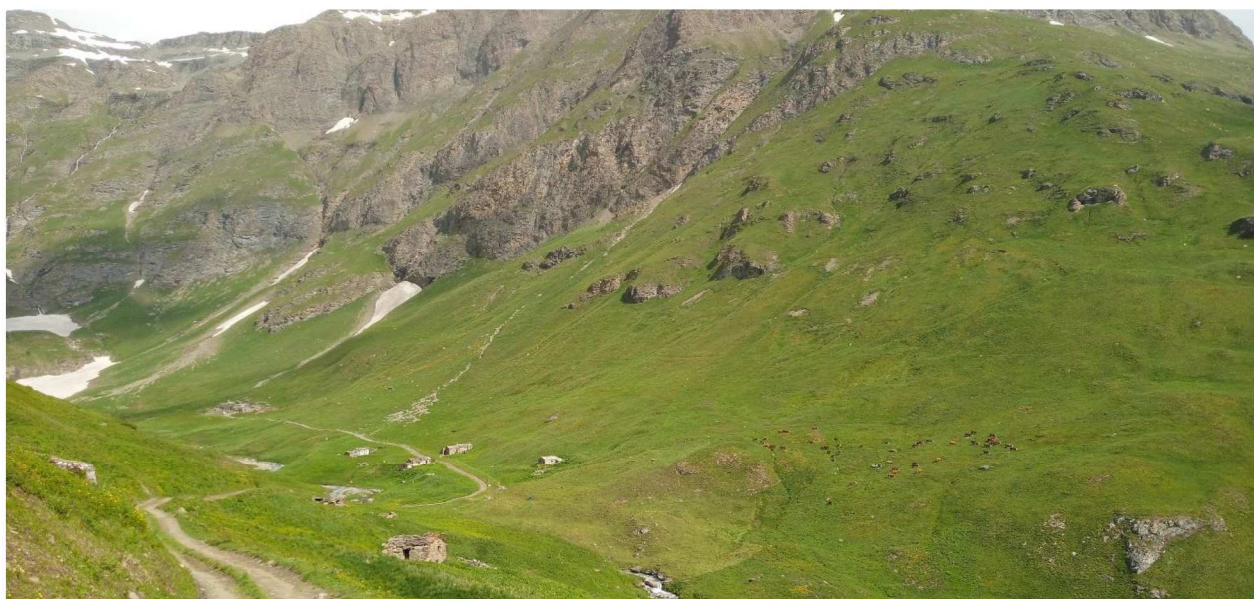




Rapport technique

Parc national de la Vanoise

Expérimentation du développement de la méthanisation en alpage : le lactosérum, une ressource énergétique à valoriser



Tranche ferme : étude de faisabilité



*En partenariat avec Enerpro
Biogaz, spécialiste des solutions
de micro-méthanisation.*

21EREP006 – Version 01 du 15/09/2021



RWB Groupe SA | L'humain au cœur de l'ingénierie

TABLE DES MATIERES

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1. | ETAT DES LIEUX ET ETUDES PRÉLIMINAIRES | 7 |
| 1.1 | Analyse de la problématique | 7 |
| 1.2 | Recueil des données du site | 7 |
| 1.2.1 | Caractérisation de l'effluent | 7 |
| 1.2.1.1 | Analyse des lactosérums | 7 |
| 1.2.1.2 | Hypothèse sur les eaux blanches | 8 |
| 1.2.1.3 | Effluent moyen | 9 |
| 1.2.2 | Besoin d'énergie sous forme de chaleur | 9 |
| 1.2.2.1 | Chalet | 9 |
| 1.2.2.2 | Salle de traite | 11 |
| 1.2.2.3 | Habitation | 11 |
| 1.2.3 | Récapitulatif des besoins en chaleur | 11 |
| 1.2.4 | Besoin d'énergie électrique | 12 |
| 1.2.5 | Fourniture actuelle d'énergie | 13 |
| 1.2.5.1 | Groupe électrogène diesel | 13 |
| 1.2.5.2 | Gaz propane | 13 |
| 1.2.6 | Environnement | 13 |
| 1.2.7 | Accessibilité | 13 |
| 1.2.8 | Températures | 13 |
| 1.3 | Description des systèmes de méthanisation | 14 |
| 1.4 | Etude des débouchés pour la valorisation du biogaz | 16 |
| 2. | ETUDE DE FAISABILITÉ TECHNIQUE | 19 |
| 2.1 | Schémas de principe de la filière de traitement et de valorisation | 19 |
| 2.2 | Étude de la filière de traitement | 19 |
| 2.2.1 | Traitement primaire | 19 |
| 2.2.2 | Traitement secondaire | 20 |
| 2.2.2.1 | Lagunage naturel | 20 |
| 2.2.2.2 | Filtre planté de roseaux | 21 |
| 2.2.2.3 | Filtre pouzzolane | 21 |
| 2.2.2.4 | Boues activées | 22 |
| 2.2.2.5 | Choix de la filière de traitement secondaire | 22 |
| 2.3 | Dimensionnement de l'installation proposée | 23 |
| 2.3.1 | Filière anaérobie | 23 |
| 2.3.1.1 | Dimensionnement de la cuve tampon | 23 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 2.3.1.2 | <i>Dimensionnement du digesteur</i> | 23 |
| 2.3.2 | Filière aérobie | 26 |
| 2.3.2.1 | <i>Dimensionnement du bassin aéré</i> | 26 |
| 2.3.2.2 | <i>Dimensionnement du clarificateur</i> | 27 |
| 2.3.2.3 | <i>Schéma de la filière aérobie</i> | 28 |
| 2.3.3 | Filière de valorisation du biogaz | 29 |
| 2.3.3.1 | <i>Stockage de biogaz</i> | 29 |
| 2.3.3.2 | <i>Traitement du biogaz</i> | 30 |
| 2.3.3.3 | <i>Valorisation du biogaz en chauffe-eau</i> | 31 |
| 2.3.3.4 | <i>Destruction du biogaz</i> | 32 |
| 2.3.3.5 | <i>Variante 1 - Cogénération</i> | 32 |
| 2.3.4 | Automatisme de l'installation | 32 |
| 2.3.5 | Sécurités du site | 33 |
| 2.4 | Définition des performances attendues du système | 33 |
| 2.4.1 | Performances épuratoires | 33 |
| 2.4.2 | Performances énergétiques | 33 |
| 2.4.2.1 | <i>Production de biogaz</i> | 33 |
| 2.4.2.2 | <i>Consommations électriques</i> | 34 |
| 2.5 | Exploitation et modalités de mise en service | 34 |
| 2.5.1 | Réacteur anaérobie | 34 |
| 2.5.2 | Réacteur aérobie | 35 |
| 2.6 | Surveillance quotidienne | 35 |
| 2.7 | Maintenance | 36 |
| 2.8 | Test du prototype | 36 |
| 3. | ETUDE DE FAISABILITÉ ÉCONOMIQUE ET RÉGLEMENTAIRE | 37 |
| 3.1 | Etude économique | 37 |
| 3.1.1 | Coûts d'investissement | 37 |
| 3.1.2 | Economies liées à la production d'énergie sous forme de chaleur | 38 |
| 3.1.3 | Coût de fonctionnement | 38 |
| 3.1.4 | Amortissements | 39 |
| 3.1.5 | Analyse économique | 39 |
| 3.2 | Etude réglementaire | 40 |
| 3.2.1 | Les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement | 40 |
| 3.2.1.1 | <i>Rubrique 2781</i> | 40 |
| 3.2.1.2 | <i>Rubrique 2910</i> | 41 |
| 3.2.1.3 | <i>Rubrique 4310 Gaz inflammables catégorie 1 et 2</i> | 41 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3.2.2 | Le traitement des sous-produits animaux | 42 |
| 3.2.2.1 | <i>SPAN C1</i> | 42 |
| 3.2.2.2 | <i>SPAN C2</i> | 42 |
| 3.2.2.3 | <i>SPAN C3</i> | 42 |
| 3.2.3 | Agrément sanitaire | 43 |
| 3.2.4 | La loi sur l'eau | 43 |
| 3.2.4.1 | <i>Rubrique 2.1.1.0 - Rejets</i> | 43 |
| 3.2.4.2 | <i>Rubrique 2.1.3.0 - Epandage et stockage en vue d'épandage</i> | 45 |
| 3.2.5 | Urbanisme | 45 |
| 3.2.6 | La valorisation du biogaz | 45 |
| 3.2.7 | La réglementation spécifique au parc | 46 |
| 3.2.8 | Les administrations concernées | 46 |
| 4. | ETUDE DE LA RÉPLICABILITÉ DU SYSTÈME | 47 |
| 4.1 | L'effluent | 47 |
| 4.2 | Les activités sur le site | 47 |
| 4.3 | La situation géographique | 47 |
| 4.4 | L'exécution | 48 |
| 4.5 | Le financement | 48 |
| 5. | PLANNING DE RÉALISATION | 49 |
| 6. | CONCLUSION | 50 |
| 7. | ANNEXES | 51 |
| 7.1 | Annexe 1 : Plan de masse – vue éloignée | 52 |
| 7.2 | Annexe 2 : Plan de masse – vue éloignée calque satellite géoportail | 53 |
| 7.3 | Annexe 3 : Plan de masse – vue rapprochée | 54 |
| 7.4 | Annexe 4 : Profil de l'installation – vue en coupe | 55 |
| 7.5 | Annexe 5 : Process Flow Diagram | 56 |
| 7.6 | Annexe 6 : Skid chauffe-eau et colonne de stabilisation | 57 |

Auteurs :

Cédric Chomette (Erep)
Yves Membrez (Erep)
Maxime Bûche (Enerpro Biogaz)

Chargé de projet
Directeur
Chargé de projet

Ingénieur environnement procédé analyses
Ingénieur génie civil
Ingénieur

TABLE DES ILLUSTRATIONS

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Représentation schématique du circuit de production d'eau chaude | 12 |
| Figure 2 : Profil de température à proximité de l'alpage du Vallon (capteur 1) – source : Parc national de la Vanoise..... | 14 |
| Figure 3 : Profil de température à proximité de l'alpage du Vallon (capteur 2) - source : Parc national de la Vanoise..... | 14 |
| Figure 4 : Les différents types de technologies de méthanisation (a) Digesteur en voie liquide (b) Digesteur en voie solide à alimentation continue (c) Digesteurs en voie solide à alimentation discontinue | 15 |
| Figure 5 : Technologies de méthanisation en voie liquide continue proposées..... | 16 |
| Figure 6 : Bilan matière | 16 |
| Figure 7 : Schémas d'une membrane souple montée sur le digesteur et d'une membrane souple indépendante confinée. | 17 |
| Figure 8 : Bilans énergétiques théoriques - cogénération et chaudière..... | 18 |
| Figure 9 : Schéma de la filière de traitement retenue (crédit : Enerpro Biogaz) | 19 |
| Figure 10 : Illustration des réacteurs granulaires | 20 |
| Figure 11 : Filtre planté de roseaux (crédit IDELE)..... | 21 |
| Figure 12 : Filtre pouzzolane | 21 |
| Figure 13 : Bassin à boues activées avec recyclage (crédit : Louis Tessier) | 22 |
| Figure 14 : Schéma descriptif du digesteur..... | 25 |
| Figure 15 : Schéma représentatif de la filière aérobie | 29 |
| Figure 16 : Illustration du fonctionnement de la colonne de stabilisation..... | 30 |
| Figure 17 : caractéristiques dimensionnelles d'un chauffe-eau | 31 |
| Tableau 1 : Résultats d'analyse des lactosérums prélevés sur l'alpage (laboratoires Wessling)..... | 8 |
| Tableau 2 : Caractérisation des lactosérums | 8 |
| Tableau 3 : caractérisation des eaux blanches de lavage | 9 |
| Tableau 4 : Caractérisation de l'effluent moyen | 9 |
| Tableau 5 : besoin de chaleur pour la fabrication du fromage Beaufort | 10 |
| Tableau 6 : Paramètres de dimensionnement des unités de valorisation du biogaz..... | 17 |
| Tableau 7 : Caractéristiques de la cuve tampon | 23 |
| Tableau 8 : Paramètres de dimensionnement du digesteur | 24 |
| Tableau 9 : Caractéristiques du digesteur..... | 24 |
| Tableau 10 : Paramètres de dimensionnement du bassin aérobie..... | 26 |
| Tableau 11 : Caractéristiques du bassin aérobie | 27 |
| Tableau 12 : dimensionnement du clarificateur..... | 28 |
| Tableau 13 : caractéristiques du clarificateur | 28 |
| Tableau 14 : Dimensionnement du stockage de biogaz | 29 |
| Tableau 15 : Caractéristiques du conteneur abritant le stockage du biogaz | 30 |
| Tableau 16 : Caractéristiques du skid de valorisation du biogaz | 31 |
| Tableau 17 : production énergétique primaire | 33 |

| | |
|--|----|
| Tableau 18 : Production énergétique valorisable | 34 |
| Tableau 19 : Consommations électriques | 34 |
| Tableau 20 : Actions correctives en cas d'anomalie | 36 |
| Tableau 21 : Coûts d'investissement..... | 37 |
| Tableau 22 : Gains liés à la valorisation du biogaz..... | 38 |
| Tableau 23 : Charges d'exploitation | 38 |
| Tableau 24 : Amortissements..... | 39 |
| Tableau 25 : Rubrique ICPE 2781 et sous-classification | 40 |
| Tableau 26 : Rubrique ICPE 2910 et sous classification | 41 |
| Tableau 27 : Rubrique ICPE 4310 et sous classification | 42 |
| Tableau 28 : Rubrique 2.1.1.0 rejets | 43 |
| Tableau 29 : Valeurs limites de rejet | 44 |
| Tableau 30 : Valeurs limite de rejet azote - phosphore dans les milieux sensibles..... | 44 |
| Tableau 31 : Rubrique loi sur l'eau 2.1.3.0..... | 45 |

1. ETAT DES LIEUX ET ETUDES PRÉLIMINAIRES

1.1 ANALYSE DE LA PROBLÉMATIQUE

La montée en alpage des troupeaux de vaches laitières dans les Alpes du Nord est réalisée de la mi-juin à fin septembre. L'alpage du Vallon est une exploitation laitière d'estive de 50 à 60 vaches laitières. L'alpage dispose d'une salle de traite, d'un atelier de production de Beaufort, d'une restauration et d'un hébergement de tourisme.

Le lait produit par les vaches est valorisé en fromage Beaufort. La traite et la production du fromage demandent de l'énergie (eau chaude, électricité) et génèrent des sous-produits : le lactosérum et les eaux blanches.

Actuellement, l'eau chaude de l'alpage est produite par des ballons électriques et une chaudière au gaz propane. L'électricité est fournie par un groupe électrogène diesel, et restituée par un onduleur de 5 kW. Le lactosérum est rejeté au milieu naturel en tranchées drainantes. Ces rejets sont une source de pollution pouvant entraîner des modifications physico-chimiques et biologiques des écosystèmes à tous les niveaux.

Sur l'alpage du Vallon, les tranchées drainantes sont une solution qui ne correspond plus au besoin actuel d'épuration de l'effluent. Une solution de traitement du lactosérum doit donc être trouvée pour limiter la pollution et les désagréments occasionnés pour le tourisme. Une solution de méthanisation est envisagée par l'exploitant de l'alpage et le Parc National de la Vanoise. Une mission d'étude de faisabilité a ainsi été confiée au groupement Erep/Enerpro biogaz.

1.2 RECUEIL DES DONNÉES DU SITE

1.2.1 Caractérisation de l'effluent

Il existe trois types d'effluents produits sur l'alpage du Vallon :

- Les eaux blanches de la salle de traite / laiterie.
- Les eaux blanches de la fromagerie regroupant les eaux de lavage des locaux et du matériel.
- Le lactosérum, petit-lait ou sérum, liquide riche en matière organique ultra concentrée issu de l'égouttage du caillé. Un litre de lactosérum représente une charge polluante assimilable à environ 1 équivalent habitant.

La fabrication du fromage Beaufort génère une production de lactosérum de 800 L/j de début juillet à mi-août. Autour de la mi-août, la production se réduit à 600 L/j. Cet effluent est à température de 54°C en sortie de cuve.

Les eaux blanches de lavage (décrites ci-dessus) sont générées mais n'ont jamais été quantifiées précisément. L'exploitant estime le volume de ces eaux de 400 à 500 L/j, à température ambiante. Une hypothèse de 500 L/j est prise dans la suite de l'étude.

Les effluents sont caractérisés par leur charge organique, nommée DCO qui mesure la totalité des substances oxydables, ce qui inclut celles qui sont biodégradables. La quantité de ces matières biodégradables est définie par le paramètre DBO₅ (demande biochimique en oxygène sur 5 jours).

1.2.1.1 Analyse des lactosérums

Des échantillons de lactosérum ont été prélevés le 12 juillet 2021 puis analysés par le laboratoire Wessling de Saint Quentin Fallavier. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

| Analyses | Unité | Résultat |
|---------------------------------|---------|----------|
| Matière sèche | %MB | 7,3 |
| Pertes au feu | %MS | 93 |
| Azote total | mg/L | 1307 |
| DCO | mg/L | 87833 |
| Potentiel biogaz 28 j | Nm3/tMB | 49,8 |
| Taux de méthane dans le biogaz* | % | 71,9 |
| Potentiel méthane 28 j | Nm3/tMB | 34,1 |

Tableau 1 : Résultats d'analyse des lactosérums prélevés sur l'alpage (laboratoires Wessling)

**Paramètre pouvant être lié à l'inoculum utilisé par le laboratoire*

La charge polluante est un peu supérieure aux résultats attendus, avec des valeurs couramment exprimées dans la littérature autour de 60 g/L. Le potentiel biogaz est à l'inverse très légèrement en deçà des valeurs bibliographiques. Il est à noter que les lactosérums sont aussi des effluents présentant une salinité élevée.

Compte-tenu des productions journalières, les lactosérums produits sur l'alpage du Vallon peuvent être caractérisés par le tableau suivant :

| Paramètres | Valeurs | Sources |
|-------------------------------------|---------|-------------------------|
| Volume d'effluent à traiter (L/j) | 800 | Exploitant |
| Température (°C) | 54 | Exploitant |
| Concentration en DCO (g/L) | 87,8 | Analyse |
| Masse de DCO apportée (g/j) | 70266 | Calcul |
| Rapport DCO/DBO5 | 1,5 | Moyenne bibliographique |
| Concentration en azote totale (g/L) | 1,3 | Hypothèse |
| Masse de N apportée (g/j) | 1045 | Calcul |

Tableau 2 : Caractérisation des lactosérums

1.2.1.2 Hypothèse sur les eaux blanches

Ci-dessous les principaux paramètres retenus concernant la production d'eaux blanches de lavage sur le site objet de l'étude :

| Paramètres | Valeurs | Sources |
|-----------------------------------|---------|------------|
| Volume d'effluent à traiter (L/j) | 500 | Exploitant |
| Température (°C) | 5 | Exploitant |

| | | |
|-------------------------------------|------|-------------------------|
| Concentration en DCO (g/L) | 4 | Analyse |
| Masse de DCO apportée (g/j) | 2000 | Calcul |
| Rapport DCO/DBO5 | 1,3 | Moyenne bibliographique |
| Concentration en azote totale (g/L) | 0,2 | Hypothèse |
| Masse de N apportée (g/j) | 100 | Calcul |

Tableau 3 : caractérisation des eaux blanches de lavage

1.2.1.3 Effluent moyen

L'effluent à traiter est donc constitué d'un mélange de lactosérum et d'eaux blanches de lavage. L'effluent est principalement produit en matinée par l'atelier de production de fromage. La dilution des lactosérums par les eaux blanches ne devrait pas affecter négativement l'efficacité épuratoire du dispositif.

