ovoproduits contenant des corps étrangers (verre, métal, etc.)	Ecloseries, élevage de ponte, centre de conditionnement	2 9 d)	
Œufs clairs, coquilles, cuticules, jus provenant d'animaux sains	Ecloseries, casseries	3 10 k ii)	
Œufs souillés, fêlés, cassés provenant d'animaux sains	Centre de conditionnement, élevage de ponte	3 10 k ii)	
Œufs de consommation, jaune et blanc d'œuf	GMS, IAA, artisans	3 10 f)	Anciennes denrées alimentaires crues
Produits contenant des œufs : biscuits, pâtes alimentaires aux œufs, etc.			Anciennes denrées alimentaires <u>transformées</u>

Annexe 3 : Classement des œufs et ovoproduits (ADEME, 2018)

Dénomination du SPAN	Producteur	Catégorie Sous-catégorie	Remarques
Contenant des antibiotiques au dessus des Limites Maximales de Résidus (LMR)	Exploitation agricole, Industrie et artisans laitiers	2 9 c)	
Contenant des agents pathogènes ou provenant d'animaux ayant présenté des signes cliniques de maladies transmissibles à l'Homme et aux animaux		2 9 h)	
Lait, colostrum, produits à base de lait ou de colostrum retirés de la vente pour motif sanitaire (critères de sécurité produit non respectés, produit avarié, putréfaction, etc.)	GMS, laiterie, Industrie et artisans laitiers, exploitation agricole, IAA	2 9 h)	
Contenant des corps étrangers (verre, métal, etc.)	Exploitation agricole, Industrie et artisans laitiers	2 9 d)	
Lait cru		3 10 h)	
Boues d'écumeuse et de centrifugeuse, babeurre, fines, rétentat, perméat, rognures	Industries et artisans laitiers	3 10 e)	
Issues de fabrication de produits laitiers (glaces, yaourts, beurre, fromage...)		3 10 e)	
Lait pasteurisé	Industrie et artisans laitiers, GMS	3 10 f)	Anciennes denrées alimentaires <u>transformées</u>
Lactosérum déshydraté ou liquide, poudre de lait		3 10 f)	
Lait UHT		3 10 f)	
Produits laitiers : yaourts, glaces, fromages, desserts lactés, beurre, crème, etc.	GMS, IAA, artisans	3 10 f)	
Produits contenant du lait : pains au lait, brioche, crêpes, viennoiseries, pâtisseries, biscuits, etc.		3 10 f)	

Annexe 4 : Classement du lait, colostrum, produits à base de lait et de colostrum (ADEME, 2018)

Dénomination du SPAN	Producteur	Catégorie	Sous-catégorie	Remarques
Poissons présentant des lésions parasitaires	Halle de marée, ateliers de marayage	2	9 h)	
Viandes, poissons, produits à base de viande ou poisson retirés de la vente pour motif sanitaire (produit avarié, putréfaction, critères de sécurité non respectés, etc.)	GMS, IAA, artisans, abattoir, halle de marée	2	9 h)	
Viandes, poissons, contenant des corps étrangers (verre, métal, etc.)	Salle de découpe, GMS, IAA, artisans, halle de marée, ateliers de marayage	2	9 d)	
Poissons mis à mort lors de la pêche Arêtes, parures, viscères, peau, tête	Halle de marée, ateliers de marayage, filetage, poissonniers détaillants, IAA	3	10 i)	
Os, suifs, restes de viandes lors de la préparation, produits sortis d'abattoir vendus en IAA	IAA, artisans	3	10 e)	
Découpe de viande ou d'abats, viande fraîche initialement destinée à la transformation ou à la vente en l'état	Abattoirs, salle de découpe, IAA	3	10 a)	
Barquettes de viandes fraîches, steak haché, parage de viande et filetage de poisson effectués à la vente, entames de produits de charcuterie retirées de la vente pour aspect sec, fletri, etc.	GMS, IAA, artisans	3	10 f)	Anciennes denrées alimentaires <u>cruës</u>
Produits à base de viande ou poisson : pâtés, saumon fumé, boîtes de conserve de plats cuisinés, restes de plats cuisinés, etc.		3	10 f)	Anciennes denrées alimentaires <u>transformées</u>

Annexe 5 : Classement des viandes poissons et produits à base de viandes et poissons (ADEME, 2018)

Dénomination du SPAN	Producteur	Catégorie	Sous-catégorie	Remarques
Uisier, fumier, contenu de l'appareil digestif	Exploitation agricole, abattoir	2	9a)	
Déchets de cuisine et de table provenant de France (déchets d'aliments y compris les huiles de cuisson usagées)	Restauration, cuisines, ménages	3	10 p)	
Matières collectées lors du traitement des eaux résiduelles provenant des usines de transformation de catégorie 2 (ex : stérilisation sous pression)		2	9 b)	
Matières collectées lors du traitement des eaux résiduelles provenant d'abattoirs de porcs, équidés, ratites, lapins, lièvres, rongeurs, volailles		2	9 b)	

