

***Panorama des solutions de petite
épuration du biogaz (< 80Nm³/h)
et des solutions jusqu'à l'injection
ou le bio-GNV et bio-GNL.***

Jacky BONNIN

Contexte et enjeux

- ❑ La valorisation du biogaz en bio-méthane destiné à l'injection en réseau ou à la production de carburant véhicule en est à ses débuts en termes de réalisations
- ❑ De très nombreux projets émergent, de toute taille et dans des configurations très variées
- ❑ Le contexte français est tel qu'il est plus facile de faire des projets de petite taille et qu'il y a une forte demande du secteur agricole
- ❑ Néanmoins, les technologies d'épuration du biogaz en bio-méthane sont encore peu vulgarisées
- ❑ A cela s'ajoute les différentes solutions de valorisation du bio-méthane, avec leurs spécificités
- ❑ A l'inverse de la cogénération, les choix technologiques sont nombreux et le rapport à la taille des installations plus complexe
- ❑ Il y a donc un intérêt à résumer les champs du possible en matière d'épuration du biogaz destiné à l'injection et de production de bio-méthane carburant pour des installations produisant moins de 80 Nm³/h de bio-méthane
- ❑ C'est l'objectif de l'étude financée par AILE et RAEE, dans le cadre du Projet Européen Biomethane Regions:
 - ✓ Réaliser une revue technologique des solutions disponibles sur le marché français
 - ✓ Evaluer les seuils bas et les contextes permettant leur déploiement en méthanisation agricole
 - ✓ Identifier les facteurs de risques et points de vigilance

