



## **Nouveaux Systèmes Énergétiques**

Comité stratégique de filière

---

█

# GUIDE POUR L'ÉLABORATION DES DOCUMENTS TECHNIQUES DE CONSULTATION ET D'OFFRES D'UNE UNITÉ D'« ÉPURATION DU BIOGAZ » EN VUE DE L'INJECTION DE BIOMÉTHANE

GRUPE DE TRAVAIL MÉTHANISATION

SOUS-GROUPE DE TRAVAIL INDUSTRIALISATION-COMPÉTITIVITÉ

Mai 2021

# Table des matières

<b>I.</b>	<b>Généralités</b> .....	<b>6</b>
I.1.	Objectifs du document.....	6
I.2.	Notions et définitions.....	7
I.3.	Du biogaz au biométhane et au CO <sub>2</sub> biogénique.....	7
<b>II.</b>	<b>Épurer le biogaz pour produire du biométhane</b> .....	<b>9</b>
II.1.	Caractérisation des flux entrants et sortants de l'unité d'épuration.....	9
II.1.1.	Paramètres de production du biogaz.....	9
II.1.1.1.	Qualité « standard » du biogaz.....	9
II.1.1.2.	Paramètres influençant la qualité du biogaz.....	10
II.1.2.	Paramètres d'injection du biométhane.....	11
II.1.2.1.	Spécifications générales des réseaux de gaz français.....	11
II.1.2.2.	Spécifications liées au poste d'injection de biométhane.....	12
II.1.3.	Interfaces et limites de fourniture entre l'unité d'épuration et le poste d'injection.....	15
II.2.	Épuration du biogaz.....	15
II.2.1.	Caractéristiques des principales technologies d'épuration du biogaz.....	15
II.2.2.	Besoins en prétraitement pour les principales technologies d'épuration.....	16
II.2.3.	Lavage à l'eau.....	17
II.2.3.1.	Description simplifiée.....	17
II.2.3.2.	Avantages.....	18
II.2.3.3.	Limites.....	18
II.2.3.4.	Points de vigilance.....	18
II.2.3.5.	Équipements standards et équipements critiques.....	19
II.2.3.6.	Besoins en maintenance.....	19
II.2.4.	Épuration membranaire.....	20
II.2.4.1.	Description simplifiée.....	20
II.2.4.2.	Avantages.....	21
II.2.4.3.	Limites.....	21
II.2.4.4.	Points de vigilance.....	21
II.2.4.5.	Équipements standards et équipements critiques.....	21
II.2.4.6.	Besoins en maintenance.....	22
II.2.5.	PSA (Pressure-Swing Adsorption).....	23
II.2.5.1.	Description simplifiée.....	23
II.2.5.2.	Avantages.....	23
II.2.5.3.	Limites.....	23
II.2.5.4.	Points de vigilance.....	23
II.2.5.5.	Équipements standards et équipements critiques.....	24
II.2.5.6.	Besoins en maintenance.....	24
II.2.6.	Autres technologies.....	25
II.2.6.1.	Lavage aux amines.....	25
II.2.6.2.	Cryogénie du biogaz.....	25
<b>III.</b>	<b>Contenu général des appels d'offres (DCE)</b> .....	<b>26</b>
III.1.	Conditions administratives et contractuelles.....	26
III.2.	Planning du projet.....	27

III.3.	Rappel du contexte réglementaire.....	27
III.4.	Descriptif du projet .....	28
III.5.	Fournitures, travaux et prestations.....	28
III.6.	Spécifications techniques .....	29
III.6.1.	Définition des valeurs « minimale, nominale et maximale » .....	29
III.6.2.	Spécifications liées au procédé de digestion.....	30
III.6.3.	Spécifications liées à valorisation du biométhane .....	30
III.6.4.	Spécifications liées au procédé d'épuration .....	30
III.6.5.	Spécifications liées à la valorisation du CO <sub>2</sub> .....	31
III.6.6.	Spécifications liées au dossier ICPE .....	31
III.6.7.	Paramètres de suivi et indicateurs de performances .....	32
III.6.8.	Récupération de chaleur .....	34
III.6.9.	Qualité et provenance des matériaux .....	34
III.7.	Conditions d'essais et réception .....	35
III.7.1.1.	Phases et calendrier de réception .....	35
III.7.1.2.	Modalités de mise en œuvre des essais .....	36
III.7.1.3.	Résultats mesurés .....	36
III.7.1.4.	Conditions de réception, de pénalités ou de rebut .....	36
<b>IV.</b>	<b>Contenu attendu des offres.....</b>	<b>37</b>
IV.1.	Description du process .....	37
IV.2.	Fournitures et prestations incluses .....	38
IV.3.	Études et documentation fournies.....	38
IV.4.	Options .....	39
IV.5.	Limites de fournitures et spécifications aux interfaces.....	39
IV.6.	Performances attendues .....	40
IV.7.	Garanties .....	41
IV.8.	Proposition financière .....	44
IV.9.	Contrat de maintenance.....	44
<b>V.</b>	<b>Points d'attention .....</b>	<b>44</b>
<b>VI.</b>	<b>Annexes .....</b>	<b>46</b>
Annexe 1.	Spécifications générales des principaux réseaux gaziers français .....	46
Annexe 2.	Liste de documents de référence.....	46
Annexe 3.	Liste des documents à fournir par les entreprises .....	46
Annexe 4.	Table des matières du « Guide sur les bonnes pratiques contractuelles pour réussir votre projet de méthanisation » publié par l'ATEE en 2020, dirigé par Marie Verney.....	51

## Tableaux

Tableau 1.	Production de biogaz – Composition standard et trame de projet .....	9
Tableau 2.	Spécifications du biométhane sur les réseaux français.....	12
Tableau 3.	Spécifications de la production de biométhane du projet.....	13
Tableau 4.	Spécifications au poste d'injection.....	14
Tableau 5.	Caractéristiques comparées des principales technologies d'épuration du biogaz .....	16
Tableau 6.	Prétraitements en fonction des technologies d'épuration du biogaz.....	17
Tableau 7.	Conditions physico-chimiques du biogaz à l'entrée de l'unité d'épuration membranaire .....	21
Tableau 8.	Conditions physico-chimiques du biogaz pour une épuration PSA.....	24
Tableau 9.	Paramètres de suivi des performances .....	33
Tableau 10.	Tableau des limites de fournitures et interfaces.....	40
Tableau 11.	Performances moyennes des différentes technologies d'épuration du biogaz.....	41
Tableau 12.	Indicateurs de garanties des unités d'épuration.....	43

## Illustrations

Figure 1.	Schéma des flux de l'épuration du biogaz et de la purification du CO <sub>2</sub> .....	7
Figure 2.	Schéma du lavage à l'eau du biogaz.....	18
Figure 3.	Schéma de l'épuration membranaire du biogaz .....	20
Figure 4.	Schéma de l'épuration PSA du biogaz .....	23

# Remerciements

Ce document est issu d'un travail collectif avec la participation de :

Structure	Membre du groupe de travail
<b>AIR LIQUIDE</b>	Solène VALENTIN
<b>ASTRADE</b>	Jacky BONIN
<b>ATEE</b>	Alice L'HOSTIS
<b>BIOGAZ INGENIERIE</b>	Stéphane DUTREMEE
<b>CH4 PROCESS</b>	Fabien HALLIER
<b>CLARKE ENERGY</b>	Jean-Marc COLOMBANI Olivier GARCIA
<b>ENGIE</b>	Sandrine VANEPH
<b>GASEO</b>	Clément CONTER
<b>GRDF</b>	Bastien PRAZ
<b>GREENLANE BIOGAS</b>	Sébastien PROVENT
<b>IAR - Pôle compétitivité</b>	Mouhamed NIAKATE
<b>NIPPON GASES</b>	Nathalie BRIXY
<b>PRODEVAL</b>	Eric PEYRAT
<b>STORENGY</b>	Flavien BEAUDOUIN Julien CAMY-PORTENABE
<b>TEREGA</b>	Vincent DE TOFFOL Didier MARRON
<b>UP</b>	Nicolas JULIEN Antonin MONNE

*Et les apports de GRT Gaz et RGDS.*

---

*Un grand merci à toutes et à tous*

---

## I. Généralités

### I.1. Objectifs du document

Dès la phase de développement, les installations « sur mesure » demandent beaucoup plus de travail côté porteur de projet et côté fournisseurs en termes de rédaction des documents, comparatifs et mise au point des marchés, ce qui induit des dépenses supplémentaires avant même toute contractualisation.

En phase de conception, plus les équipements et les configurations sont spécifiques (non standard), plus les études sont compliquées et longues, et plus les risques - d'erreurs de conception ou d'interfaces notamment – sont importants, induisant des surcoûts réels ou potentiels (incompatibilités, dysfonctionnements...).

En phase de construction et d'exploitation, les installations sur mesure sont également systématiquement plus coûteuses du fait de l'utilisation d'équipements et de conceptions non standard.

L'un des moyens de diminuer les coûts de la brique technique « épuration du biogaz / récupération du CO<sub>2</sub> » est la « standardisation » des installations. Or, chaque unité de méthanisation étant unique, **ce document a pour objectif de définir un cadre, un référentiel commun et cohérent** sur lequel constructeurs, fournisseurs, bureaux d'études et porteurs de projets peuvent se baser dès les étapes de conception préliminaires :

- **Côté constructeurs/fournisseurs** : ce document reprend des éléments standards d'installations d'épuration et de purification basées sur des équipements courants et des configurations standard. Il a pour objectif également de lister les équipements ou demandes non standard qui entraîneraient des surcoûts pour ce poste de dépense à différentes phases du projet.
- **Côté bureaux d'études et porteurs de projets** : ce document permet d'intégrer ces standards dans les projets dès la phase de développement et ainsi de gagner du temps sur cette phase. Ces spécifications permettent également de définir les fournitures qui sortent des standards constructeurs et qui induisent des surcoûts évitables. Adopter un standard constructeur permet en outre de limiter les risques liés aux conceptions spécifiques et donc de sécuriser le projet dans la durée mais aussi vis-à-vis des investisseurs, banques et assurances.

---

#### **NOTE SUR LA STANDARDISATION**

*Pour limiter les **coûts** des projets, il est recommandé de se baser sur des **conceptions standardisées, industrielles et éprouvées**. Tout écart à un standard comporte des **risques**, à la fois fonctionnels et financiers. Ainsi, plutôt que d'imposer une conception ou un contenu à un fournisseur, **il est recommandé d'étudier avec lui une proposition standard**, avec d'éventuelles « options ».*

*En tout état de cause, lorsqu'un fournisseur propose ou accepte une conception hors de ses standards, il en porte la responsabilité – avec le MOE et l'AMO le cas échéant.*

---

## 1.2. Notions et définitions<sup>1</sup>

Le **biogaz brut** se compose des éléments suivants : le méthane (CH<sub>4</sub>, 50 – 75 %), le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>, 25 – 45 %), l'eau (H<sub>2</sub>O), l'azote (N<sub>2</sub>), l'oxygène (O<sub>2</sub>), l'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S), l'ammoniaque (NH<sub>3</sub>), et des éléments traces (organo-halogénés, siloxanes, métaux lourds ....).

L'**épuration** du biogaz consiste à éliminer du biogaz brut les substances indésirables et les traces de polluants (ammoniaque, éléments soufrés, minéraux...) et augmenter sa teneur en méthane (par retrait du CO<sub>2</sub> et autres composés gazeux) pour produire un gaz comparable au gaz naturel.

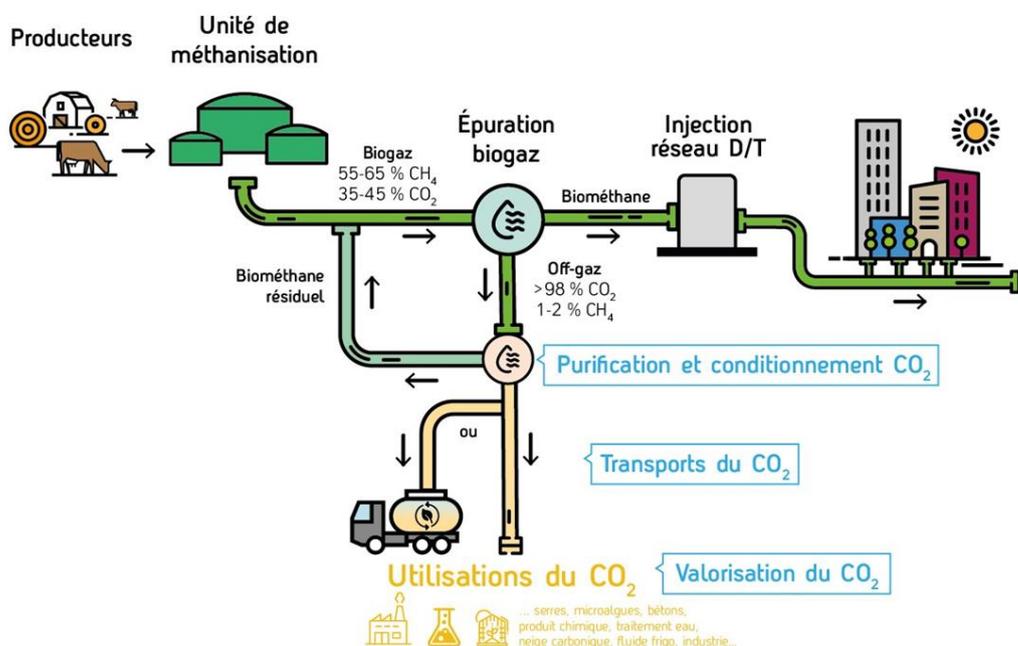
Le **biométhane** ainsi obtenu constitue du biogaz épuré et enrichi doté d'un pouvoir calorifique équivalent à celui du gaz naturel.

L'**évent** est un gaz pauvre fatalement produit, contenant essentiellement du CO<sub>2</sub>, le méthane non extrait et des impuretés issues du biogaz. En fonction de la quantité de méthane et d'impuretés (COV) qu'il contient, celui-ci doit être traité (oxydation thermique, biofiltre) afin d'éviter toute émission polluante à l'atmosphère. Dans certains cas il peut être redirigé vers la chaudière biogaz pour valorisation.

La **purification** du CO<sub>2</sub> consiste à obtenir un CO<sub>2</sub> à la qualité voulue à partir de l'évent produit par l'unité d'épuration du biogaz, constitué à plus de 90% (95%) de CO<sub>2</sub> mais contenant certaines substances le rendant impropre à l'utilisation en l'état.

## 1.3. Du biogaz au biométhane et au CO<sub>2</sub> biogénique

Le schéma ci-après présente de façon simplifiée le processus d'épuration du biogaz brut, jusqu'au traitement du CO<sub>2</sub> dans un but de valorisation. Les valeurs sont des moyennes indicatives, toutes technologies confondues (plutôt membranaire ou PSA très performant). Cependant, chaque projet doit être analysé à partir des valeurs qui lui sont propres et des technologies choisies : chaque fournisseur produira un bilan des flux correspondant au projet et à son offre.



GRDF ©

Figure 1. SCHÉMA DES FLUX DE L'ÉPURATION DU BIOGAZ ET DE LA PURIFICATION DU CO<sub>2</sub>

<sup>1</sup> Source : « Principes et procédés d'épuration du biométhane pour l'injection dans les réseaux de gaz naturel Phase : Faisabilité du projet d'injection » Étape : Considérations générales - 19/08/2011 (ADEME/GRDF).

### Note sur les condensats / effluents :

La quantité totale de condensats produits dépend de la température et de la pression du biogaz dans les réseaux, mais aussi des paramètres du processus d'épuration du biogaz. Ainsi, l'événement d'un procédé d'épuration aux amines sera plus humide qu'un événement d'épuration membranaire. En outre, la pression influence directement sur la quantité des condensats produits – plus la pression est haute, plus la quantité des condensats est élevée.

Certains condensats nécessitent un traitement, comme les condensats huileux issus des compresseurs.

Certains procédés (épuration à l'eau ou aux amines) peuvent également produire des effluents.

Les données concernant les condensats et effluents (débits en l/Nm<sup>3</sup> de biogaz traité, volumes totaux et qualité) doivent être précisées dans les offres « épuration » pour permettre la conception des systèmes de collecte et de traitement adéquats.

### EXEMPLE DE CALCUL :

- Un biogaz brut en sortie de digesteur mésophile est saturé en eau, à 37°C et 15 mbarg (pression ci-élé gazeux digesteur), ce qui correspond à environ 48 g d'eau / Nm<sup>3</sup> de biogaz brut.
- Si on le sèche par refroidissement à 5°C et 15 mbarg, ce qui correspond environ à 7 g d'eau/Nm<sup>3</sup> en sortie sécheur, on retire 41 g d'eau/Nm<sup>3</sup> de biogaz.

Le débit de condensats peut alors être estimé à 41 g d'eau/Nm<sup>3</sup> selon ces hypothèses.

### Note sur les devenir de l'événement :

L'événement, qualifié de « gaz pauvre », peut être récupéré et utilisé pour **valoriser le CO<sub>2</sub>**.

Il peut aussi être redirigé vers une unité de cogénération ou la chaudière, dans certaines conditions et en mélange avec un gaz calorifère (biogaz par exemple) pour **valoriser le CH<sub>4</sub>** qu'il contient.

Dans le cas où la valorisation du CO<sub>2</sub> n'est pas envisagée, il peut être intéressant d'étudier une optimisation technique et financière qui consisterait à dégrader volontairement – mais de façon limitée – les performances de l'épuration et d'intégrer la valorisation de ce gaz pauvre. Cela peut permettre, dans certains cas, de réduire les coûts d'épuration tout en réduisant les consommations de biogaz riche (étude d'ingénierie spécifique). Ce principe est valable pour toutes les technologies.

## II. Épurer le biogaz pour produire du biométhane

### II.1. Caractérisation des flux entrants et sortants de l'unité d'épuration

Lors de l'élaboration d'un projet, le porteur de projet est amené à définir les quantités mais aussi la qualité du biogaz qu'il prévoit de produire de façon à établir les bases de conception de son projet ainsi que son prévisionnel financier.

Cette étude comporte une définition des intrants et de leur pouvoir méthanogène et une étude de la capacité d'injection ou des modalités de valorisation du biométhane. En fonction des intrants mais aussi du process de méthanisation, la composition même du biogaz peut varier. Ces éléments quantitatifs et qualitatifs doivent figurer au cahier des charges pour définir les flux entrants (biogaz brut) et sortants (biométhane + évent riche en CO<sub>2</sub> pouvant éventuellement être valorisé). Ils sont intégrés soit sous forme de tableaux inclus dans le cahier des charges technique, soit sous forme de « Data Sheet » (voir en annexe).