Annexe 6 : Classement de quelques autres SPAN (ADEME, 2018)

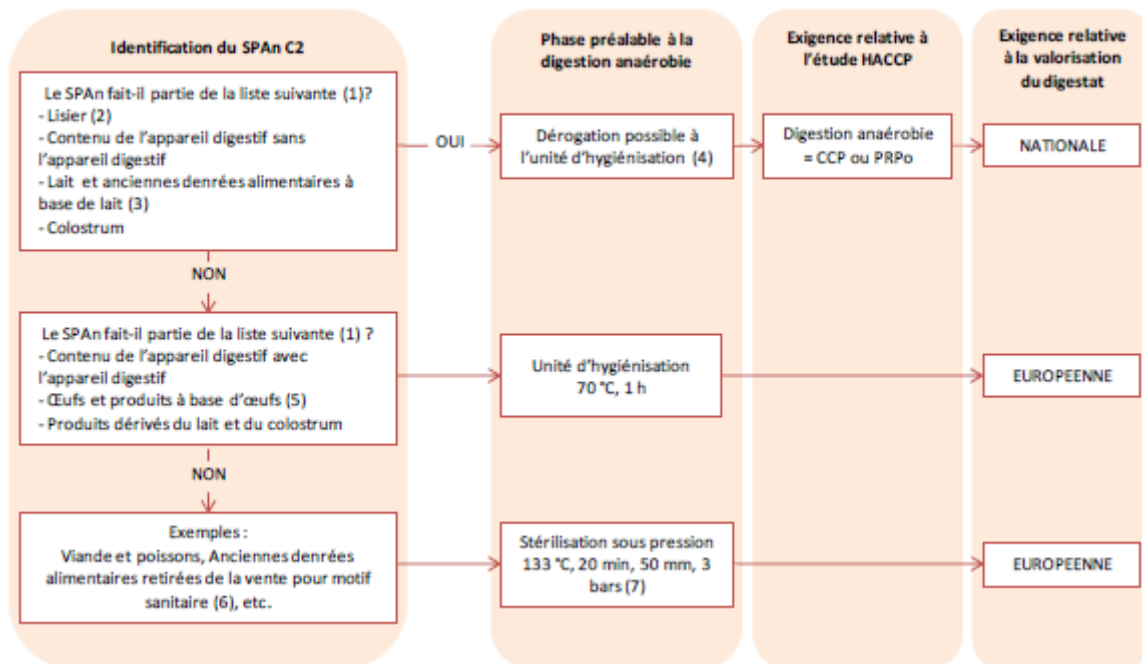
Catégories de SPAn	Risque			
	Faible	Négligeable à faible	Négligeable	Nul à négligeable
Graisses, os	<i>Coxiella burnetii</i> (b) ; <i>Listeria monocytogenes</i> (b)		<i>Campylobacter jejuni</i> (b) ; <i>Clostridium perfringens</i> (b) ; <i>Salmonella enterica</i> (b)	
Lait	<i>Coxiella burnetii</i> (b) ; <i>Listeria monocytogenes</i> (b)		<i>Campylobacter jejuni</i> (b) ; <i>Salmonella enterica</i> (b)	
Anciennes denrées d'origine animale ou contenant des produits d'origine animale	<i>Listeria monocytogenes</i> (b)		<i>Campylobacter jejuni</i> (b) ; <i>Clostridium perfringens</i> (b) ; <i>Salmonella enterica</i> (b) ; <i>Virus de l'hépatite A</i> (v)	<i>Norovirus</i> (+ <i>Rotavirus</i>) (v)

Annexe 7 : Dangers biologiques représentant un risque d'infection pour l'homme par contact direct de SPAn (ADEME, 2018)

Catégories de SPAn	Risque			
	Faible	Négligeable à faible	Négligeable	Nul à négligeable
Graisses, os	<i>Pestivirus</i> (HCV) (<i>Flaviridae</i>) (v) ; <i>Salmonella enterica</i> (b) ;	<i>Coxiella burnetii</i> (b) ; <i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i> (b) ;	<i>Yersinia pseudotuberculosis</i> (b)	
Lait	<i>Mycobacterium avium subsp. Paratuberculosis</i> (b) ;	<i>Salmonella enterica</i> (b) ; <i>Coxiella burnetii</i> (b)		
Anciennes denrées d'origine animale ou contenant des produits d'origine animale	<i>Pestivirus</i> (HCV) (<i>Flaviridae</i>) (v) ; <i>Salmonella enterica</i> (b)			