Les principaux paramètres retenus concernant le mélange lactosérum / eaux blanches du site objet de l'étude sont présentés dans le tableau ci-dessous :

| Paramètres | Valeurs | Sources |
|-------------------------------------|---------|-------------------------|
| Volume d'effluent à traiter (L/j) | 1300 | Exploitant |
| Température (°C) | 35 | Exploitant |
| Concentration en DCO (g/L) | 55,6 | Analyse |
| Masse de DCO apportée (g/j) | 72'266 | Calcul |
| Rapport DCO/DBO5 | 1.7 | Moyenne bibliographique |
| Masse de DBO5 apportée (g/j) | 42'510 | Calcul |
| Concentration en azote totale (g/L) | 0,9 | Hypothèse |
| Masse de N apportée (g/j) | 1145 | Calcul |

Tableau 4 : Caractérisation de l'effluent moyen

Remarque : le rapport DCO/DBO5 indique une biodégradabilité satisfaisante du mélange. Pour mémoire, le rapport DCO/DBO5 donne une indication sur la biodégradabilité des effluents :

- Pour un rapport inférieur à 3, l'effluent est facilement biodégradable
- Au-delà de 5, l'effluent est difficilement biodégradable

1.2.2 Besoin d'énergie sous forme de chaleur

1.2.2.1 Chalet

Le chalet regroupe deux activités : la production de fromage Beaufort et la restauration.

La production du fromage Beaufort nécessite du chauffage en plusieurs phases :

- Phase 1 : préchauffage 22 – 33 °C – temps indéterminé
- Phase 2 : chauffage 45 minutes dans une cuve de 800 L de 33°C à 44°C.

- Phase 3 : chauffage 10 minutes dans une cuve de 800 L de 44°C à 54 °C.

Les besoins en chaleur sont calculés et présentés dans le tableau suivant :

| | Phase 1 | Phase 2 | Phase 3 |
|---|------------|------------|------------|
| Montée en température | 22-33 °C | 33-44°C | 44-54°C |
| Différence de température | 11°C | 11°C | 10°C |
| Durée de montée en température | 60 minutes | 45 minutes | 10 minutes |
| Quantité chauffée en début de saison | | 800 L/j | |
| Puissance maximale absorbée en début de saison (hors perte) | 10,2 kW | 13,6 kW | 55,74 kW |
| Quantité d'énergie nécessaire par jour en début de saison | 10,2 kWh | 10,2 kWh | 9,3 kWh |
| Quantité chauffée en fin de saison | | 600 L | |
| Puissance maximale absorbée en fin de saison (hors perte) | 7,7 kW | 10,2 kW | 41,8 kW |
| Quantité d'énergie nécessaire par jour en fin de saison | 7,7 kWh | 7,7 kWh | 7,0 kWh |
| Durée du début de saison (de juillet à mi-août) | | 50 jours | |
| Durée de la fin de saison (de mi-août à fin septembre) | | 45 jours | |
| Consommation d'énergie sur la saison | 856 kWh | 856 kWh | 778 kWh |

Tableau 5 : besoin de chaleur pour la fabrication du fromage Beaufort

Sur la saison, l'ensemble de l'énergie thermique consommée pour l'atelier de production est de 2490 kWh, pour un fonctionnement pendant 50 j à 800 L/j et 45 j à 600 L/j.

L'atelier de production de fromage fonctionne en matinée. Le besoin en eau chaude est réparti entre 8h et 10h30 sur une journée type.

Au-delà de l'énergie liée à la production de fromage, le chalet demande 150 à 200 L/j d'eau chaude sanitaire à 50 °C pour le lavage et l'activité de restauration. Les besoins exprimés restent approximatifs, puisque l'eau chaude est mitigée au niveau des postes de consommation. Actuellement, ce besoin est satisfait par un ballon d'eau chaude électrique de 200 L avec une puissance de 2,4 kW.

En prenant les hypothèses de consommation d'eau chaude sanitaire ci-dessus, l'énergie consommée pour réchauffer 200 L/j de 4°C à 50°C (hors pertes) est de **10,45 kWh/j**

Pour une durée d'utilisation de 95 j/an, le besoin d'énergie pour l'alimentation en eau chaude sanitaire du chalet est donc de **993 kWh**.

1.2.2.2 Salle de traite

Le nettoyage de la machine de traite nécessite l'usage de 120 L/j d'eau chaude à 75°C. Cette eau est actuellement produite par 1 ballon d'eau chaude électrique de 3kW qui préchauffe l'eau à 50°C puis à l'aide d'une chaudière de 12 à 23 kW fonctionnant au gaz propane pour porter l'eau de 50 à 75 °C.

La production d'eau à 75°C à partir de l'eau préchauffée à 50°C, elle représente la quantité d'énergie de **3,48 kWh/j**.

Sur une période de 95 j, si la consommation est estimée constante, il s'agit de **331 kWh** consommés pour la production d'eau chaude à 75°C (hors pertes).

Le besoin en eau chaude à 75°C est ponctuel, réparti en 2 fois 60L par jour après la traite du matin et celle du soir, après 7h30 et 19h.

De l'eau chaude à 50 °C est aussi utilisée pour le lavage dans la salle de traite, environ 100 à 150 L/j. Cette eau chaude est actuellement produite par un ballon d'eau chaude électrique de 3 kW.

La production d'eau à 50°C à partir de l'eau du captage à 5°C, représente une quantité d'énergie de **7,8 kWh/j**

Sur une durée d'alpage de 95 j, la consommation d'eau chaude à 50 °C pour le lavage au niveau de la salle de traite correspond à une quantité de **741 kWh**.

1.2.2.3 Habitation

L'habitation nécessite une alimentation en eau chaude sanitaire pour les douches. Environ 100 à 150 L à 42°C sont consommés chaque jour. L'eau chaude sanitaire de l'habitation est actuellement fournie par un ballon d'eau chaude électrique de 3kW placé dans la salle de traite.

En prenant les hypothèses de consommation d'eau chaude sanitaire ci-dessus, l'énergie électrique consommée pour réchauffer 150 L/j de 5°C à 50°C représente **7,84 kWh/j**.

Sur une période de 95j, si la consommation est estimée constante, il s'agit de **745 kWh** consommés pour la production d'eau chaude. Le besoin est estimé le matin entre 6 et 8 h et le soir après 18h.

1.2.3 Récapitulatif des besoins en chaleur

Le tableau ci-dessous synthétise les besoins en chaleur sur l'alpage.

| Besoin | Type | Quantité (L/j) | Energie (kWh/an) |
|-----------------|---------------------------------|----------------|------------------|
| Chalet | Eau de lavage à 50 °C | 200 | 993 |
| | Chauffage de la cuve à Beaufort | - | 2490 |
| Salle de traite | Eau de lavage à 50 °C | 150 | 741 |
| | Eau de lavage à 75 °C | 120 | 331 |

TOTAL**5'300 kWh/an**

Les installations existantes de production d'eau chaude peuvent être schématisées de la manière suivante :

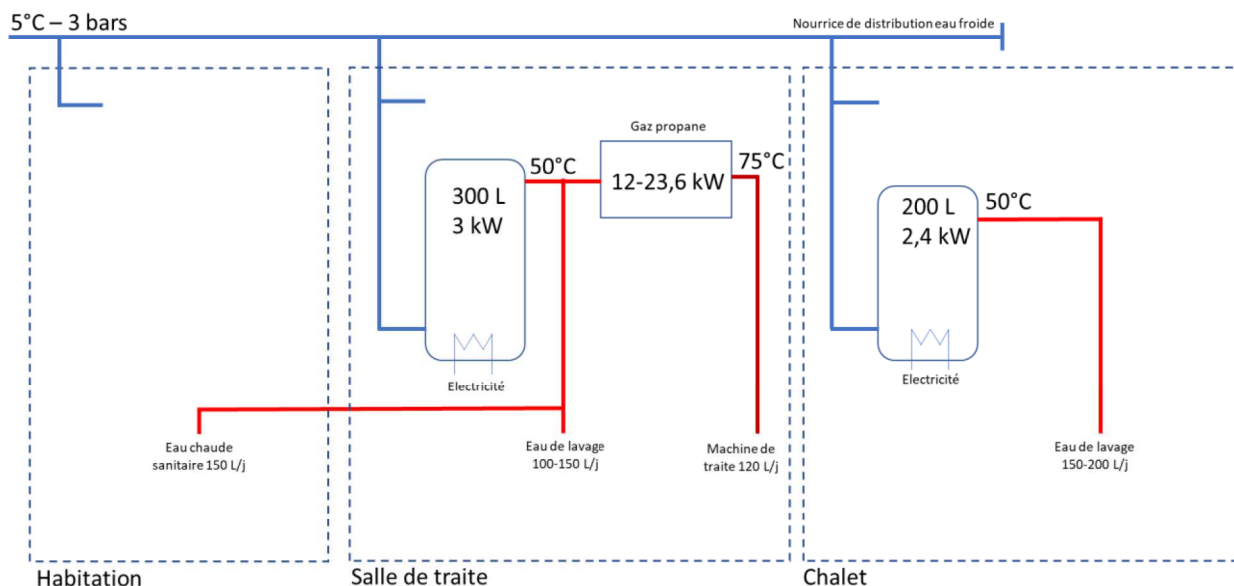


Figure 1 : Représentation schématique du circuit de production d'eau chaude

Les installations existantes étant déjà équipées de volumes de stockage correspondant aux besoins, il ne semble pas nécessaire de modifier ces volumes si les besoins n'évoluent pas. Le circuit d'eau froide doit cependant être modifié pour alimenter le système biogaz de manière que celui-ci puisse fonctionner en préchauffage. Il est également possible que les quantités d'eau chaude produite soient déphasées par rapport aux besoins, ou être excédentaires, ce qui nécessiterait alors un stockage tampon complémentaire ou une évacuation de la chaleur par un système de soupape thermique ou un dispositif équivalent.

1.2.4 Besoin d'énergie électrique

L'électricité est fournie par un groupe électrogène diesel de 46 kVA. L'alpage consomme chaque année environ 4000 L de fioul pour la production électrique.

L'alpage dispose de 3 circuits électriques :

- Circuit 1 – Salle de traite : les équipements principaux sont la pompe à vide (3 kW), le chauffe-eau électrique (3 kW) et la pompe à lait (0,55 kW). Des éclairages complètent l'installation.
- Circuit 2 – Onduleur/Chalet : les équipements principaux sont le lave-vaisselle (3 kW), le congélateur, le réfrigérateur, la pompe de circulation (1,5 kW), et le chargeur des 2 batteries de 260 Ah. Ce circuit est aussi alimenté depuis les batteries avec un onduleur de 5 kVA.
- Circuit 3 – Chalet résidentiel : de construction récente, le bâtiment est équipé principalement d'une machine à laver (1,5 kW), d'éclairages et de prises 230 V.

Un projet de pico-centrale hydroélectrique est en réflexion par l'exploitant pour subvenir à ses besoins en remplacement total ou partiel du groupe électrogène.

1.2.5 Fourniture actuelle d'énergie

1.2.5.1 Groupe électrogène diesel

La consommation annuelle de 4000 L de fioul correspond à une énergie primaire de 41'600 kWh. Compte-tenu du rendement du groupe électrogène qui peut être estimé entre 25 et 35 %, cela correspondrait à une consommation électrique de l'alpage de **10'400 kWh/an à 14'560 kWh/an**. Cette estimation est cohérente avec la puissance du groupe de 46 kVA qui tourne 4h/j pendant 95j/an (13'980 kWh avec cos phi de 0,8).

La part liée à la production d'eau chaude peut donc être estimée à 15 à 20 % de la consommation électrique de l'alpage.

1.2.5.2 Gaz propane

La consommation de gaz propane de 600 kg/an, pour le chauffage de la cuve à fromage et la montée en température de l'eau de 50 à 75°C correspond à une quantité d'énergie de **7740 kWh/an**. La différence avec les quantités d'énergie calculées ci-dessus peut correspondre aux pertes liées au rendement des équipements de chauffage, et notamment du brûleur pour la cuve à fromage.

1.2.6 Environnement

L'alpage du Vallon est au cœur d'un environnement sensible. La mise en place d'une unité de méthanisation de petite taille doit rester la plus discrète possible. Le bruit qui serait émis par l'installation doit être limité (voir chapitre 3.2.7 sur réglementation lié au Parc).

L'implantation montagnarde du site engendre des contraintes d'accessibilité pour la construction et la maintenance de l'installation. Le système doit donc présenter une certaine simplicité et fiabilité (voir chapitre 3.2.7 sur réglementation lié au Parc).

Le milieu naturel permet difficilement un épandage des digestats. Les digestats doivent donc être traités par une épuration secondaire, de type aérobie.

L'alpage se situe également dans l'aire de reproduction du Gypaète barbu, nécessitant le respect des contraintes d'accès motorisé en période de reproduction (voir chapitre 3.2.7 sur réglementation lié au Parc).

L'alpage est soumis à un contexte climatique rigoureux, avec des froids importants en hiver et des orages fréquents en période estivale. Ceux-ci peuvent influencer sur les systèmes électriques ou de télécommunication mis en place et donc altérer leur bon fonctionnement. En hiver l'enneigement est conséquent, et peut entraîner des avalanches au niveau du chalet. L'exploitant doit ainsi procéder au démontage de certains équipements pour éviter tout dommage.

Les équipements doivent être soit enterrés, soit démontables ou déplaçables.

1.2.7 Accessibilité

L'accès à la piste dite « du Vallon », est limité. Seuls certains véhicules dont ceux agricoles sont autorisés à circuler dessus après autorisation (voir chapitre 3.2.7 sur réglementation lié au Parc).

L'exploitant propose son tracteur et sa remorque agricole dont les capacités sont les suivantes :

- dimension : 4,50 x 2,50 m
- charge admissible : 3 tonnes

1.2.8 Températures

Les températures de l'alpage ne sont pas connues. La station météo de référence à Bessans affiche une température moyenne de 13,9°C en juillet. Compte-tenu de la différence d'altitude, cette valeur est à relativiser. Des valeurs plus froides pourraient être observées.

Des relevés du Parc National de la Vanoise effectués en 2020-2021 à proximité du Vallon présentent le profil suivant sur la période estivale qui nous intéresse :

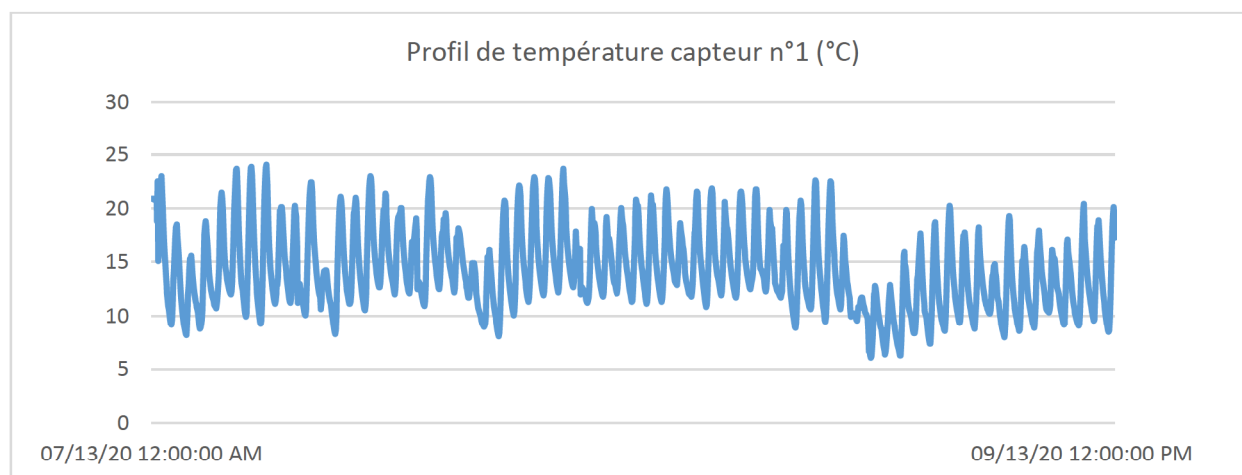


Figure 2 : Profil de température à proximité de l'alpage du Vallon (capteur 1) – source : Parc national de la Vanoise

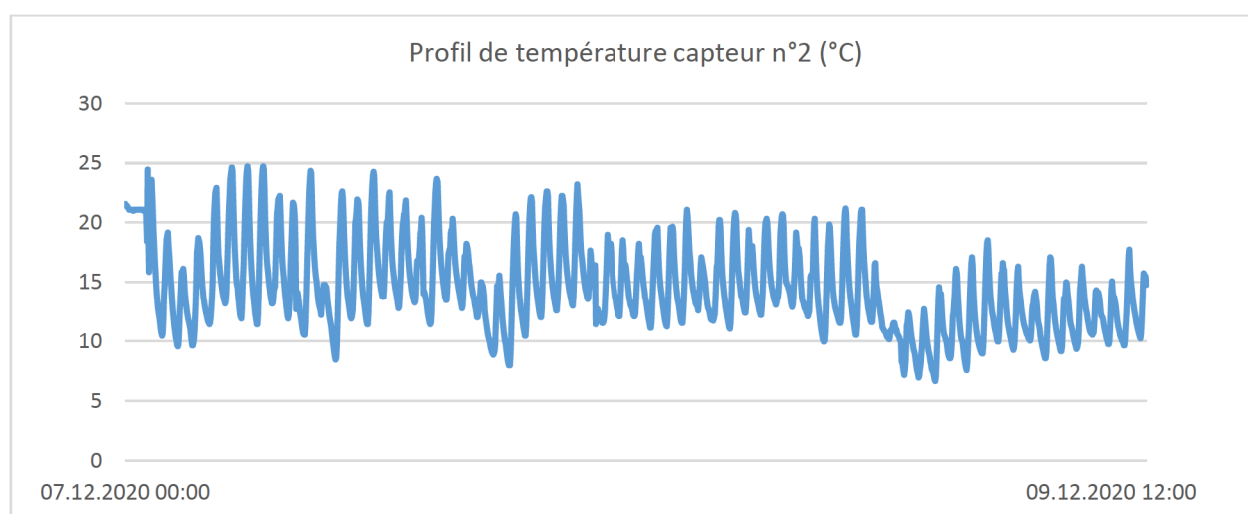


Figure 3 : Profil de température à proximité de l'alpage du Vallon (capteur 2) - source : Parc national de la Vanoise

La température moyenne est de 14,25 °C pour le capteur n°1 et de 14,54 °C pour le capteur n°2. Ces valeurs sont finalement assez proches de celles enregistrées dans la vallée.

Des amplitudes journalières importantes sont cependant relevée avec des écarts de 15 °C en moyenne.

La cave enterrée de stockage des fromages Beaufort est à 12°C en permanence sur la durée de l'estive. Un positionnement enterré du digesteur semble être un bon moyen de lutte contre les variations journalières et les pertes thermiques.