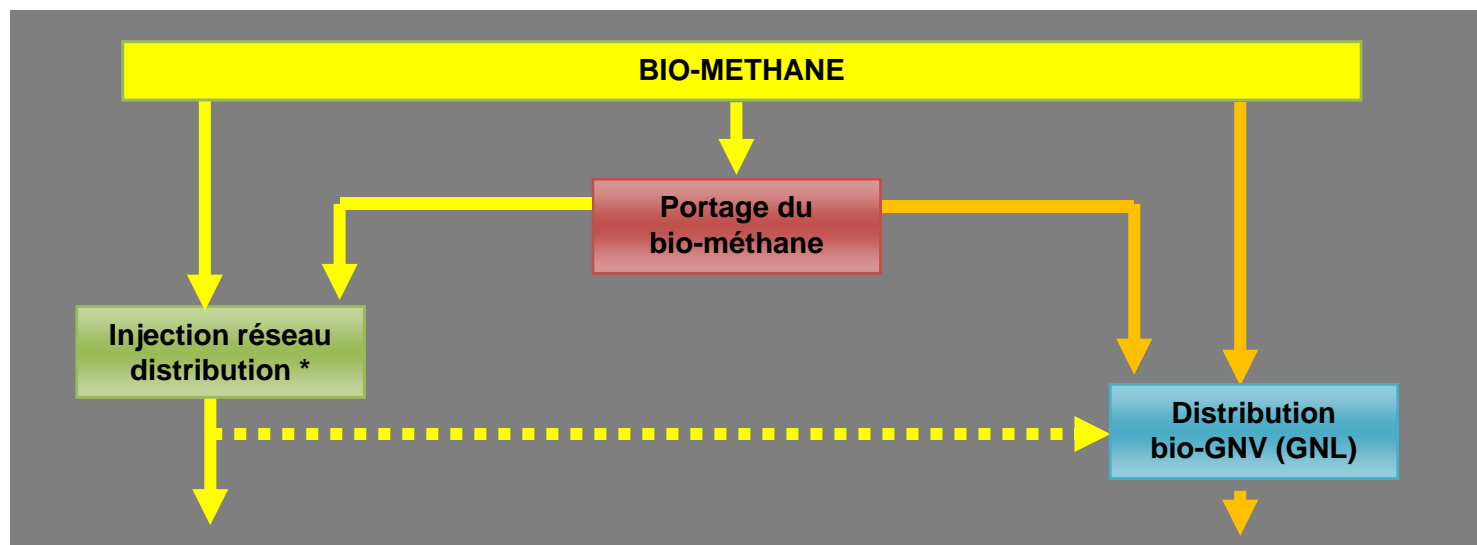
Le seuil de 80 Nm³/h

- ❑ 80 Nm³/h de bio-méthane équivaut à la production d'environ 1 230 000 Nm³/an de biogaz à 60% CH₄
- ❑ Ordres de grandeur:
 - ✓ Equivalent à ± 360 kWé en cogénération (selon le rendement du moteur)
 - ✓ C'est la production moyenne d'un gisement de nature agricole (déjections animales + produits végétaux) de 2500 à 4000 T MS/an selon la nature des intrants, la température de digestion et la présence ou non d'un prétraitement
 - ✓ En méthanisation en voie liquide: c'est un gisement de 15 000 à 25 000 T/an
 - ✓ En méthanisation en voie sèche: c'est un gisement de 10 000 à 15 000 T/an
- ❑ Le champ d'investigation:
 - ✓ de 10 à 20 Nm³/h : petite installation individuelle (éq. 50 à 100 kWé)
 - ✓ à 40 à 50 Nm³/h: installation agricole plus importante (± 200 kWé)
 - ✓ à 80 Nm³/h: installation agricole importante souvent collective

Avertissement

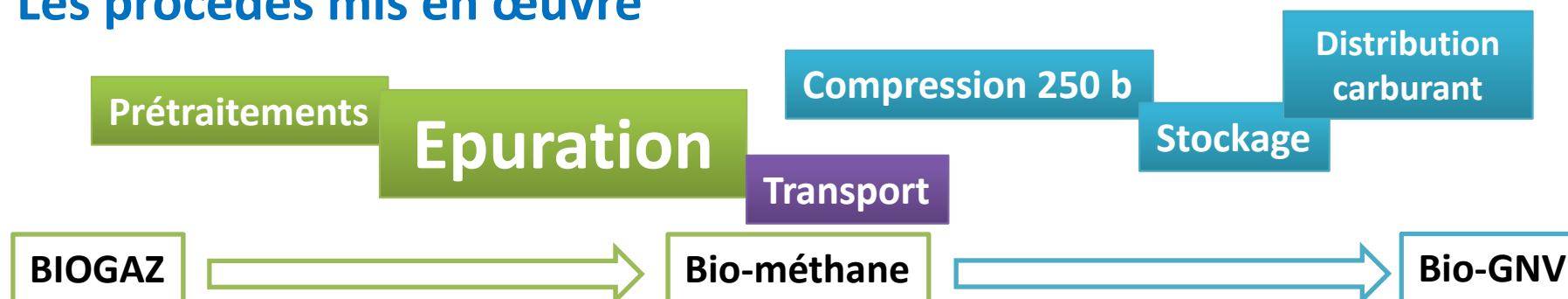
- ❑ Toute synthèse peut être réductrice et ne peut rendre compte de tous les détails d'une technologie
- ❑ Toute modélisation économique fait des approximations et a plutôt vocation à donner des ordres de grandeurs