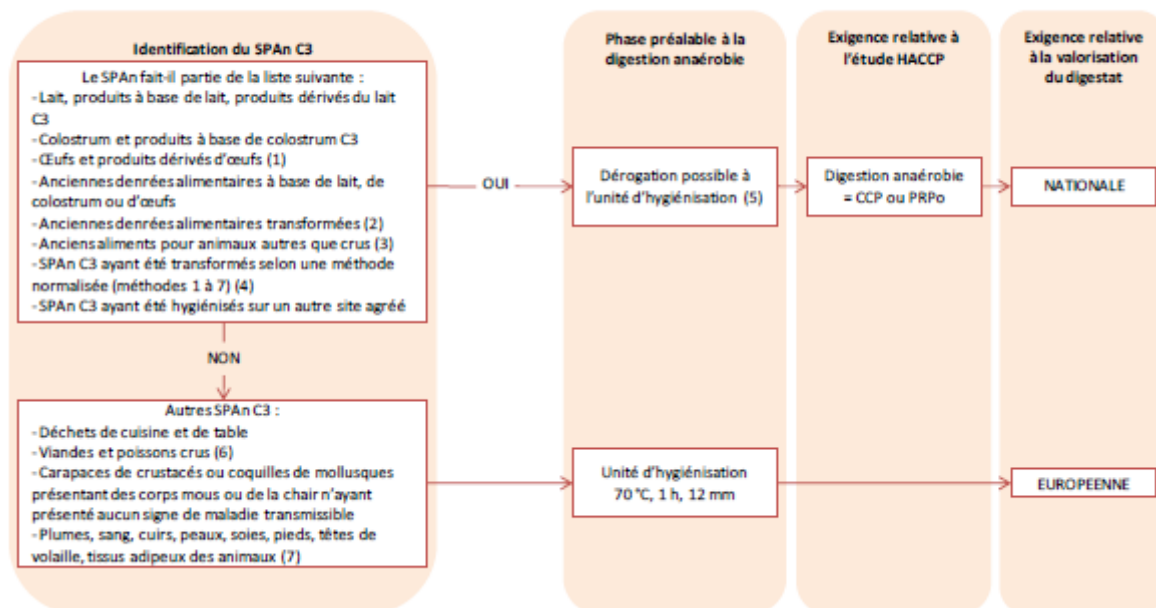
Annexe 8 : Dangers biologiques représentant un risque d'infection pour l'animal par contact direct de SPAn (ADEME, 2018)

Cas n°1 : Un seul type de SPAn C2 est traité sur un site de méthanisation



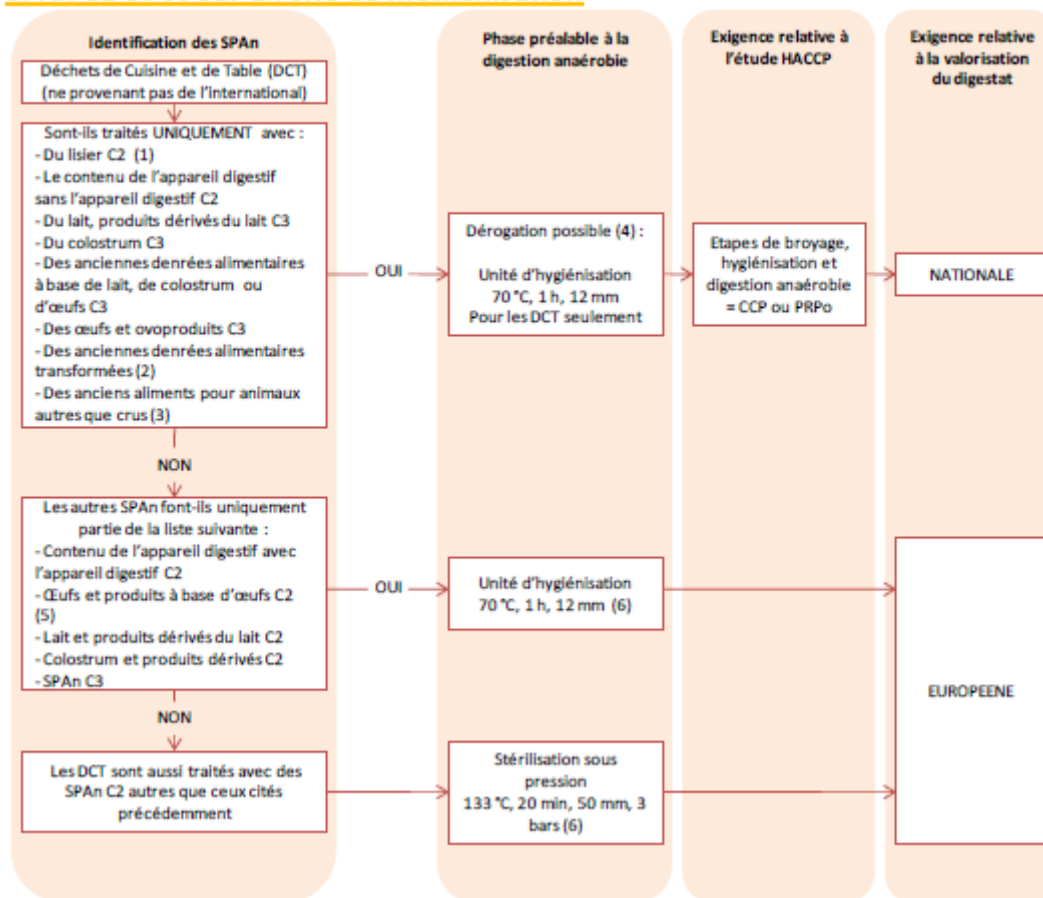
Annexe 9 : Exigences de la valorisation des SPAn dans la méthanisation (cas 1) (ADEME, 2018)