1.3 DESCRIPTION DES SYSTÈMES DE MÉTHANISATION

Les technologies de digestion se différencient notamment en fonction de la teneur en matière sèche du mélange à méthaniser. Elles distinguent la siccité du mélange (en voie liquide ou solide), ainsi que le mode

d'alimentation (en continu ou en discontinu). Les trois modèles typiques de digesteur sont le digesteur infiniment mélangé, le digesteur à flux piston et le digesteur à alimentation discontinue (aussi appelé digesteur box/garage) :

- **Digesteur infiniment mélangé** (Figure 4a) : La teneur en matière sèche du mélange à méthaniser est basse (MS (matière sèche) < 15-17%) et le milieu de digestion est liquide. Un système de brassage assure l'homogénéité du mélange. L'alimentation en substrats et l'extraction du digestat sont continus.
- **Digesteur à flux piston** (Figure 4b) : Avec des teneurs en matière sèche plus élevées (MS 20-35%), la digestion en voie solide est préconisée. Quand cela a lieu avec une alimentation de substrats et une sortie de digestat continues, le milieu de digestion avance dans la longueur du digesteur comme s'il avançait sous l'effet d'un piston, raison pour laquelle on parle de flux piston.
- **Digesteur box/garage** (Figure 4c) : Avec des teneurs en matière sèche élevées à très élevées (MS > 25-40%), l'alimentation continue avec des équipements de pompage et transfert des solides est plus compliquée. Les digesteurs sont donc alimentés en substrats en discontinu (par charges), de façon à ce que le digesteur soit chargé en une seule opération ; le mélange y séjourne pendant plusieurs jours et finalement le digesteur est vidé pour commencer un nouveau cycle d'alimentation.



Figure 4 : Les différents types de technologies de méthanisation (a) Digesteur en voie liquide (b) Digesteur en voie solide à alimentation continue (c) Digesteurs en voie solide à alimentation discontinue

Tel que présenté précédemment, la teneur en matière sèche du mélange intrant considéré dans cette étude est de **7,13 %**. En conséquence la technologie de méthanisation à utiliser est la **méthanisation en voie liquide continue**.

Pour des substrats dans lesquels la matière organique se présente sous forme dissoute des technologies de **digestion à biomasse fixée** peuvent être considérées.

Les technologies de traitement anaérobie, avec lesquelles on peut envisager de traiter les effluents de la fromagerie de l'alpage du Vallon, sont le procédé de **méthanisation conventionnel** (réacteur infiniment mélangé, Figure 5a) ; le procédé de méthanisation par **filtre anaérobie** (microorganismes retenus par un garnissage au travers duquel l'eau circule, Figure 5b) ; et le procédé de **méthanisation UASB** (les microorganismes agrégés sous forme de granules sont mis en suspension par le flux ascendant et retenus dans le digesteur, Figure 5c). Les caractéristiques des eaux usées définissent l'adéquation des différents procédés anaérobies pour leur digestion. La complexité de chaque type de procédé justifie les différences de coûts (CAPEX et OPEX) par unité de volume de réacteur.

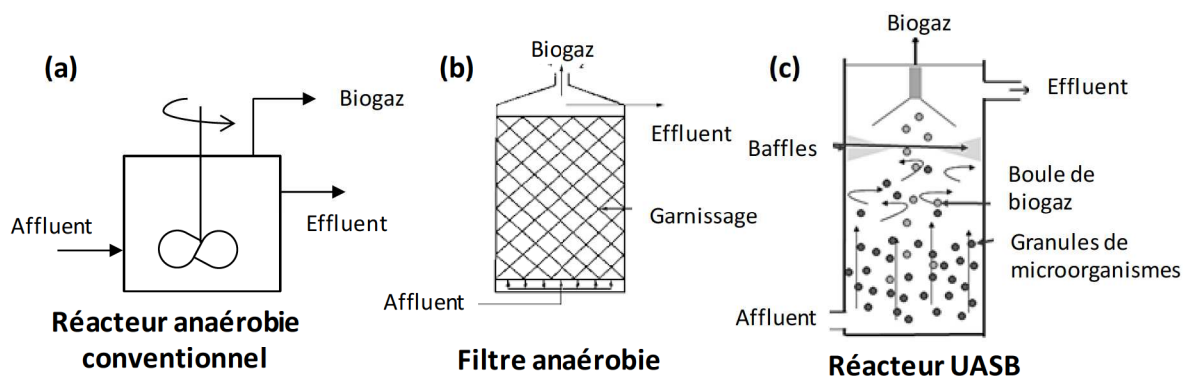


Figure 5 : Technologies de méthanisation en voie liquide continue proposées.

Remarque : la méthanisation du lactosérum impose une conduite rigoureuse des installations. En effet, sa forte salinité et son pH acide peuvent entraîner une instabilité biologique. Le mélange avec des eaux blanches ou des eaux de lavage permet de répondre à cette contrainte.

1.4 ETUDE DES DÉBOUCHÉS POUR LA VALORISATION DU BIOGAZ

Compte tenu des résultats d'analyse présentés au chapitre 1.2.1 et pour un fonctionnement de l'installation sur une saison de 95 jours, une production totale de biogaz de 3242 Nm³/an soit 2300 Nm³/an de biométhane est attendue. Celle-ci correspond à une quantité d'énergie primaire de **23 MWh**, soit environ **2 tep**.

Le bilan matière ci-dessous illustre le flux théorique de production :

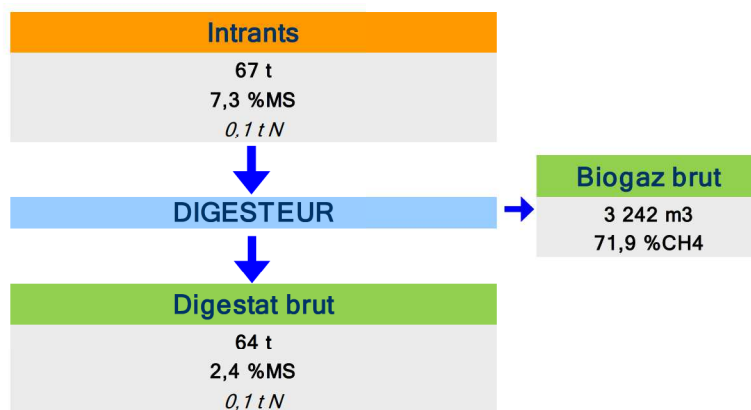


Figure 6 : Bilan matière

Il existe différentes solutions pour la valorisation du biogaz produit :

- Combustion en chaudière
- Combustion en moteur de cogénération
- Injection dans le réseau de gaz naturel

Selon le mode de valorisation retenu, un dispositif de stockage tampon plus ou moins volumineux est à dimensionner. Le stockage du biogaz se réalise dans des membranes souples, intégrées sur le digesteur ou indépendantes. Quelle que soit sa configuration, par rapport à production attendue de biogaz et le temps de stockage défini, le volume de stockage sera le même pour les trois options de digestion préconisées.

Le stockage du biogaz pendant quelques heures permet d'avoir une capacité tampon permettant de faire face aux aléas de consommation et aux périodes de maintenance de l'installation.

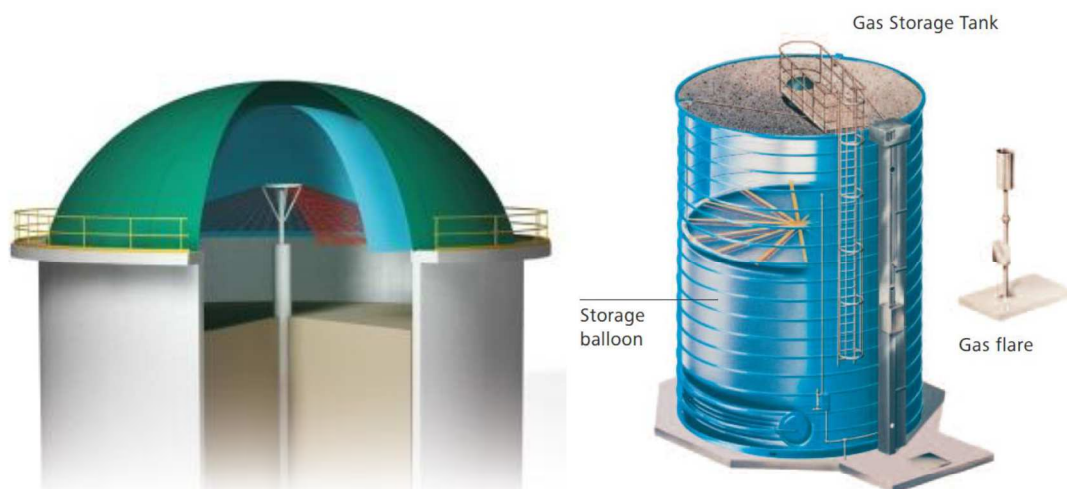


Figure 7 : Schémas d'une membrane souple montée sur le digesteur et d'une membrane souple indépendante confinée.

Le dimensionnement des équipements nécessaires à chaque technologie de valorisation (chaudière, moteur de cogénération, unité d'enrichissement en biométhane) sont résumés dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Plus de détails sur ces équipements sont présentés au chapitre 7.

| Unité | Description | Paramètres de dimensionnement | |
|-------------------------------------|---|---|-----|
| Chaudière à gaz | Chaudière à gaz/biogaz | Puissance thermique (kW_{th}) | 10 |
| Moteur de cogénération | Moteur à gaz avec génératrice d'électricité et système de récupération de chaleur | Puissance électrique (kW_{el}) | 4 |
| | | Puissance thermique (kW_{th}) | 6 |
| Enrichissement en biométhane | Modules membranaires pour séparation du biogaz en biométhane et CO_2 . | Capacité d'épuration (m^3/h biogaz pour 1800 h/an) | 1,5 |

Tableau 6 : Paramètres de dimensionnement des unités de valorisation du biogaz

Les bilan énergie ci-dessous présentent les productions énergétiques théoriques qui peuvent être attendues dans le cadre de scénarios de valorisation du biogaz par cogénération ou chaudière d'après les résultats d'analyse des lactosérums. L'injection de biométhane est d'entrée de jeu exclue puisqu'aucun réseau n'est évidemment présent à proximité.

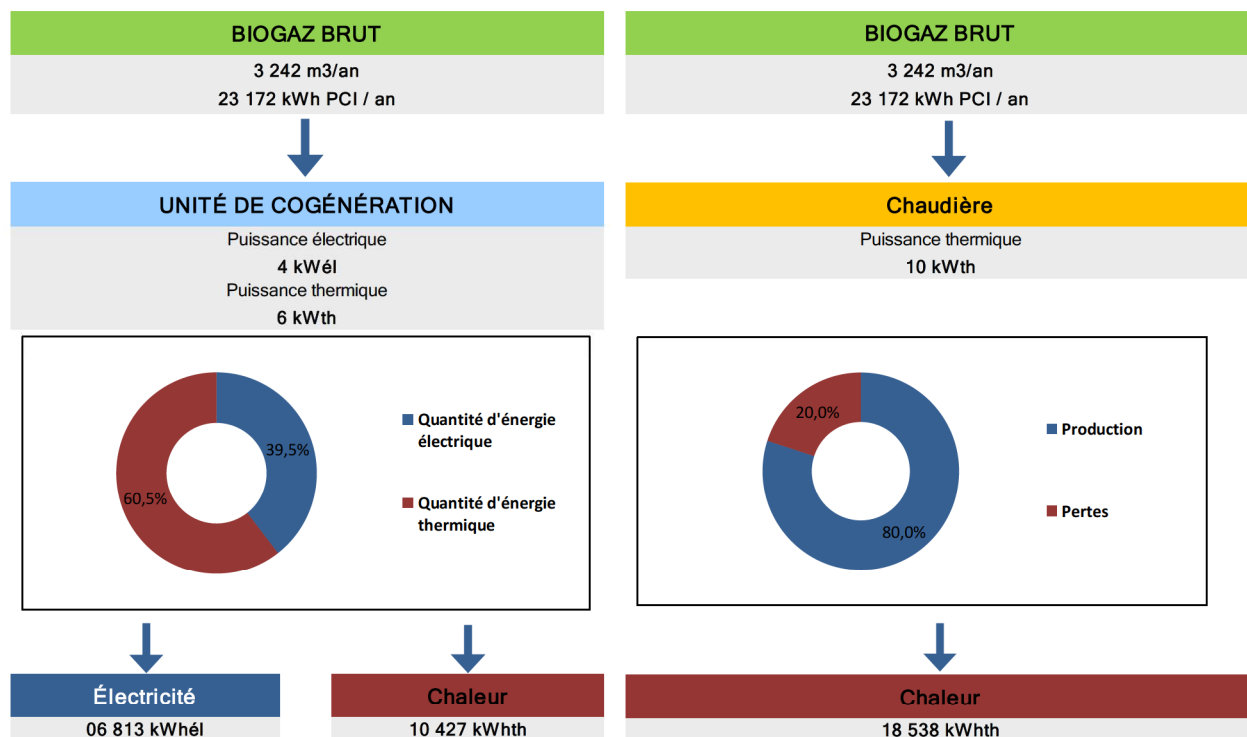


Figure 8 : Bilans énergétiques théoriques - cogénération et chaudière

En théorie, la mise en place d'un système de valorisation du biogaz par cogénération permettrait de produire :

- 54 % de l'énergie électrique utilisée
- 100 % de l'énergie thermique (hors pertes) utilisée.

Au-delà des spécificités du site cette solution semblerait donc techniquement à privilégier. Cependant, en pratique, la mise en place d'un moteur de cogénération est **complexe et coûteuse**, et nécessite une **maintenance régulière**. Les conditions d'un alpage, avec un risque électrique fort lié aux orages estivaux, une disponibilité réduite de l'exploitant pour la maintenance, et un accès compliqué pour l'acheminement des pièces rend ce mode de valorisation difficile dans les conditions du projet. Le bruit associé à un moteur, ou la nécessité d'un espace fermé pour l'installation risque également d'engendrer des coûts et des nuisances non souhaitées. Il s'ajoute à cela que les moteurs de cogénération de moins de 10 kW ne sont pas ou très peu présents sur le marché et qu'il n'existe pas de retour d'expérience sur leur fonctionnement en altitude. Le projet serait alors expérimental.

La valorisation du biogaz en chaudière semble alors plus rationnelle sur le plan de l'exploitation. Un système de chaudière permettrait de subvenir en totalité aux besoins en eau chaude du site, avec un excédent tout de même important. Cet excès de chaleur peut remettre en question la pertinence de ce mode de valorisation.

Compte-tenu des paramètres du site, et de l'insuffisance de la production électrique par rapport aux besoins (environ 54% des besoins pourraient être couverts), même si cela pourrait paraître à première vue efficient, **le mode de valorisation qui est le plus simple et qui est étudié par la suite reste la chaudière**. Il faudra cependant disposer d'un équipement de destruction du biogaz pour la production excédentaire.

2. ETUDE DE FAISABILITÉ TECHNIQUE

2.1 SCHÉMAS DE PRINCIPE DE LA FILIÈRE DE TRAITEMENT ET DE VALORISATION

Il existe un certain nombre de procédés pour l'épuration des mélanges eaux blanches et lactosérum. Une filière de traitement à deux étages est prévue par Enerpro Biogaz selon le principe ci-dessous :

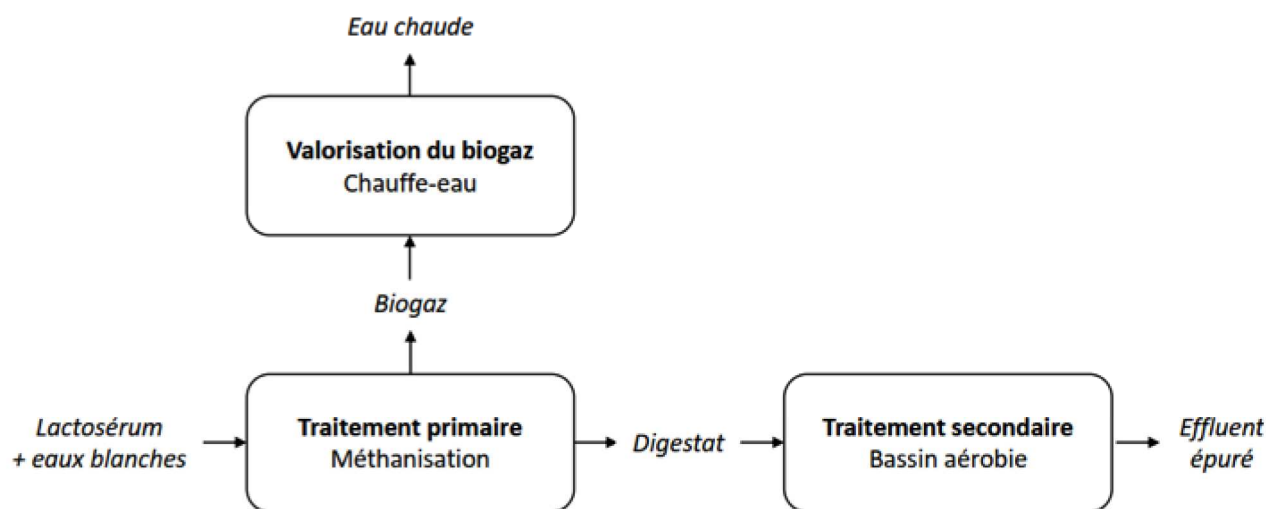


Figure 9 : Schéma de la filière de traitement retenue (crédit : Enerpro Biogaz)

Les différents éléments de la filière et les choix qui sont fait sont décrits dans les paragraphes suivants.

2.2 ÉTUDE DE LA FILIÈRE DE TRAITEMENT

2.2.1 Traitement primaire

Le traitement primaire sera constitué par une filière de digestion anaérobie (ou méthanisation) qui consiste à transformer les matières organiques (sucres, protéines et graisses) en l'absence d'oxygène pour produire du biogaz. Le biogaz est un mélange de méthane et de gaz carbonique. La transformation est réalisée par un ensemble de microorganismes anaérobies.

Outre l'aspect énergétique, la méthanisation présente des avantages pour l'épuration des effluents très chargés comme le petit-lait, avant leur rejet en station d'épuration ou au milieu naturel.

Il a été vu au paragraphe 1.3 qu'il existe différentes technologies de digestion, en fonction des matières à traiter (taux de matière sèche, charge organique quotidienne, etc.).

Compte-tenu des caractéristiques de l'effluent à traiter, notre choix se porte sur les technologies en « voie liquide à biomasse fixée ».

Les technologies à lit de boues, permettent de conserver une concentration importante de microorganismes et un démarrage rapide du réacteur.

Il existe différentes possibilités de mise en œuvre de ces technologies :

- « contact anaérobie », on sépare et on récupère la biomasse libre lessivée pour la réintroduire dans le réacteur
- « granulaire », présentant l'avantage d'un démarrage rapide et d'une possibilité de contrôle de la biologie en réalisant des apports ponctuels

Les technologies granulaires sont habituellement mises en œuvre dans la technique « UASB » (Upflow Anaerobic Sludge Blanket ou Lit de boues anaérobies à flux ascendant).

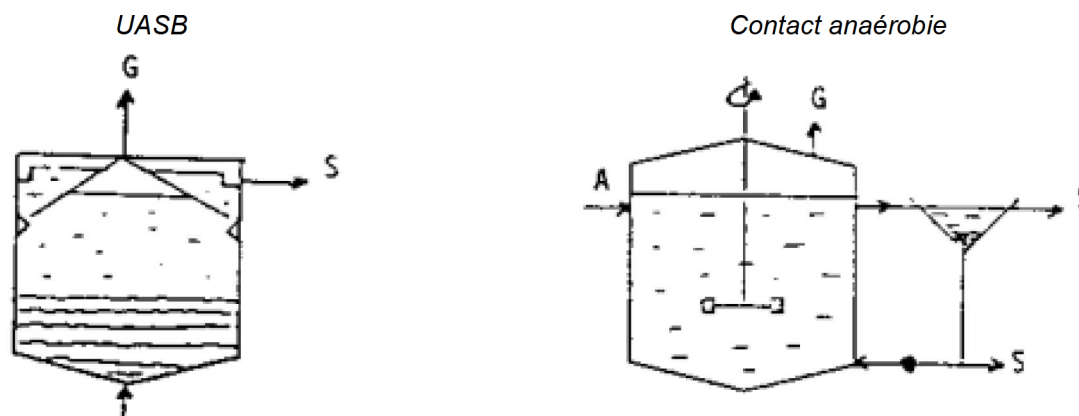


Figure 10 : Illustration des réacteurs granulaires

Enerpro Biogaz fait le choix des technologies granulaires, car l'utilisation de boues granulaires plutôt que des boues libres dans le cas d'un réacteur compartimenté réduit la phase de démarrage du réacteur.