Les valorisations du bio-méthane

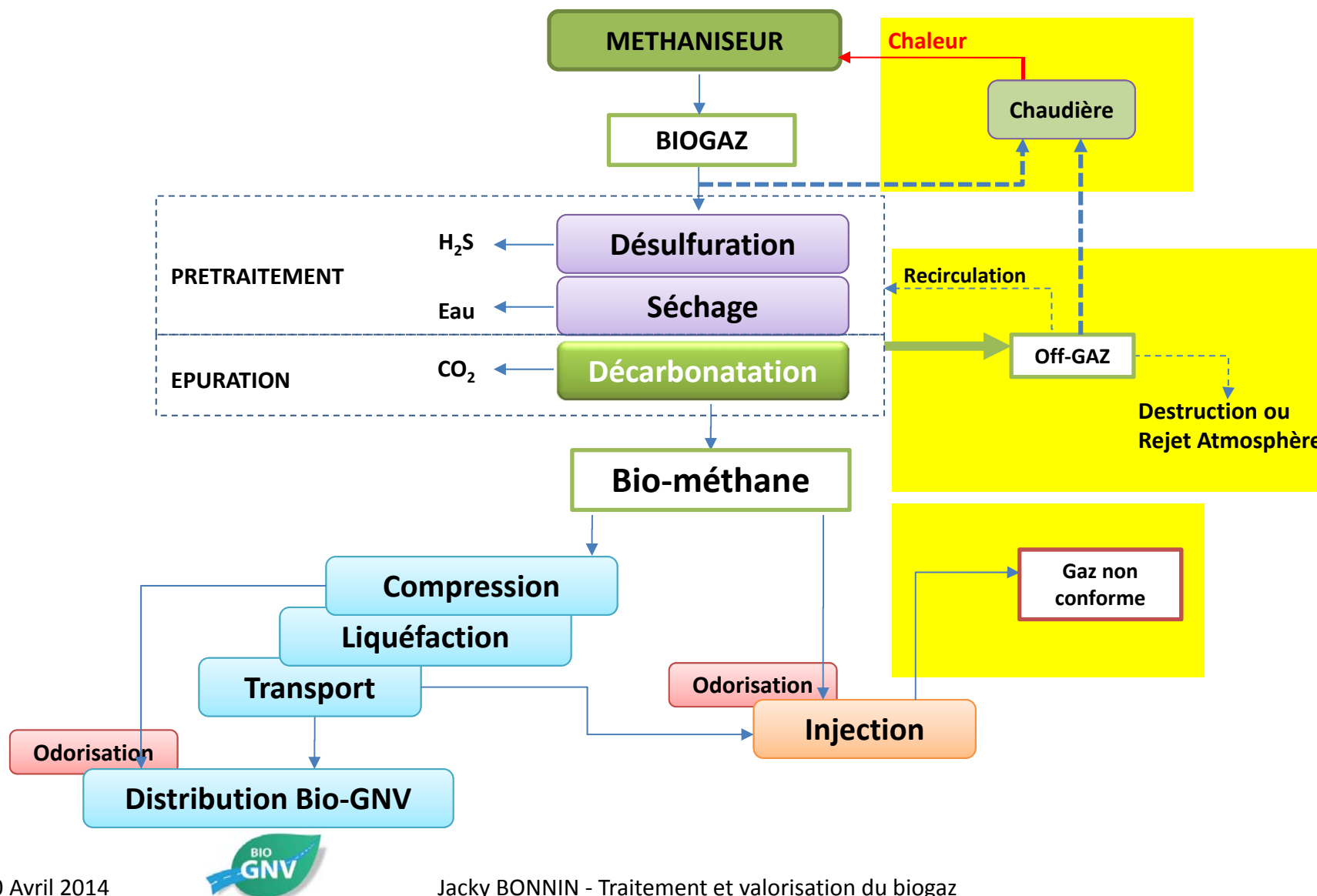


*: compte tenu du champ de l'étude, l'injection en réseau de transport n'est pas prise en compte