Cas n°2 : Un seul type de SPAn C3 est traité sur un site de méthanisation



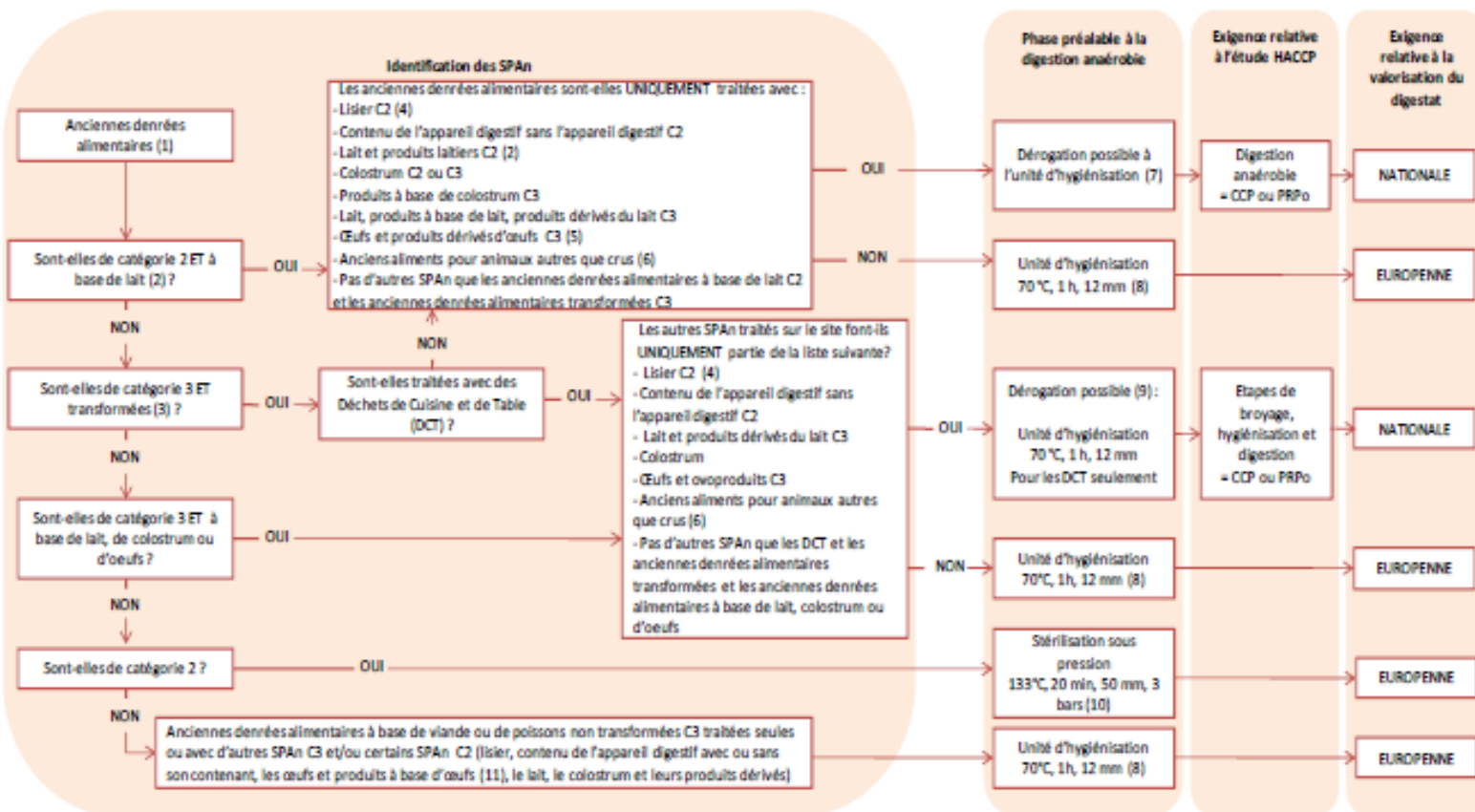
Annexe 10 Exigences de la valorisation des SPAn dans la méthanisation (cas 2) (ADEME, 2018)

Cas n°3 : Traitement des déchets de cuisine et de table (DCT) avec d'autres SPAn C2 et C3 sur un site de méthanisation



Annexe 11 Exigences de la valorisation des SPAn dans la méthanisation (cas 3) (ADEME, 2018)