Avec l'UASB, on contrôle le temps de rétention des solides en maîtrisant la vitesse ascensionnelle de l'effluent pour une mise en suspension des granules suffisante pour maximiser le contact entre la biomasse et l'effluent, mais de façon à ce que les granules ne s'évacuent pas avec l'effluent traité.

Enerpro Biogaz propose d'opérer les réacteurs granulaires de manière séquentielle discontinue (procédés séquentiels discontinus : « Sequencing Batch Reactor »), de manière à faire décanter les granules avant l'expulsion de l'effluent traité, ce qui présente une complexité moindre que la technologie « UASB », critère important compte-tenu des conditions d'exploitation du site.

La méthanisation assure l'abattement de la pollution organique exprimée en DCO de plus de 80 %, mais cela ne suffit pas à envisager un rejet direct au milieu naturel.

Un traitement secondaire est donc nécessaire.

2.2.2 Traitement secondaire

Il existe plusieurs types de technologies envisageables pour le traitement secondaire en sortie d'un traitement primaire anaérobie :

- lagunage
- filtre planté de roseaux
- filtre pouzzolane
- boues activées

Ces filières sont décrites ci-après avec la justification de leur choix ou de leur non prise en compte.

2.2.2.1 Lagunage naturel

Le lagunage est un procédé d'épuration biologique des eaux usées qui consiste en un lent écoulement de l'eau à traiter dans un ou plusieurs réservoirs peu profonds où se développent des bactéries et autres organismes vivants qui dégradent des matières organiques et des sels minéraux contenus dans les eaux.

La surface totale des bassins se calcule à partir des charges totales annuelles de DCO :

$$\text{Surface nécessaire (m}^2\text{)} = \text{Charge totale DCO (kg/an)} \times 0,15 \text{ (m}^2\text{/kg de DCO)}$$

Pour l'alpage du Vallon, la charge en DCO est trop élevée pour envisager ce traitement, puisqu'en ordre de grandeur, rapporté à l'année, la charge nécessiterait une surface plane de plusieurs milliers de m².

2.2.2.2 Filtre planté de roseaux

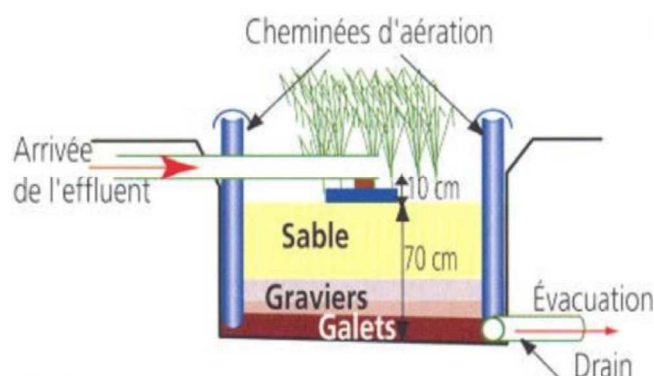


Figure 11 : Filtre planté de roseaux (crédit IDELE)

Les filtres plantés de roseaux sont des excavations étanches remplies de couches successives de graviers ou de sables de granulométrie variable. Ils sont constitués de plusieurs étages complexes.

La technique du filtre planté de roseaux est basée sur le principe d'épuration à culture fixée sur support fin. Leur fonctionnement alterne des phases d'alimentation et de repos.

Cette technique d'épuration, repose sur deux mécanismes principaux, à savoir :

- la filtration superficielle : les matières sèches en suspension sont arrêtées à la surface du massif filtrant et avec elles une partie de la pollution organique (DCO particulaire)
- l'oxydation : le milieu granulaire constitue un réacteur biologique servant de support aux bactéries aérobies responsables de l'oxydation de la pollution dissoute (DCO soluble, azote organique et ammoniacal)

Outre des références mentionnant les difficultés de mise en œuvre de cette technique à une altitude de 1000 m et plus sous nos latitudes, des doutes subsistent sur l'efficacité en cas d'interruption et de redémarrage (capacité du système à supporter une pause dans son alimentation, et donc à la survie des bactéries) et les dommages causés sur l'ouvrage lors des périodes hivernales.

Également, nous ne disposons d'aucun élément nous permettant de juger de l'existence ou non, d'espèces végétales locales compatibles avec la phyto-épuration, sans risquer l'introduction d'espèces exogènes dans le parc.

2.2.2.3 Filtre pouzzolane

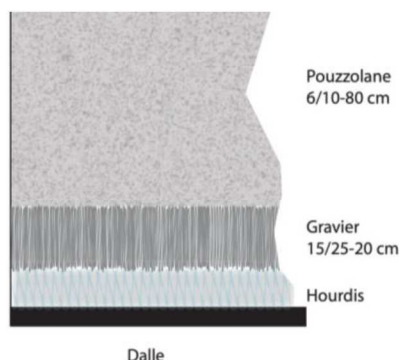


Figure 12 : Filtre pouzzolane

Le procédé consiste en l'application de l'effluent sur un filtre à pouzzolane au sein duquel se développe la biomasse assurant, en même temps que la filtration, une épuration biologique.

L'effluent est collecté dans une cuve de réception. Il est ensuite introduit par pompage dans une cuve de recyclage, puis diffusé par aspersion sur le filtre et rejoint la fosse de recyclage par gravité.

Quatre recyclages journaliers au travers du filtre sont nécessaires afin d'obtenir un effluent suffisamment épuré avant rejet dans le milieu naturel.

Cette technique peut s'avérer intéressante sur le plan économique. Également, elle présente l'avantage de ne pas produire de boues. Cependant, la bibliographie pointe l'influence négative des conditions froides et l'incertitude de longévité de la filière.

Ces défauts conduisent Enerpro Biogaz à disqualifier cette solution compte tenu des contraintes d'exploitation.

2.2.2.4 Boues activées

Cette technique utilise des boues activées, qui sont composées essentiellement de micro-organismes floculants, mélangée avec de l'oxygène dissous et l'effluent à traiter. Les micro-organismes entrent constamment en contact avec les polluants organiques des eaux résiduaires, ainsi qu'avec l'oxygène, et sont maintenus en suspension.

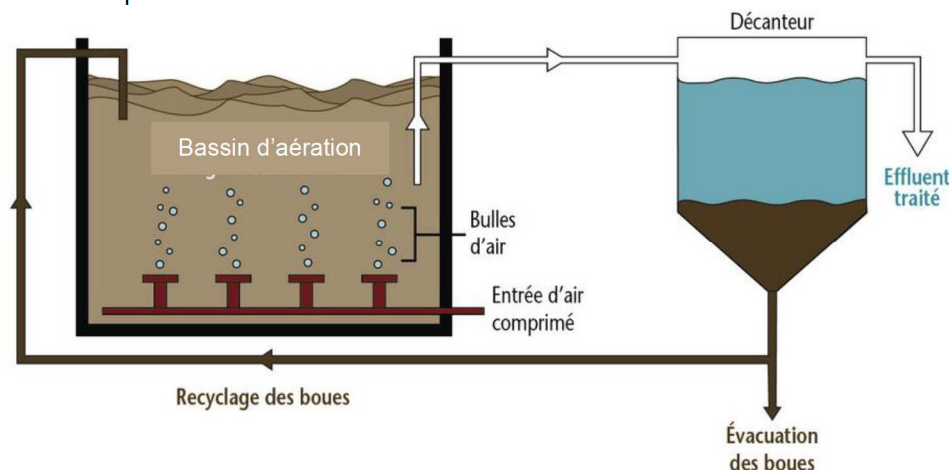


Figure 13 : Bassin à boues activées avec recyclage (crédit : Louis Tessier)

L'aération des eaux résiduaires a lieu dans un ou plusieurs bassins. Ceux-ci sont désignés sous le terme de bassins d'aération ou bassins à boues activées. Afin de maintenir une biomasse suffisante, la boue est recyclée par pompage dans un bassin de décantation qui succède aux bassins d'aération.

Le procédé à boues activées est le procédé d'épuration biologique le plus fréquemment mis en œuvre. Ses avantages principaux sont :

- la sécurité d'exploitation et les possibilités de contrôle,
- le rendement épuratoire moins dépendant des conditions extérieures,
- la phase de démarrage courte (moins de deux semaines)
- l'absence d'odeurs et de mouches.

Enerpro Biogaz n'identifie pas de contre-indication compte-tenu des conditions d'exploitations suivantes :

- production saisonnière : le procédé peut être démarré rapidement par ensemencement de boues
- conditions climatiques : en exécution enterrée, le bassin se trouve à l'abri des intempéries

Le système préconisé comprend alors les éléments suivants :

- Bassin(s) d'aération : un apport d'air permet d'obtenir une teneur en oxygène dissous suffisante pour l'activité biologique nécessaire à l'élimination du carbone et, si besoin, la nitrification des composés azotés.
- Clarificateur : la décantation permet l'abattement de la MES, puis l'eau épurée est évacuée par « surverse » dans le milieu naturel.

Les boues produites dans le premier bassin, décantent naturellement et sont renvoyées en plus grande partie vers le bassin d'aération (recirculation), tandis que l'autre partie doit être éliminée (environ 5% de la DCO traitée par voie aérobie est convertie en nouvelles boues). L'élimination de ces boues doit se faire par épandage dans le cadre d'un plan d'épandage.

2.2.2.5 Choix de la filière de traitement secondaire

En conclusion, **la technique des boues activées présente les meilleures chances d'atteinte des performances épuratoires**, compte-tenu des conditions d'exploitation du site objet de l'étude.

2.3 DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION PROPOSÉE

L'ensemble de l'installation décrite ci-après est représenté sur les plan de masse et un schéma de flux, disponibles en annexe au chapitre 7.

2.3.1 Filière anaérobie

La filière anaérobie est constituée d'une cuve tampon de réception et du digesteur.

2.3.1.1 Dimensionnement de la cuve tampon

Pour la réception des flux, Enerpro Biogaz prévoit une cuve tampon isolée thermiquement. Elle permet de :

- tamponner la charge hydraulique entrante
- réaliser l'hydrolyse du lactose

Remarque : une aération dans cette cuve est possible pour accélérer la phase d'hydrolyse et augmenter la biodégradabilité de la DCO

| Paramètre | Valeur |
|--------------------|------------------|
| Nombre de cuve | 1 |
| Temps de séjour | 3 jours |
| Volume utile | 4 m ³ |
| Largeur hors tout | 1'200 mm |
| Longueur hors tout | 2'400 mm |
| Hauteur hors tout | 1'970 mm |
| Poids (à vide) | 2'700 kg |

Tableau 7 : Caractéristiques de la cuve tampon

2.3.1.2 Dimensionnement du digesteur

Le dimensionnement consiste tout d'abord à déterminer le volume de digestion nécessaire, tenant compte de la charge organique.

Les réacteurs granulaires sont des réacteurs à hautes performances (charge organique importante, associée à un temps de séjour court) et peuvent traiter des charges pouvant aller jusqu'à 40 g_{DCO}.L⁻¹.j⁻¹ avec des temps de séjour de quelques heures à quelques jours suivant la nature de l'effluent à traiter. Une hypothèse conservatrice de charge organique de 5 kg_{DCO}/m³/jour est considérée, avec un taux d'abattement de la DCO de 85%.

Ci-dessous le tableau récapitulatif des paramètres de dimensionnement :

| Paramètres | Valeurs | Sources |
|---|---------|------------------------------|
| DCO entrante (kg/j) | 72 | Calcul |
| Volume d'effluent à traiter (L/j) | 1300 | Exploitant |
| Charge organique (kgDCO/m3/j) | 5 | Hypothèse de dimensionnement |
| Volume du digesteur (m3) | 14,45 | Calcul |
| Volume utile de digestion retenu (m3) | 15 | Choix Enerpro Biogaz |
| Temps de séjour hydraulique | 11,5 | Calcul |
| Taux d'abattement de la DCO (%) | 85 | Hypothèse |
| DCO consommée (kg/j) | 61,4 | Calcul |
| DCO restante (kg/j) | 10,8 | Calcul |
| Concentration moyenne de DCO en sortie (mg/L) | 8338 | Calcul |

Tableau 8 : Paramètres de dimensionnement du digesteur

Pour la fabrication de la cuve du digesteur, plusieurs solutions ont été étudiées :

- béton
- fibre polyester
- polyéthylène haute densité PEHD

Pour le digesteur, Enerpro Biogaz souhaite un dispositif monolithique et entièrement monté en usine, de manière à assurer une fabrication dans de bonnes conditions et limiter les aléas de la mise en œuvre sur site.

Dans cet esprit, la fabrication béton s'avère impossible, compte tenu de la limite de charge massique admissible pour l'accès au site. À titre d'ordre de grandeur, une cuve en béton préfabriquée de 20 m³ pèse environ 12 tonnes.

De plus, le digesteur est exposé à la corrosion de l'H₂S, nécessitant un traitement spécifique du béton.

Les chaudronniers polyester et PEHD proposent des solutions adaptées aux contraintes du site et du procédé de méthanisation.

Enerpro Biogaz prévoit une cuve cylindrique en exécution PEHD, qui présente les caractéristiques suivantes :

| Paramètres | Valeurs |
|----------------|-------------------|
| Nombre de cuve | 1 |
| Volume utile | 15 m ³ |
| Diamètre ext | 2'380 mm |
| Longueur ext. | 4'400 mm |
| Poids (à vide) | 2'100 kg |

Tableau 9 : Caractéristiques du digesteur

La cuve est isolée thermiquement par 100 mm de polystyrène.

Un dispositif de drainage vers un point bas pourvu d'un regard de contrôle facilement accessible qui permet la détection d'éventuelles fuites est prévu. Les eaux seront à analyser annuellement (MEST, DBO5, DCO, Azote global et Phosphore total)

Maintien en température

Le processus de méthanisation mésophile requiert une température au sein du digesteur d'environ 38°C. D'après l'exploitant, durant la période d'alpage la température dans le sol est stable à 12°C.

Nos calculs, basés sur les données de température fournies par l'exploitant, nous donnent une température du mélange lactosérum / eaux blanches en entrée de 38°C.

De manière à garantir la possibilité d'un maintien en température au sein du digesteur, deux mesures sont prises :

- isolation thermique en polystyrène
- thermoplongeur électrique de 700 W (capacité de 1°C/24h)

Agitation et gestion des granules

Enerpro Biogaz a choisi le traitement séquentiel combiné, dit « SBR » (Sequencing Batch Reactor) pour éviter la destruction des granules par la recirculation et leur évacuation vers la filière aérobie. Le « SBR » est réalisé en trois phases

- une phase de remplissage et d'agitation par bullage de biogaz,
- une phase de décantation : séparation eau / granules,
- une phase de vidange : vidange des eaux traitées : extraction du volume quotidien

L'agitation par bullage de biogaz est opérée via une soufflante :

- débit : 20 m³/h à 200 mbar
- puissance : 0,8 kW

L'évacuation de l'effluent est opérée via une pompe de surface. Cette pompe pourra aussi permettre l'agitation manuelle par recirculation de liquide en cas de dysfonctionnement du système d'agitation de biogaz ou manque de biogaz (démarrage).

Capteurs

La filière anaérobie est équipée des capteurs suivants :

- sonde de température : suivre la température
- sonde de pH : permettant de surveiller des éventuels dysfonctionnements tels que des acidoses

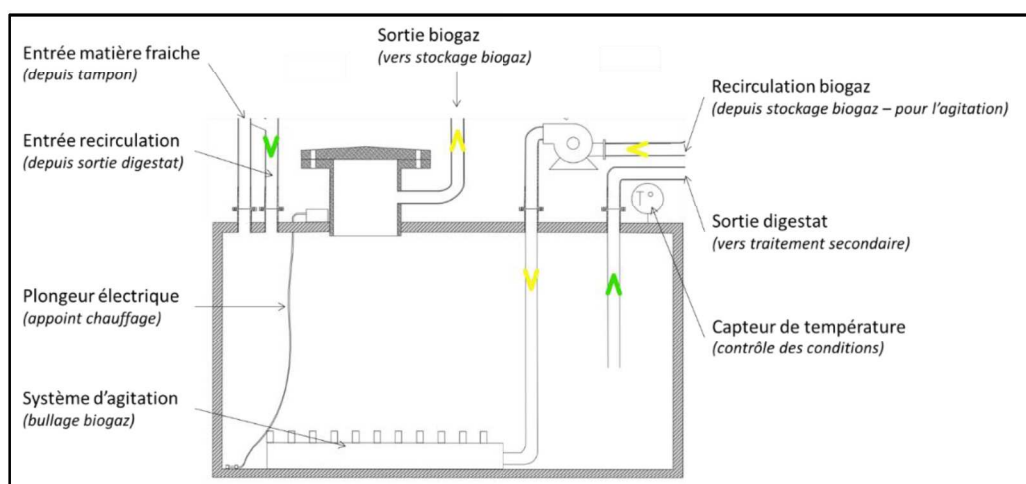


Figure 14 : Schéma descriptif du digesteur

2.3.2 Filière aérobie

2.3.2.1 Dimensionnement du bassin aéré

Le volume d'un bassin aéré est usuellement dimensionné sur la base d'une charge organique de 0,7 à 1,5 kg_{DCO}/m³/jour. Enerpro Biogaz propose de considérer ici 0,7 kg_{DCO}/m³/jour. L'abattement de l'azote n'est pas requis (voir chapitre réglementation).