#### II.1.1. Paramètres de production du biogaz

##### II.1.1.1. Qualité « standard » du biogaz

Le tableau ci-dessous, peut être utilisé comme trame pour la consultation des entreprises. Les valeurs fixes sont des valeurs « standard » observées sur les **installations agricoles ou territoriales classiques(\*)** : il est conseillé de tâcher de les conserver comme balises du projet.

Paramètre	Unité	Valeur minimale	Valeur nominale	Valeur maximale
Débit instantané	Nm <sup>3</sup> /h	(projet)	(projet)	(projet)
Production annuelle	Nm <sup>3</sup> /an	(projet)	(projet)	(projet)
CH <sub>4</sub>	% vol	50(*)	(projet)	70(*)
CO <sub>2</sub>	% vol	35(*)	(projet)	50(*)
N <sub>2</sub>	% vol	0	(projet)	1
O <sub>2</sub>	% vol	0	(projet)	0,3-0,5(*)
H <sub>2</sub> O		Saturation @ T,P	(projet)	
H <sub>2</sub> S			(projet)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sans prétraitement in situ<sup>2</sup></li> <li>▪ Avec prétraitement in situ</li> </ul>	ppmv	50 0		2 000 à 4 000 300
NH <sub>3</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	0	(projet)	100
COV et Siloxanes(*)	ppmv	0	(projet)	(traces possibles)
Température	°C	15	(projet)	55
Pression	mBarg	0.5	(projet)	50

Tableau 1. PRODUCTION DE BIOGAZ – COMPOSITION STANDARD ET TRAME DE PROJET

<sup>2</sup> In Situ = à l'intérieur des digesteurs (injection d'air, d'oxygène, ajout de sels métalliques...)

**\*Notes sur la « composition standard » :**

- Pour les installations traitant des boues de stations d'épuration ou des intrants ou effluents majoritairement ou exclusivement industriels, la fourchette des **teneurs en CH<sub>4</sub>** est plus étendue (45 à 75%) et la **teneur en CO<sub>2</sub>** est inversement proportionnelle. En outre, de telles installations peuvent présenter des teneurs en **COV et siloxanes** importantes. Des COV peuvent également être émis dans le biogaz lors du traitement d'intrants spécifiques, même en infimes quantités (déchets d'agrumes...).
- **Teneur en O<sub>2</sub>** : sur les sites existants on observe des teneurs en O<sub>2</sub> allant jusqu'à 1%, les teneurs supérieures à 0,5% peuvent engendrer des non-conformités à l'injection. De plus, les dérogations actuelles risquent de diminuer car cela pose problèmes avec l'augmentation des raccordements d'unité de biogaz aux réseaux de distribution et de transport – et aux stations de rebours. En conséquence, **les teneurs en O<sub>2</sub> dans le biogaz brut doivent être maîtrisées et régulées au plus juste** (voir ci-après).

D'une manière générale, si le biogaz prévu est **en-dehors des spécifications « standard »**, il convient d'envisager des solutions alternatives (recettes, pré-traitements) pour tâcher de rester dans ce standard ou envisager des prétraitements spécifiques. Si ce n'est pas possible, le porteur du projet peut s'attendre à des surcoûts du lot épuration.

**Définition de « Nm<sup>3</sup> »**

Dans les projets biogaz, on parle souvent de « normo mètre cube (noté Nm<sup>3</sup>) » ou « mètre cube normal (noté m<sup>3</sup>(n)) », pour préciser que la mesure est réalisée sur un gaz se trouvant dans les conditions normales de température et de pression (CNTP), soit en France généralement 0°C et 1 atm, soit 101 325 Pa).

Mais attention, **ces conditions peuvent varier**, en particulier selon les pays, essentiellement sur le critère température (on trouve parfois 15 ou 20°C) : il peut être utile de préciser cette référence dans tous les documents de projet, dès le début.

*II.1.1.2. Paramètres influençant la qualité du biogaz*

Les paramètres suivants doivent être étudiés attentivement dès la conception des installations afin que le biogaz produit soit compatible avec les technologies d'épuration :

- **Le taux d'azote dans le biogaz** est un facteur limitant car il a une influence sur l'indice Wobbe. Or l'azote peut être réduit par certaines technologies mais pas totalement éliminé. C'est pourquoi, lorsqu'une installation est destinée à produire du biométhane, il est souvent recommandé de **privilégier l'injection d'O<sub>2</sub>** pur à l'injection d'air – qui apporte de l'azote – dans les ciels gazeux pour la désulfuration. Ce choix implique l'ajout d'une unité de production d'oxygène à la place d'un simple système d'injection d'air mais sécurise partiellement la teneur en azote car l'oxygène injecté est pur à 80% en général.
- Pour certains réseaux, ce sera **l'oxygène** qui sera un facteur limitant (dérogations non systématiques). Certains procédés PSA voire membranaires permettent de réduire la teneur en O<sub>2</sub> du biométhane, mais cette capacité et son coût dépendent de la concentration initiale. Les autres procédés d'épuration conservent ou augmentent l'oxygène dans le flux de biométhane. Il faut donc **limiter le plus possible l'ajout d'oxygène en cours de process** – par exemple, éviter d'injecter de l'oxygène dans les filtres à charbon actif, éviter d'utiliser un traitement biologique aérobique de l'H<sub>2</sub>S (biofiltres externes), intégrer une **régulation de l'injection d'O<sub>2</sub>** dans le ciel gazeux des digesteurs basée sur l'observation des tendances à la

hausse et à la baisse, pour anticiper les variations de production de biogaz, de teneur en H<sub>2</sub>S et de l'inertie du système.

- La **teneur en H<sub>2</sub>S, COV et autres substances indésirables (siloxanes)** est le facteur dimensionnant des **prétraitements** du biogaz brut et dépend directement de **la recette initiale** : l'intérêt d'une matière dans la recette doit être étudiée sous l'angle des dépenses induites en traitement de biogaz autant que des recettes possibles (redevances et BMP) – voir « Note sur la composition standard » ci-dessus.

En conséquence, lorsque le porteur de projet établira son cahier des charges, il tâchera d'**anticiper au mieux la composition du biogaz prévu** tout en incluant les inconnues possibles (COV et siloxanes notamment) et en restant attentif aux impacts de cette composition sur la conception et le dimensionnement de l'ensemble de son installation.

### II.1.2. Paramètres d'injection du biométhane

Lors de l'élaboration d'un projet, les spécifications du réseau de biométhane à raccorder (voir ci-après) constituent le premier élément de conception, à la fois pour consulter les fournisseurs de solutions d'épuration mais aussi pour ajuster la recette et la conception de l'ensemble.

---

*L'installation doit livrer au poste d'injection un biométhane dans les conditions de qualité, de pression et de régularité respectant son Contrat d'Injection.*

---

#### II.1.2.1. Spécifications générales des réseaux de gaz français

Le fort développement du biogaz sur les territoires français et européen diversifie les demandes de qualité en fonction du type de réseau et de plus en plus d'exigences spécifiques apparaissent.

Cependant, bien qu'il existe une norme française et européenne sur le gaz de type H « **NF EN 16726+A1** » (juillet 2018), complétée par une norme française sur le biométhane destiné à l'injection « **NF EN 16723-1** » (26 mai 2016) on observe dans la pratique des variations sur les spécifications du biométhane en fonction des réseaux (voir ci-après).

En outre, les différents acteurs se concertent actuellement au niveau français et européen pour tenter d'aboutir à un accord sur une norme commune basée sur le gaz de type H, **le gaz de type B étant voué à disparaître à l'horizon 2029.**

Le tableau page suivante récapitule les spécifications à respecter pour pouvoir injecter du biométhane en fonction des réseaux (en France).

Critère	Unité	GAZ de type H [1] GRDF / RGDS	GAZ de type H [1] TEREGA / STORENGY	GAZ de type H [1] GRT GAZ	GAZ B [1] – GRDF
Références		Conditions générales des réseaux (voir annexe) + contrat d'injection du site			
PCS - Pouvoir Calorifique Supérieur [2]	kWh/m <sup>3</sup> (n)	10,7 à 12,8			9,5 à 10,5
Indice de Wobbe [2]	kWh/m <sup>3</sup> (n)	13,64 à 15,70			12,01 à 13,06
Densité		Comprise entre 0,555 et 0,700			
Point de rosée eau [3]	°C	< -5°C à la pression maximale de service du réseau en aval du raccordement[2]			
Point de rosée hydrocarbures [4]	°C	< -2°C de 1 à 70 bar			

Critère	Unité	GAZ de type H [1] GRDF / RGDS	GAZ de type H [1] TEREGA / STORENGY	GAZ de type H [1] GRT GAZ	GAZ B [1] – GRDF
Teneur en Soufre de H <sub>2</sub> S (+COS)	mgS/m <sup>3</sup> (n)	< 5			
Teneur en soufre mercaptique	mgS/m <sup>3</sup> (n)	< 6			
Teneur en Soufre total	mgS/m <sup>3</sup> (n)	< 30			
Teneur en CO <sub>2</sub>	%	< 3,5% en base pour contrats Biométhane	< 2,5% < 4% par dérogation	< 2,5%	<11,7%
Tetrahydrothiophene (THT, odorisant)	mg/m <sup>3</sup> (n)	Entre 15 et 40 Consigne à 25 à venir (GRDF)	Entre 15 et 40 (4)	Entre 15 et 40 Consigne à 25 à venir	Idem Gaz H
Teneur en H <sub>2</sub>	%	< 6			
Teneur en O <sub>2</sub>	(molaire)	<b>GRDF :</b> < 100 ppmv en base < 0,75% par dérogation <b>RGDS :</b> < 0.75% Possibilité de valeurs plus restrictives si risques aval	< 100 ppmv < 0,7 % par dérogation	< 0,7% par dérogation Possibilité de valeurs plus restrictives si risques aval	< 100 ppmv en base < 3% par dérogation
Teneur en poussières	mg/m <sup>3</sup> (n)	-	<5	<5	-
Impuretés		Gaz pouvant être transporté, stocké et commercialisé sans subir de traitement supplémentaire à l'entrée du réseau.			
Teneur en Hg	µg/m <sup>3</sup> (n)	< 1			
Teneur en Cl	mg/m <sup>3</sup> (n)	< 1			
Teneur en F	mg/m <sup>3</sup> (n)	< 10			
teneur en NH <sub>3</sub>	mg/m <sup>3</sup> (n)	< 3			
Teneur en CO	%	< 2			
Température	°C	entre 5°C et 35°C [5]	entre 0°C et 50°C	Selon contrat	entre 5°C et 35°C [5]
Teneur en Siloxanes	mg/m <sup>3</sup> (n)	-	< 5	< 5	-

Tableau 2. SPÉCIFICATIONS DU BIOMÉTHANE SUR LES RÉSEAUX FRANÇAIS

[1] Gaz de type H : Gaz à haut pouvoir calorifique ; voir **Norme NF EN 16726+A1** de juillet 2018 pour les détails, exemples de calculs et conditions de contrôles. Gaz de type B : Gaz à bas pouvoir calorifique.

[2] Conditions de combustion à 0 °C et 1,01325 bar.

[3] Conversions point de rosée <-> teneur en eau selon la norme ISO 18 453 « Natural gas – Correlation between water content and water dew point. » (Correlation de Gergwater).

[4] Spécification pour le gaz naturel (hydrocarbures)

[5] Utilisation de PE

En outre, la Norme NF EN 16726+A1 sur le biométhane injecté indique une **exigence d'absence d'huile de compresseur dans le biométhane au point d'injection.**

#### II.1.2.2. Spécifications liées au poste d'injection de biométhane

La consultation des entreprises comprendra obligatoirement une copie des spécifications techniques au poste d'injection. L'entreprise retenue devra s'engager à ce que l'installation qu'elle fournit soit conforme au contrat d'injection et apporter des garanties sur le respect des performances en termes de quantité, qualité et régularité de production a minima.

Le tableau ci-dessous, peut être utilisé comme trame pour la consultation des entreprises (à préciser : sur gaz sec ou gaz humide) :

Paramètre	Unité	Valeur minimale	Valeur nominale	Valeur maximale
Débit instantané	Nm <sup>3</sup> /h	(projet)	(projet)	(contrat injection)
Production annuelle	Nm <sup>3</sup> /an	(projet)	(projet)	(contrat injection)
Qualité du biométhane		Contrat injection		
Température au point d'injection	°C	Contrat injection (1)		
Pression au point d'injection	Barg	Contrat injection		

Tableau 3. SPÉCIFICATIONS DE LA PRODUCTION DE BIOMÉTHANE DU PROJET

[1] La température qui est souvent demandée par GRDF est de 30°.

Le tableau page suivante récapitule les spécifications générales pour le raccordement au poste d'injection ; le contrat d'injection spécifique au site en établit les détails.

Critère	GAZ H - GRDF	GAZ H - TERECA	GAZ H - GRT Gaz
Référence	<a href="#">Catalogue prestations GRDF</a>	Prescriptions techniques TERECA	<a href="#">Conditions générales - 22/10/2019</a>
Poste d'injection	Location sous forme de redevance trimestrielle : voir catalogue des prestations GRDF (p. 63)	Fourni par TERECA	Fourni par GRT Gaz
Unité d'odorisation du biométhane (dosage THT)	En option	Inclus dans poste injection TERECA	Inclus dans poste injection GRT Gaz
Contrôle continu des caractéristiques physico-chimiques du Biométhane	En continu (cycle max de 3 min par mesure) Composés mesurés : CH <sub>4</sub> , O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, THT, H <sub>2</sub> O (PCS, Wobbe, densité)	Inclus dans poste injection GRT Gaz : - contrôle en continu des paramètres de combustion (PCS, indice de Wobbe et densité) - teneur en H <sub>2</sub> O, THT, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S et O <sub>2</sub> .	Inclus dans poste injection GRT Gaz : - contrôle en continu des paramètres de combustion (PCS, indice de Wobbe et densité) - teneur en H <sub>2</sub> O, THT, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S et O <sub>2</sub> .
Contrôle ponctuel de paramètres complémentaires	4 x par an la première année 2 x par an ensuite (sauf non-conformité ou autre évènement singulier) Composés mesurés : Cl inorganique, F inorganique, NH <sub>3</sub> , Hg, S mercaptique, H <sub>2</sub> , CO Non-conformités déjà détectées : NH <sub>3</sub> , Cl, plus rarement sur S mercaptique et Hg	Paramètres complémentaires : 10 à 12 fois par an par prélèvement et analyse en laboratoire indépendant à charge du producteur	Paramètres complémentaires : 1 fois par mois par prélèvement et analyse en laboratoire indépendant à charge de GRT gaz
Détermination des quantités de Biométhane injectées dans le Réseau	Compteur volumique avec DCVG (conversion volume brut aux conditions normales) x PCS chromatographique = énergie facturable au fournisseur	Inclus dans poste injection TERECA	Inclus dans poste injection GRT Gaz
Taux de disponibilité garanti	95% sur une année (à date anniversaire contrat)	95% sur une année (à date anniversaire contrat)	95% sur une année (à date anniversaire contrat)
Pénalité pour non-respect de la disponibilité	Oui	Oui	Oui
Contrat associé	Contrat de raccordement (CG et CP) Contrat d'injection (CG et CP)	Contrat raccordement ? injection ?	Contrat raccordement ? injection ?

Tableau 4. SPÉCIFICATIONS AU POSTE D'INJECTION

### II.1.3. Interfaces et limites de fourniture entre l'unité d'épuration et le poste d'injection

L'interface entre le poste d'injection et l'unité d'épuration du biogaz est une bride située au niveau du poste d'injection : **le porteur de projet doit prévoir les réseaux de biométhane aller et retour** en cas d'impossibilité d'injecter dans le réseau (saturation du réseau, gaz non conforme, panne au niveau du poste d'injection). Ces réseaux peuvent être demandés en option au fournisseur de l'unité d'épuration, au fournisseur de l'installation de méthanisation ou à une entreprise de tuyauterie.

Des vannes d'isolement peuvent également être prévues sur les deux côtés de la bride pour permettre les opérations de maintenance en toute sécurité.

Le biométhane non conforme est recirculé vers l'installation d'épuration ou de méthanisation (conception du projet) via une tuyauterie dédiée. Une bride et des systèmes de vannes et de comptage et d'analyse sur cette tuyauterie sont nécessaires.

## II.2. Épuration du biogaz

Une unité d'épuration du biogaz est un assemblage d'éléments, souvent livrés prémontés et testés en usine, ce qui limite les aléas du montage sur site, à installer sur une dalle béton et/ou des longrines :

- Un ou plusieurs containers compartimentés comprenant une salle électrique, isolée et climatisée et une ou plusieurs salles techniques contenant des équipements qui dépendent de la technologie (exemple : membranes, compresseur...) ainsi que l'instrumentation, généralement sensible aux aléas climatiques. Le choix des matériaux électriques et non électriques doit prendre en compte le zonage ATEX<sup>3</sup>.
- Des équipements extérieurs, individuels ou montés sur « SKID » (non containerisés), qui dépendent de la technologie, des prétraitements nécessaires ou encore des conditions climatiques. Dans ce cas, le porteur de projet doit vérifier avec le fournisseur les conditions d'installation adaptées et les contraintes (ATEX, installation, maintenance...).

### II.2.1. Caractéristiques des principales technologies d'épuration du biogaz

Plusieurs technologies matures d'épuration du biogaz permettent la production de biométhane compatible avec les spécifications des réseaux : lavage à l'eau, épuration membranaire, PSA (Pressure-Swing Adsorption), lavage aux amines et cryogénie.

Cependant, le lavage aux amines et la cryogénie par exemple sont des technologies assez spécifiques à certains contextes (débits élevés, biogaz très pollué) qui sont à ce jour peu adaptées au contexte de la méthanisation agricole ou territoriale. Elles ne seront donc pas abordées en détail dans le présent document.

D'autres solutions d'épuration existent, telles que des combinaisons de process telles que « lavage à l'eau + membrane ».

#### **ATTENTION :**

En phase de dimensionnement, le porteur de projet se renseignera sur les gammes des constructeurs (\*), en évitant si possible de se situer en limites de gamme les impacts peuvent être divers voire multiples : surcoût en raison de la nécessité de passer en gamme supérieure, risques de performances dégradées, risques de sur-sollicitation de l'équipement (usure prématurée, surconsommation électrique...), impossibilité de traiter les pointes de production ou d'augmenter la capacité de l'installation au cours de la vie du projet (limite supérieure de la gamme).

---

<sup>3</sup> Rappel : Les études et zonage ATEX consistent à identifier et classer les zones de l'installation en fonction du degré de risques d'explosion.