Cas n°4 : Traitement des anciennes denrées alimentaires ainsi que d'autres SPAn C2 et C3 sur un site de méthanisation



Annexe 12 Exigences de la valorisation des SPAn dans la méthanisation (cas 4) (ADEME, 2018)

		Vitesses limites (m/s)	
Calibre usuel	Diamètre extérieur (mm)	Canalisation en sous-sol	Canalisation en étage
Tube acier			
12	17,2	0,45	0,45
15	21,3	0,55	0,55
20	26,9	0,70	0,70
25	33,7	0,80	0,80
32	42,4	0,90	0,90
40	48,3	0,95	0,95
50	60,3	1,10	1,00
65	70,0	1,30	1,10
65	76,1	1,30	1,10
80	88,9	1,40	1,20
90	101,6	1,50	1,20
100	108,0	1,50	1,20
100	114,3	1,50	1,20
125	133,0	1,50	1,20
125	139,7	1,50	1,20
150	159,0	1,50	1,20
Tube cuivre			
10/12	12	-	0,45
12/14	14	-	0,50
14/16	16	-	0,55
16/18	18	-	0,60
18/20	20	-	0,65
20/22	22	-	0,70

Annexe 13 : Valeurs limites des vitesses dans les tuyauteries de chauffage (Grenelle Environnement, 2012)

Désignation	K (4 ft)
Isolément (Totalement ouvert)	
- Robinet vanne	8
- Robinet à soupape	340
- Robinet à soupape, angle (45 degré type Y)	55
- Robinet à soupape, angle (90 degré)	150
- Vanne papillon (2" to 8")	45
- Vanne papillon (10" to 14")	35
- Vanne papillon (16" to 48")	25
- Robinet boisseau sphérique - orifice non réduit	3
- Robinet boisseau sphérique - orifice réduit : $d1/d2 = 0.8$	7
- Robinet boisseau sphérique - orifice réduit : $d1/d2 = 0.7$	12
- Robinet boisseau sphérique - orifice réduit : $d1/d2 = 0.6$	23
Clapet de non retour (Totalement ouvert)	
- Clapet de non retour à soupape	600
- Clapet de non retour à battant	50
- Clapet de non retour à disque levable (2" à 8")	40
- Clapet de non retour à disque levable (10" à 14")	30
- Clapet de non retour à disque levable (16" à 18")	20
- Clapet - crépine avec filtre	420
Raccords	
- Tê sur la déviation	60
- Tê en passage direct	20
- Coude standard 90°	30
- Coude standard 45°	16
- Coude long rayon 90°	16
- Coude à angle droit	50
- Coude d'équerre (à brides ou soudé) $r/d = 1$	20
- Coude d'équerre (à brides ou soudé) $r/d = 1.5$	14
- Coude d'équerre (à brides ou soudé) $r/d = 2$	12
- Coude d'équerre (à brides ou soudé) $r/d = 3$	12
- Coude d'équerre (à brides ou soudé) $r/d = 4$	14
- Coude d'équerre (à brides ou soudé) $r/d = 6$	17
- Coude d'équerre (à brides ou soudé) $r/d = 8$	24
- Coude d'équerre (à brides ou soudé) $r/d = 10$	30
- Coude d'équerre (à brides ou soudé) $r/d = 12$	34
- Coude d'équerre (à brides ou soudé) $r/d = 14$	38
- Coude d'équerre (à brides ou soudé) $r/d = 20$	50
- Mitre coudée : $\alpha = 30^\circ$	8
- Mitre coudée : $\alpha = 45^\circ$	15
- Mitre coudée : $\alpha = 60^\circ$	25
- Mitre coudée : $\alpha = 90^\circ$	60
- Coude à 180° (Rayon court)	50

Annexe 14 : Valeurs de x pour calcul des coefficients de pertes de Charges (ThermExcel, 2021)

Coefficient f_T		
Diamètre nominal en	f_T	$4.f_T$
0.5	0.00675	0.027
0.75	0.00625	0.025
1	0.00575	0.023
1.25	0.055	0.022
1.5	0.00525	0.021
2	0.00475	0.019
2.5	0.0045	0.018
3	0.0045	0.018
4	0.00425	0.017
5	0.0040	0.016
6	0.00375	0.015
8	0.0035	0.014
10	0.0035	0.014
12	0.00325	0.013
14	0.00325	0.013
16	0.00325	0.013
18	0.0030	0.012
20	0.0030	0.012
24	0.0030	0.012

Annexe 15. Coefficients f_T en fonction des diamètres en cm (ThermExcel, 2021)