Ci-dessous le tableau de dimensionnement :

| Paramètres | Valeurs | Sources |
|--|---------|------------------------------|
| Volume d'effluent (L/j) | 1300 | Hypothèse de dimensionnement |
| DCO entrante (kg/j) | 10,8 | Calcul |
| Concentration moyenne de DCO en entrée (mg/L) | 8338 | Calcul |
| Concentration en azote du mélange (g/L) | 0.9 | Hypothèse de dimensionnement |
| Azote entrant (kg/j) | 1,1 | Calcul |
| Oxygène à apporter (kg/j) | 12,56 | Calcul |
| Charge organique (kgDCO/m ³ /j) | 0,7 | Hypothèse de dimensionnement |
| Volume minimal du bassin d'aération selon les hypothèses considérées (m ³) | 15,49 | Calcul |
| Volume utile du bassin d'aération retenu (m ³) | 16 | Choix Enerpro Biogaz |
| Temps de séjour hydraulique | 12,3 | Calcul |
| Coefficient de transfert (gO ₂ /Nm ³ air/mprof) | 15 | Hypothèse de dimensionnement |
| Hauteur de la cuve (m) | 1,9 | Calcul |
| Quantité d'air apportée (m ³ /j) | 380 | Calcul |
| Taux d'abattement de la DCO (%) | 98 | Hypothèse de dimensionnement |
| Concentration en DCO en sortie (mg/L) | 167 | Calcul |

Tableau 10 : Paramètres de dimensionnement du bassin aérobie

Exécution des bassins

De même que pour le digesteur, différents matériaux ont été étudiés pour le bassin d'aération :

- béton
- fibre polyester
- polyéthylène haute densité (PEHD)

Le design du dispositif est plus simple que pour la filière anaérobie, puisque les aménagements spécifiques par rapport aux cuves standards en béton sont limités et les contraintes liées à la corrosion également. Enerpro Biogaz a prévu de diviser le bassin d'aération en quatre cuves de construction en béton préfabriqué, qui présentent les caractéristiques suivantes :

| Paramètres | Valeurs |
|-------------------------------|-------------------|
| Nombre de cuves | 4 |
| Volume utile (par cuve) | 4 m ³ |
| Volume utile (total) | 16 m ³ |
| Largeur hors tout (par cuve) | 1'200 mm |
| Longueur hors tout (par cuve) | 2'400 mm |
| Hauteur hors tout (par cuve) | 1'970 mm |
| Poids (à vide par cuve) | 2'700 kg |
| Classe de béton | XA3 |

Tableau 11 : Caractéristiques du bassin aérobie

Le dispositif d'aération est composé de :

- d'une soufflante à air installée sur une petite dalle béton à proximité des bassins :
 - débit : 40 m³/h à 200 mbar
 - puissance : 1,5 kW
 - niveau sonore : 72 dB
 (Une seule soufflante permet l'aération des 4 bassins)
- disques diffuseurs de fines bulles :
 - taille : 25 cm de diamètre
 - débit nominal : 3-5 Nm³/h
 - nombre : 3 par cuves aérée
 - nettoyage : acide formique

Re-circulation des boues

Les boues sont recirculées du fond du clarificateur vers la tête de traitement aérobie, par l'intermédiaire d'une pompe immergée, pour conserver un taux et un âge des boues suffisants et optimisés.

Capteurs

La filière aérobie est équipée des capteurs suivants :

- sonde de température
- sonde de RedOx (potentiel d'oxydo-réduction) pour suivre l'activité bactérienne au cours de ces deux phases aérobie/anaérobie (nitrification/dénitrification)

2.3.2.2 Dimensionnement du clarificateur

Pour le bon abattement de la MES, le clarificateur devra présenter un temps de séjour minimum de 1 jour.

Les boues excédentaires générées devront être pompées pour être épandues conformément à un plan d'épandage, par exemple sur les prairies de l'exploitation situées dans la vallée.
Elles pourront être transportées par une citerne tractée par le matériel adapté aux contraintes du site.
La tableau ci-dessous présente l'évaluation de la production de boues pour la filière aérobie :

| Paramètres | Valeurs | Sources |
|--|---------|------------------------------|
| Production de boues (kg/kgDCO) | 0.05 | Hypothèse de dimensionnement |
| Production de boues (kg/j) | 0.71 | Calcul |
| Concentration des boues décantées (kg/m ³) | 10 | Hypothèse de dimensionnement |
| Volume quotidien de boues (m ³ /j) | 0.07 | Calcul |
| Nombre de jour d'alpage | 95 | Hypothèse de dimensionnement |
| Volume annuel de boues excédentaires (m ³) | 6.65 | Calcul |

Tableau 12 : dimensionnement du clarificateur

Pour ce bassin, une cuve équivalente à celles prévues pour le bassin d'aération est considérée

| Paramètres | Valeurs |
|--------------------|------------------|
| Nombre de cuve | 1 |
| Volume utile | 4 m ³ |
| Largeur hors tout | 1'200 mm |
| Longueur hors tout | 2'400 mm |
| Hauteur hors tout | 1'970 mm |
| Poids (à vide) | 2'700 kg |
| Classe de béton | XA3 |

Tableau 13 : caractéristiques du clarificateur

2.3.2.3 Schéma de la filière aérobie

Les éléments constitutifs de la filière aérobie peuvent être présentées par le schéma ci-dessous :

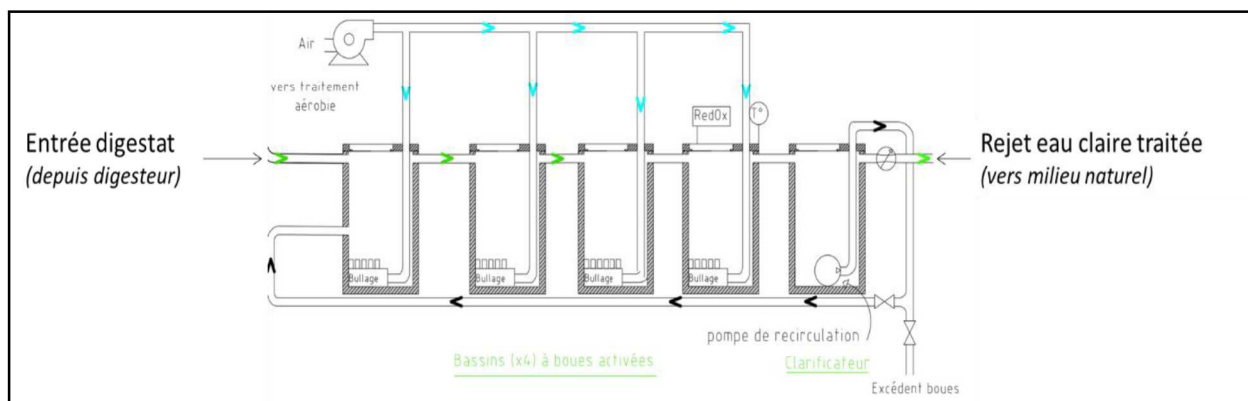


Figure 15 : Schéma représentatif de la filière aérobie

2.3.3 Filière de valorisation du biogaz

Enerpro biogaz prévoit de placer le système de valorisation du biogaz sur un skid indépendant. Pour des raisons de sécurité, Enerpro Biogaz préconise l'implantation du skid de valorisation de biogaz en dehors des bâtiments. Par contrainte réglementaire (voir chapitre réglementation) le stockage de biogaz et les dispositifs de combustion doivent être espacé d'au moins 10 m.

2.3.3.1 Stockage de biogaz

Un ballon tampon sert à la récupération et au stockage de biogaz, son volume a été déterminé pour respecter un temps supérieur à 3h de production de biogaz au débit nominal. Enerpro Biogaz dimensionne un ballon de stockage en PVC, protégé par un conteneur 10 pieds. La protection du conteneur aux aléas climatiques de l'hiver peut être effectué par talutage le protégeant des avalanches, ou par mise à l'abris dans le hangar. Cette appréciation relève de la maîtrise du site par l'exploitant.

| Paramètres | | | Valeurs | Sources |
|-------------------------------|---------------|----|----------|------------------------------|
| Contrainte de stockage | réglementaire | de | 3 h | ICPE |
| Débit nominal de biogaz | | | 1,5 m3/h | Hypothèse de dimensionnement |
| Volume de stockage nécessaire | | | 4,5 m3 | Calcul |
| Volume de stockage retenu | | | 10 m3 | Hypothèse de dimensionnement |

Tableau 14 : Dimensionnement du stockage de biogaz

Le dispositif de stockage sera placé dans un conteneur métallique maritime de 10 pieds, abritant également la soufflante biogaz.

| Paramètres | Valeurs |
|----------------------|----------|
| Longueur (conteneur) | 2'991 mm |
| Largeur (conteneur) | 2'438 mm |
| Hauteur (conteneur) | 1'200 mm |
| Longueur extérieure | 2'400 mm |
| Hauteur extérieure | 1'970 mm |
| Poids (à vide) | 2'700 kg |
| Classe de béton | XA3 |

Tableau 15 : Caractéristiques du conteneur abritant le stockage du biogaz

2.3.3.2 Traitement du biogaz

Le biogaz produit par la fermentation aérobie contient de l'hydrogène sulfuré (H_2S), et ce gaz (potentiellement toxique pour l'Homme) est de nature à corroder les équipements de valorisation.

Le soufre sera éliminé via un filtre à charbon actif. Le débit de combustion nécessite un volume de filtre de 20 litres. Le charbon actif est à changer chaque année.

Le biogaz est refroidi par passage dans une canalisation enterrée, l'eau est récupérée en point bas. Le puisard fait également office de garde hydraulique, en cas de surpressions du réseau de gaz.

Stabilisation de pression

Le biogaz sera aspiré dans le ballon de stockage par une pompe à biogaz et la pression en sortie de cette dernière et donc en entrée du skid chauffe-eau, sera stabilisée par une colonne de stabilisation avec une cloche mobile équipée d'un contre poids, et de capteurs de position. Ce dispositif permet une bonne stabilisation de la pression pour l'équipement de valorisation.

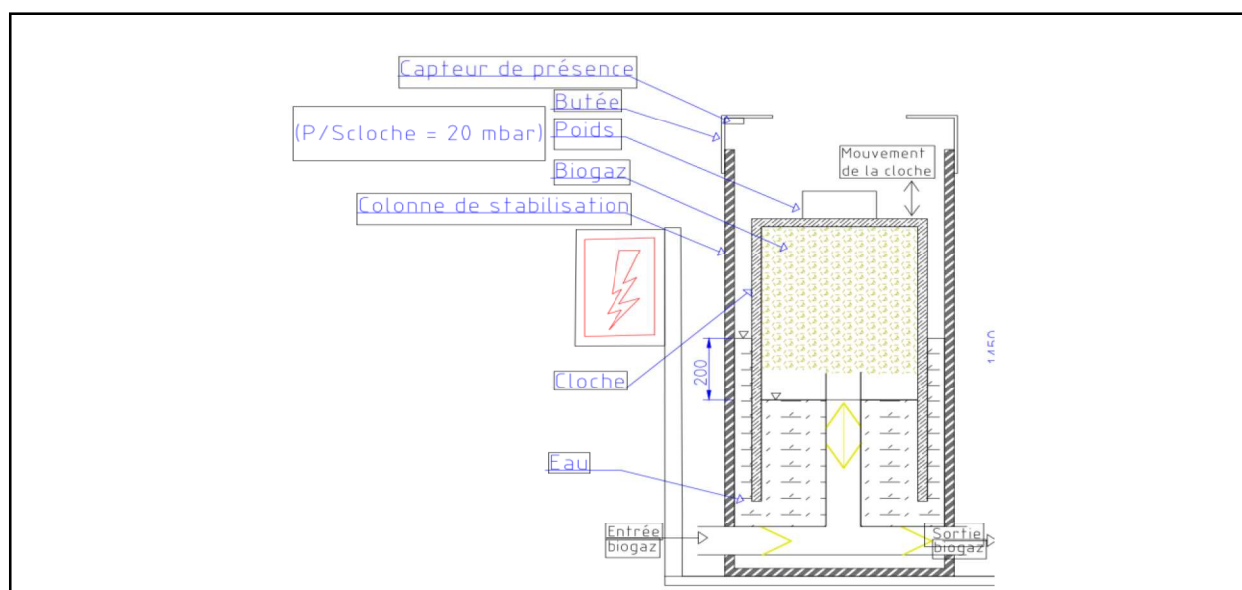


Figure 16 : Illustration du fonctionnement de la colonne de stabilisation

2.3.3.3 Valorisation du biogaz en chauffe-eau

Le système de valorisation du biogaz est constitué d'un skid équipé de 2 chauffe-eau biogaz, qui possèdent les caractéristiques suivantes :

| Paramètres | Valeurs |
|-------------------------------------|------------------|
| Nombre de cuve | 2 |
| Volume utile (par cuve) | 150 L |
| Volume total | 300 L |
| Température maximale admissible | 72°C |
| Puissance utile (biogaz – par cuve) | 7,3 kW |
| Matériaux constitutif | Acier |
| Poids net (à vide par cuve) | 71 kg |
| Autre | Fonction antigel |
| Longueur du skid | 1'800 mm |
| Largeur du skid | 800 mm |

Tableau 16 : Caractéristiques du skid de valorisation du biogaz

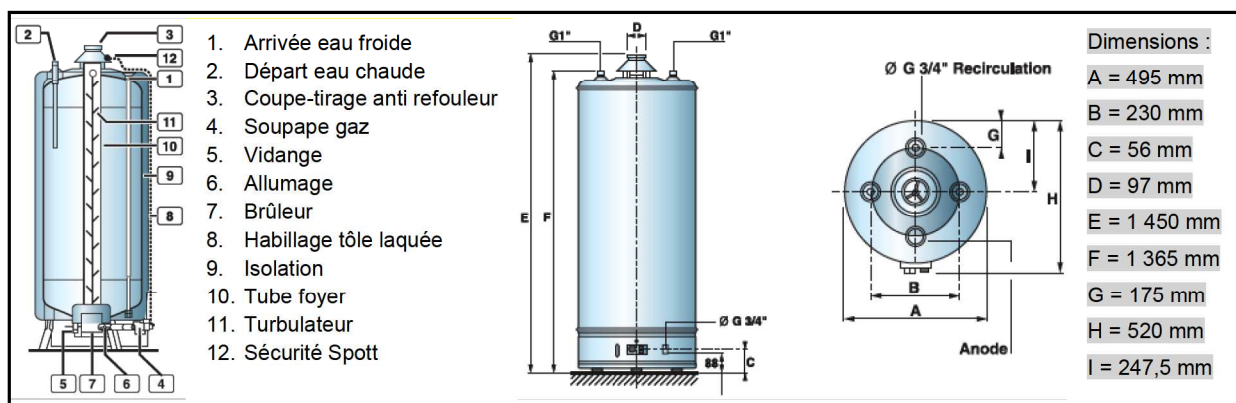


Figure 17 : caractéristiques dimensionnelles d'un chauffe-eau

La température d'eau chaude dans les chauffe-eaux peut atteindre 72 °C.

Capteurs

Un débitmètre biogaz avec analyse taux CH₄ permettra de surveiller la production d'énergie. La surveillance de l'évolution du débit et de la composition du biogaz permettra de prévenir d'éventuels dysfonctionnements tels que des acidoses, et de faciliter la montée en charge.

La ligne biogaz sera également équipée d'un convertisseur de pression.

Le skid est équipé d'un compteur d'énergie thermique.

2.3.3.4 Destruction du biogaz

Conformément aux prescriptions ICPE, un moyen de destruction de biogaz doit être présent à demeure sur site.

L'étude des besoins énergétiques met en évidence un potentiel de production d'énergie thermique à partir du biogaz supérieur aux consommations du site.

Le biogaz excédentaire sera détruit par l'intermédiaire d'une torchère manuelle.

2.3.3.5 Variante 1 - Cogénération

En variante, bien que nous recommandons une solution de valorisation thermique seule au vu des contraintes liées l'alpage mais puisque les besoins thermiques sont bien inférieurs aux productions, une solution technique de cogénération a été étudiée. Elle est présentée ici. Un module équipé d'un moteur de type TOYOTA 1KS est alors proposé.

Le moteur est équipé d'une génératrice dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Tension : 230 V
- Puissance sortie : 9,2 KVA
- Fréquence : 50 Hz

Récupération de chaleur

La récupération de chaleur se fait sur le liquide de refroidissement du bloc moteur et sur le gaz d'échappement. Le module comprend un circulateur d'eau chaude. Le régime de température est de 90/70°C.

Pour évacuer la chaleur du moteur si la demande thermique n'est pas suffisante, le module comprend un aéroréfrigérant de 15 kWth avec circulateur et accessoires

Circuit d'huile

Un réservoir d'huile additionnel d'une capacité de 20l implanté sous le carter moteur permet d'espacer les intervalles de maintenance jusqu'à 8 000 h.

Niveau sonore

Le moteur et la génératrice sont accouplés et montés sur un skid. Le niveau sonore est de 60 dBA à 1 mètre sans capotage.

Intégration

Le module de cogénération serait intégré dans un conteneur au format 20 pieds.

Un circuit eau chaude primaire secondaire avec bouteille de découplage et de 2 départs eau chaude y compris vase d'expansion système de remplissage automatique, purgeur et soupape de sécurité

L'implantation d'un module de cogénération biogaz sur un alpage à 2300 m d'altitude serait une première réalisation, et nous ne disposons actuellement d'aucune référence nous permettant de prendre en compte d'éventuels dysfonctionnements liés aux conditions de l'alpage. L'intégration paysagère d'un conteneur de 20 pieds sur l'alpage est aussi un levier à résoudre.

2.3.4 Automatisation de l'installation

Le système est piloté par une interface homme-machine permettant :

- le paramétrage des temps de fonctionnement des pompes et soufflantes et affichage de leur état de fonctionnement,
- l'affichage de la valeur des sondes
- l'enregistrement des données en format csv pour la réalisation de courbes d'analyse

Remarques : en cas d'absence d'électricité, les effluents bruts pourront être stockés dans la cuve tampon pour décharger la filière de traitement, sans empêcher le fonctionnement de la fromagerie.

L'armoire électrique sera réalisée selon les normes en vigueur et sera protégée de la foudre et des surchauffes liées aux surtensions.

2.3.5 Sécurités du site

- eau chaude : groupe de sécurité
- biogaz : torchère, puisard à niveau constant agissant aussi comme soupape en cas de surpression
- eaux polluée en sortie de classificateur : cuve tampon en entrée

2.4 DÉFINITION DES PERFORMANCES ATTENDUES DU SYSTÈME

2.4.1 Performances épuratoires

Les performances épuratoires de la filière décrite ci-dessus permettent l'abattement de la DCO à hauteur de 99,7 %.

Pour rappel, un rejet au milieu naturel de 1300 L/j avec une concentration moyenne de 167 mg/L de DCO est prévu.

2.4.2 Performances énergétiques

2.4.2.1 Production de biogaz

Les potentiels biogaz théoriques ont été présentés aux paragraphes 1.2.2 et 1.4.

Compte tenu des paramètres de dimensionnement et des performances attendues du système exprimées aux paragraphes précédents, un taux d'expression du potentiel méthanogène d'un peu plus de 75 % est prévu. Les productions énergétiques brutes de la filière peuvent donc être exprimées par le tableau ci-dessous :

| Paramètres | Valeurs | Sources |
|---|---------|-------------------------|
| Production de méthane attendue (Nm ³ /j) | 21,5 | Calcul |
| PCI du méthane (kWh/Nm ³) | 9,96 | Moyenne bibliographique |
| Production d'énergie primaire attendue (kWh/j) | 208,2 | Calcul |

Tableau 17 : production énergétique primaire

Remarque : le tableau ci-dessus décrit les valeurs pour la période de production maximale.

Le méthane contenu dans le biogaz est valorisé par 2 chauffe-eau pour fournir de l'énergie thermique, dont la valeur est la suivante.

| Paramètres | Valeurs | Sources |
|--|---------|---------|
| Production d'énergie primaire attendue (kWh/j) | 208,2 | Calcul |

| | | |
|--|-------|------------------------------|
| Puissance thermique installée (kW) | 14,4 | Hypothèse de dimensionnement |
| Temps de fonctionnement (h/j) | 14,5 | Calcul |
| Rendement thermique (%) | 85 | Hypothèse de dimensionnement |
| Production de chaleur attendue (kWh/j) | 177,3 | Calcul |
| Capacité de production d'eau chaude à 72°C (en L/j avec un delta de température de 60°C) | 2'550 | Calcul |

Tableau 18 : Production énergétique valorisable

Remarque : le tableau ci-dessus décrit les valeurs pour la période de production maximale.