	Lavage à l'eau	Membranes	PSA
<b>Gammes de tailles (Nm<sup>3</sup>/h biogaz brut en entrée*)</b>	100 à > 8 000	40 à 6 000	100 à 3 000 et +
<b>Qualité minimale du biogaz pour assurer la conformité Gaz H</b>	> 50% CH <sub>4</sub> NH <sub>3</sub> indifférent (dissout par l'eau) Les teneurs en N <sub>2</sub> et O <sub>2</sub> à limiter car ce procédé enrichit le biométhane en N <sub>2</sub> et O <sub>2</sub> = risque de non-conformité gaz H	Standardisés pour des teneurs en CH <sub>4</sub> entre 45% et 70%. NH <sub>3</sub> indifférent (éliminé au séchage) < 0,5 à 0,7% O <sub>2</sub> * N <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> < 1,5%	Standardisés pour des teneurs en CH <sub>4</sub> > 35% NH <sub>3n</sub> < 100 mg/Nm <sup>3</sup> < 1%* O <sub>2</sub> * < 1,5%* N <sub>2</sub> (teneurs plus élevées possibles)
<b>Flux O<sub>2</sub></b>	Biométhane	50% dans biométhane 50% % dans offgaz	25 à 50% dans offgaz 50 à 75% dans biométhane
<b>Flux N<sub>2</sub></b>	Biométhane	Biométhane	40 à 50% dans offgaz 50 à 60% dans biométhane
<b>Spécificités O<sub>2</sub> et N<sub>2</sub> pour la conformité aux réseaux biométhane</b>	Pas d'élimination d'O <sub>2</sub> ni N <sub>2</sub> Enrichissement possible en O <sub>2</sub> + N <sub>2</sub>	Pas d'élimination d'N <sub>2</sub> Légère réduction d'O <sub>2</sub> possible	Élimination partielle d'O <sub>2</sub> et N <sub>2</sub>
<b>Rendement récupération de CH<sub>4</sub> (moy.)</b>	>99%	≥ 99% (3 étages) ≥ 97% (2 étages)	97-99% (récupération CH <sub>4</sub> possible en post-traitement)
<b>Pertes en CH<sub>4</sub> (moy.)</b>	1 %	≤ 1% (3 étages) ≤ 3% (2 étages)	1 à 3% (récupération CH <sub>4</sub> possible en post-traitement)
<b>Rendement max d'élimination de CO<sub>2</sub></b>	98%	98%	98-99%
<b>Consommables (à confirmer / préciser par les fournisseurs)</b>	- Agent de désengorgement - Agent antibactérien - Agent antimousse - Agent de séchage (régénération possible) - Eau	- Charbon actif - Huile (si compresseurs à huile)	- Charbon actif - Huile (si compresseurs à huile)
<b>Besoins énergétiques moyens (kWh<sub>e</sub>/Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>)</b>	0,2 – 0,35	0,3 – 0,45	0,2 – 0,35
<b>Récupération de chaleur (kWh<sub>th</sub>/ Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> moy.)</b>	0,25	0,2	0,35
<b>Récupération CO<sub>2</sub> possible</b>	<b>NON</b>	<b>OUI</b>	<b>OUI</b>

\* sur biogaz sec après prétraitement, selon les fournisseurs et dans le cas de la dérogation à 0,7% d'Oxygène dans le biométhane

Tableau 5. CARACTÉRISTIQUES COMPARÉES DES PRINCIPALES TECHNOLOGIES D'ÉPURATION DU BIOGAZ

Sources : « Bauer et al., Biogas upgrading, technologies overview, comparison and perspectives for the future, 2013 » ; "TUWIEN-Biogas to biomethane-Technology review-2012", documents constructeurs.

**NB:** les caractéristiques présentées ici sont celles couramment observées à date, la plupart des fournisseurs étant en mesure de proposer des solutions personnalisées ou « hors standard ».

## II.2.2. Besoins en prétraitement pour les principales technologies d'épuration

Le prétraitement du biogaz sert à éliminer les impuretés et éléments incompatibles avec la technologie d'épuration du biométhane retenue. Ainsi, cette étape sert, selon les procédés, à :

- Sécher le gaz
- Abaisser la teneur en H<sub>2</sub>S à un niveau acceptable
- Éliminer les COV, les siloxanes ou encore l'ammoniac,

- Chauffer / refroidir le gaz pour obtenir une température adaptée en début de process
- Comprimer le gaz pour obtenir une pression adaptée en début de process

Les prétraitements nécessaires en fonction des technologies sont les suivants, à ajuster en fonction des intrants et de la qualité prévisionnelle du biogaz (notamment sa teneur en H<sub>2</sub>S, COV, NH<sub>3</sub>, siloxanes) :

Prétraitement	Lavage à l'eau	Membranes	PSA
Séchage	Pas en prétraitement mais en post-traitement avant injection	Obligatoire (propriétés membranes)	Obligatoire
H <sub>2</sub> S	Élimination possible lors du process	Obligatoire <sup>(1)</sup>	Obligatoire
COV	Élimination possible lors du process	Obligatoire <sup>(1)</sup>	Recommandé
NH <sub>3</sub>	Inutile (éliminé lors du process)	Inutile (éliminé lors du séchage)	Obligatoire (corrosion)
Siloxanes	Inutile (éliminé lors du process)	Obligatoire (dommages compresseurs, membranes + réseau)	Recommandé
Hydrocarbures (huiles)	Post traitement : Huile à retirer après le compresseur et dans la colonne de lavage	Risque de colmatage des membranes => prétraitement ou systèmes de compression adaptés	Obligatoire (incompatible process)
Chauffage	Non	Non	Non
Refroidissement	Oui	Non	Non
Compression	Oui	Oui	Oui

Tableau 6. PRÉTRAITEMENTS EN FONCTION DES TECHNOLOGIES D'ÉPURATION DU BIOGAZ

Sources : « Bauer et al., Biogas upgrading, technologies overview, comparison and perspectives for the future, 2013 » ; "TUWIEN-Biogas to biomethane-Technology review-2012", Source <https://www.info-chimie.fr/cryo-pur-valorise-le-biogaz-en-co2,74891> ; documents constructeurs.

#### Remarques:

- (1) Certaines membranes sont moins sensibles que d'autres aux polluants tels que H<sub>2</sub>S et les COV. Cela peut éviter des dégradations prématurées de membranes mais cela n'exclut pas la nécessité de retirer ces polluants avant l'injection. Il est donc fortement recommandé, dans tous les cas, de disposer d'un système de prétraitement et de contrôle des flux de gaz fiable.
- (2) Les technologies de cryogénie sont peu répandues et il y a peu de recul sur leurs spécificités donc peu de données.

### II.2.3. Lavage à l'eau

#### II.2.3.1. Description simplifiée

Le lavage à l'eau du biogaz est le procédé le plus ancien d'épuration du biogaz. Il consiste à retirer le CO<sub>2</sub> par un phénomène d'absorption par l'eau, les gaz étant récupérés et l'eau régénérée par un jeu de pressions :

- Lors du contact entre l'eau et le biogaz dans les tours d'absorption, le CO<sub>2</sub> est transféré vers l'eau car il est plus soluble dans l'eau que CH<sub>4</sub>.

- L'eau s'enrichit avec du CO<sub>2</sub> et une fois saturée, elle nécessite une régénération. La régénération permet de séparer le CO<sub>2</sub> de l'eau et de réutiliser cette dernière à nouveau dans la tour d'adsorption.

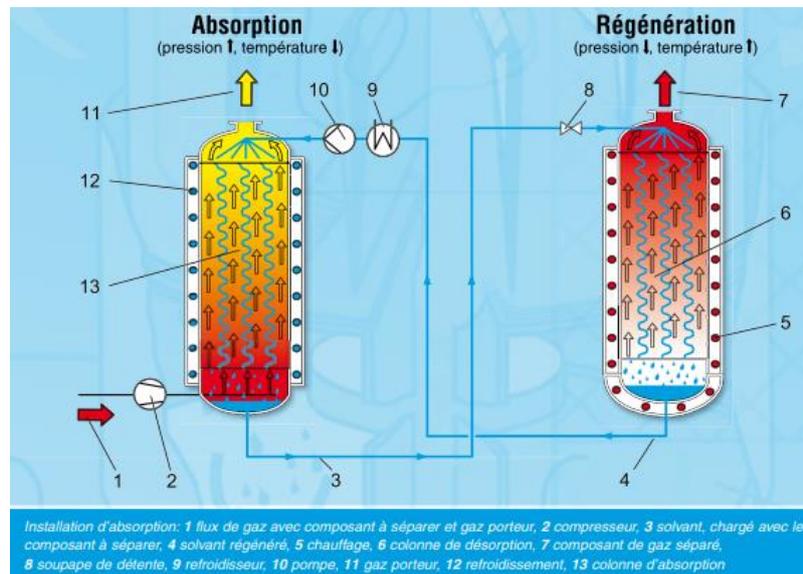


Figure 2. SCHÉMA DU LAVAGE À L'EAU DU BIOGAZ

Source : [https://www.gunt.de/images/download/absorption\\_french.pdf](https://www.gunt.de/images/download/absorption_french.pdf)

### II.2.3.2. Avantages

Le séchage du biogaz, le prétraitement de l'H<sub>2</sub>S, des COV et des siloxanes sont inutiles avant le lavage à l'eau. En effet, le gaz passe à travers des colonnes d'eau – donc peu importe son humidité initiale – et la plupart des éléments indésirables tels qu'H<sub>2</sub>S sont dissous dans l'eau de lavage. C'est l'une des raisons de la bonne adaptation de cette technologie au traitement du biogaz chargé en indésirables, sous réserve de compatibilité des taux d'azote et d'oxygène avec les contrats d'injection.

- Technologie éprouvée et connue
- Exploitation facile
- Technologie assez insensible aux impuretés dans le biogaz, particulièrement adaptée aux flux très riches en H<sub>2</sub>S
- Traite généralement très bien H<sub>2</sub>S, les COV, les siloxanes et une partie du NH<sub>3</sub> : adapté aux biogaz chargés en impuretés (en permanence ou en pics)
- Limite les besoins en traitement au charbon actif
- Récupération de chaleur possible
- CAPEX plus avantageux sur les grandes capacités

### II.2.3.3. Limites

- Plutôt adaptée aux grandes capacités
- Colonnes de traitement assez encombrantes, soit en hauteur (design classique, impact visuel à prendre en compte), soit en horizontal (quelques fournisseurs)
- Récupération de CO<sub>2</sub> généralement impossible (innovations : max 30% à ce jour)
- Enrichissement probable en oxygène et azote lors du processus, surtout pour les gaz pauvres en CH<sub>4</sub>
- Attention à l'encrassement des colonnes (développement bactérien, dépôts)
- Rejets et consommation d'eau (qualité, quantité) même si minimisés grâce à la régénération

### II.2.3.4. Points de vigilance

Le séchage du biométhane est obligatoire avant injection et doit être inclus dans l'offre de l'entreprise.

Conditions physico-chimiques du biogaz :

- Pression du biogaz dans la tour d'absorption : 6-10 bar
- Température du biogaz dans la tour d'absorption : 5-10°C

#### *II.2.3.5. Équipements standards et équipements critiques*

Les équipements que l'on retrouve habituellement en standard sur une installation d'épuration de lavage à l'eau sont les suivants :

- Tours de lavage et de dégazage
- Compresseurs et surpresseurs
- Pompes
- Container (climatisation de la salle électrique, intégrité globale)
- Instrumentation et analyseurs
- Système antibactérien (injection de produits ; à étudier selon le contexte et le process)
- Système antimousse
- Système de refroidissement
- Systèmes de sécurité en général
- Tuyauteries et vannes

Les équipements critiques de ce type d'installation en termes techniques et financiers, à prendre en compte dans le budget et programme « GER » (Gros Entretien – Renouvellement), sont les suivants :

- Compresseurs et surpresseurs
- Colonnes de lavage et de dégazage (en inox : guetter d'éventuels signes de piquage ; toutes : matériaux de garnissage, équipements internes et robinetterie)
- Pompes
- Instrumentation et analyseurs
- Système antibactérien
- Équipements de sécurité

#### *II.2.3.6. Besoins en maintenance*

- Maintenance courante : 30 minutes à 1h par jour selon les procédés et les débits, incluant la vérification des paramètres de conduite (alarmes, pressions, températures, composition du gaz en entrées et sortie).
- Entretien des tour de lavage : inspection tous les 6 mois environ, surtout s'il n'y a pas d'injection de produit bactéricide, et nettoyage tous les 2 ans environ, ou plus si nécessaire. Ceci peut nécessiter un arrêt complet de l'installation pendant 24h environ et un changement de garnitures si nécessaire. C'est pourquoi il est parfois recommandé d'intégrer un système d'injection de bactéricide dès la conception et la commande.
- Vérification / recalibration de l'instrumentation et du système d'analyse de gaz.
- GER : tous les 2 à 5 ans = vérification et nettoyage des garnissages + maintenance majeure ou changement des compresseurs avec arrêt de l'installation de 24 à 72h.
- Maintenance annuelle : une maintenance de 24h toutes les 4 000 h (soit 2 fois/an) par le fournisseur ou une équipe agréée de 2 personnes au minimum. Une maintenance plus lourde de 2 à 3 jours selon l'installation est nécessaire toutes les 8 000 h pour intégrer une maintenance un peu plus poussée des compresseurs et surpresseurs.
- GER : maintenance majeure sur les surpresseurs et compresseurs toutes les 24 000 à 32 000h.
- Selon les cas, une provision de 10 à 25% du CAPEX initial peut être provisionné en GER pour la durée du contrat d'injection (15ans)

*NB : Le GER sur les compresseurs est variable selon les marques, certaines ne proposant pas de GER mais uniquement des maintenances ou des reconditionnements de machines, à 25 000 h ou 32 000 h ou 60 000h selon les marques.*

## II.2.4. Épuration membranaire

### II.2.4.1. Description simplifiée

Une membrane se compose de plusieurs fibres polymères creuses réunies dans un cylindre dans lequel passe le gaz sous pression.

Le gaz à traiter est alimenté d'un côté de la membrane, à moyenne pression. La séparation membranaire est basée sur la vitesse de perméation des différentes molécules présentes dans le biogaz. Cette vitesse est rapide pour des molécules comme H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> et plus lente pour les molécules d'O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>. C'est ce qui permet d'avoir dans le rétentat un biométhane riche en CH<sub>4</sub>.

En revanche, il existe une compétition entre les molécules d'azote et de méthane qui fait qu'au-delà d'une certaine concentration en azote (N<sub>2</sub> > 1,5%) la conformité du biométhane au type H nécessite une recirculation plus intense, une pression plus importante et donc une consommation électrique plus élevée.

Deux flux sont produits par la membrane :

1. Un rétentat à une pression égale à la pression d'entrée moins la perte de charge à travers la membrane. Ce rétentat ne traverse pas la fibre polymères et est enrichi en CH<sub>4</sub>.
2. Un perméat, à faible pression. Ce perméat traverse la fibre polymère et est enrichi en CO<sub>2</sub>.



Figure 3. SCHÉMA DE L'ÉPURATION MEMBRANAIRE DU BIOGAZ

Sources : L'Air Liquide et Biogas upgrading – Review of commercial technologies (F. Bauer et al)

---

*Pour obtenir un flux suffisamment riche en méthane et conforme aux spécifications des réseaux, le rétentat passe par plusieurs étages membranaires. Ainsi, si « 2 étages » peuvent être suffisants pour un « Gaz B », « 3 étages » sont généralement nécessaires un « gaz H ».*

---

*II.2.4.2. Avantages*

- Installations compactes
- Exploitation facile
- Installations relativement évolutives avec possibilité d'augmentation de capacité
- Récupération de chaleur possible sur les compresseurs
- Récupération de CO<sub>2</sub> facile
- Retour d'expérience sur les membranes commence à être significatif (>10 ans)
- Technologie très répandue en France, avec de nombreuses références

*II.2.4.3. Limites*

- Sensibilité H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, COV et autres impuretés pour certaines marques de membranes (encombrement des membranes = réduction de capacité épuratoire)
- Pas de séparation de l'azote du méthane
- CAPEX parfois non compétitif sur les débits les plus importants (mais évolution rapide des standards)

*II.2.4.4. Points de vigilance*

Le biogaz nécessite un prétraitement avant l'étape de séparation membranaire. Les étapes de prétraitement sont les suivantes :

- Le séchage du biogaz par condensation pour éliminer l'humidité absolue. Cette humidité si non éliminée, risque de saturer le charbon actif et de boucher les membranes. L'élimination de l'humidité évite aussi la condensation de l'eau lors de l'étape de compression du biogaz en amont des membranes<sup>4</sup>.
- Certaines membranes sont très sensibles à l'H<sub>2</sub>S d'autres non : c'est une sécurité et un argument commercial, néanmoins il est préférable d'éliminer H<sub>2</sub>S avant l'unité de purification et c'est obligatoire pour respecter les différentes normes des réseaux.
- Traitement des particules qui peuvent être issues des compresseurs (facultatif) : microfiltres<sup>5</sup>.

	Sur biogaz brut	Sur biogaz après prétraitement
Température du gaz à l'entrée de l'unité membranaire		1 - 90 °C
Pression minimale en entrée de l'unité		-20 – 150 mbarg
Pression standard en sortie de l'unité		4 – 12 bara
H <sub>2</sub> S en entrée de l'unité membranaire		Selon le type des membranes : <5ppm pour les plus sensibles (prétraitement au charbon actif obligatoire)
Siloxanes en entrée de l'unité membranaire		Prétraitement à prévoir en fonction de la concentration (généralement charbon actif)
COV en entrée de l'unité membranaire		
NH <sub>3</sub> en entrée de l'unité membranaire		

Tableau 7. CONDITIONS PHYSICO-CHIMIQUES DU BIOGAZ À L'ENTRÉE DE L'UNITÉ D'ÉPURATION MEMBRANAIRE

*II.2.4.5. Équipements standards et équipements critiques*

Les équipements que l'on retrouve habituellement en standard sur une installation d'épuration membranaire sont les suivants :

<sup>4</sup> Source : SWEDEN-Biogas upgrading-review of commercial technologies-2013

<sup>5</sup> Source : DANISH TECH INST-KEY report-Biogas and syngas upgrading-2012

- Prétraitement : séchage, tours à charbon actif (recommandé : 2 tours en « Lead-Lag » pour faciliter la maintenance)
- Surpresseurs du biogaz en amont des compresseurs
- Compresseurs de biogaz
- Compresseurs de biométhane (si injection sur réseaux de transport)
- Systèmes de chauffage et de refroidissement (amont, aval, inter-étages)
- Systèmes de récupération d'énergie (si existants)
- Système d'inertage (pour la mise en service et la maintenance)
- Container comprenant les membranes, des vannes et instrumentation (analyseurs et sécurité) ainsi qu'une salle électrique climatisée et séparée (zonage ATEX à spécifier par le fournisseur)
- Instrumentation et système d'analyse de gaz - en plus des mesures communes à toutes les technologies décrites au chapitre « III.6.7 Paramètres de suivi et indicateurs de performances », l'unité membranaire comprend généralement :
  - Pression et température sur tous les flux entrants, sortants et inter-étages y/c recyclage interne
  - Option : mesure humidité entrée membranes
- Systèmes de sécurité en général
- Tuyauteries et vannes

Les équipements critiques de ce type d'installation en termes techniques et financiers, à prendre en compte dans le budget et programme « GER » (Gros Entretien – Renouvellement), sont les suivants :

- Compresseurs et surpresseurs
- Cuves et réservoirs
- Instrumentation et analyseurs
- Équipements de sécurité

Concernant les membranes, la durée de vie normale est de 5 à 10 ans, pour une garantie habituelle de 2 à 5 ans hors dommages H<sub>2</sub>S ou COV. Les garanties peuvent couvrir une diminution de la performance voire la destruction de la membrane.