Changement de section	K
- Réduction concentrique - élargissement $d1/d2 = 0.90$	0.026
- Réduction concentrique - élargissement $d1/d2 = 0.80$	0.13
- Réduction concentrique - élargissement $d1/d2 = 0.75$	0.16
- Réduction concentrique - élargissement $d1/d2 = 0.67$	0.28
- Réduction concentrique - élargissement $d1/d2 = 0.50$	0.5
- Réduction concentrique - rétrécissement $d1/d2 = 0.90$	0.008
- Réduction concentrique - rétrécissement $d1/d2 = 0.80$	0.041
- Réduction concentrique - rétrécissement $d1/d2 = 0.75$	0.049
- Réduction concentrique - rétrécissement $d1/d2 = 0.67$	0.085
- Réduction concentrique - rétrécissement $d1/d2 = 0.50$	0.16
Entrée et sortie conduite	
- Entrée conduite de niveau - $r/d = 0.00$ (angle vif)	0.5
- Entrée conduite de niveau - $r/d = 0.02$	0.28
- Entrée conduite de niveau - $r/d = 0.04$	0.24
- Entrée conduite de niveau - $r/d = 0.06$	0.15
- Entrée conduite de niveau - $r/d = 0.10$	0.09
- Entrée conduite de niveau - $r/d > 0.15$ (bien arrondie)	0.04
- Entrée conduite saillante	0.78
- Sortie canalisation	1

Annexe 16 : Coefficients de pertes de charges singulières (ThermExcel, 2021)

Equipements divers	K
Comptage (Vous devez consulter normalement le fabricant)	
- Compteur à disque (K : 3,4 à 10)	10
- Compteur rotatif	10
- Compteur à piston	15
- Compteur à turbine (K : 5 à 7.5)	7.5
Branchement radiateurs y/c robinetterie	
- Piquage sur réseaux aller et retour, radiateur, robinetterie	15
Ensemble chaudière y/c robinetterie	
- entrée et sortie chaudière y/c changements brusques de sections, entrée et sortie, vanne, tuyauterie de dérivation, piquage, du vase d'expansion (8 à 12)	12
Tronçon entre 2 piquages	
- sans variation de section	1.5
- avec variation de section	3.5

Annexe 17 : Coefficients de pertes de charges singulières (ThermExcel, 2021)

			METHAVEORE					
REV C	DEP 0168	Equipement	TAG	Armoire Chauffage	Echelle Min	Echelle Max	Unité	Type E/S
		Chaudière	ND	Autorisation Marche Chaudière (Relais activé par un commutateur ou une entrée externe "Demande Marche Chauffage")				DI
		Chaudière	ND	Autorisation Marche Chaudière (Câblage depuis relais vers chaudière)				DO
		Chaudière	ND	Défaut Chaudière (Câblage depuis sortie défauts chaudière)				DI
		Chaudière	ND	Défaut Chaudière (Relais 230 V : prévoir voyant façade et report défaut externe)				DO
		Chaudière	ND	Demande Marche pompe Chaudière (Câblage depuis sortie chaudière à relayer pour démarrage pompe chaudière)				DI
		Pressostat Manque d'eau	ND	Défaut Manque d'eau				DI
		Circulateur Chauffage	189 PP 01	Marche circulateur : Depuis contacteur implanté dans la présente armoire(auto depuis relais chaudière/ manu depuis commutateur				DI
		Circulateur Chauffage	189 PP 01	Défaut circulateur chauffage (Disjoncteur)				DO
		Circulateur Chauffage	189 PP 02	Marche circulateur : Depuis contacteur implanté dans la présente armoire(auto depuis relais chaudière/ manu depuis commutateur				DI
		Circulateur Chauffage	189 PP 02	Défaut circulateur chauffage (Disjoncteur)				DO
		Défaut Chaudière	ND	Report défaut Chaudière				DO
		Défaut Général	ND	Report défaut Général				DO
		Demande Marche Chauffage	ND	Depuis sortie automate process : demande chauffage autorisant la marche chauffage				DI