2.4.2.2 Consommations électriques

Ci-dessous, l'évaluation des consommation électriques des équipements de l'installation :

| Paramètres | Puissance (kW) | Durée (h/j) | Consommation (kWh/j) |
|------------------------------------|----------------|-------------|----------------------|
| Pompe d'alimentation du digesteur | 0.55 | 0.15 | 0.08 |
| Soufflante de recirculation biogaz | 0.81 | 6 | 4.86 |
| Pompe biogaz | 0.04 | 14 | 0.56 |
| Soufflante oxygénation | 1.5 | 12 | 18.00 |
| Pompe de transfert du digestat | 0.45 | 0.5 | 0.23 |
| Pompe de recirculation des boues | 0.55 | 0.75 | 0.41 |
| Total | | | 24.14 |

Tableau 19 : Consommations électriques

Remarques : aucune énergie électrique n'est considérée pour le maintien en température du système de méthanisation avec le thermoplongeur, tenant compte des hypothèses de température de l'effluent et des pertes thermiques négligeables. La consommation électrique est calculée de façon conservatrice puisqu'elle se base sur les puissances installées et non pas sur les puissances absorbées.

2.5 EXPLOITATION ET MODALITÉS DE MISE EN SERVICE

2.5.1 Réacteur anaérobie

Au démarrage, le digesteur doit monter en charge, cette étape débute par l'introduction d'un inoculum sous forme de granules, pour apporter une flore microbienne adaptée et efficace en termes de dégradation des polluants. Cet inoculum pourra provenir de l'installation de méthanisation du lactosérum de Savoie Lactée. Ensuite, d'une saison à l'autre, l'exploitant pourra tenter de conserver ses propres granules, dans un contenant fermé, à température ambiante et à l'abri de la lumière. En cas d'échec, un ensemencement de granules provenant de Savoie Lactée pourra être renouvelé. La quantité de granules nécessaire devra être déterminée à l'utilisation.

2.5.2 Réacteur aérobie

Au démarrage, les cuves aérobies serontensemencées avec des boues issues de station d'épuration à boues activées, pour une concentration de 4 g/l. Avec 16 m³ utiles, pour des boues à une concentration de 20 g/l, nous évaluons la quantité de boues nécessaire à 5 m³.

Avec l'hypothèse d'une proportion d'environ 5% de la DCO traitée par voie aérobie se convertit en nouvelles boues. Ainsi, la production de nouvelles boues est évaluée à 0,71 kg/jour. Avec une hypothèse de concentration des boues décantées de 10 g/l, le volume de boues s'accumulant au fond du clarificateur augmentera d'environ 0,07 m³/j.

En 90 jours, la production de boues excédentaires serait de 6,3 m³. Le volume du clarificateur étant de 4 m³, il faudra le vidanger 2 fois par saison et comme précisé les valoriser par retour au sol dans le cadre d'un plan d'épandage.

Entre deux saisons, l'installation étant enterrée et le manteau neigeux étant isolant, il est possible que les réacteurs aérobies soient maintenus hors gel :

- dans ce cas : il est possible que la biomasse se réactive en début de saison. Ce processus étant rapide, un traitement préventif anti-mousse sera nécessaire pour éviter les mousses de démarrage
- dans le cas contraire : un ensemencement devra être opéré de nouveau

2.6 SURVEILLANCE QUOTIDIENNE

Le temps nécessaire pour la ronde quotidienne est estimé à 30 minutes.

Elle consiste à vérifier les paramètres clés de l'installation sur l'interface homme-machine et à prendre les mesures nécessaires en cas de constatation d'un évènement non souhaité.

Les actions à réaliser sont notamment les suivantes :

- Surveillance des niveaux : l'exploitant vérifiera que les niveaux ne laissent pas penser à quelque colmatage que ce soit
- surveillance des valeurs de pH et courbes de RedOx
- analyses ponctuelles DCO, Azote, Phosphore
- nettoyage et étalonnage des sondes pH et RedOx chaque semaine à partir de solutions tampons
- un filtre à charbon actif installé sur la ligne biogaz assurera le traitement de l'H₂S. Le suivi du taux d'H₂S avant et après le filtre à charbon devra se faire quotidiennement, par exemple à l'aide de tubes colorimétriques ou avec un appareil de mesure qui devra être révisé annuellement

Le tableau ci-dessous présente une synthèse des mesures à prendre en fonction de la constatation des anomalies suivantes :

| Anomalie de mesure constatée | Action à mener |
|---|--|
| pH<7 dans la méthanisation ou Rapport AGV/TAC supérieur à 0,4 | Cesser l'alimentation du digesteur en le by-passant Si impossible ou en cas de chute importante du pH, ajouter de la soude (réaliser un titrage sur un échantillon pour déterminer le volume à incorporer afin de remonter le pH à 7) |
| DCO trop élevée en sortie d'aérobie | Mesurer la quantité de nitrates, phosphates dans les réacteurs aérobie, vérifier l'absence de carence en nutriments, le rapport entré DCO/N/P doit être inférieur à 150/5/1. Dans le cas contraire effectuer un apport complémentaire de nutriments pour rééquilibrer la ration |
| H ₂ S trop élevé en sortie de filtre à charbon actif | Remplacer le média filtrant |
| Mousse | Ajout éventuel de produit antimousse |

2.7 MAINTENANCE

La maintenance consistera à remplacer le matériel défectueux tel que les pompes, sondes ou les soufflantes. Nous préconisons de conserver le matériel de rechange suivant sur l'alpage :

- 1 sonde de pH
- 1 sonde de RedOx
- 1 pompe immergée
- 1 pompe de surface
- 1 soufflante à air

2.8 TEST DU PROTOTYPE

Un test du prototype est prévu en atelier.

Cependant, la validation des performances d'épuration en laboratoire ne nous ne semblent pas permettre de reproduire les conditions réelles d'exploitation :

- spécificités de l'effluent (caractéristiques physico-chimiques, saisonnalité, fréquence d'approvisionnement)
- spécificité de l'inoculum
- autres conditions liées au site (conditions climatiques, etc.)

C'est pourquoi, dans le cadre d'une variante 2, nous proposons une validation des performances épuratoires conduite in situ, suite à la première mise en service.

Dans l'objectif d'une mise en service rapide, nous proposons :

- la préfabrication en usine qui limite la durée du chantier et permet d'être opérationnel dès l'ouverture de l'accès à l'alpage.
- la réalisation de tests fonctionnels en usine de façon à fiabiliser le process de mise en service en minimisant la probabilité de problèmes techniques

Nous proposons la mise au point d'un protocole de tests en usine durant la phase de conception détaillée, comprenant notamment les test suivants :

- tenue mécanique et tests d'étanchéité
- fonctionnement de l'armoire électrique
- fonctionnement des cycles de l'automate
- communication avec les sondes et étalonnage
- sens de rotation des moteurs
- fonctionnement des pompes et soufflantes

Nous proposons une formation à la surveillance sur site par l'exploitant :

- formation : 3 prélèvements + mesure de DCO / jour pendant une semaine à l'aide d'un kit.
- mise à disposition de l'outillage de mesure + consommables (durée : 60 jours).

3. ETUDE DE FAISABILITÉ ÉCONOMIQUE ET RÉGLEMENTAIRE

3.1 ETUDE ÉCONOMIQUE

3.1.1 Coûts d'investissement

Les équipements décrits ci-dessus, ainsi que les frais annexes liés au développement du projet sont présentés dans le tableau ci-dessous :

| | |
|---|------------------|
| A. Filière anaérobie - réacteur | 29 314 € |
| B. Filière aérobie - réacteurs | 9 567 € |
| C. Equipements et canalisation | 11 110 € |
| D. Traitement, stockage et valorisation du biogaz | 20 868 € |
| Traitement et stockage du biogaz Skid chauffe-eau Torchère manuelle | |
| E. Automatismes et instrumentation | 19 970 € |
| F. Prototype test de laboratoire | 8 031 € |
| G. Travaux divers | 18 041 € |
| Terrassements Etudes réglementaire (urbanisme, ICPE, rejets) | |
| H. Ingénierie, montage, mise en service | 42 452 € |
| Etude de faisabilité DOE, mise en service sur site et formation 2 jours Assistance tél. 2 premières saison (limité à 3 j.H) Assistance à la réalisation Erep | |
| I. Variantes (non comprises au total) | |
| Variante 1 - module de cogénération (surcoût intégrant la moins-value liée à la suppression du skid chauffe eau) | 34 844 € |
| Variante 2 - Test de performance in-situ saison 1 (moins-value intégrant la suppression du prototype test en laboratoire) | 3 871 € |
| Imprévus (5%) | 7 968 € |
| MONTANT TOTAL DES INVESTISSEMENTS (HT) | 167 321 € |

Tableau 21 : Coûts d'investissement

Cette actualisation des coûts prend en compte la conception conformément aux descriptions ci-dessus et à l'évolution des obligations réglementaires liées aux arrêtés ICPE paru au bulletin officiel du 30/06/2021.

Cependant, les coûts suivants ne sont pas pris en compte :

- Le transport du matériel entre Bessans et l'alpage, pour lequel la remorque et le tracteur de l'exploitant, M. Vincendet devraient être mobilisés

- L'hébergement du personnel de montage dans les gîtes de l'alpage : estimé à 2 semaines pour 3 personnes

3.1.2 Economies liées à la production d'énergie sous forme de chaleur

L'énergie thermique maximale (hors pertes) consommée sur le site peut être chiffrée à 5300 kWh. Attention, cette estimation considère l'énergie thermique nécessaire à la production de fromage Beaufort, et implique donc un changement de cuve non pris en compte dans cette étude. Compte-tenu des contraintes d'exploitation, l'énergie actuellement consommée peut-être considérée avec un coût de 25 c€/kWh (chaleur et électricité). Le tableau suivant précise alors les gains envisageables :

| Economie énergie chaleur | | | |
|--------------------------|--------|------------------------|---------|
| Quantité | 5 300 | kWh _{PCS} /an | |
| Tarif | 25,000 | ct/kWh _{PCS} | |
| TOTAL | | | 1 325 € |

Tableau 22 : Gains liés à la valorisation du biogaz

3.1.3 Coût de fonctionnement

Le système présente des coûts de fonctionnement. Principalement, il a besoin d'électricité pour fonctionner. Comme vu ci-dessus, le coût de l'énergie électrique peut être estimé de 25 c€/kWh. Au-delà de la consommation énergétique, des frais supplémentaires peuvent survenir sous forme de bris de machine ou d'entretien. Un forfait de 0,5% de l'investissement est appliqué sur le gros œuvre, alors qu'un forfait de 1% est appliqué sur les équipements. Des consommables sont aussi nécessaires (charbon actif, eau, électricité...).

| Réparation & entretien | | | |
|------------------------------------|--|--|---------|
| Réparation / entretien gros-œuvre | | | 571 € |
| Réparation / entretien équipements | | | 530 € |
| TOTAL | | | 1 101 € |

| Consommables, analyses, contrôles méthanisation | | | |
|---|-----|---|-------|
| Pourcentage sur investissement | 0,3 | % | |
| TOTAL | | | 418 € |

| Consommation électricité | | | |
|----------------------------|-------|-----------------------|-------|
| Ensemble de l'installation | 2 294 | kWh _{él} /an | |
| TOTAL | | | 574 € |

| Assurances | | | |
|----------------------------------|-----|---|-------|
| Pourcentage sur l'investissement | 0,1 | % | |
| TOTAL | | | 167 € |

Tableau 23 : Charges d'exploitation

Cette analyse économique ne prend pas en compte les frais de gestion et les frais du personnel nécessaires à sa bonne conduite.

L'ensemble des charges (hors frais de gestion et de personnel) peut s'approcher à 2259 €HT. Ces coûts sont estimés par des ratios liés à l'investissement, issus d'expériences précédentes, mais indépendantes du contexte particulier de l'alpage.

3.1.4 Amortissements

| Amortissement | | |
|---------------------------------|--------|----------|
| Durée amortissement gros-œuvre | 15 ans | |
| Durée amortissement équipements | 10 ans | |
| Amortissement gros-œuvre | | 7 616 € |
| Amortissement équipements | | 5 304 € |
| TOTAL | | 12 920 € |

Tableau 24 : Amortissements

3.1.5 Analyse économique

Les charges étant supérieures aux gains liés à la récupération d'énergie, les résultats de l'analyse économique par les critères usuels n'ont pas de sens.

Le système envisagé est donc couteux à l'exploitation et pour sa réalisation. Même dans le cadre d'une installation subventionnée, le système étudié ne peut pas s'autofinancer et devient une charge pour la fromagerie.

Ces résultats peuvent s'expliquer par :

- Un besoin en chaleur faible compte-tenu de l'énergie disponible
- Des investissements importants au regard de l'énergie valorisée
- Une consommation électrique des bassins d'aération conséquente

Des voies d'optimisation financières pourraient être la suppression de la filière de traitement secondaire en remplaçant le rejet en torrent par un rejet en tranchées d'infiltration, sous réserve d'une acceptation des autorités, puisqu'il ne serait pas possible de garantir le respect des normes environnementales de rejet. Le dispositif serait alors une simple amélioration de l'équipement actuel.

Une variante en cogénération serait expérimentale et pourrait donc présenter un risque financier, mais elle permettrait aussi une valorisation plus importante de l'énergie. Des frais de maintenance pourraient apparaître sur l'engin, qui serait à comparer avec les frais du groupe diesel actuel. La valorisation énergétique complémentaire pourrait permettre de doubler les gains, mais engendrerait une augmentation des charges de fonctionnement (hors maintenance de la cogénération à comparer à celle du groupe diesel). Le groupe de cogénération pourrait sécuriser le besoin électrique de l'installation de traitement, et notamment du bassin d'aération, mais n'apporterait très certainement aucun avantage financier.

Dans la solution chauffe-eau, un ballon tampon complémentaire pourrait venir sécuriser une plus grande quantité d'énergie à valoriser, pour autant que les besoins en chaleur de l'alpage augmentent.

Remarque :

L'usage d'une cuve à Beaufort avec alimentation par eau chaude considérée dans cette étude économique permet d'améliorer le bilan économique (et environnemental) en utilisant l'eau chaude disponible. Il n'a pas été possible d'obtenir des éléments concrets de consommations et de dimensionnement auprès de fournisseurs sans faire une étude thermique complète. Cependant, les coûts d'une cuve à serpentin neuve de 800 L peuvent être estimées entre 25000 € et 40000€, ce qui rend le projet difficilement rentable sur le point de vue économique. L'étude de matériel d'occasion dépasse le cadre de cette étude et pourra faire l'objet d'une recherche ultérieure de la part de l'exploitant. Il s'ajoute à cela que l'usage d'une cuve à serpentin implique l'installation de pompe de circulation électrique ajoutant une charge de fonctionnement et le potentiel usage du groupe électrogène diesel pour produire cette électricité. Enfin, l'usage direct du biogaz pour alimenter le brûleur gaz (qui serait modifié pour fonctionner au biogaz), qui serait aussi source

d'économie ne semble pas possible car il serait nécessaire de réaliser une épuration poussée du biogaz, très onéreuse pour une telle utilisation. Le biogaz brut ne peut être utilisé en intérieur.

L'investissement relatif au projet en tant que système de méthanisation ne peut donc pas s'autofinancer. La réalisation du système doit donc être perçue comme une solution de traitement de l'effluent, permettant la poursuite des activités d'alpage plutôt qu'une source d'énergie renouvelable.

3.2 ETUDE RÉGLEMENTAIRE

3.2.1 Les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

L'article L-511-1 du code de l'environnement prévoit que les installations de méthanisation de déchets non dangereux soient réglementées au titre des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) par la rubrique 2781 qui a été créée à cet effet. Les installations de méthanisation peuvent aussi être soumises à d'autres rubriques de la réglementation des ICPE en fonction de leurs activités connexes.

3.2.1.1 Rubrique 2781

Les installations de méthanisation de déchets non dangereux sont soumises à la réglementation ICPE au titre de la rubrique 2781 et classées en fonction de la quantité et de la nature des matières qui y sont traitées.

La dénomination de cette rubrique est la suivante : « Installations de méthanisation de déchets non dangereux ou de matière végétale brute, à l'exclusion des installations de stations de méthanisation d'eau usées ou de boues d'épuration urbaines lorsqu'elles sont méthanisées sur leur site de production ».

Cette rubrique présente les dispositions à respecter par les installations de méthanisation pour assurer la sécurité des sites et la protection de l'environnement.

Elle est divisée en sous-rubriques et régimes associés qui sont détaillés dans le tableau ci-dessous :

| Rubrique | Type d'intrants | Régime | | |
|----------|---|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| | | Déclaration | Enregistrement | Autorisation |
| 2781-1 | Matière végétale brute, effluents d'élevage, matières stercoraires, lactosérum , déchets végétaux d'industries agro-alimentaires | Tonnage traité < 30 t/j | Tonnage traité ≥ 30 t/j et < 100 t/j | Tonnage traité ≥ 100 t/j |
| 2781-2 | Autres déchets non dangereux | | Tonnage traité < 100 t/j | Tonnage traité ≥ 100 t/j |

Tableau 25 : Rubrique ICPE 2781 et sous-classification

L'installation décrite par le présent projet entre dans le cadre de la rubrique :

- 2781-1c DECLARATION

Les installations soumises à déclaration au titre de la rubrique 2781-1 doivent satisfaire les règles dictées par *l'arrêté du 10 novembre 2009 modifié par l'arrêté du 17 juin 2021 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées de méthanisation soumises à déclaration sous la rubrique n°2781-1*.

La procédure liée au régime déclaration est décrite dans *les articles R512-47 à R512-54 du Code de l'Environnement*. Le dépôt du dossier de déclaration est à faire auprès de la DREAL. Il s'agit d'une démarche dématérialisée.

Les articles *L311-1* et *D311-18 du Code rural et de la pêche maritime*, considère la méthanisation comme une activité agricole lorsqu'elle répond aux conditions cumulatives suivantes :

- Au moins 50% des intrants proviennent d'exploitations agricoles (L311-1) dont le caractère agricole est défini comme « toutes les activités correspondant à la maîtrise et à l'exploitation d'un cycle biologique de caractère végétal ou animal. »
- L'unité de méthanisation est détenue par un exploitant agricole ou une structure détenue majoritairement par des exploitants agricoles (D311-18).

Les revenus sous forme de vente d'énergie sont alors considérés comme des revenus agricoles.

3.2.1.2 Rubrique 2910

Lorsqu'une unité de méthanisation dispose d'une installation de combustion, elle peut être concernée par la rubrique 2910 « combustion » de la réglementation ICPE. Les sous-rubriques et régimes associés sont détaillés dans le tableau ci-dessous :

| Rubrique | Combustion | Régime | | |
|----------|--|---|--|---|
| | | Déclaration | Enregistrement | Autorisation |
| 2910-A | Lorsque sont consommés, seuls ou en mélange, du gaz naturel, [...], du biométhane, [...] ou du biogaz provenant d'installations classées sous la rubrique 2781-1 | Puissance thermique nominale \geq 1 MW et < 20 MW | Puissance thermique nominale \geq 20 MW et < 50 MW | |
| 2910-B1 | Lorsque sont consommés, seuls ou en mélange, [...], le biogaz autre que celui visé en 2910-A | | Puissance thermique nominale \geq 1 MW et < 50 MW | |
| 2910-B2 | Lorsque sont consommés des combustibles différents de ceux visés au point 1 | | | Puissance thermique nominale \geq 0,1 MW et < 50 MW |

Tableau 26 : Rubrique ICPE 2910 et sous classification

Au-delà d'une puissance thermique nominale de 50 MW, les installations de combustion sont classées dans la rubrique 3110 (transposition Directive IED), les installations soumises à autorisation doivent respecter les prescriptions de [l'arrêté du 3 août 2018 relatif aux installations de combustion d'une puissance thermique nominale totale inférieure à 50 MW soumises à autorisation au titre des rubriques 2910, 2931 ou 3110](#).