#### *II.2.4.6. Besoins en maintenance*

- Maintenance courante : 30 minutes à 1h par jour selon les procédés et les débits, incluant la vérification des paramètres de conduite (alarmes, pressions, températures, composition du gaz en entrées et sortie).
- Vérification / recalibration de l'instrumentation et du système d'analyse de gaz
- Changement des charbons actifs du prétraitement : tous les 6 mois, 1 an ou + (dépend du dimensionnement des cuves et de la composition du biogaz)
- Membranes : les premières installations atteignent la dizaine d'années, avec une bonne tenue des membranes dans de nombreux cas – sous réserve de conception et d'exploitation adéquats.
- Maintenance annuelle : une maintenance de 24h toutes les 4 000 h (soit 2 fois/an) par le fournisseur ou une équipe agréée de 2 personnes au minimum. Une maintenance plus lourde de 2 à 3 jours selon l'installation est nécessaire toutes les 8 000 h pour intégrer une maintenance un peu plus poussée des compresseurs et surpresseurs.
- GER : maintenance majeure sur les surpresseurs et compresseurs toutes les 24 000 à 32 000h.
- Selon les cas, une provision de 10 à 25% du CAPEX initial peut être provisionnée en GER pour la durée du contrat d'injection (15ans)

*NB : Le GER sur les compresseurs est variable selon les marques, certaines ne proposant pas de GER mais uniquement des maintenances ou des reconditionnements de machines, à 25 000 h ou 32 000 h ou 60 000h selon les marques.*

## II.2.5. PSA (Pressure-Swing Adsorption)

## II.2.5.1. Description simplifiée

La technique PSA (Pressure-Swing Adsorption en anglais) ou technique d'adsorption modulée en pression utilise des adsorbants solides (tamis moléculaires) et des différences de pression pour capturer le CO<sub>2</sub> et épurer ainsi le biogaz.

Après l'adsorption sous haute pression, le matériau adsorbant chargé est régénéré par une diminution progressive de la pression.

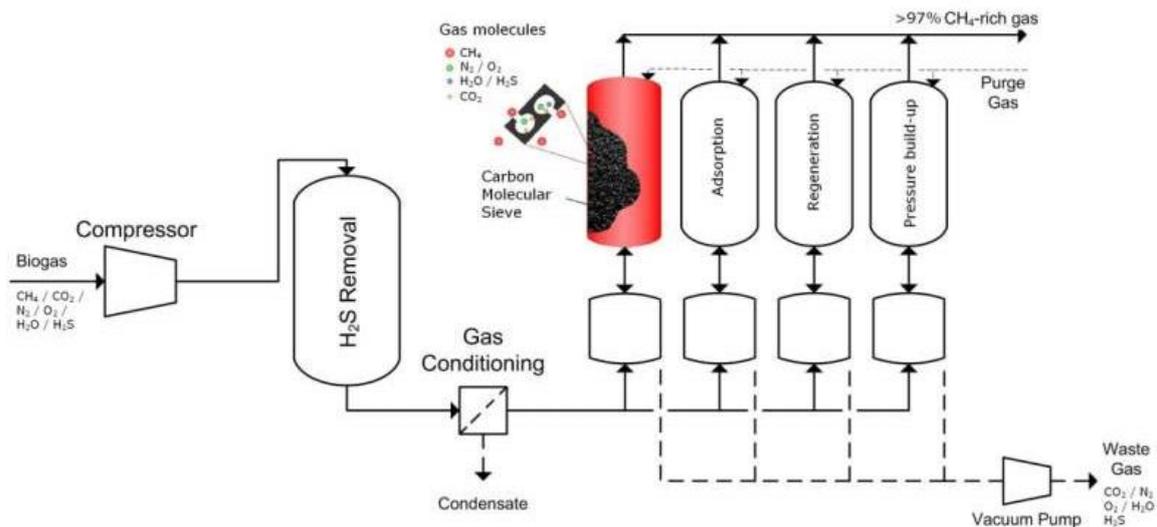


Illustration Credit: Zhao et al. (2010) via [https://biomass.ucdavis.edu/files/2015/10/Biogas-Cleanup-Report\\_FinalDraftv3\\_12Nov2014-2.pdf](https://biomass.ucdavis.edu/files/2015/10/Biogas-Cleanup-Report_FinalDraftv3_12Nov2014-2.pdf)

Figure 4. SCHÉMA DE L'ÉPURATION PSA DU BIOGAZ

## II.2.5.2. Avantages

- Régénération cyclique des médias (tamis moléculaires) : les tamis moléculaires bénéficiant de retours d'expériences de 12 à 15 ans selon les constructeurs, qui montrent une absence d'altération des performances (pas de nécessité de changer le tamis)
- Séchage du biométhane avec des teneurs en H<sub>2</sub>O proche de 0 mg/Nm<sup>3</sup> à l'injection.
- Si besoin, le procédé PSA peut éliminer une partie de l'O<sub>2</sub> et du N<sub>2</sub> du biogaz vers l'événement. Mais cette capacité d'élimination dépend du cahier des charges (point de vigilance). Celui-ci permettra l'élaboration d'un média adapté aux exigences attendues en termes d'épuration.

## II.2.5.3. Limites

- Nécessite une capacité tampon pour l'événement en cas de valorisation du CO<sub>2</sub> pour lisser la production d'événement (débit non constant).
- Pertes de CH<sub>4</sub> dans l'événement un peu plus importantes que pour les membranes – mais qui peut être également valorisé (voir « Note sur les devenir de l'événement » en tout début de document).

## II.2.5.4. Points de vigilance

Le prétraitement est indispensable en amont du procédé PSA, il permet d'éliminer :

- Les COV par charbons actifs et via les condensats lors du séchage du biogaz.
- H<sub>2</sub>S par charbons actifs en complément d'un traitement in situ
- L'humidité du biogaz par condensation et / ou par adsorption sur charbon actif
- NH<sub>3</sub> éventuellement par charbon actif ou tour de lavage

- Possibilité d'utiliser des compresseurs « oil free » sous certaines conditions, ce qui permet de récupérer un biométhane et un CO<sub>2</sub> sans traces d'huile. Les pompes à vides utilisent de l'huile compatible avec la qualité alimentaire s'il y a contact entre l'événement et l'huile.

Température du biogaz à l'entrée de la tour d'adsorption	15 à 25°C
Pression minimale en entrée épuration	20 mbarg
Pression standard en sortie épuration	3 à 10 bar
H <sub>2</sub> S en entrée épuration	Prétraitement à prévoir en fonction de la concentration (généralement charbon actif) pour obtenir <b>quelques ppm</b> en entrée de colonne PSA
Siloxanes en entrée épuration	
COV en entrée épuration	
NH <sub>3</sub> en entrée épuration	

Tableau 8. CONDITIONS PHYSICO-CHIMIQUES DU BIOGAZ POUR UNE ÉPURATION PSA

#### II.2.5.5. Équipements standards et équipements critiques

Les équipements que l'on retrouve habituellement en standard sur une installation d'épuration en PSA sont les suivants :

- Prétraitement : séchage, tours à charbon actif (recommandé : 2 tours en « Lead-Lag » pour faciliter la maintenance)
- Système de refroidissement
- Colonnes d'adsorption et accessoires
- Système d'inertage (pour la mise en service et la maintenance)
- Container (ou « Skid ») comprenant les cuves d'adsorption, des vannes et instrumentation (analyseurs et sécurité) ainsi qu'une salle électrique climatisée et séparée (zonage ATEX à spécifier par le fournisseur)
- Instrumentation et système d'analyse de gaz
- Tuyauteries et vannes
- Systèmes de sécurité en général

Concernant le « GER » (Gros Entretien – Renouvellement), les équipements critiques de ce type d'installation en termes techniques et financiers sont les suivants :

- Compresseurs et surpresseurs
- Échangeurs de chaleur pour la condensation de l'eau et le refroidissement du biogaz
- Tours de charbon actif pour l'adsorption de H<sub>2</sub>S et/ou COV et/ou NH<sub>3</sub> (NB : dans le cas d'une location des filtres en « plug-and-play », ce poste n'existe pas)
- Microfiltre pour la rétention des particules potentiellement entraînés des tours de charbon actif
- Colonnes d'adsorption selon les matériaux (fuites)
- Instrumentation et système d'analyse de gaz
- Systèmes de sécurité en général

Certains procédés disposent de colonnes de régénération de l'adsorbant, parfois avec réchauffement de la colonne : les équipements correspondants doivent alors être pris en compte.

#### II.2.5.6. Besoins en maintenance

- Maintenance courante : 15 à 30 minutes par jour selon les procédés, incluant la vérification des paramètres de conduite (alarmes, pressions, températures, composition du gaz en entrées et sortie).
- Vérification / recalibration de l'instrumentation et du système d'analyse de gaz
- Changement des charbons actifs du prétraitement : tous les 6 mois, 1 an ou + (dépend du dimensionnement des cuves et de la composition du biogaz)

- Maintenance annuelle : une maintenance de 24h toutes les 4 000 h (soit 2 fois/an) par le fournisseur ou une équipe agréée de 2 personnes au minimum. Une maintenance plus lourde de 2 à 3 jours selon l'installation est nécessaire toutes les 8 000 h pour intégrer une maintenance un peu plus poussée des compresseurs et surpresseurs.
- GER : maintenance majeure sur les surpresseurs et compresseurs toutes les 24 000 à 32 000h.
- Selon les cas, une provision de 10 à 25% du CAPEX initial peut être provisionnée en GER pour la durée du contrat d'injection (15ans)

*NB : Le GER sur les compresseurs est variable selon les marques, certaines ne proposant pas de GER mais uniquement des maintenances ou des reconditionnements de machines, à 25 000 h ou 32 000 h ou 60 000h selon les marques.*

## II.2.6. Autres technologies

### II.2.6.1. Lavage aux amines

Le lavage aux amines est un procédé d'absorption, qui permet d'éliminer aussi bien le CO<sub>2</sub> que l'H<sub>2</sub>S et d'autres polluants du biogaz, sans prétraitement (pas de nécessité de prétraitement au charbon actif).

Les amines sont utilisées comme solvant pour améliorer les performances d'épuration et sont régénérées au cours du processus pour être réutilisées.

L'exploitation est réputée comme étant un peu compliquée mais très réactive quant à la composition du biogaz, avec un rendement de récupération de CH<sub>4</sub> proche de 100% (pertes proches de 0%) et une pureté du biométhane proche de 100% également.

La régénération des amines est très consommatrice d'énergie (chaleur : 120 à 160°C).

La conception et l'exploitation nécessitent des précautions particulières liées aux risques chimiques – pour le personnel et l'environnement. En outre, le procédé est très consommateur de chaleur, utilisée pour la régénération des solvants.

---

*Ce procédé sera envisagé de préférence en présence d'un biogaz riche en polluants (hors standard) et sur un site disposant de chaleur excédentaire en quantité suffisante (type site industriel).*

---

### II.2.6.2. Cryogénie du biogaz

En cryogénie, le méthane (CH<sub>4</sub>) et les autres gaz constituant le biogaz, en particulier le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) sont séparés par un jeu successif de compression (jusqu'à 40bars), refroidissement, détente qui permet d'abaisser la température très fortement (jusqu'à -120°C). Le méthane et le dioxyde de carbone sortent alors tous les deux sous forme liquide. Les principales caractéristiques de cette technologie sont :

- Teneur en eau très préjudiciable : nécessite un séchage très poussé en amont, à plusieurs étapes et onéreux.
- Très adapté à la production de bio-GNL
- Pertes en CH<sub>4</sub> proches de 0%
- La récupération de CO<sub>2</sub> sous forme liquide, généralement assez pur, stockable et transportable, est très facile à partir de cette technologie.
- Exploitation complexe
- Besoins en énergie (> 1 kWh/Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>) très importants : l'optimisation énergétique doit être étudiée.
- CAPEX/OPEX élevés.

- Risque Cryo

### III. Contenu général des appels d'offres (DCE)

En marchés publics, le Dossier de Consultation des Entreprises (« DCE ») est organisé autour de 3 documents qui sont mis à jour lors de la commande, sur la base des discussions avec l'entreprise retenue, à savoir le Cahier des Clauses Administratives Générales (ou **CCAG**, applicables à tous les fournisseurs du projet), le Cahier des Clauses Administratives Particulières (ou **CCAP**, applicables à ce lot en particulier) et le Cahier des Clauses Techniques Particulières (ou **CCTP**) qui regroupe tous les éléments techniques du projet, pour le lot concerné.

Pour un marché privé, le DCE peut être simplifié avec par exemple un « Cahier des Charges » unique, qui sera mis à jour à la commande en tant que « Contrat » ou encore 2 documents séparés (Cahier des Clauses Techniques + Cahier des Clauses Administratives), également mis à jour à la commande. Dans tous les cas, les documents de consultation puis de commande doivent contenir :

- Une description du projet avec des plans (notamment plans d'implantation), les éléments dimensionnants ainsi que les contraintes du projet et du lot
- Un minimum de spécifications techniques avec les options et limites de fournitures attendues
- Un planning prévisionnel
- Les conditions administratives et contractuelles prévues, incluant : les responsabilités et les obligations des 2 parties, les garanties, les assurances, les termes de paiement et leur validation, les pénalités, les conditions de résiliation pour les 2 parties et les modalités de règlement des litiges.
- Les conditions d'essais de réception et des essais de performances des équipements.

---

*Se référer au « Guide sur les bonnes pratiques contractuelles pour réussir votre projet de méthanisation », publié par l'ATEE en 2020<sup>6</sup>.*

---

#### III.1. Conditions administratives et contractuelles

Les conditions administratives et contractuelles prévues doivent être clairement exposées, comprenant notamment la **participation aux réunions de chantier**, les **conditions et termes de paiement**, les **procédures de gestion du contrat**, les **garanties** (disponibilité des installations, tenue des équipements et performances) et **assurances obligatoires**.

**Les prix doivent être forfaitaires** mais peuvent inclure des options et des indications de prix unitaires pour anticiper d'éventuels travaux imprévus.

Le « **Guide sur les bonnes pratiques contractuelles pour réussir votre projet de méthanisation** » (ATEE, 2020) permet aux porteurs de projet de prendre en compte les bonnes pratiques contractuelles lors de la conception et la réalisation d'une unité de méthanisation.

Il définit les différents montages juridiques (Allotissement, clés en main, etc), et présente les relations entre les différents intervenants du projet (Maître d'ouvrage, Maître d'œuvre, sous-traitant, assistant à maîtrise d'ouvrage).

Ce guide traite aussi les points de vigilance lors de l'exécution du contrat et les différents types d'assurance (voir sommaire en annexe).

---

<sup>6</sup> <https://atee.fr/actualite/guide-sur-les-bonnes-pratiques-contractuelles-pour-reussir-votre-projet-de-methanisation>

### III.2. Planning du projet

Le planning du projet présenté au DCE, a minima sous forme de texte et si possible sous forme graphique, comprend a minima les dates clefs pour le lot consulté :

- date de remise des offres,
- période d'auditions et de mise au point,
- date prévisionnelle de commande,
- date de début des travaux,
- Constat d'Achèvement des Travaux (CAT) du projet global,
- période d'essais du lot consulté,
- dates prévisionnelles de réception (provisoire et définitive).

### III.3. Rappel du contexte réglementaire

Un rappel du contexte réglementaire du projet et ses spécificités est généralement inclus dans le DCE : respect de la réglementation française et européenne, respect de la réglementation des installations de méthanisation, respect des conditions spécifiques du projet (dossier ICPE).

**S'il n'est pas recommandé de se lancer dans un inventaire de la réglementation** car celle-ci est en perpétuelle évolution et « nul n'est censé ignorer la loi », il est conseillé de mentionner les principaux textes en vérifiant qu'ils sont toujours applicables et en citant la référence de la dernière version. Par exemple (**liste non exhaustive**) :

- La réglementation française et européenne, destinée à assurer la conformité, la qualité et la sécurité de la fourniture et des travaux en général et celle spécifique à la sécurité des installations gazières en particulier, soit par exemple :
  - Le « Marquage CE » et ses normes applicables incluant la « Directive machine », la directive sur les instruments de mesure, la directive européenne de Compatibilité Électromagnétique (CEM) et les normes qui leur sont rattachées.
  - La directive européenne ATEX.
  - La directive européenne sur les Équipements sous pression (DESP) et la réglementation française concernant le transport du gaz.
  - Le Code du Travail et le Code de l'environnement français et les arrêtés et directives qui y sont attachés.
  - La réglementation sur la sous-traitance.
  - Les codes de conception-construction émis par le SNCT (Syndicat National de la Chaudronnerie, Tuyauterie et Maintenance industrielle) : CODETI, CODAP etc.
  - Les normes techniques telles que les suites NF EN 12007 sur les Infrastructures gazières,
- Les normes françaises d'application obligatoire.
- Les normes sur la sécurité des machines.
- Les normes sur la sécurité électrique des installations et sur la protection contre la foudre.
- Les dispositions du dossier ICPE applicables à la fourniture, à citer et à préciser dans les spécifications – exemple : niveaux d'urgence de bruit, rejets atmosphériques.
- Toute réglementation destinée à assurer la performance des installations et la protection de l'environnement telle que la directive IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control), imposant notamment d'utiliser des « meilleures techniques disponibles » (MTD).

- D'une manière générale toute norme applicable (NF, EN, ANSI, ISO, DIN, IEEE, IEC) relative à la sécurité, la tuyauterie, l'électricité, l'automatisme, les équipements électromécaniques, l'instrumentation.
- Les codes et règles de calcul selon les référentiels en vigueur (Eurocode...).
- Les règles de l'art.

### III.4. Descriptif du projet

Un document ou une partie du DCE doit présenter le projet et les éléments dimensionnants pour le lot consulté soit à minima dans le cas du biogaz, du biométhane et du bio-CO<sub>2</sub> :

- Les process de production du biogaz (ou « mémoire technique »)
- Les débits entrants de biogaz et sortants de biométhane
- La qualité attendue de ces flux
- Les conditions de production
- Les spécifications de suivi et de contrôles si besoin
- Diverses contraintes techniques
- Les conditions d'essais, de réception et de performances attendues des installations
- Plans d'implantation des installations

Le descriptif peut également comprendre des éléments spécifiques au site (implantation, sécurité, hauteur maximale des constructions, espaces disponibles, zones ATEX, contraintes environnementales...) si cela peut avoir un impact sur la conception, voire des plans si le projet est suffisamment avancé.