Annexe 18 : liste des entrées/sorties de l'armoire chauffage

			METHAVEORE					
REV. C	DEVIDA	Equipement	TAG	Armoire Process Hygiénisation	Echelle Min	Echelle Max	Unité	Type E/S
		Pompe Borger PL200 (Remplissage)	131 PP 01	Marche Pompe à lobes N°1 : Depuis contacteur implanté dans la présente armoire				DO
		Pompe Borger PL200 (Remplissage)	131 PP 01	Défaut pompes à lobes N°1 (Disjonction)				DI
		Pompe Borger PL200 (Remplissage)	131 PP 01	Défaut pompes à lobes N°1 (Sécurité thermique)				DI
		Pompe Borger PL200 (Vidange)	151 PP 01	Marche Pompe à lobes N°2 : Depuis contacteur implanté dans la présente armoire				DO
		Pompe Borger PL200 (Vidange)	151 PP 01	Défaut pompes à lobes N°2 (Disjonction)				DI
		Pompe Borger PL200 (Vidange)	151 PP 01	Défaut pompes à lobes N°2 (Sécurité thermique)				DI
		Broyeur Borger P300	131 BRO 01	Marche Broyeur : Depuis contacteur implanté dans la présente armoire				DO
		Broyeur Borger P300	131 BRO 01	Défaut broyeur (Disjonction)				DI
		Broyeur Borger P300	131 BRO 01	Défaut broyeur (Sécurité thermique)				DI
		Sondes radar Cuve Réception	132 RAD 01	Niveau réel de la cuve Réception (alimentation prévue dans la liste des consommateurs électriques : 12 ... 35 V DC)				AI
		Sondes radar Cuve Stockage	151 RAD 01	Niveau réel de la cuve Stockage (alimentation prévue dans la liste des consommateurs électriques : 12 ... 35 V DC)				AI
		Capteur de niveau haut Cuve Hygiénisation	134 LSH 01	Capteur niveau haut Hygiénisation (alimentation prévue dans la liste des consommateurs électriques : 12 ... 35 V DC)				DI
		Capteur de niveau bas Cuve Hygiénisation	134 LSL 01	Capteur niveau bas Hygiénisation (alimentation prévue dans la liste des consommateurs électriques : 12 ... 35 V DC)				DI
		Capteur de niveau n°1 Caniveau	112 LSH 01	Capteur niveau haut Caniveau (alimentation prévue dans la liste des consommateurs électriques : 12 ... 35 V DC)				DI
		Capteur de niveau n°2 Caniveau	112 LSL 01	Capteur niveau bas Caniveau (alimentation prévue dans la liste des consommateurs électriques : 12 ... 35 V DC)				DI
		Mélangeur cuve Stockage	161 AGIT 01	Marche Mélangeur N°1 : Depuis contacteur implanté dans la présente armoire				DO
		Mélangeur cuve Stockage	161 AGIT 01	Défaut Mélangeur N°1 (Disjonction)				DI
		Mélangeur cuve Réception	121 AGIT 01	Marche Mélangeur N°2 : Depuis contacteur implanté dans la présente armoire				DO
		Mélangeur cuve Réception	121 AGIT 01	Défaut Mélangeur N°2 (Disjonction)				DI
		Electrovanne nettoyage cuve	101 XV 01	Ouverture vanne				DO
		Vanne guillotine manuelle Haut	141 HVG 01	Contact fin de course : Vanne Ouverte				DI
		Vanne guillotine manuelle Haut	141 HVG 02	Contact fin de course : Vanne Ouverte				DI
		Vanne guillotine manuelle Haut	141 HVG 03	Contact fin de course : Vanne Ouverte				DI
		Vanne guillotine manuelle Haut	141 HVG 04	Contact fin de course : Vanne Ouverte				DI
		Vanne guillotine manuelle Haut	151 HVG 01	Contact fin de course : Vanne Ouverte				DI
		Vanne guillotine manuelle Haut	151 HVG 02	Contact fin de course : Vanne Ouverte				DI
		Vanne guillotine manuelle Haut	151 HVG 03	Contact fin de course : Vanne Ouverte				DI
		Vanne guillotine manuelle Haut	151 HVG 04	Contact fin de course : Vanne Ouverte				DI
		Vanne guillotine automatique	111 XVG 01	Ouverture vanne				DO
		Vanne guillotine automatique	111 XVG 01	Contact fin de course : Vanne ouverte				DI
		Vanne guillotine automatique	111 XVG 01	Contact fin de course : Vanne fermée				DI
		Vanne guillotine automatique	112 XVG 01	Ouverture vanne				DO
		Vanne guillotine automatique	112 XVG 01	Contact fin de course : Vanne ouverte				DI
		Vanne guillotine automatique	112 XVG 01	Contact fin de course : Vanne fermée				DI
		Vanne guillotine automatique	112 XVG 02	Ouverture vanne				DO
		Vanne guillotine automatique	112 XVG 02	Contact fin de course : Vanne ouverte				DI
		Vanne guillotine automatique	112 XVG 02	Contact fin de course : Vanne fermée				DI
		Vanne guillotine automatique	131 XVG 01	Ouverture vanne				DO
		Vanne guillotine automatique	131 XVG 01	Contact fin de course : Vanne ouverte				DI
		Vanne guillotine automatique	131 XVG 01	Contact fin de course : Vanne fermée				DI
		Vanne guillotine automatique	131 XVG 02	Ouverture vanne				DO
		Vanne guillotine automatique	131 XVG 02	Contact fin de course : Vanne ouverte				DI
		Vanne guillotine automatique	131 XVG 02	Contact fin de course : Vanne fermée				DI