La chaudière prévue au projet est une installation de combustion selon la sous-rubrique 2910-B1 mais de puissance inférieure à 1MW, et donc non soumise aux prescriptions techniques.

3.2.1.3 Rubrique 4310 Gaz inflammables catégorie 1 et 2

Le biogaz est considéré comme un gaz inflammable de catégorie 1 par le [Règlement \(CE\) 1272/2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges](#). Un gazomètre ou stockage de biogaz est donc classé sous la rubrique **ICPE 4310**. La dénomination de cette rubrique est la suivante : « Gaz inflammables catégorie 1 et 2 ». Les régimes associés sont détaillés dans le tableau ci-dessous :

| Rubrique | Gaz inflammables catégorie 1 et 2 | Déclaration avec contrôle périodique | Régime | |
|----------|--|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| | | | Autorisation Seveso seuil bas | Autorisation Seveso seuil haut |
| 4310 | La quantité totale susceptible d'être présente dans les installations y.c. dans les cavités souterraines étant : | ≥ 1 t et < 10 t | ≥ 10 t et < 50 t | ≥ 50 t |

Tableau 27 : Rubrique ICPE 4310 et sous classification

Il est prévu au projet de stocker le biogaz dans un gazomètre en conteneur. Le stockage est de 10 m3 ; représentant environ 9 à 11 kg biogaz. Le régime de déclaration n'est donc pas atteint.

Le stockage de biogaz prévu au projet n'est pas concerné par cette rubrique.

3.2.2 Le traitement des sous-produits animaux

Les sous-produits animaux (SPAN) sont classés par le [Règlement Européen \(CE\) n°1069/2009 du Parlement Européen et du Conseil du 21 octobre 2009 établissant des règles sanitaires applicables aux sous-produits animaux et produits dérivés non destinés à la consommation humaine \[...\]](#).

Ce règlement regroupe l'ensemble des sous-produits animaux (SPA) en 3 catégories, en fonction du risque sanitaire de chacun.

3.2.2.1 SPAN C1

Selon [l'article 12](#), le traitement par méthanisation des SPAN de catégorie 1 n'est pas autorisé. Cependant, la [section 3](#) du [chapitre IV](#) de [l'annexe IV](#) du [Règlement \(UE\) n°142/2011 de la Commission du 25 février 2011 \[...\]](#) précise qu'ils peuvent être traités par méthanisation après stérilisation si le digestat qui en est issu est incinéré.

Le présent projet n'est pas concerné par des SPAN C1.

3.2.2.2 SPAN C2

Selon [l'article 9](#) du règlement susmentionné, les lactosérums sont classés comme SPAN de catégorie 2. Leur méthanisation est autorisée par [l'article 13](#) après stérilisation sous pression. Cependant une dérogation à ce pré-traitement par stérilisation est faite pour les lactosérums selon ce même article, « si l'autorité compétente estime qu'il n'y a pas de risque de propagation d'une quelconque maladie grave transmissible ».

Le [Règlement \(UE\) n°142/2011 de la Commission du 25 février 2011 portant application du Règlement \(CE\) n°1069/2009 du Parlement européen et du Conseil \[...\]](#), précise dans son annexe V que toute installation de méthanisation valorisant des SPAN doit être équipée d'un pasteurisateur pour hygiéniser les SPAN avant méthanisation. Cependant, cette même annexe laisse la possibilité de déroger à cette obligation si les seuls SPAN valorisés par l'installation de méthanisation sont des lisiers et des fumiers.

Le présent projet n'est pas concerné par des SPAN C2.

3.2.2.3 SPAN C3

Selon [l'article 14 du Règlement Européen \(CE\) n°1069/2009](#), les SPA de catégorie 3 peuvent être méthanisés. Selon [l'article 10](#), parmi la liste des matières, la pasteurisation concerne entre autres les biodéchets ménagers, les déchets alimentaires de la restauration commerciale et collective, les déchets

alimentaires de la vente au détail et les soupes organiques issues de système de déconditionnement. Cependant [le Règlement \(UE\) n°142/2011 de la Commission du 25 février 2011 \[...\]](#) laisse la possibilité de déroger à cette obligation de pasteurisation « [...] lorsque les résidus de digestion sont ensuite compostés [...] » (Annexe V, chapitre I, section 1, 2., f, iii)).

Les lactosérums prévus au projet sont des SPAN C3.

[L'arrêté ministériel du 09 avril 2018](#) fixe les conditions selon lesquelles les opérateurs peuvent déroger aux dispositions européennes définies par les règlements (CE) n° 1069/2009 et (UE) n° 142/2011. Il est précisé à la section 2, article 9 que : *I. - Lorsque les matières listées au point II ci-dessous, en mélange ou non avec un ou plusieurs des produits dérivés listés à ce point I, constituent les seuls sous-produits animaux traités dans une usine de production de biogaz, l'exploitant de cette usine peut demander au directeur départemental en charge de la protection des populations du département d'implantation de son usine à déroger à l'obligation d'avoir une unité de pasteurisation/hygiénisation : b) les matières de catégorie 3 suivantes : - le lait, les produits à base de lait, les produits dérivés du lait ;*

Les lactosérums et eaux blanches prévus au projet sont des substrats pouvant permettre l'obtention d'une dérogation à l'obligation de pasteurisation.

Remarque : Le traitement d'eau pouvant contenir des sous-produits animaux autres que les lactosérums et eau blanches de lavage (exemple : eaux grises et noires de l'habitation) pourraient modifier le régime réglementaire de l'installation et rendre l'hygiénisation obligatoire.

3.2.3 Agrément sanitaire

Selon [l'article 24 du Règlement \(CE\) n°1069/2009](#), l'installation de méthanisation valorisant des SPAN doit posséder un agrément sanitaire. Le dossier de demande d'agrément sanitaire est à faire selon les prescriptions de [l'arrêté du 8 décembre 2011 établissant des règles sanitaires applicables aux sous-produits animaux et produits dérivés en application du règlement \(CE\) n°1069/2009 et du règlement \(UE\) n°142/2011](#). La demande de dérogation à la stérilisation et l'hygiénisation est faite conjointement à cette demande d'agrément sanitaire. Le service instructeur du dossier de demande d'agrément sanitaire est la DDCSPP de Seine Maritime.

3.2.4 La loi sur l'eau

Sont soumis à la Loi sur l'eau, les installations, les ouvrages, travaux et activités réalisés à des fins non domestiques par toute personne physique ou morale, publique ou privée, et entraînant des prélèvements sur les eaux superficielles ou souterraines, restitués ou non, une modification du niveau ou du mode d'écoulement des eaux, la destruction de frayères, de zones de croissance ou d'alimentation de la faune piscicole ou des déversements, écoulements, rejets ou dépôts directs ou indirects, chroniques ou épisodiques, même non polluants.

Le code de l'Environnement décrit à [l'article R214-1](#) les rubriques rejets et épandage qui peuvent concerner le projet.

3.2.4.1 Rubrique 2.1.1.0 - Rejets

| Rubrique | Concerne | Déclaration avec contrôle périodique | Autorisation |
|----------|---|---|---------------------------------------|
| 2.1.1.0 | Systèmes d'assainissement collectif des eaux usées et installations d'assainissement non collectif destinés à collecter et traiter une charge brute de pollution organique au sens de l'article R. 2224-6 du code général des collectivités territoriales | Supérieur à 12 kg DBO ₅ /j mais inférieur à 600 kg DBO ₅ /j | Supérieur à 600 kgDBO ₅ /j |

Tableau 28 : Rubrique 2.1.1.0 rejets

Selon cette même rubrique, *Une installation d'assainissement non collectif est une installation assurant la collecte, le transport, le traitement et l'évacuation des eaux usées domestiques ou assimilées des immeubles ou parties d'immeubles non raccordés à un réseau public de collecte des eaux usées.*

En cas de rejet direct en rivière, le projet serait concerné par cette rubrique au titre de la déclaration avec contrôle préalable.

L'instruction IOTA - Installations, ouvrages, travaux et aménagements soumis à la Loi sur l'eau - est effectuée par la DREAL. Le cas échéant la DREAL peut s'appuyer sur les compétences du SPANC local.

L'Arrêté du 21 juillet 2015 relatif aux systèmes d'assainissement collectif et aux installations d'assainissement non collectif, à l'exception des installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO5 décrit les obligations des installations d'assainissement non collectif de plus de 1,2 kg/j de DBO5. Parmi ces obligations, les normes de rejets présentées à l'annexe III sont à respecter :

| Paramètres | CHARGE BRUTE de pollution organique produite en kg/ j de DBO5 | Concentration maximale à respecter moyenne journalière | Rendement minimum | Concentration réductrice moyenne journalière |
|------------|---|--|-------------------|--|
| DBO5 | < 120 | 35 mg (O2)/l | 60 % | 70 mg (O2)/l |
| | ≥ 120 | 25 mg (O2)/l | 80 % | 50 mg (O2)/l |
| DCO | < 120 | 200 mg (O2)/l | 60 % | 400 mg (O2)/l |
| | ≥ 120 | 125 mg (O2)/l | 75 % | 250 mg (O2)/l |
| MES | < 120 | / | 50 % | 85 mg/l |
| | ≥ 120 | 35 mg/l | 90 % | 85 mg/l |

Tableau 29 : Valeurs limites de rejet

Dans le cas du présent projet, le rejet au milieu naturel entre dans la fourchette de plus de 12 kg/j de DBO5 mais moins de 600 kg/j et **impose donc une concentration en DCO inférieure à 200 mg/L** dans l'effluent. Il faut une élimination importante de la DCO pour envisager un rejet direct au torrent.

Pour les installations rejetant dans une zone sensible à l'eutrophisation, des valeurs de concentration maximales sont appliquées sur les paramètres suivants :

| Paramètres | CHARGE BRUTE de pollution organique produite en kg/ j de DBO5 | Concentration maximale à respecter moyenne annuelle | Rendement minimum à atteindre |
|----------------|---|---|-------------------------------|
| Azote NGL | > 600 et ≤ 6000 | 15 mg/l | 70 % |
| | > 6 000 | 10 mg/l | 70 % |
| Phosphore Ptot | > 600 et ≤ 6 000 | 2 mg/l | 80 % |
| | > 6 000 | 1 mg/l | 80 % |

Tableau 30 : Valeurs limite de rejet azote - phosphore dans les milieux sensibles

L'alpage du Vallon et plus généralement la vallée de la Maurienne ne sont pas présentés comme des zones sensibles à l'eutrophisation par le classement de 2017 (dépendant de l'arrêté du 9 février 2010, et prolongé par l'arrêté du 21 mars 2017) de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée.

Des valeurs plus sévères que celles figurant dans cette annexe peuvent être prescrites par le préfet en application des [articles R. 2224-11 du code général des collectivités territoriales](#) et [R. 214-15](#) et [R. 214-18](#) ou [R. 214-35](#) et [R. 214-39 du code de l'environnement](#), au regard des objectifs environnementaux.

Selon l'[Arrêté du 21 juillet 2015](#), les systèmes d'assainissement des eaux usées destinés à collecter et traiter une charge brute de pollution organique supérieure ou égale à 12 kg/j de DBO5 doivent faire l'objet d'une analyse des risques de défaillance, de leurs effets ainsi que des mesures prévues pour remédier aux pannes éventuelles. Cette analyse est transmise au service en charge du contrôle et à l'agence de l'eau ou l'office de l'eau.

Un diagnostic périodique de l'installation doit être effectué à minima tous les 10 ans, et un autocontrôle doit être effectué annuellement.

Remarque : un rejet en tranchées d'infiltration pourrait permettre d'augmenter le traitement et de s'affranchir de l'étape réglementaire complexe liée à l'obtention des autorisations et du contrôle spécifique au rejet direct. De nouvelles tranchées seraient cependant nécessaires et une étude conduite avec le SPANC serait aussi à prévoir.

L'épandage des boues issues du traitement de l'eau est réglementé par le code de l'Environnement à l'[article R214-1](#) qui décrit :

3.2.4.2 Rubrique 2.1.3.0 - Epandage et stockage en vue d'épandage

| Rubrique | Concerne | Déclaration avec contrôle périodique | Autorisation |
|----------|---|---|--|
| 2.1.3.0 | Epandage et stockage en vue d'épandage de boues produites dans un ou plusieurs systèmes d'assainissement collectif des eaux usées et installations d'assainissement non collectif, la quantité de boues épandues dans l'année présentant les caractéristiques suivantes | Quantité épandue de matière sèche comprise entre 3 et 800 t/ an ou azote total compris entre 0,15 t/ an et 40 t/ an (D) | Quantité épandue de matière sèche supérieure à 800 t/ an ou azote total supérieur à 40 t/ an (A) |

Tableau 31 : Rubrique loi sur l'eau 2.1.3.0

Le seuil de déclaration de 3 t/an de matière sèche ne sera pas atteint par la filière.

3.2.5 Urbanisme

Les projets de méthanisation peuvent être soumis à l'obtention d'un permis de construire.

Le dossier de demande de permis de construire doit comprendre un formulaire de demande de permis de construire, un projet architectural avec plan et notice paysagère, une note présentant la société, l'origine de la biomasse pour savoir si elle provient d'une activité agricole ou industrielle et l'utilisation de l'énergie, l'étude d'impact et l'évaluation des incidences Natura 2000 (si le projet est soumis à autorisation environnementale) ou le récépissé de dépôt au titre des ICPE (si le projet est soumis à enregistrement ou déclaration ICPE). D'autres pièces pourront être demandées en fonction de la localisation du projet voire de ses caractéristiques.

Les permis de construire concernant des unités de méthanisation dont l'énergie produite est principalement destinée à la vente (commercialisation à hauteur de 50 % de l'énergie produite) sont de la compétence du préfet de département selon [l'article R 422-2 b\) du Code de l'urbanisme](#), et le service instructeur est la DDT(M).

3.2.6 La valorisation du biogaz

La valorisation du biogaz par injection de biométhane ou d'électricité dans les réseaux publique est soumise à une réglementation spécifique encadrant le raccordement aux réseaux et la vente d'énergie, que ce soit de l'électricité ou du biométhane.

Eloigné de tout réseaux, la vente d'énergie n'est pas envisageable pour ce projet. Les réglementations spécifiques ne sont donc pas mentionnées ici.

3.2.7 La réglementation spécifique au parc

L'arrêté du 4 décembre 1990 relatif à la liste des espèces végétales protégées en région Rhône-Alpes complétant la liste nationale permet d'identifier les espèces protégées dans le parc.

Le survol de la zone peut être interdit car l'alpage se situe en zone de sensibilité majeur tampon du gypaète barbu. Le transport par voie aérienne n'est pas envisagé. Des dérogations peuvent cependant être demandées selon la période.

La circulation dans le parc est réglementée par arrêté et doit donc être limitée. L'accès à la piste dite « du Vallon », menant à l'alpage concerné, est réglementée. Seuls les quads, les véhicules à essieu de moins de 1,5 m ou les tracteurs agricoles sont autorisés à y circuler. Les autres véhicules, notamment ceux de type 4x4 n'y sont pas autorisés. L'exploitant dispose d'une autorisation de circulation pour ses véhicules agricoles entre le 1^{er} juin et le 15 octobre de chaque année.

Le matériel composant l'installation pourra être transportés dans la remorque du tracteur agricole de M. Vincendet. Cette remorque offre les capacités suivantes (qui ont été considérées dans le dimensionnement des équipements).

La réglementation « cœur du parc » impose de ne pas troubler la tranquillité des lieux par des bruits, cris ou appareil sonore. Si cette réglementation s'adresse tout d'abord au grand public, il sera nécessaire d'envisager les pressions sonores de chaque équipement dans le cadre de la conception définitive, et de présenter au parc les valeurs obtenues. Le cas échéant des dispositifs d'isolation phonique en sus pourront être nécessaires sur les appareils les plus bruyants.

La réalisation d'un projet de construction dans le parc nécessite l'approbation du conseil scientifique missionné par le parc. Dans le cadre du projet, M. Vincendet a précisé qu'il disposait d'un accord de principe de ce conseil pour la réalisation de l'installation de méthanisation. Cet avis pourra être à actualiser en fonction des écrits disponibles (actuellement aucun document traçant cet accord n'a été vu par Erep).

Des contrats agro-environnementaux existent entre le Parc et les Alpagistes. Ces contrats prennent la forme de Mesure Agroenvironnementales et Climatique depuis 2015 et mis en œuvre dans le cadre de projets territoriaux portés par le Syndicat du Pays de Maurienne et l'Assemblée du Pays Tarentaise Vanoise.

3.2.8 Les administrations concernées

Direction Régionale de l'Environnement, de l'aménagement et du Logement (DREAL)
Unité départementale des deux Savoie (UDDS)
Administration gouvernementale à Chambéry, France
Adresse : 430 Rue de Belle Eau, 73000 Chambéry, France

*Des échanges préalables avec les administrations concernées sont de nature à favoriser la bonne compréhension du projet par les autorités lors de l'instruction du dossier complet. **Il est par conséquent recommandé de prendre contact avec les autorités avant le dépôt du dossier**, dès lors que le projet est bien maîtrisé.*

Le projet est à présenter dans son ensemble d'abord à la Dreal.

Le SPANC de Haute Maurienne – agence de Val Cenis devra être informé des démarches.

4. ETUDE DE LA RÉPLICABILITÉ DU SYSTÈME

De nombreux alpages sont concernée par la problématique de traitement de leurs effluents de production de fromage. Ceux-ci peuvent donc être intéressés par le traitement et la valorisation en biogaz telle que présentée dans cette étude. Cependant, si tous les alpages ont des contraintes liées à un environnement de montagnes, celles-ci peuvent varier et avoir plus ou moins d'incidence. Le fonctionnement de l'alpage peut également influencer les moyens à disposition pour la mise en œuvre d'une solution de traitement. Les chapitres ci-dessous évoquent les principaux paramètres, leviers et adaptations qui peuvent rendre possible ou non la réplique du modèle sur d'autres alpages.

4.1 L'EFFLUENT

L'effluent en lui-même constitue la base de la réplique du système. En fonction de la taille du troupeau et des conditions de pâture l'effluent peut être différent de celui étudié. Les pratiques d'élevage, incluant le mode de traite (en salle) apporte des eaux de lavage dont la quantité peut varier. Le volume des ouvrages de la filière doit être adapté en fonction des quantités d'effluent à traiter. C'est tout l'intérêt des systèmes modulaires proposés. De la même manière, la puissance de l'unité de valorisation du biogaz est à ajuster en fonction de la nature et de la quantité de l'effluent à traiter.

La température de l'effluent peut aussi être différente. La température extérieure peut aussi varier en fonction de l'altitude des alpages.

4.2 LES ACTIVITÉS SUR LE SITE

Les activités pratiquées sur l'alpage peuvent induire des besoins en énergie différents de ceux de l'Alpage du Vallon. Une activité touristique, ou la proximité d'un axe routier peut rendre l'alpage plus fréquenté en période touristique et entraîner une production d'autres effluents à traiter.

Le mode de production du fromage, et le matériel installé – cuve à serpentins ou cuve à brûleur – (et le type de fromage produit) peut avoir une influence sur la production de l'effluent et sur les besoins en énergie. Le matériel installé pour la traite et la production de fromage peut induire des demandes en eau chaude ou en électricité différentes.