### III.5. Fournitures, travaux et prestations

Des précisions sur les éléments à fournir sont nécessaires pour éviter les malentendus :

- Équipements et leurs conditions de mise en œuvre (en skid, en container, sans l'un ni l'autre selon la configuration du site),
- Tuyauterie, vannes, isolées ou non, tracées ou non,
- Instrumentation, automatisme et électricité – avec précision des conditions de fourniture, pose et raccordement des armoires et réseaux correspondants.
- Conditions de disponibilité des consommables (eau, électricité) en phase chantier et sur le site (localisation, caractéristiques) et demande de précision des besoins du fournisseur
- Études et documentation requis (voir ci-après)
- Moyens de levage pour le déchargement et le montage : à prévoir ou disponibles sur site
- Les demandes particulière éventuelles en termes de formation
- Éléments de sécurité requis en phase chantier et en phase exploitation : zonage et équipements ATEX, protection incendie et gaz, protection des personnes, habilitations...

La phase de consultation est l'occasion pour le porteur de projet d'identifier **les interfaces avec les autres lots** (lot process méthanisation et poste d'injection, incluant les usages du biométhane non injecté – voir chapitre suivant) et les besoins complémentaires en termes de travaux et fourniture

Pour faciliter l'analyse des offres et permettre de comprendre l'impact potentiel que chaque proposition sur le reste du projet, un minimum de documents ou d'éléments sont à fournir par les candidats dès le stade de l'offre. Une liste « standard » de documents à fournir par le candidat aux différentes étapes du projet est proposée, pour exemple, en annexe.

En outre, une clarification des « **limites de fournitures** » et des éléments pris en charge par d'autres lots ou par le porteur de projet lui-même est impérative, au plus tard lors du comparatif des offres, afin que les responsabilités et les budgets soient sécurisés.

**Il est vivement conseillé de préciser, en clair dans le DCE, que tous les documents doivent être rédigés en français pour éviter des erreurs d'interprétation.**

### III.6. Spécifications techniques

Le dossier de consultation doit contenir un minimum de spécifications techniques, y compris pour les options et les limites de fournitures attendues. Ces spécifications doivent tenir compte :

- Des contraintes du projet
- De la réglementation et des impositions du dossier ICPE
- Des textes de références d'application non obligatoires mais que le porteur de projet veut voir appliquées à son projet (ex : documentation INERIS, INRS, ATEE (guides techniques, label QUALIMETHA), ADEME – voir liste proposée en annexe ...)

#### **Note sur les spécifications techniques :**

On constate parfois une surenchères dans les référentiels et préconisations techniques, voire un surdimensionnement de certains équipements et instruments, ce qui peut entraîner des surcoûts importants des projets et même devenir contreproductif. C'est le cas par exemple des débits aux soupapes, ce qui provoque fuites et problèmes longs à identifier en utilisation.

La juste solution passe par un dialogue éclairé et constructif, même si le constructeur / fournisseur reste en dernier lieu responsable de sa conception et de ses performances.

#### III.6.1. Définition des valeurs « minimale, nominale et maximale »

Les spécifications de conception de tout procédé ou équipement doivent indiquer 3 valeurs pour chaque paramètre : minimale, nominale (design) et maximale. Si l'ensemble de ces valeurs doit être pris en compte par les entreprises pour bâtir leurs propositions, **la valeur nominale constitue la cible d'optimisation** pour la conception de l'installation.

La définition de ces valeurs est importante pour éviter qu'elle soit source d'incompréhension entre porteurs de projets et entreprises, notamment au moment de vérifier les performances d'un équipement ou d'une installation :

- **Valeur minimale** : valeur la plus basse envisageable dans des conditions normales.
- **Valeur nominale** : valeur de fonctionnement pour laquelle l'installation est optimisée (exemple, débit d'injection contractuel).
- **Valeur maximale** : valeur la plus élevée envisageable dans des conditions normales.
- **Valeur de pointe** : valeur maximale envisageable sur quelques heures seulement (durée à préciser).
- **Valeur design** : valeurs de conception de l'installation. En l'absence de précisions, les valeurs design sont les valeurs les plus contraignantes (min ou max).
- **Valeur garantie**

**Pour les valeurs minimales et maximales**, on évite d'intégrer les cas vraiment extrêmes ou purement hypothétiques, qui ne risquent de se produire que de temps en temps dans la vie de l'installation ou d'une durée extrêmement limitée.

De même, imposer des plages de fonctionnement très larges n'est pas forcément synonyme de sécurité pour le porteur de projet mais peut être source de risques et de surcoûts.

Par contre, on prend en compte des événements objectivement possibles, récurrents ou susceptibles d'influencer de façon significative la production de biogaz.

Par exemple, les effets de changements de rations ou de débits en fonction de la saisonnalité des intrants ou des capacités d'accueil des réseaux sont des paramètres connus et mesurables. Des marges

de + 15 / 20 % au-delà des concentrations maximales peuvent être considérées pour tenir compte du rattrapage de production ou des augmentations de capacité.

### III.6.2. Spécifications liées au procédé de digestion

Le porteur de projet précisera les éléments suivants dans son cahier des charges car ils conditionnent le contenu et le coût de l'offre d'épuration :

- Régime de température du procédé de méthanisation (mésophile, thermophile) : détermine la température du biogaz aux interfaces.
- Composition du biogaz.
- Besoins en chaleur : chauffage digesteurs, hygiénisation, chauffage d'intrants spécifiques, traitement et séchage digestat
- Traitement H<sub>2</sub>S In Situ (dans les digesteurs) : type et performances garanties. Ce critère est important pour le dimensionnement des filtres à charbons actifs et influe sur la teneur en oxygène et en azote du biogaz – donc sur le dimensionnement et les performances de la brique épuration.
- Instrumentation et accessoires disponibles sur site – exemple : analyseur de biogaz centralisé ou portable.
- Capacité de stockage et de récupération de biogaz non conforme.

### III.6.3. Spécifications liées à valorisation du biométhane

Voir #0 En outre, la Norme NF EN 16726+A1 sur le biométhane injecté indique une **exigence d'absence d'huile de compresseur dans le biométhane au point d'injection**.

Spécifications liées au poste d'injection de biométhane.

Les modalités de gestion et de stockage éventuel du **biométhane non injecté** (Non-conformité, panne du poste d'injection) doivent être prévues, précisées et correctement **instrumentées** à des fins de bilans d'exploitation autant que de suivi des performances.

Le biométhane non injecté peut :

- ⇒ Retourner en amont de l'unité de prétraitement via une tuyauterie dédiée,
- ⇒ être mélangé avec les évènements pour recréer un biogaz compatible avec le stockage en digesteur et retourner vers les digesteurs / post-digesteurs,
- ⇒ être utilisé en chaudière ou en cogénération si c'est prévu,
- ⇒ être détruit (torchère) ; cette solution de dernier recours doit être prévue et spécifiée correctement : torchage de biométhane ou reformage d'un biogaz si la torchère n'accepte que du biogaz.

### III.6.4. Spécifications liées au procédé d'épuration

À moins que le porteur de projet ne souhaite une technologie en particulier, il est recommandé que les spécifications techniques de l'épuration soient générales afin de laisser le choix au fournisseur de proposer la meilleure réponse aux besoins du projet (voir chapitres spécifiques sur les technologies).

Comme expliqué précédemment, selon les procédés d'épuration, des opérations de prétraitement peuvent être nécessaires telles que le séchage et l'abattement ou l'élimination de certains constituants du biogaz. Ainsi le traitement d'H<sub>2</sub>S, des COV, de NH<sub>3</sub> et des siloxanes se fait généralement par adsorption sur **charbon actif**.

Pour faciliter la maintenance, les spécifications suivantes de conception des filtres à charbon sont vivement conseillées :

- Filtration à 2 cuves en « Lead-Lag » plutôt qu'une seule cuve. Ce système permet :

- de maximiser le taux de saturation des charbons tout en limitant le risque de pic d'H<sub>2</sub>S en entrée de l'épurateur (préserve les équipements en aval et économise des charges charbon),
- de continuer de traiter le biogaz sur 1 filtre pendant que le charbon actif de l'autre (ou le filtre entier en cas de location) est changé,
- d'éviter l'arrêt de l'unité d'épuration du biogaz pendant la maintenance.
- Pour les cuves fixes (remplissage vrac ou sacs) : système de vidange et de remplissage ergonomique et sécurisé ; détails opérationnels à fournir par le constructeur dès l'offre (treuil, palan, garde-corps, hauteur sous vidange suffisante, etc.).
- Capacité de traitement prévue pour ne changer les filtres au maximum qu'1 à 2 fois par an (ou moins).
- Contrôler strictement l'injection d'oxygène (ou d'air) dans les filtres à charbons actifs. Les composés de l'air (N<sub>2</sub> et O<sub>2</sub>) sont en effet difficiles à éliminer en aval et les dérogations accordées par les gestionnaires de réseaux concernant le taux d'O<sub>2</sub> dans le biométhane pourraient être amenées à évoluer ou à disparaître.
- Installer un filtre à particules en aval des cuves de charbons actifs afin d'éviter la présence de poussières de charbon en entrée de l'épurateur.

#### Note sur la conception des filtres à charbon actif

La périodicité et les conditions du changement des charbons actifs ont un impact fort sur les conditions d'exploitation de l'unité d'épuration, en termes de sécurité du process et d'impact sur le quotidien de l'exploitant. Ainsi, des filtres de petite taille sont attrayants en termes d'investissement (CAPEX) mais peuvent aboutir à un changement fréquent et à des coûts de fonctionnement (OPEX) très élevés. Inversement, des filtres de grande taille peuvent sécuriser le prétraitement mais revenir très cher à l'investissement et ne pas être forcément plus intéressants en fonctionnement.

Il est recommandé d'étudier le dimensionnement des filtres à charbon actif à la lumière de la qualité du biogaz et des conditions d'approvisionnement locales (big bag, vrac) afin de n'avoir à réaliser qu'un ou 2 changement de charbon par an.

En outre, la manipulation des charbons étant dangereuse de par leur poids et les risques (H<sub>2</sub>S, poussière, inflammabilité), le porteur de projet doit être informé des contraintes et mesures à prendre suffisamment en amont dans le projet pour adapter la conception de son installation et prévoir les procédures à mettre en place lors du changement des filtres (plug-and-play ou média filtrant).

#### III.6.5. Spécifications liées à la valorisation du CO<sub>2</sub>

*Voir le guide correspondant.*

#### III.6.6. Spécifications liées au dossier ICPE

L'installation d'épuration doit respecter les dispositions du dossier ICPE. Celles-ci doivent être clairement exposées afin que l'Entreprise adapte sa conception si nécessaire. Ces dispositions peuvent concerner par exemple :

- Les niveaux de bruit : les niveaux à respecter font partie des garanties à apporter par le fournisseur de l'unité d'épuration. Il a de ce point de vue une **obligation de résultat** et pourra décider d'une insonorisation supplémentaire peut être nécessaire.
- Rejets atmosphériques
- Rejets et consommations d'eau
- Puissance électrique installée

- Règles de sécurité du site et études de dangers
- Odeurs

### III.6.7. Paramètres de suivi et indicateurs de performances

Les paramètres de suivi et indicateurs de performances doivent être :

- **Simple, clair et précis** afin d'être compris et acceptés par les différents acteurs (formule de calcul + définition des termes + périmètres concernés).
- **Facilement mesurables** notamment pour vérifier / attester que les unités atteignent les performances garanties par les constructeurs (aspects contractuels), tant à la mise en service (tests de performances et réception) qu'en cours d'exploitation (bilans annuels, respect des engagements contractuels sur la consommation électrique, notoriété du constructeur/fournisseur...).

Si l'on veut être en mesure de suivre précisément les performances du site et d'identifier d'éventuelles dérives process, tous les flux doivent être mesurés, y compris l'évent et le recyclage, a minima sur les paramètres de débit et de % de CH<sub>4</sub>.

Dès qu'un flux est obtenu par calcul, le bilan est obligatoirement bon et surtout des dérives peuvent être masquées, ce qui peut entraîner des pannes et arrêts « inexplicables ».

En revanche, il faut être conscient que le suivi en continu de tous ces paramètres est très coûteux en termes d'investissement (instrumentation, câblage, programmation) mais aussi en exploitation car l'instrumentation doit être vérifiée régulièrement, recalibrée ou remplacée si nécessaire. En outre, la multiplication de l'instrumentation peut procurer un sentiment erroné de sécurité et en réalité augmente la complexité du projet.

Les paramètres de suivi classiques sont les suivants :

Paramètre	Suivi continu	Mesure ponctuelle
<b>Temps de fonctionnement</b>	Compteur d'injection (obligatoire, poste d'injection) Recommandé pour les principaux équipements	Relevé hebdomadaire si compteurs non remontés en supervision
<b>Consommation électrique</b>	Recommandé pour les principaux équipements + l'ensemble de l'unité	Contrôles annuels ou en cas de problème
<b>Intensité des moteurs</b>	Recommandé pour les principaux équipements	Contrôles annuels ou en cas de problème
<b>Consommation en eau (si applicable)</b>	Recommandé en cas de consommations process	Relevé hebdomadaire si compteurs non remontés en supervision
<b>Récupération d'énergie (si applicable)</b>	Recommandé si applicable	Relevé hebdomadaire si compteurs non remontés en supervision
<b>Biogaz produit : débit, température, pression + humidité, CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S</b>	Obligatoire : avant le prétraitement (biogaz brut total) Recommandé : a minima débit et %CH <sub>4</sub> en sortie de chaque digesteur et post digesteur (attention au coût)	Si pas de mesure en continu, prévoir 1 piquage sur chaque flux pour des mesures et analyses ponctuelles Analyses complémentaires possibles en cas de problème : %N <sub>2</sub> , %NH <sub>3</sub>
<b>Biogaz détruit (torchère) : débit (obligatoire), température, pression + humidité, CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S</b>	Recommandé, avec identification du flux (biométhane / biogaz / biogaz reconstitué)	Si pas de mesure en continu : nombre d'heures de fonctionnement x débit théorique
<b>Biogaz autoconsommé (chaudière) : débit (obligatoire), température, pression + humidité, CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S</b>	Obligatoire : débit entrée chaudière Recommandé : tous paramètres en entrée chaudière pour un bilan complet	Si pas de mesure en continu, prévoir 1 piquage pour des mesures et analyses ponctuelles ou à défaut, un calcul du débit est possible (cf. torchère)

<b>Biométhane produit* : débit, température, pression + humidité, CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S</b>	Recommandé : mesure distincte du poste d'injection	Si pas de mesure en continu distincte du poste d'injection, prévoir 1 piquage en sortie d'unité d'épuration pour contrôles éventuels
<b>Biométhane injecté* (paramètres du contrat d'injection)</b>	Obligatoire (poste d'injection)	
<b>Biométhane détruit (torchère) : débit (obligatoire), température, pression + analyse humidité, % CH<sub>4</sub>, %O<sub>2</sub>, ppm H<sub>2</sub>S</b>	Recommandé, avec identification du flux (biométhane / biogaz / biogaz reconstitué)	Si pas de mesure en continu : nombre d'heures de fonctionnement x débit théorique
<b>Gaz recirculé : débit, température, pression + humidité, CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S</b>	Recommandé sur chaque flux, notamment en cas de reconstitution du biogaz : débit ; %CH <sub>4</sub> a minima	Si pas de mesure en continu, prévoir 1 piquage sur chaque flux pour des mesures et analyses ponctuelles
<b>Évent : débit + humidité, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S</b>	Recommandé : débit a minima + %CH <sub>4</sub> (performances et émissions) Recommandé : tous pour bilan complet ou en cas de valorisation du CO <sub>2</sub>	Si pas de mesure en continu, prévoir 1 piquage sur chaque flux différent pour des mesures et analyses ponctuelles

Tableau 9. PARAMÈTRES DE SUIVI DES PERFORMANCES

*\*Note : il peut y avoir une différence entre la production et l'injection, qui peut se retrouver en torchère ou en recirculation – d'où la nécessité de mesurer tous les flux pour un bilan réel.*

L'analyse de la qualité de biogaz peut se faire au moyen de :

- Chromatographie en phase gazeuse : technologie précise mais coûteuse
- Analyse par infrarouge : technologie peu précise notamment pour les faibles concentrations et qui ne permet pas de caractériser (identifier) des molécules non prévues, mais plus économique que la chromatographie

### III.6.8. Récupération de chaleur

La récupération de chaleur fatale peut constituer un élément important dans les choix de conception en fonction des besoins de chaleur sur le site (chauffage digesteurs, hygiénisation, chauffage d'intrants spécifiques, séchage digestat...) en permettant de limiter l'autoconsommation de biogaz ou d'autres énergies.

De tels systèmes de récupération représentent un investissement supplémentaire mais entraînent des économies en exploitation, à étudier sous forme d'option détaillée avec les fournisseurs, en intégrant les régimes de température dans les calculs de rentabilité.

Que ce soit pour l'épuration du biogaz ou la purification du CO<sub>2</sub>, la récupération de chaleur peut être envisagée sur :

- les systèmes de compression des gaz
- les systèmes de refroidissement des gaz

Il est donc conseillé aux porteurs de projets d'intégrer dans leur cahier des charges une demande d'option sur ce poste, avec les éléments suivants à renseigner par les entreprises – en plus du « Contenu attendu des offres » ci-après, à renseigner également pour toute option :

- Puissance thermique récupérable en fonction des régimes de température
- Investissements supplémentaires (Option)
- Coûts de fonctionnement supplémentaires (électricité, consommables, entretien et GER)
- Gains estimés

### III.6.9. Qualité et provenance des matériaux

Il est conseillé au porteur de projet de spécifier que, sauf autorisation expresse de sa part, les matériels sont neufs et la qualité des matériaux adaptés aux conditions d'utilisation, avec, si nécessaire, des garanties de tenue dans le temps acceptables par les 2 parties.

Le porteur de projet peut également, s'il le souhaite, initier des inspections chez les fournisseurs et sous-traitants afin de s'assurer de la qualité des matériels/équipements.

Mais en l'absence de normes ou de préconisations de la profession, il est préférable de convenir d'objectifs de résultat (performances, durabilité, HSE, RSE), plutôt que d'imposer des matériaux ou des « certificats d'origine »

### III.7. Conditions d'essais et réception

#### Note sur la réception des installations

Cette phase est souvent source de conflits, de perte de temps et parfois de pertes financières pour les différents acteurs. Pour éviter de tels déconvenues, ce sujet doit être abordé lors de la phase de consultation et finalisé avant la signature du contrat.