Annexe 19 : liste des entrées sorties de l'armoire process hygiénisation 1/2

ENERGY & Engineering & Services			METHAVEORE					
REV C	DEPT	Equipement	TAG	Armoire Process Hygiénisation	Echelle Min	Echelle Max	Unité	Type E/S
		Vanne guillotine automatique	151 XVG 01	Ouverture vanne				DO
		Vanne guillotine automatique	151 XVG 01	Contact fin de course : Vanne ouverte				DI
		Vanne guillotine automatique	151 XVG 01	Contact fin de course : Vanne fermée				DI
		Vanne guillotine automatique	151 XVG 02	Ouverture vanne				DO
		Vanne guillotine automatique	151 XVG 02	Contact fin de course : Vanne ouverte				DI
		Vanne guillotine automatique	151 XVG 02	Contact fin de course : Vanne fermée				DI
		Vanne guillotine automatique	171 XVG 01	Ouverture vanne				DO
		Vanne guillotine automatique	171 XVG 01	Contact fin de course : Vanne ouverte				DI
		Vanne guillotine automatique	171 XVG 01	Contact fin de course : Vanne fermée				DI
		Vanne guillotine automatique	171 XVG 02	Ouverture vanne				DO
		Vanne guillotine automatique	171 XVG 02	Contact fin de course : Vanne ouverte				DI
		Vanne guillotine automatique	171 XVG 02	Contact fin de course : Vanne fermée				DI
		Decteur de débit N°1	131 FT 01	Presence de débit pompe à lobes Hygiénisation (alimentation prévue dans la liste des consommateurs électriques : 19 ... 36 V DC)				DI
		Decteur de débit N°2	151 FT 01	Presence de débit pompe à lobes Stockage (alimentation prévue dans la liste des consommateurs électriques : 19 ... 36 V DC)				DI
		Sonde de température Haut CH	133 TT 01	Sonde de température haut				PT100
		Sonde de température Bas CH	133 TT 02	Sonde de température bas				PT100
		Pesons	123 PES 01	Mesure de la masse hygiénisée (convertisseur 4...20 mA à implanter dans la présente armoire/fourniture E&S)				AI
		Voyant Etat Cuve Réception	111 VY 01	Voyant indiquant l'état de la cuve de réception (alimentation prévue dans la liste des consommateurs électriques)				DO
		Voyant Etat Cuve Réception	111 VY 02	Voyant indiquant l'état de la cuve de réception (alimentation prévue dans la liste des consommateurs électriques)				DO
		Voyant Etat Cuve Réception	111 VY 03	Voyant indiquant l'état de la cuve de réception (alimentation prévue dans la liste des consommateurs électriques)				DO
		Alarme Sonore Cuve Réception	111 AS 01	Alarme sonore remplissage de la cuve de réception (alimentation prévue dans la liste des consommateurs électriques)				DO
		Commutateur de Position Dépotage	200 CO 01	Commutateur de position permettant d'activer le cycle de dépotage				DI
		Bouton Poussoir Alarme Sonore	200 BP 01	Bouton poussoir permettant d'acquiescer l'alarme sonore				DI
		Voyant commutateur	112 VY 01	Voyant indiquant la position fermée de la vanne de dépotage (alimentation prévue dans la liste des consommateurs électriques)				DO
		Voyant commutateur	112 VY 02	Voyant indiquant la position ouverte de la vanne de dépotage (alimentation prévue dans la liste des consommateurs électriques)				DO
		Demande Marche Chauffage	ND	Sortie automate de demande chauffage autorisant la marche chauffage				DO
		Défaut Chaudière	ND	Entrée automate pour défaut général Chaudière (non polarisé)				DI
		Défaut Disjonctions	ND	Entrée automate pour défaut Disjonction (non polarisé)				DI
		Compteur d'énergie	186 FIT 01	Mesure de valeurs (quantité d'énergie, débit, températures, puissance instantanée, ...)				COM
		Liaison de communication	ND	Communication vers site pour GTG/Supervision				COM

Annexe 20 : liste des entrées sorties de l'armoire process hygiénisation 2/2

**Mémoire de Fin d'Etudes de Mastère Spécialisé en
« Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets
(GEDE) »**



Auteur : Abdoul Kaled Rachid MINOUGOU	
Titre : Etude et chiffrage d'un projet de valorisation de déchet : Cas du projet d'Hygiénisation des Sous-produits d'animaux pour l'unité de méthanisation de Methaveore	
Nombre de Volumes : 1	Nombre de pages : 48
Nombre de références biblio :	
Structure d'accueil : ENERGY &+	
Résumé : La biométhanisation représente une solution de traitement et de valorisation durable des biodéchets. Cependant le digestat obtenu à partir de la méthanisation des sous-produits peuvent présenter un risque sanitaire humain et animal dû à la contamination de ces derniers par des agents pathogènes. Ainsi pour réduire ces risques sanitaires, la réglementation française et européenne impose une hygiénisation thermique consistant à un maintien de température de 70°C pendant une heure des sous-produits animaux avec une taille de particules maximum de 12mm. Dans le but de valoriser des sous-produits animaux, Méthavéore a décidé de mettre en place une unité d'Hygiénisation thermique sur son site. Il sera principalement constitué d'une cuve d'hygiénisation de 10 m3, d'une chaufferie gaz de 500kW et deux fosses de stockages de 40m3 chacune.	
Mots clés : Biodéchets, Animaux, Chaufferie, Hygiénisation, Valorisation	