4.3 LA SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Si l'implantation peut avoir un impact sur la température ambiante de l'alpage, et donc sur les besoins en énergie, la localisation de l'alpage peut aussi avoir son importance pour d'autres facteurs. L'accessibilité routier de l'alpage peut permettre la conception de modules en béton moins coûteux. La proximité d'un réseau électrique ou la proximité d'un accès routier pourrait permettre l'installation d'un module de cogénération. L'accessibilité à un réseau électrique peut avoir une incidence importante. L'alpage peut alors être en mesure de valoriser de l'électricité. Mais également, le transport d'énergie n'étant pas nécessaire, l'étude des besoins énergétiques peut s'avérer moins significative. Les systèmes d'agitation et de pompage des différents ouvrages peuvent aussi être redimensionnés en fonction de la puissance électrique disponible pour leur alimentation.

Le contrôle des automatismes, et éventuellement la maintenance à distance peut se faire par des applications connectées à internet. L'accès à un réseau mobile de bonne qualité peut être un levier de réussite du projet. Cet accès à distance est même nécessaire pour le cas où un système de valorisation du biogaz par cogénération serait envisagé.

Le rejet direct en rivière est contraignant et oblige un contrôle rigoureux des rejets. Le rejet n'est pas forcément possible sur tous les alpages, et le suivi de ceux-ci peut être un frein à la réalisation du projet. D'autres solutions avec une infiltration en tranchées drainante peuvent être envisagées.

La topographie du site de l'alpage est importante. Les écoulements gravitaires sont privilégiés. Il faut donc disposer d'une surface suffisante en contrebas des ateliers de production de l'alpage pour que le projet puisse être implanté. Un manque de surface peut amener à un système de type SBR où le bassin d'aération sont la même cuve, mais dans un processus de fonctionnement alternatif.

Les ouvrages de méthanisation prévus pour l'alpage du Vallon sont conçus enterrés, dans un double objectif de gain thermique et de protection du système vis-à-vis des événements climatiques saisonniers. Il est possible que le sol ne permette pas la réalisation de cuves enterrées, et donc ne permette pas l'établissement des ouvrages dimensionnés sur l'alpage du Vallon, ou nécessite une conception avec d'autres matériaux.

La réalisation d'un traitement secondaire nécessite une emprise au sol assez importante. Ce ne sont pas forcément tous les sites qui sont compatibles.

4.4 L'EXÉCUTION

Le système de l'alpage du Vallon est dimensionné avec de nombreux capteurs de contrôle pour le suivi du projet. Une simplification du système de contrôle pourra probablement être envisager en cas de répliquabilité du modèle, permettant de limiter les coûts.

Pour des raisons de transport et de sécurité une cuve en PEHD double peau a été retenue pour l'alpage du vallon. Cependant, d'autres technologies existent (béton fibre de verre) qu'il peut être moins onéreux de prévoir en simple peau avec système de détection de fuite. La conception enterrée nécessaire pour le site de l'alpage du Vallon peut aussi s'avérer inadaptée en fonction du sol sur d'autres alpages et nécessiter d'autres matériaux.

Les alpages sont généralement des zones touristiques pouvant être soumis à plus ou moins forte affluence. L'impact visuel est donc très important. Également, le système ne doit pas être générateur d'odeurs.

4.5 LE FINANCEMENT

Le projet dans le cadre de l'alpage du Vallon peut être fortement subventionné. Cependant, comme il a été vu dans l'analyse financière, le projet ne peut être rentabilisé, même si une valorisation plus complète de l'énergie pourrait en améliorer le bilan économique. Même si le projet doit être vu comme une mise aux normes des fromageries d'alpage permettant de pérenniser leur activité, le coût financier pour l'exploitant pourrait être un frein majeur à la répliquabilité du modèle.

5. PLANNING DE RÉALISATION

En cas d'affermissement de la tranche optionnelle, le planning de développement et de construction est présenté par le tableau suivant :

| Tâches | 2021 | | | 2022 | | | | | | | | | |
|---|------|----|----|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 10 | 11 | 12 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 |
| Affermissement de la tranche optionnelle | X | | | | | | | | | | | | |
| Conception détaillée | | | | | | | | | | | | | |
| Fabrication du digesteur | | | | | | | | | | | | | |
| Approvisionnement des équipements | | | | | | | | | | | | | |
| Développement logiciel | | | | | | | | | | | | | |
| Equiperment du digesteur | | | | | | | | | | | | | |
| Fabrication des bassins aérobie | | | | | | | | | | | | | |
| Equiperment des bassins aérobie | | | | | | | | | | | | | |
| Fabrication du skid chauffe-eau | | | | | | | | | | | | | |
| Tests de fonctionnement en usine | | | | | | | | | | | | | |
| Raccordement et tests au site (selon disponibilité de l'accès) | | | | | | | | | | | | | |
| Mise en service | | | | | | | | | | | | | |
| Réception de l'installation | | | | | | | | | | | | | |
| Contractualisation d'un prestataire ICPE/PC | | | | | | | | | | | | | |
| Rédaction des dossiers ICPE/PC par le prestataire sous la coordination d'Erep | | | | | | | | | | | | | |
| Dépôt DC et PC | | | | | | | | | | | | | |
| Instruction des dossiers administratifs | | | | | | | | | | | | | |
| Obtention des autorisations | | | | | | | | | | | | | |
| Suivi de fonctionnement | | | | | | | | | | | | | |
| Rapport d'analyse des données de fonctionnement saison 2022 | | | | | | | | | | | | | |

Le planning de réalisation ne prend en compte d'éventuels retards liés à l'incomplétude des dossiers administratifs ou à la présence d'oppositions au projet.

6. CONCLUSION

En conclusion, le traitement par méthanisation des effluents de fromagerie permet un abattement de 80% environ de la pollution. Insuffisant pour un rejet direct, ce traitement primaire présente déjà une amélioration significative du système actuellement en place à l'alpage du Vallon. L'abattement de la pollution peut être complété par un traitement secondaire de type aérobie, dont la mise en œuvre et l'exploitation peut s'avérer plus complexe. **L'association de ces traitements peut cependant permettre la mise aux normes d'une fromagerie d'alpage.**

La valorisation de l'énergie sur l'alpage est complexe. Eloigné de tout réseau public, une valorisation par cogénération semble compliquée. La sensibilité du milieu de montagne au bruit, aux orages ou encore à la construction de nouveaux bâtiments montre que **la valorisation du biogaz en chaudière est raisonnablement envisageable.** Les consommations de chaleur sur l'alpage font néanmoins qu'une partie importante de l'énergie ne serait pas valorisée dans le contexte de l'alpage du Vallon.

L'étude économique montre que si le projet est techniquement réalisable, et pourrait s'insérer dans le contexte de l'alpage, **aucune rentabilité du système ne permet son financement.** La réalisation reste donc soumise aux aides de financement, et à la trésorerie de la fromagerie. **Le projet doit être vu comme une mise aux normes permettant la pérennisation des activités d'alpage** et non pas comme un projet de production d'énergie renouvelable.

L'étude détaillée du système réalisée en tranche optionnelle permettrait le cas échéant d'optimiser la valorisation de l'énergie et l'intégration du système pour limiter au maximum l'impact du projet. Le suivi permettra de confirmer la pertinence des équipements pour le traitement des rejets d'une fromagerie d'alpage et la répliquabilité du système.

Aclens, le 15 septembre 2021

Erep SA

Cédric CHOMETTE

Yves MEMBREZ

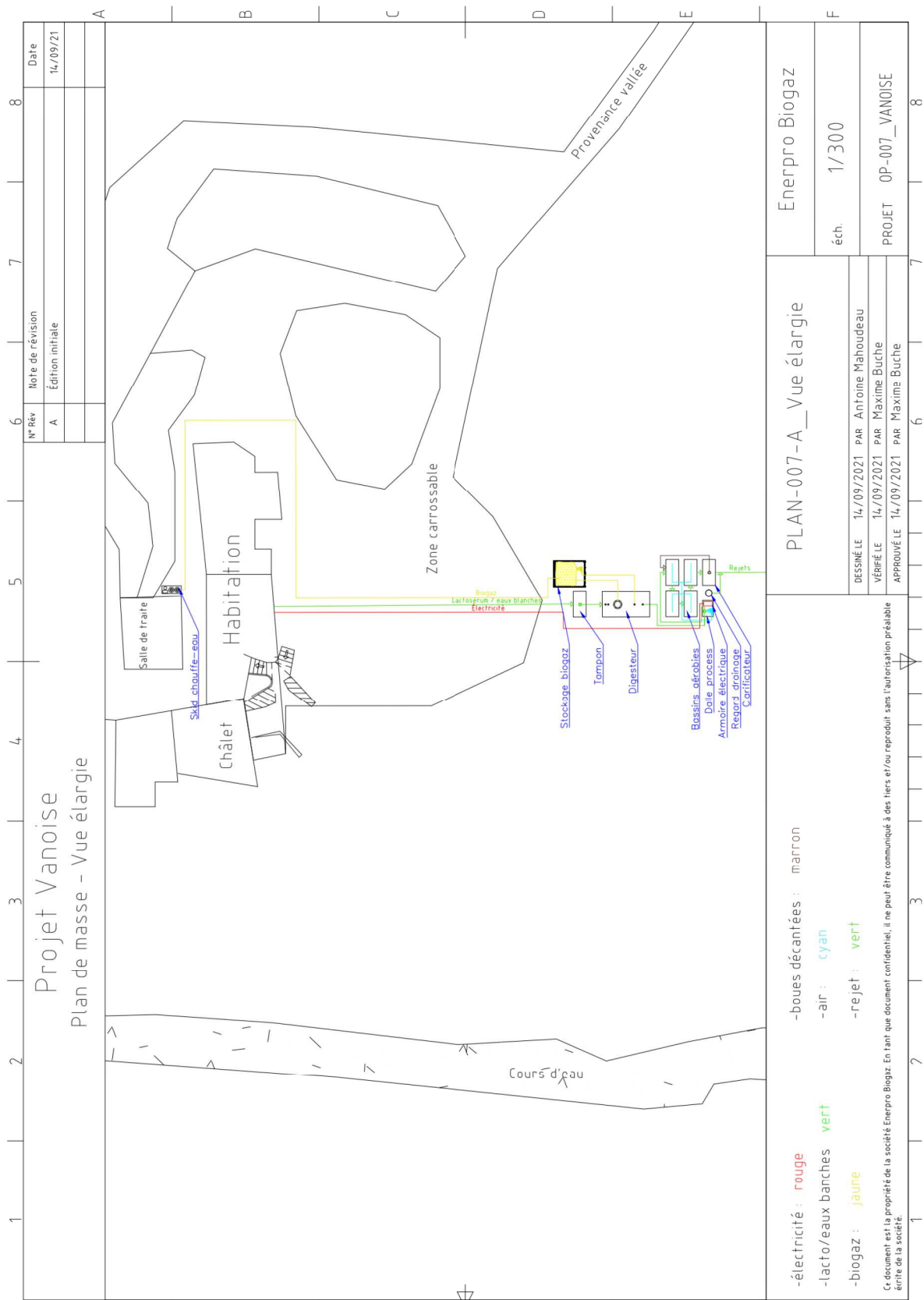
Enerpro Biogaz

Maxime Bûche

7. ANNEXES

1. *Plan de masse – vue éloignée*
2. *Plan de masse – vue éloignée – calque vue satellite Géoportail*
3. *Plan de masse – vue rapprochée*
4. *Plan de profil altimétrique – vue en coupe*
5. *Process Flow Diagram*
6. *Skid Chauffe-eau et colonne de stabilisation.*

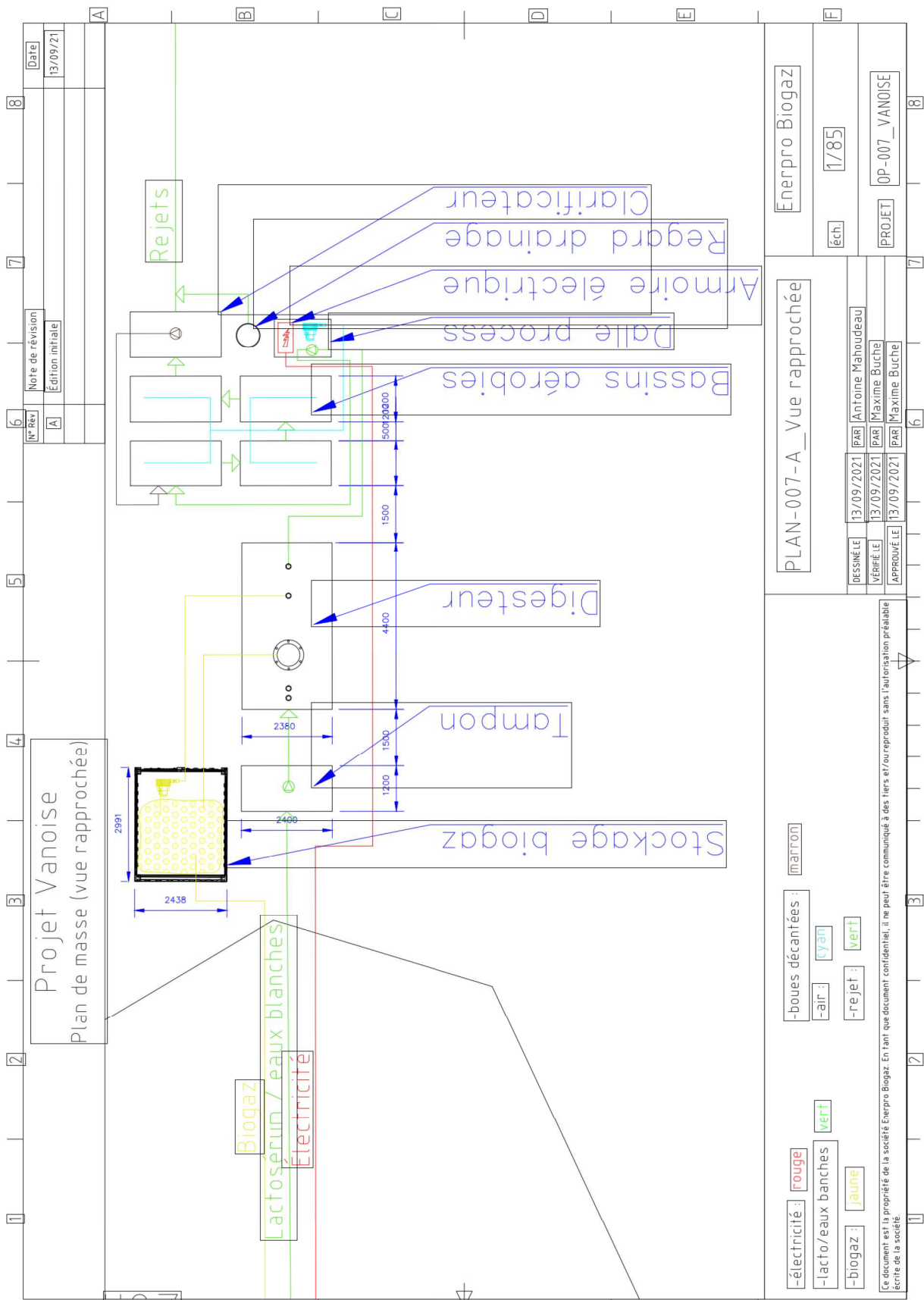
7.1 ANNEXE 1 : PLAN DE MASSE – VUE ÉLOIGNÉE



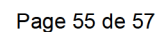
7.2 ANNEXE 2 : PLAN DE MASSE – VUE ÉLOIGNÉE CALQUE SATELLITE GÉOPORTAIL



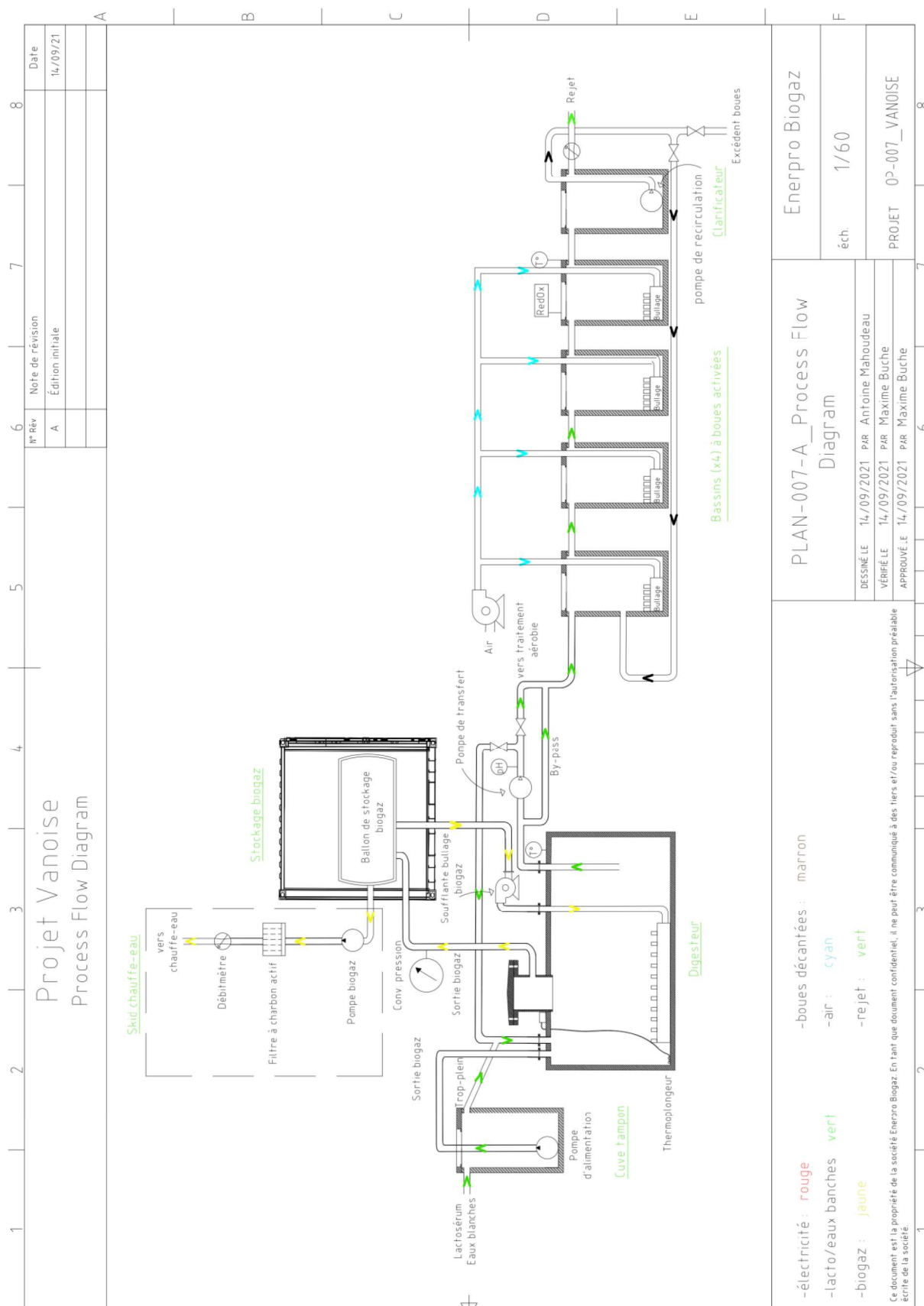
7.3 ANNEXE 3 : PLAN DE MASSE – VUE RAPPROCHÉE



21erep006_Rapport-Technique_V01



7.5 ANNEXE 5 : PROCESS FLOW DIAGRAM



21erep006_Rapport-Technique_V01