En particulier, doivent être clairement établis :

- Les termes employés
- Les étapes et le calendrier détaillé
- Les conditions nécessaires à la réalisation des différents tests
- Les modalités de vérification des performances et de réception

Les mesures de performances peuvent être les mêmes quelle que soit la technologie, mais elles doivent être **faciles à mettre en œuvre et à valider** par toutes les parties en présence. Dans le cas contraire, cette phase risque d'être très compliquée, voir de ne pas aboutir, ce qui serait dommageable pour toutes les parties impliquées.

#### III.7.1.1. Phases et calendrier de réception

Il est recommandé de définir précisément les étapes de validation et de réception, et d'établir qui valide et comment se déroulent les différentes opérations.

Les définitions et étapes sont très bien décrites dans le document publié en 2020 par l'ATEE<sup>7</sup>.

Classiquement on constate de façon « contradictoire », avec au moins 1 représentant du maître d'ouvrage et 1 représentant de l'entreprise :

- Les livraisons (bons de livraison)
- La fin de montage (Procès Verbaux/constats de fin de montage, comptes-rendus de chantier)
- La fin des travaux (Constat d'Achèvement des Travaux), étape impérative avant l'autorisation de démarrage des essais
- La mise en service industrielle, incluant la montée en charge, la marche probatoire et les tests de performance ainsi que la formation du personnel d'exploitation – qui doit absolument être présent pendant – et si possible un peu avant – le démarrage en charge.
- La réception des installations, après les tests de performances, qui marque la prise de responsabilité pleine et entière des installations par le maître d'ouvrage

En plus de ces phase, des étapes intermédiaires peuvent être envisagées pour faciliter les essais à vide (tests électriques) ou encore permettre de réceptionner certaines parties de l'installation.

---

*La durée minimale recommandée pour la vérification des performances d'une unité d'épuration du biogaz est de **1 semaine en fonctionnement automatique, en continu (24h/24), sans arrêt imputable à l'installation elle-même.***

---

En cas d'interruption de cette période pour des raisons extérieures, les deux parties peuvent convenir de valider les essais (durée plancher à convenir avant) ou de les reporter (conditions de report à prévoir avant).

---

<sup>7</sup> "<https://atee.fr/actualite/guide-sur-les-bonnes-pratiques-contractuelles-pour-reussir-votre-projet-de-methanisation>"

### III.7.1.2. Modalités de mise en œuvre des essais

Les modalités de mise en œuvre des essais doivent être décrits dans un document agréé par les différentes parties et comprenant :

- Une description des conditions initiales (*exemple : débit de biogaz entrant minimal, qualité conforme au cahier des charges, marche probatoire concluante...*)
- Une définition de la durée (*exemple : Pour établir les bilans matières et les performances d'épuration, mesure des débits de tous les flux en continu sur 7 jours – ou autre moyen d'obtention des débits + analyses complètes sur chaque flux en continu – ou x fois par jour – sur la même période...*)
- Une définition des paramètres mesurés, des moyens de mesure (avec précision et marge d'erreur) et des personnes responsables de ces mesures tant au niveau financier que pour la réalisation. *De préférence, il sera choisi des méthodes homologuées ou recommandées par la profession plutôt que des solutions « maison » sans référentiel.*
- Les formules de calcul – les plus simple possibles, illustrées par des exemples moyens et extrêmes
- Une grille d'analyse simple pour faciliter la validation ou non des tests, ou leur report, en prévoyant les cas où les tests ont dû être interrompus ou n'ont pas pu être validés pour des raisons extérieures à celles du lot épuration (*exemple : conditions climatiques très particulières, indisponibilité du poste d'injection, manque de production de biogaz, biogaz non conforme en entrée, crise sanitaire...*)

### III.7.1.3. Résultats mesurés

---

*Les points de mesure et résultats doivent être cohérents avec les performances demandées. Demander des garanties que l'on ne peut pas vérifier est inutile.*

---

Ainsi, si un bilan de performances est demandé sur le taux de CH<sub>4</sub> récupéré, tous les flux doivent être mesurés, y compris l'évent et le recyclage, a minima sur les paramètres de débit et de % de CH<sub>4</sub>.

En complément des mesures préconisées dans le Tableau 9 ci-dessus, il est fortement recommandé de mesurer les paramètres suivants :

- Biogaz brut entrée épurateur (avant<sup>8</sup> ET après prétraitements) : Débit, température, pression + analyse humidité, % CH<sub>4</sub>, %CO<sub>2</sub>, %N<sub>2</sub>, %NH<sub>3</sub>, %O<sub>2</sub>, ppmH<sub>2</sub>S (+COV si risque de présence)
- Biométhane sortie épurateur vers poste injection (=production, indépendamment du poste d'injection) : Débit + analyse % CH<sub>4</sub>, %O<sub>2</sub>, ppmH<sub>2</sub>S

### III.7.1.4. Conditions de réception, de pénalités ou de rebut

Les conditions de réception, de pénalité ou de rebut doivent être clairement établies bien avant la signature des contrats (voir recommandations du guide publié en 2020 par l'ATEE – Table des matières en annexe).

---

<sup>8</sup> Si l'installation dispose de plusieurs digesteurs et post digesteurs, il est important de disposer des analyses de biogaz brut pour chaque entité en plus de l'analyse du mélange de biogaz en entrée de prétraitement afin d'identifier la(les) source(s) de problèmes éventuels.

## IV. Contenu attendu des offres

En réponse au dossier de consultation, l'Entreprise consultée élabore un dossier de réponse qui comprend une partie technique, une partie administrative et une partie financière. Une telle offre de fourniture d'une solution technique « clef en mains » ne doit pas être une simple liste d'équipements.

---

*L'objectif du lot « épuration du biogaz » est de produire du biométhane conforme aux spécifications d'injection à partir du biogaz produit par l'unité de méthanisation, dans les conditions définies pour le projet.*

---

En base, toute offre d'épuration du biogaz est une fourniture « clef en mains » comprenant la conception et la fourniture de tous les éléments nécessaires pour atteindre les objectifs, travaux et mise en service compris.

À ce titre, **l'entreprise retenue réalise toutes les études d'exécution** qui lui seront nécessaires pour concevoir et fournir une installation qui fonctionne comme prévu au cahier des charges et qui respecte la réglementation en vigueur. Elle réalise également les **études aux interfaces** avec les autres lots (plans guides, spécifications...).

Classiquement, l'offre d'épuration comprend :

- Une **description du process**.
- Une **liste des équipements et instruments**.
- Une **liste des consommables et pièces de rechange**.
- **Les moyens d'accès et outillage spécial**
- **Les limites de prestations et fournitures** ainsi que les **spécifications aux interfaces**.
- **Les options possibles / déconseillées**.
- **Les études et DOE (voir chapitre IV.3. ), mise en service et tests de performances**.
- **La formation** de l'exploitant
- **La livraison, le montage et les travaux sur site**.
- **Garanties** : voir chapitre suivant.
- **Prix total** de l'installation tout compris et détail des options proposées.
- **Les coûts d'exploitation** : énergie, consommables, pièces de rechange et GER et estimation des temps ou coûts de maintenance, **sur 15 ans\* a minima** (souvent sous-estimé).
- Un **contrat de maintenance** peut être demandé / proposé **en option**. Dans ce cas, il doit être chiffré et détaillé : type de maintenance, délais d'intervention, frais de déplacement, pièces de rechange et consommables inclus / exclus, conditions contractuelles...

\* **ATTENTION** : la présentation des coûts d'exploitation sur 2 ou 5 ans ne permet pas d'appréhender les coûts réels de l'installation sur sa durée de vie, certains équipements nécessitant des entretiens majeurs et des remplacements d'équipements ou de pièces majeurs à 5, 7 ou 10 ans.

### IV.1. Description du process

Le fournisseur décrit son procédé au moyen de schémas (schémas des flux type PFD, éventuellement PIDs simplifié s'il le souhaite ou schémas blocs et bilans matières), et de texte décrivant les différentes étapes du processus, le parcours et les caractéristiques des gaz (bilan massique et énergétique) en entrée et aux sorties (inclus l'évent) ainsi qu'un résumé des modalités d'exploitation et de maintenance normales afin que le porteur de projet puisse se faire une meilleure idée de son installation et des tâches qu'il aura à accomplir.

## IV.2. Fournitures et prestations incluses

- Une **liste des équipements et instruments** qui seront fournis a minima, le fournisseur étant libre de rajouter des éléments ultérieurement pour assurer le bon fonctionnement, les performances et la sécurité de l'installation et des opérateurs. Les spécifications techniques sont indiquées (débit, pression, capacités diverses, puissance installée, temps de fonctionnement par an...).
- La **liste des consommables et pièces de rechange nécessaires au démarrage**, avec les quantitatifs, les caractéristiques, les marques recommandées et les prix indicatifs.
- Une **liste des consommables et pièces de rechange** sur une durée définie (durées recommandées : 2 ans, 5 ans et 10 ans) avec les fréquences de changement prévues ainsi qu'une liste de **pièces « de première urgence »**, avec pour chaque élément les délais d'approvisionnement habituels et les prix à la date de l'offre ainsi que les budgets annuels prévisionnels.
- **Moyens d'accès et outillage spécial** : pour toute opération nécessitant une intervention quotidienne d'un opérateur ou un outillage spécial, l'entreprise doit inclure dans son offre les moyens nécessaires (accès sécurisé, lecture ou graissage déporté, outillage sur mesure...).
- **Livraison, montage et travaux sur site** : ces postes doivent être inclus dans les prestations des fournisseurs et chiffrés. Ils doivent inclure les moyens de levage, à charge pour le fournisseur de s'organiser avec les équipes qui seraient présentes sur site au même moment s'il le souhaite. Ils comprennent également la participation aux réunions de chantier.

## IV.3. Études et documentation fournies

**Après la signature du contrat**, l'entreprise fournit au porteur de projet les spécifications et « plans guides » (implantation, descentes de charges, réservations et réseaux) pour que celui-ci puisse engager les études et travaux des lots en interface. Par défaut, les études sont incluses dans les prestations des fournisseurs.

- **Études** : elles incluent les schémas (bloc, flux, PID), les notes de calcul, les bilans matière et énergie, les plans guides et toute spécification aux interfaces nécessaires à assurer la cohésion de l'ensemble de l'installation.
- **Mise en service, formation et tests de performances** : ces postes sont inclus dans la prestation. Pour éviter les malentendus, ils doivent être décrits en détail dans des documents spécifiques : planning et manuel (descriptif) de mise en service, planning et programme de formation (avec les prérequis). Le planning et les modalités des tests de performance doivent être vus d'un commun accord et les résultats interprétables sans confusion. Il faut aussi préciser s'il faut réaliser un **test d'endurance** dans le cadre des **tests de performance**. La détermination des limites de fourniture des instruments et/ou analyses, entre Maître d'œuvre et Maître d'Ouvrage, pour les tests de performances est aussi indispensable.
- **Dossier des ouvrages exécutés (DOE)** : ce dossier réglementaire doit être remis à la fin des travaux, au plus tard lors de la mise en service. Essentiel à la vie de l'installation, il doit contenir entre autres les plans « Tels que construits » (TQC = plans détaillés avec les modifications réalisées sur site), les schémas électriques, les notices des équipements et la notice de fonctionnement général de l'installation (manuel opératoire, manuel d'entretien et de maintenance, procédures de sécurité...) incluant les mesures de sécurité spécifiques pour l'exploitation et la maintenance. **Attention : cet élément est demandé par la réglementation CE mais est souvent absent des prestations.**

Les prestations de chantier comprennent également les échanges avec les représentants du porteur de projet (CSPS, bureaux de contrôle, maître d'œuvre...) et avec l'exploitant lorsque nécessaire.

#### IV.4. Options

Si le cahier des charges comporte des postes ou des configurations inhabituelles pour le fournisseur et entraînant des risques techniques et/ou des surcoûts importants, celui-ci peut proposer des options ou déconseiller certaines configurations sous réserve d'argumenter son propos.

Ainsi, il est recommandé de prévoir en **OPTION (pas en base)** dans le « lot épuration » et en parallèle dans un autre lot :

- Le prétraitement du biogaz : la plupart des fournisseurs de solutions d'épuration peuvent le proposer mais selon le contexte du projet, il peut être intéressant de passer ce poste en option.
- La torchère.
- La chaudière biogaz, destinée au chauffage des digesteurs
- La tuyauterie Aller-Retour au poste d'injection (aller = biométhane ; retour = biométhane non conforme ou problème sur poste injection)
- Les tuyauteries, vannes et instrumentation permettant la gestion du biométhane non conforme
- Redondance des compresseurs : parfois demandée « par sécurité », elle est discutable et à mettre en regard de la disponibilité locale et rapide de tels équipements via un contrat de maintenance par exemple – plus aisé si ce sont des équipements standard.

La fourniture de base comme les options doivent être « prêtes à l'emploi », c'est-à-dire inclure la livraison, le montage, tous les équipements et instruments nécessaires au fonctionnement ainsi que le système de pilotage, inclus le pilotage du devenir du biométhane non conforme, en coordination avec le « lot méthanisation ».

#### IV.5. Limites de fournitures et spécifications aux interfaces

L'unité d'épuration du biogaz est un « bloc process » d'une installation de méthanisation, en interface avec plusieurs autres lots du projet tels que le génie civil, l'électricité et l'automatisme, les utilités et les autres lots process.

La précision des **limites de prestations et fournitures** ainsi que les **spécifications aux interfaces** sont nécessaires au porteur de projet et au fournisseur pour s'assurer que tous les éléments nécessaires pour permettre l'installation et le bon fonctionnement de l'unité d'épuration seront prévus et complets.

L'unité d'épuration du biogaz est généralement destinée à être installée sur une dalle en béton et/ou longrines. Outre le génie civil, elle est en interface avec l'électricité et l'automatisme généraux, le process de méthanisation (tuyauteries gaz et condensats, chaudière, pression dans le gazomètre...), la torchère et le poste d'injection et l'unité de production de CO<sub>2</sub> le cas échéant.

Les limites de fournitures et spécifications aux interfaces recommandées sont les suivantes :

Poste	Lot épuration	Autre lot	Spécifications interface
<b>Dalle béton (ou longrines)</b>	Plans guides	Études d'exécution + travaux	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zone « épuration » conforme aux spécifications du fournisseur du lot épuration</li> </ul>
<b>Électricité interne au lot</b>	Étude, fourniture et travaux	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fourniture et pose des armoires, câblage, équipements de sécurité du lot.</li> <li>▪ Climatisation du local électrique si celui-ci est installé dans un container fourni par l'entreprise.</li> <li>▪ Conformité électrique de l'installation fournie incluse.</li> </ul>

<b>Électricité générale</b>	Spécifications	Études d'exécution + travaux	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alimentation courants forts et faibles fournis par le client (lot électricité générale), en attente, au niveau des armoires fournies par l'entreprise.</li> <li>L'entreprise effectue ses raccordements.</li> <li>Conformité électrique globale et Consuel à la charge du client.</li> <li>Climatisation du local électrique si celui-ci est fourni par le client.</li> </ul>
<b>Alimentation de l'épurateur en biogaz</b>	Bride de connexion + vanne d'isolement	Bride de connexion + vanne d'isolement	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bride de connexion avec la tuyauterie en provenance des digesteurs, post-digesteurs, gazomètres : <b>en limite de « dalle épuration »</b></li> <li>Vannes d'isolement en amont et en aval de la bride</li> </ul>
<b>Livraison du biométhane au poste d'injection</b>	Bride de connexion + vanne d'isolement	Bride de connexion + vanne d'isolement	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bride de connexion avec la tuyauterie en direction du poste d'injection : <b>en limite de « dalle épuration »</b></li> <li>Vannes d'isolement en amont et en aval de la bride</li> </ul>
<b>Retour biométhane*</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>Bride de connexion avec la tuyauterie en provenance des digesteurs, post-digesteurs, gazomètres : <b>en limite de « dalle épuration »</b></li> <li>Vannes d'isolement en amont et en aval de la bride</li> </ul>
<b>Mise à la terre</b>	Barrette de terre et liaisons équipotentielles internes	Réseaux de terre, piquets, boucles et câbles	<ul style="list-style-type: none"> <li>Câbles (remontées de terre) fournis par le client (lot électricité générale), en attente, au niveau des armoires fournies par l'entreprise.</li> <li>L'entreprise effectue ses raccordements.</li> </ul>
<b>Gestion des condensats</b>	Pot(s) et réseaux internes au lot	Pots et réseaux biogaz	<ul style="list-style-type: none"> <li>Raccordement du pot du lot épuration (si existant) au réseau général et gestion globale des condensations par le client (via le lot méthanisation ou tuyauterie). Exutoire vers la collecte des autres condensats du site à prévoir. Attention ATEX.</li> <li>S'assurer que la garde hydraulique suffisante pour tous les lots (études d'interfaces et de synthèse)</li> </ul>

Tableau 10. TABLEAU DES LIMITES DE FOURNITURES ET INTERFACES

\* Le contrôle de la qualité du gaz peut être considéré comme une interface : le producteur et le transporteur/distributeur contrôlent ensemble ou chacun de leur côté.

NB : les ouvrages béton destinés à recevoir l'unité d'épuration doivent être réalisés et réceptionnés avant la livraison de l'unité (inclus temps de séchage).

#### IV.6. Performances attendues

Les performances à demander doivent être en relation avec les spécifications du réseau d'injection mais aussi avec les capacités des technologies.

Il est important d'indiquer les marges d'incertitude de la mesure de performance lors des essais :

- Un débitmètre « standard » est précis à quelques % près, et ce uniquement s'il est bien installé.
- Un analyseur de gaz précis à plus de 5% est assez rare ou trop cher pour les exploitants : seuls quelques constructeurs le proposent (chromatographe).
- Les calculs « compensés » sont redoutables en termes de perte de précision et inadaptés pour établir la performance d'un procédé

Faute d'une prise en compte de ces paramètres très en amont de la vérification des performances, il peut être impossible de donner une mesure meilleure qu'à 8 ou 10% près, ce qui est une marge d'erreur très significative et rend la vérification des performances réelles impossible.

En conséquence, **les performances qu'il est possible de demander à un fournisseur** de technologies d'épuration du biogaz sont les suivantes (*cryogénie et lavage aux amines : données insuffisantes*) :

GARANTIES DE PERFORMANCES	Lavage à l'eau	Membranes	PSA
Plages de fonctionnement standard constructeurs <sup>9</sup>	Minimum = 30 % / Nominal = 100 % / Maximum = 120 %		
Qualité du biométhane	GAZ B & H		
Pertes nette en méthane (% sur CH <sub>4</sub> entrant)*	< 1%	0,5 à 1%	1 à 3%
Consommation électrique (kWh/m <sup>3</sup> biogaz entrant) <sup>10</sup>	0,25 – 0,35	0,25 – 0,45	0,16 – 0,35

Tableau 11. PERFORMANCES MOYENNES DES DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES D'ÉPURATION DU BIOGAZ

**Note sur les performances attendues :**

Il est intéressant de comparer les performances par catégorie mais aussi dans l'ensemble. Ainsi :

- L'élimination requise du NH<sub>3</sub> au cours du prétraitement du biogaz peut être un facteur de différenciation technologique.
- La capacité à éliminer l'oxygène ou l'azote peut être un facteur important de différenciation technique. L'oxygène et l'azote sont ensuite retrouvés dans les événements ou dans le biométhane avec une sélectivité variable d'une technologie à une autre.
- Les garanties sur les pertes en CH<sub>4</sub>, exprimées en % sur le CH<sub>4</sub> entrant peuvent être compensées par une valorisation thermique par exemple. Il peut même être décidé de dégrader les performances de l'épurateur pour un équilibre CAPEX / OPEX différent.

NB : les limites de capacités et de performances sont régulièrement repoussées par les fournisseurs, que ce soit sur les minimum comme sur les maximum. *Ce document ne remplace pas une consultation.*

## IV.7. Garanties

Les garanties sont nécessaires mais elles doivent être établies de façon réaliste. En effet, toutes les garanties sont pas forcément faciles à vérifier ou peuvent être compliquées et/ou coûteuses à tenir.

Par exemple, **concernant la teneur en oxygène :**

- La plupart des procédés n'éliminent pas – ou en tous cas pas suffisamment - l'oxygène lors de l'épuration : il est donc primordial de **limiter le contenu en oxygène lors de la production du biogaz.**
- L'élimination spécifique de l'oxygène n'est à ce jour possible, et uniquement partiellement, que par les technologies de PSA.
- Le dosage de faibles teneurs en O<sub>2</sub> (< 1%) nécessite des analyseurs spécifiques très coûteux

Dans l'exemple ci-dessus, la garantie d'une teneur en O<sub>2</sub> < 100 ppmv (voir Tableau 2) ne pourra donc être obtenue que pour certains procédés et moyennant des moyens supplémentaires probablement très coûteux pour le traitement et la mesure de telles teneurs.

<sup>9</sup> Minimum et maximum en % de la capacité nominale de débit de biogaz entrant, sur des durées limitées à quelques heures. La capacité nominale ne peut généralement pas être le maximum.

<sup>10</sup> Attention : pour un comparatif équitable, prendre en compte également les besoins de compression du biométhane si nécessaire.

Par ailleurs, le montant total des pénalités possibles (garanties et autres) est généralement limité à 10% du montant total du marché. Or, les préjudices financiers en cas d'impossibilité d'injecter du biométhane sur le réseau par exemple (pannes, qualité non conforme...) dépassent généralement très rapidement le montant des pénalités sans régler le problème pour autant.

En conséquence, le porteur de projet doit mesurer à la fois les probabilités et les impacts financiers du non-respect des garanties afin d'obtenir le juste niveau de garanties dont il a besoin. Il doit également définir les conditions d'application de ces garanties telles que les conditions minimales, nominales et maximales de fonctionnement associées.

#### Note sur les garanties :

On constate parfois des performances demandées difficiles voire impossibles à vérifier et/ou à atteindre par les fournisseurs. De telles demandes, assorties de pénalités parfois déraisonnables entraînent des surcoûts portés au final par les porteurs de projets sans que cela ne sécurise réellement les garanties.

Ainsi :

- Il peut être préférable de convenir d'une garantie de conformité au gaz H ou de « **conformité au contrat d'injection** » plutôt que de détailler la composition du biométhane par exemple.
- Le **taux de disponibilité** garanti est souvent assujéti à un contrat de maintenance. Sa contractualisation nécessite de préciser le référentiel (hors temps de maintenance préventive par exemple) et de prendre en compte les équipements amont et aval. Cela nécessite également un comptage spécifique des temps de fonctionnement des équipements concernés (inclus amont et aval) et un suivi adéquat du process en général. Attention également à l'impact du vieillissement des installations sur ces contrats. Il peut être judicieux de prévoir un programme d'approfondissement de la formation des exploitants.
- Les **pertes en CH<sub>4</sub>** : comme indiqué dans l'encart précédent, le CH<sub>4</sub> non dirigé vers le flux biométhane peut être valorisé autrement. En outre, pour être en mesure de vérifier ces pertes, il faut que l'installation dispose d'instrumentation de mesure adéquate, souvent coûteuse, soit des débitmètres et analyseurs de gaz adaptés sur tous les flux : biogaz entrant, biométhane injecté et évent. En l'absence d'obligation réglementaire, la pertinence de cet investissement sera rapportée à l'impact de ces pertes sur les bilans d'exploitation. En revanche, la destruction de biogaz ou de biométhane (torchère) est toujours une perte nette de production : **l'évitement du « torchage »** est à considérer pour le design de l'ensemble de l'installation de méthanisation.

À titre d'exemple, les garanties suivantes sont conseillées :

- **Qualité du biométhane** : a minima conforme contrat d'injection (spécifications réseau : Tableau 2).
- **Pertes en méthane (% sur CH<sub>4</sub> entrant) dans les offgaz < 1%**. Cette garantie peut être demandée pour des raisons économiques mais aussi pour limiter les impacts de l'installation – sauf si les offgaz peuvent être valorisés (voir encadré ci-dessus).

Généralement, les garanties sont assujétiées à des conditions précises telles que :

- **Débit de biogaz entrant** : indiquer un débit minimal / nominal (dimensionnement des installations) / maximal (pointes) en veillant à respecter les gammes et les plages de fonctionnement acceptables par les process (voir 0 et notes associées).
- **Qualité du biogaz entrant** : indiquer une composition de biogaz avec des teneurs minimales / nominales (dimensionnement des installation) / maximales (pointes) de chaque élément en

tâchant de respecter la composition standard présentée en début de document. Celle-ci permet en effet d’obtenir les qualités de biométhane requises par les réseaux à partir de toutes les technologies présentées.

Le tableau suivant donne d’autres indicateurs de garanties qu’un fournisseur pourrait apporter (types de garanties et modalités de vérification à valider avec le fournisseur) :

Type d’indicateurs	Indicateurs	Garantie des fournisseurs	Remarques
<b>Indicateurs économiques impactant les recettes du bilan d’exploitation</b>	Rendement épuratoire	Oui	Possibilité de donner des valeurs de rendement pour toute la plage de fonctionnement de l’unité
	Taux de conformité biométhane	Oui	Mise en place systématique d’une base d’analyses par chromatographie en phase gazeuse afin d’être entièrement indépendants des mesures du poste d’injection
	DO : Disponibilité Opérationnelle	Possible (Dans contrat de maintenance)	
<b>Indicateurs économiques impactant le bilan d’exploitation</b>	Consommation spécifique d’électricité	Oui	
	Excédent spécifique d’électricité	Sans objet	
	Consommation spécifique de chaleur	Oui	Selon la technologie par exemple lavage aux amines
	Excédent spécifique de chaleur	Oui	Selon la technologie (Membranes) et sous réserve de mettre en place des moyens de mesures de chaleur adaptés
	Consommation spécifique en eau	Oui	Si applicable (cas d’épuration par lavage à l’eau)
	MTBF : Mean Time Between Failure = Temps Moyen entre pannes	A voir avec le fournisseur	Possibilité d’apporter une garantie si la notion de panne est clairement définie par la profession et si les moyens de mesures de temps sont adaptés
	MTTR : Mean Time To Repair = Temps Moyen de Réparation	Oui (Dans contrat de maintenance)	Il faudra définir clairement la base de calcul du temps Par exemple : temps entre réception appel hotline et le redémarrage de l’unité au régime nominal Cette garantie nécessite généralement la création et le maintien d’un stock de pièces de rechange
<b>Indicateurs environnementaux</b>	Le taux d’émissions directes de GES	<b>Oui</b> en ce qui concerne le CH <sub>4</sub> des événements <b>Non</b> sur les fuites dues à des dysfonctionnements ou des pannes	Possibilité de mettre en place des campagnes de recherche de fuites par caméra thermique et des cycles de mesures spécifiques au chromatographe
<b>Indicateurs RSE</b>	Le taux de Made In France, Made in Europe	Pas de garanties mais engagement sur les équipements essentiels possible	A préciser par les fournisseurs

Tableau 12. INDICATEURS DE GARANTIES DES UNITÉS D’ÉPURATION

#### IV.8. Proposition financière

Les propositions financières des fournisseurs doivent être à la fois globales et forfaitaires mais aussi détaillées pour programmer les amortissements et les dépenses de « Gros Entretien et Renouvellement » (GER). Elles doivent également donner, au moins à titre indicatif, les coûts d'exploitation :

- **Prix total** de l'installation tout compris (offre forfaitaire) et détail des options proposées (DPGF) => suggestion de présentation en annexe.
- **Les coûts d'exploitation** : énergie, consommables, pièces de rechange et GER et estimation des temps ou coûts de maintenance, **sur 15 ans\***= > suggestion de présentation en annexe.

Le comparatif des offres doit se faire à contenu équivalent, ce qui nécessite que le porteur de projet :

- S'assure du respect du cahier des charges techniques et notamment du respect des capacités et des performances
- Vérifie les limites de fourniture, les inclusions et les exclusions – a minima : études, fabrication, transport, montage, mise en service, formation, DOE et essais

Le marché des fournisseurs d'équipement étant très dynamique, les offres de prix sont très variables et ne permettent pas une comparaison fine des prix.

#### IV.9. Contrat de maintenance

Un **contrat de maintenance** peut être demandé / proposé **en option**. Dans ce cas, il doit être chiffré et détaillé : type de maintenance, délais d'intervention, frais de déplacement, pièces de rechange et consommables inclus / exclus, conditions contractuelles avec une liste de dérogations...

Selon les fournisseurs, les contrats peuvent inclure :

- Une « hotline » de 5 jours/7 à certains horaires jusqu'à 7j/7 et 24h/24
- Une simple maintenance préventive périodique jusqu'à un contrat « full service » incluant la main d'œuvre et les pièces de rechange pour tous les niveaux de maintenance ainsi que le GER
- Des délais d'intervention et de remise en service
- Une disponibilité annuelle de l'installation (minimum recommandé = 97%)

Le type de contrat « full service » est valable pour toutes les technologies mais il n'est pas proposé par tous les fournisseurs. Il peut intégrer les vérifications quotidiennes jusqu'au GER : le contenu exact varie également selon les fournisseurs et doit être adapté aux besoins réels de l'exploitant.

Dans tous les cas, il est vivement recommandé de demander une formation spécifique de l'exploitant lors du démarrage pour les maintenances de « Niveau 1 » (a minima).

### V. Points d'attention

Les points suivants demandent une attention particulière et donc un cadrage précoce des contrats de la part des porteurs de projet et des entreprises afin d'éviter les tensions et les surcoûts :

- **Qualité du biogaz entrant** : lors de la conception, le porteur de projet vérifiera que la qualité de biogaz prévue est conforme à la composition standard du Tableau 1 « Production de biogaz – Composition standard et trame de projet » et utilisera préférentiellement cette référence et la trame proposée. Dans le cas où une déviation serait prévue en raison d'une recette et/ou de process biologiques spécifiques, il est conseillé de demander une offre « variante » qui prendrait en compte la composition standard à fins de comparaisons.
- **Débit du biogaz entrant** : en amont de la consultation, le porteur de projet vérifiera que les débits et qualité du biogaz prévu sont compatibles avec les standards des entreprises qu'il

souhaite consulter. En cas de différence, il est conseillé d'étudier des alternatives permettant de rentrer dans les standards des entreprises

- **Exclusions** : le porteur de projet sera particulièrement vigilant sur les mentions de prestations ou de fournitures « exclues » ou « à fournir par le client ». Pour chaque exclusion, l'entreprise doit être en mesure, soit de proposer une option chiffrée, soit d'orienter son client vers un secteur d'activité ou d'autres entreprises à même de proposer la prestation ou la fourniture nécessaire.
- **Planning et jalons** : les « points d'arrêts » liés à des étapes importantes et vérifiables (fourniture de documents, livraison d'équipements, procès-verbal de fin de montage...) doivent être reportés dans un planning de façon à programmer l'ensemble des études et travaux du projet et de prévoir des vérifications et validations côté porteur de projet.
- **Mise en service** : pour s'assurer que l'installation démarre dans les meilleures conditions, il est préférable que la première charge de consommables soit incluse dans la fourniture de l'entreprise, en base ou en option. Si l'entreprise exclut cette fourniture, elle doit transmettre au client toutes les informations nécessaires pour planifier et effectuer les commandes en temps voulu : spécifications techniques (qualité, quantité), marques acceptées, délais d'approvisionnement, coûts indicatifs. De son côté, le client doit s'assurer que les installations et le personnel nécessaires à la mise en service soit opérationnels pour la mise en service en toute sécurité.
- **Formation de l'exploitant** : l'entreprise doit assurer la formation à l'exploitation en conditions normales mais aussi au suivi et à la maintenance. Cette formation doit être aussi bien théorique que pratique, incluant des exercices de maintenance à programmer pendant la mise en service (ex : démontage d'équipements, changement de filtres...). Cette formation est basée sur un programme détaillé fourni au client au plus tard lors de la commande. De son côté, le client s'engage à mettre à disposition le personnel d'exploitation nécessaire pendant la mise en service pour que l'entreprise puisse réaliser la formation durant cette période. Si le personnel d'exploitation n'est pas disponible pour les formations au moment prévu par l'entreprise, celle-ci peut être légitime à demander des frais supplémentaires.
- **Tests de performance** : les conditions de déroulement des tests de performance et les conditions d'acceptation ou de refus des résultats – et leurs conséquences (mise en conformité, pénalité, rebut) doivent être clairement décrites dans le contrat afin d'éviter les malentendus au moment des opérations.
- **Réception des installations** : les termes contractuels et notamment ceux liés à la réception des installations doivent être précisés dans le contrat (CCAG). Ainsi, il convient de différencier les différents procès-verbaux d'étapes (partiels), le « Constat d'Achèvement des Travaux (CAT) », général pour tout le projet (tous lots), la « réception provisoire » et la « réception définitive » de chaque lot.
- **Garanties** : selon la réglementation européenne, les **garanties mécaniques** des équipements et instruments sont de **2 ans**. Les autres garanties à vérifier sont : la **garantie de disponibilité** de l'installation (**365j x 24h – arrêts pour maintenance préventive et sous réserve d'un contrat de maintenance**) et les **garanties de performances**. Attention : la disponibilité est entendue spécifique au lot, indépendamment de la disponibilité des interfaces (unité de méthanisation et poste d'injection).
- **Facturation et paiement** : si certains termes de paiement sont prévus en lien avec des étapes prévues par l'entreprise (exemple : livraison d'équipements), ces jalons doivent être indiqués sur le planning. En temps voulu, les étapes doivent être validées par de la documentation (Procès-verbal, bordereau de livraison...). Pour éviter les tensions, les procédures et conditions de paiement doivent être clairement décrites dans le contrat (CCAG / CCAP).

## VI. Annexes

### Annexe 1. Spécifications générales des principaux réseaux gaziers français

#### **GRDF :**

Prescriptions techniques GRDF - Avril 2017

[https://projet-methanisation.grdf.fr/wp-adm/wp-content/uploads/2019/07/Prescriptions\\_techniques\\_GRDF.pdf](https://projet-methanisation.grdf.fr/wp-adm/wp-content/uploads/2019/07/Prescriptions_techniques_GRDF.pdf)

#### **GRDS :**

Contrat relatif à l'injection de biométhane dans le réseau de distribution de Gaz naturel

<https://r-gds.fr/wp-content/uploads/2019/04/contrat-injection-conditions-generales.pdf>

#### **GRT Gaz :**

Contrat relatif au raccordement d'une installation de production de biométhane et d'injection de biométhane dans le réseau de transport de gaz naturel

[http://www.grtgaz.com/fileadmin/clients/producteur\\_gaz/fr/contrat-raccordement-injection-biomethane-CG.pdf](http://www.grtgaz.com/fileadmin/clients/producteur_gaz/fr/contrat-raccordement-injection-biomethane-CG.pdf)

#### **TEREGA :**

Contrat de raccordement et d'injection de biométhane dans le réseau de transport

[https://www2.terega.fr/fileadmin/Nos\\_offres/Raccordement/05\\_biom%C3%A9thane/Contrat\\_Biomethane\\_Conditions\\_Generales.pdf](https://www2.terega.fr/fileadmin/Nos_offres/Raccordement/05_biom%C3%A9thane/Contrat_Biomethane_Conditions_Generales.pdf)

### Annexe 2. Liste de documents de référence

- « Guide méthodologique pour le suivi et l'établissement des bilans de performances d'une installation de méthanisation », ADEME, Juin 2014
- INERIS : « Étude comparative des dangers et des risques liés au biogaz et au gaz naturel », Février 2006
- INRS : « Méthanisation de déchets issus de l'élevage, de l'agriculture et de l'agroalimentaire Risques et prescriptions de sécurité », Juin 2013
- INERIS : « Prévention du risque chimique dans le secteur de méthanisation », Février 2019
- INERIS : « Vers une méthanisation propre, sûre et durable Recueil de bonnes pratiques en méthanisation agricole », Février 2018
- ATEE : « Guide professionnel applicable aux canalisations de transport de biomasse non épuré » de l'ATEE – Club Biogas (2013).
- ATEE : « Guide technique Valorisation du CO<sub>2</sub> de méthanisation » Mai 2020
- ATEE : « Guide sur les bonnes pratiques contractuelles pour réussir votre projet de méthanisation », publié par l'ATEE en 2020, dirigé par Marie Verney - <https://atee.fr/actualite/guide-sur-les-bonnes-pratiques-contractuelles-pour-reussir-votre-projet-de-methanisation> .
- Référentiel Qualimétha® (<https://atee.fr/energies-renouvelables/club-biogaz/label-qualimetha>)

### Annexe 3. Liste des documents à fournir par les entreprises

**Objectifs de la liste :** préciser les documents qu'un fournisseur / constructeur doit fournir en fonction de chaque phase d'un projet de méthanisation.

Ce document peut être adapté, joint au DCE et à la commande, puis utilisé comme "check list" par les différents interlocuteurs pour s'assurer que les documents requis ont été produits/reçus avant de valider les prestations et les paiements.

*NB : les documents administratifs à fournir (assurance, agrément de sous-traitance, habilitation du personnel, KBis, etc.) sont listés dans les CCAP / documents de commande.*

### Définitions générales

**Documents d'Offre :** Documentation correspondant à l'offre et utilisable pour les études préliminaires. Si la documentation de l'accord cadre suffit, celle-ci peut être utilisée.

**Documents à fournir après la commande :** Études et documents détaillés adaptés au projet et nécessaires aux études d'exécution et à la construction.

**DOE : Dossier des Ouvrages Exécutés,** à fournir au plus tard à la mise en service de l'installation, contenant les documents "tel que construit" (TQC) nécessaires à l'exploitation et à la maintenance des éléments fournis et correspondant aux installations telles que construites, incluant les éventuelles modifications réalisées sur site, y compris après mise en service.

### Exemple de liste des documents fournisseurs :

Ref.	Désignation <i>Designation</i>	Planning <i>Schedule</i>
<b>A.</b>	<b>Phase Achat</b> <b><i>Procurement Phase</i></b>	<b>Avec l'offre</b> <b><i>With the proposal</i></b>
<b>A.1</b>	DPGF <i>Overall price with price breakdown</i>	X
<b>A.2</b>	Planning général <i>General schedule</i>	Préliminaire <i>Preliminary</i>
<b>A.3</b>	Liste des sous-traitants et fournisseurs <i>Subcontractors and suppliers list</i>	Préliminaire <i>Preliminary</i>
<b>A.4</b>	Liste des utilités et consommations <i>List of utilities (electricity, water...) and consumptions</i>	Préliminaire <i>Preliminary</i>
<b>A.5</b>	Liste des consommables, pièces de rechange et pièces d'usure pour 1 et 2 ans d'exploitation <i>List of consumables, wear and spare parts for 1 and 2 years operation</i>	Préliminaire <i>Preliminary</i>
<b>A.6</b>	Liste des pièces GER <i>List of parts for repair and major maintenance</i>	Préliminaire <i>Preliminary</i>
<b>A.7</b>	Liste de l'outillage spécial nécessaire / fournir pour maintenance <i>List of specific tools for maintenance</i>	Préliminaire <i>Preliminary</i>
<b>A.8</b>	Liste des équipements et fournitures, lieux de fabrication <i>List of equipments and supplies, manufacturing sites</i>	Préliminaire <i>Preliminary</i>
<b>A.9</b>	Fiches techniques des principaux composants fournis (capacités mini/nominal/maxi, dimensions...) <i>Data sheets for main components as supplied (capacity min/design/max, dimensions...)</i>	Préliminaire <i>Preliminary</i>
<b>A.10</b>	Spécifications techniques (spécifications électriques, matériaux, peinture, niveau sonore, émissions, normes...) <i>Technical specifications (electrical specifications, materials, painting, noise source, other emissions, standards...)</i>	Préliminaire <i>Preliminary</i>
<b>A.11</b>	PID	Préliminaire <i>Preliminary</i>
<b>A.12</b>	Liste des consommateurs électriques <i>Electrical load list</i>	Préliminaire <i>Preliminary</i>

<b>A.13</b>	Bilans matières et énergie <i>Mass balance and energy balance</i>	X
<b>A.14</b>	Plans d'ensemble (vues en plan et coupes) <i>Assembly drawings (top views and sections)</i>	Préliminaire <i>Preliminary</i>
<b>A.15</b>	Plan de contrôle qualité <i>Quality controle plan</i>	Préliminaire <i>Preliminary</i>
<b>A.16</b>	Références <i>References</i>	X
<b>A.17</b>	Assurances et documents administratifs (liste Service Achats) <i>Insurances and administrative documentation (Purchase service List)</i>	X
<b>B.</b>	<b>Phase études</b> <b><i>Detailed studies Phase</i></b>	<b>Après commande</b> <b><i>After order</i></b>
<b>B.1</b>	Planning / informations plannings détaillés <i>Schedule / Information for detailed schedules</i>	1 semaine + quand modifié 1 week + when <i>modified</i>
<b>B.2</b>	Analyse de risques / HAZOP / ATEX <i>Risk analysis / HAZOP / ATEX</i>	8 semaines <i>8 weeks</i>
<b>B.3</b>	Assurances et documents administratifs (liste Service Achats) <i>Insurances and administrative documentation (Purchase service List)</i>	1 semaine + quand modifié 1 week + when <i>modified</i>
<b>B.4</b>	Charte de "Chantier à faible nuisance" signée <i>Charter for a "Low-impact construction site" signed</i>	Si demandé <i>If required</i>
<b>B.5</b>	Habilitations du personnel (Électricité, CACES...) <i>Personnel authorizations, licences and certificates (Electricity,</i>	4semaines <i>4 weeks</i>
<b>B.6</b>	Liste des sous-traitants et fournisseurs <i>Subcontractors and suppliers list</i>	1 semaine + quand modifié 1 week + when <i>modified</i>
<b>B.7</b>	Liste des équipements et fournitures, lieux de fabrication <i>List of equipments and supplies, manufacturing sites</i>	4 semaines <i>4 weeks</i>
<b>B.8</b>	Fiches techniques des principaux composants fournis (capacités mini/nominal/maxi, dimensions...) <i>Data sheets for main components as supplied (capacity min/design/max, dimensions...)</i>	6 semaines <i>6 weeks</i>
<b>B.9</b>	Bilans matières et énergie <i>Mass balance and energy balance</i>	6 semaines <i>6 weeks</i>
<b>B.10</b>	Spécifications techniques (spécifications électriques, matériaux, peinture, niveau sonore, émissions, normes...) <i>Technical specifications (electrical specifications, materials, painting, noise source, other emissions, standards...)</i>	6 semaines <i>6 weeks</i>
<b>B.11</b>	PID	6 semaines <i>6 weeks</i>
<b>B.12</b>	Liste des consommateurs électriques <i>Electrical load list</i>	6 semaines <i>6 weeks</i>
<b>B.13</b>	Analyses fonctionnelles <i>System analysis</i>	Si demandé <i>If required</i>

<b>B.14</b>	Schémas électriques unifilaires et tout plan/schéma nécessaire aux études électriques, à l'exploitation et à la maintenance <i>Electrical diagrams and any drawing and diagram necessary for electrical studies, operations and maintenance</i>	6 semaines <i>6 weeks</i>
<b>B.15</b>	Liste des utilités et consommations <i>List of utilities (electricity, water...) and consumptions</i>	Selon planning <i>According to planning</i>
<b>B.16</b>	Liste des consommables, pièces de rechange et pièces d'usure pour 1 et 2 ans d'exploitation <i>List of consumables, wear and spare parts for 1 and 2 years operation</i>	Si modifiée <i>If modified</i>
<b>B.17</b>	Liste des pièces GER <i>List of parts for repair and major maintenance</i>	Si modifiée <i>If modified</i>
<b>B.18</b>	Liste de l'outillage spécial nécessaire / fournir pour maintenance <i>List of specific tools for maintenance</i>	Si modifiée <i>If modified</i>
<b>B.19</b>	Plans d'ensemble (vues en plan et coupes) côtés et repérés avec liste des pièces <i>Assembly drawings (top views and sections) with dimensions and part list</i>	6 semaines <i>6 weeks</i>
<b>B.20</b>	Plans guides de génie civil côtés et repérés avec réservations cotées et repérées, pièces à sceller, pentes nécessaires au process, descentes de charges statiques et dynamiques et toutes dimensions utiles <i>Drawings for civil works with dimensioned and marked reservations, parts to be sealed, slopes necessary for the process, static and dynamic loads and any necessary dimension</i>	6 semaines <i>6 weeks</i>
<b>B.21</b>	Plans d'exécution (vues en plan et coupes) côtés et repérés <i>Execution drawings (top views and sections) with dimensions</i>	12 semaines <i>12 weeks</i>
<b>B.22</b>	Tout schéma et plan complémentaires nécessaires à la définition des interfaces, au montage, au raccordement, à l'exploitation et à l'entretien <i>Any additional drawing and diagram necessary to desing the interfaces, as well as to assemble, connect, operate and maintain</i>	12 semaines <i>12 weeks</i>
<b>C.</b>	<b>Phase construction</b> <b>Construction Phase</b>	<b>Après commande</b> <b>After order</b>
<b>C.1</b>	Planning détaillé de livraison, montage, mise en service et formation <i>Detailed planning for delivery, assembling, comissioning and training</i>	6 s. avant livraison <i>6 w. before delivery</i>
<b>C.2</b>	PPSPS - Plan Particulier de sécurité et de protection de la santé, inclus le descriptif des modes opératoires de déchargement, montage et co-activité <i>Health and safety procedures for works onsite, including a description of the procedures for unloading, assembly and co-activity</i>	6 s. avant livraison <i>6 w. before delivery</i>
<b>C.3</b>	Plan de contrôle qualité <i>Quality controle plan</i>	Avant expédition (validé) <i>Before expedition (approved)</i>
<b>C.4</b>	Plan des zones de stockage et de montage - inclus grues <i>Storing and assembling areas drawing inlcuding cranes</i>	6 s. avant livraison <i>6 w. before delivery</i>

<b>C.5</b>	Plans de recollement <i>Consolidation drawings</i>	Chaque fois que nécessaire et avant réception des travaux When necessary and <i>before work acceptance procedure</i>
<b>C.6</b>	Notes de calcul <i>Design calculation</i>	8 semaines <i>8 weeks</i>
<b>C.7</b>	Tests en usines et résultats <i>Factory test ans results</i>	Avant expédition (validé) <i>Before expedition (approved)</i>
<b>C.8</b>	Méthodes de soudure <i>Welding methods</i>	8 semaines <i>8 weeks</i>
<b>C.9</b>	Certificats de conformité des matériaux (notamment béton) <i>Certificates of conformity of materials (especially concrete)</i>	4 semaines avant travaux <i>4 weeks before works</i>
<b>C.10</b>	Certificats CE (machines, matières, sécurité, calibration...) <i>EC Certificates (equipment, materials, safety, calibration...)</i>	Avant livraison (validé) <i>Before delivery (approved)</i>
<b>C.11</b>	Tous PV de contrôle (ferraillage, coffrage, résistance béton, étanchéité cuves béton et acier, étanchéité tuyauteries, mise sous pression, etc.) <i>All inspection reports (reinforcement, formwork, concrete resistance, waterproofing of concrete and steel tanks, waterproofing of piping, pressurization, etc.)</i>	Avant réception des travaux <i>Before work acceptance procedure</i>
<b>C.12</b>	Liste de colisage et conditions de livraison (détail du transport, moyens de levage prévus...) <i>Packing list and conditions for delivery (transportation details, lifting gears included...)</i>	Avant livraison (validé) <i>Before delivery (approved)</i>
<b>C.13</b>	Certificats des engins et outillages nécessaires à la réalisation des travaux <i>Certificates of the machinery and tools required to carry out the work</i>	6 s. avant livraison <i>6 w. before delivery</i>
<b>C.14</b>	Manuels de conduite et de maintenance <i>Operations and maintenance manuals</i>	Avant livraison <i>Before delivery</i>
<b>D.</b>	<b>Phase MSI</b> <b><i>Commissioning Phase</i></b>	<b>Après commande</b> <b><i>After order</i></b>
<b>D.1</b>	Planning, programme et manuel de formation de l'exploitant <i>Training Planing, Program and Manual</i>	Avant réception des travaux <i>Before work acceptance procedure</i>
<b>D.2</b>	Tous les documents d'essais et de mise en service <i>All test and commissioning documents</i>	Avant réception des travaux <i>Before work acceptance procedure</i>
<b>D.3</b>	DOE complet : tous les documents techniques mis à jour Tel Que Construit (TQC) <i>Comprehensive final documentation, updated "As Built"</i>	Avant réception des travaux <i>Before work acceptance procedure</i>

## Annexe 4. Table des matières du « Guide sur les bonnes pratiques contractuelles pour réussir votre projet de méthanisation » publié par l'ATEE en 2020, dirigé par Marie Verney

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>7</b>
1.1	Objectif du guide	7
1.2	Liste des questions à se poser lors de la rédaction des contrats	7
<b>2</b>	<b>Le marché de conception - réalisation d'une installation de méthanisation : définir son besoin et contractualiser</b>	<b>9</b>
2.1	L'objet du marché	9
2.1.1	Définition	9
2.1.2	Les différents éléments du marché de conception - réalisation	9
2.1.3	L'ensemble à construire	9
2.1.4	Les prestations intellectuelles : l'ingénierie et les outils de maîtrise des risques	10
2.2	La procédure de contractualisation	11
2.2.1	Passer un marché privé	11
2.2.2	La documentation contractuelle	11
2.2.3	Définir son besoin	12
2.2.4	Le contrat de vente et le contrat d'entreprise	12
2.2.5	Ingénierie des contrats	13
<b>3</b>	<b>Les intervenants et leurs compétences</b>	<b>14</b>
3.1	Schémas des relations contractuelles et des missions	15
3.2	Maîtrise d'ouvrage (MOA), maîtrise d'ouvrage déléguée (MOD) et assistant à maîtrise d'ouvrage (AMO)	15
3.2.1	Le maître d'ouvrage (MOA)	15
3.2.2	Le maître d'ouvrage délégué (MOD)	16
3.2.3	L'assistant à maîtrise d'ouvrage (AMO)	17
3.3	La maîtrise d'œuvre (MOE)	18
3.3.1	Définition de la mission	18
3.4	Les intervenants de la construction	19
3.4.1	Le constructeur ou prestataire	19
3.4.2	Le contractant général ou clés-en-main	19
3.4.3	Le fournisseur	20
3.5	Les intervenants en charge de l'accompagnement et des contrôles	20
3.5.1	L'accompagnement juridique	20
3.5.2	L'accompagnement assurantiel	20
3.5.3	L'accompagnement financier	21
3.5.4	Le contrôleur technique	21
3.5.5	Le coordonnateur SPS	22
3.6	Schéma des missions des différents intervenants	23
<b>4</b>	<b>Les montages juridiques</b>	<b>24</b>
4.1	L'allotissement	24
4.1.1	Généralités sur l'allotissement	24
4.1.2	Proposition de découpage de lots pour un marché de méthanisation	25
4.1.3	Interfaces entre ouvrages et lots « process »	25
4.1.4	Garanties de performance	26
4.2	Le clés-en-main	26
4.2.1	Le contrat « clés-en-main » avec maîtrise d'œuvre générale	27
4.2.2	L'ensemble « clés-en-main » avec maîtrise d'œuvre indépendante	27
4.2.3	La double maîtrise d'œuvre	28
4.2.4	Le contrat clés-en-main réalisé par un groupement d'entreprises	29
4.3	Tableau comparatif des montages juridiques	30
<b>5</b>	<b>Relations entre les intervenants, interfaces et différences entre les missions</b>	<b>33</b>
5.1	Entre maître d'ouvrage (MOA), constructeur, sous-traitant et fournisseur	33
5.2	Entre constructeur et maître d'œuvre (MOE)	34
5.3	Entre assistant à maîtrise d'ouvrage (AMO) et maître d'œuvre (MOE)	35
<b>6</b>	<b>La chronologie des différents contrats</b>	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>La rédaction des contrats : principes généraux</b>	<b>37</b>
7.1	Les critères de qualité des contrats	37
7.2	La formation du contrat : négociation et équilibre contractuel	37
7.3	Les règles impératives	39
7.3.1	Sous-traitance et travail illégal, sanctions pénales	39
7.3.2	La réglementation applicable aux unités de méthanisation	42

7.4	Les contrats-types.....	46
7.4.1	La structure type d'un contrat de conception-réalisation d'une unité de méthanisation .....	46
7.4.2	Les structures-types de contrats d'AMO, MOE et construction : comparaison .....	49
<b>8</b>	<b>L'exécution des contrats : les points de vigilance .....</b>	<b>57</b>
8.1	Planning des opérations préalables à la réception .....	57
8.1.1	Le constat d'achèvement de la construction (CAC).....	57
8.1.2	Le constat d'achèvement des travaux (CAT) .....	57
8.1.3	La mise en service industrielle (MSI) .....	58
8.1.4	Planning de réception : voir annexe II.....	59
8.2	La formation .....	60
8.3	La vérification de la performance .....	61
8.3.1	Objet de la garantie de performance .....	61
8.3.2	Une clause universelle pour les garanties de performance .....	63
8.3.3	La mise au rebut .....	64
8.4	Paiements et échéancier .....	64
8.4.1	Les garanties de paiement et pénalités de retard .....	66
8.5	Les garanties légales .....	67
8.5.1	La garantie de parfait achèvement.....	67
8.5.2	La garantie décennale .....	67
8.5.3	La garantie biennale ou garantie de bon fonctionnement .....	69
8.5.4	La garantie des vices cachés de droit commun .....	69
<b>9</b>	<b>Les assurances .....</b>	<b>71</b>
9.1	Les risques spécifiques importants en méthanisation et leurs possibilités d'assurance .....	71
9.2	L'intervention du courtier et/ou de l'assureur .....	71
9.2.1	Contacteur un courtier .....	71
9.3	Les assurances en phase construction .....	72
9.3.1	L'assurance TRC : une assurance de l'ensemble des intervenants en phase chantier .....	72
9.3.2	La garantie Perte de Recettes Anticipées (PRA) .....	73
9.3.3	L'assurance « Dommage Ouvrage » (DO).....	73
9.3.4	L'assurance en responsabilité civile professionnelle (RC PRO).....	74
9.4	Les assurances en phase exploitation .....	74
9.4.1	L'assurance en responsabilité décennale .....	74
9.4.2	L'assurance « dommages aux biens / Bris de Machine » (BDM) .....	75
9.4.3	L'assurance « Perte d'Exploitation ou de recettes » (PE) .....	77
9.4.4	L'assurance « Dommage Ouvrage » (DO).....	77
9.4.5	L'assurance Responsabilité Civile « Exploitation » (RCE).....	78
9.4.6	L'assurance Responsabilité Civile « Atteinte à l'Environnement » (RCAE) .....	78
9.4.7	L'assurance « Responsabilité Producteur d'Energie » .....	78
9.4.8	Autres assurances .....	78
9.5	La protection juridique en phase de construction et d'exploitation.....	79
	<b>Annexe I. Schéma des relations contractuelles.....</b>	<b>80</b>
	<b>Annexe II. Planning de réception .....</b>	<b>81</b>
	<b>Annexe III. Plan type de Cahier des Clauses Administratives Générales (CCAG) .....</b>	<b>82</b>
	<b>Annexe IV. Plan type de Cahier des Clauses Administratives Particulières (CCAP) .....</b>	<b>86</b>
	<b>Annexe V. Lignes directrices pour la rédaction de clauses de garanties de performance .....</b>	<b>88</b>
	<b>Annexe VI. Lexique des termes employés dans les contrats de conception et de réalisation d'unités de méthanisation ..</b>	<b>92</b>

<https://atee.fr/actualite/guide-sur-les-bonnes-pratiques-contractuelles-pour-reussir-votre-projet-de-methanisation> : Guide sur les bonnes pratiques contractuelles pour réussir votre projet de méthanisation, publié par l'ATEE en 2020, dirigé par Marie Verney.