Les procédés mis en œuvre



La chaine de traitement du biogaz

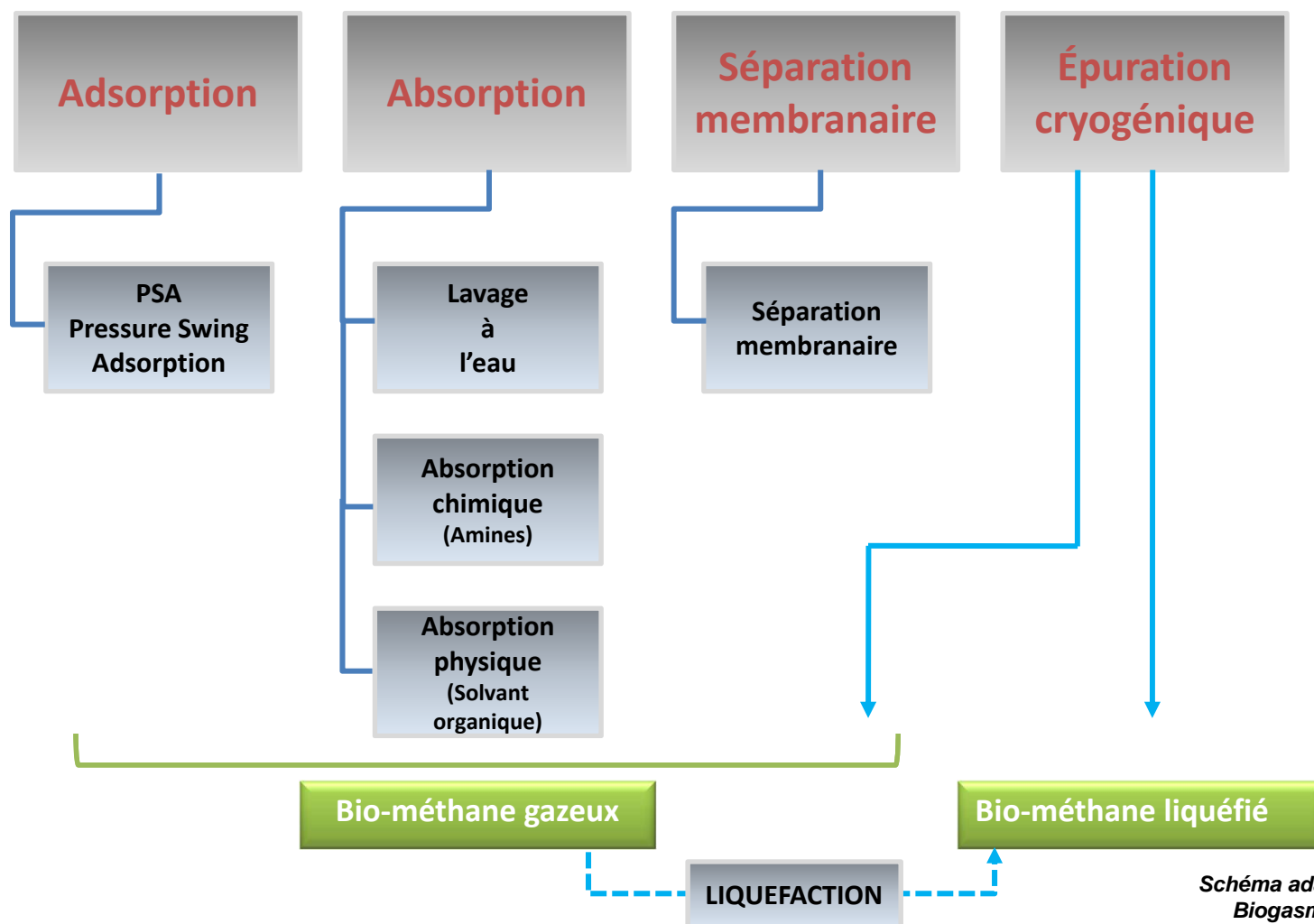


Les objectifs de qualité

| Principaux paramètres | Bio-GNV ISO 15403 | Norme « Injection » Gaz H |
|------------------------------------|---------------------------------------|---|
| PCI / PCS Méthane | PCI > 8,55 >86% CH ₄ | PCS >10,7 kWh/Nm ³ Eq. > 96,7%CH ₄ |
| O ₂ (%vol) | <3% | <0,75% |
| H ₂ S | <5 mg/Nm ³ | <5 mgS/Nm ³ |
| CO ₂ | <3% | <3,5% |
| NH ₃ | | < 3 mg/Nm ³ |
| H ₂ O Point de rosée | < T° de fonctionnement du véhicule | < -5°C A pression maxi |

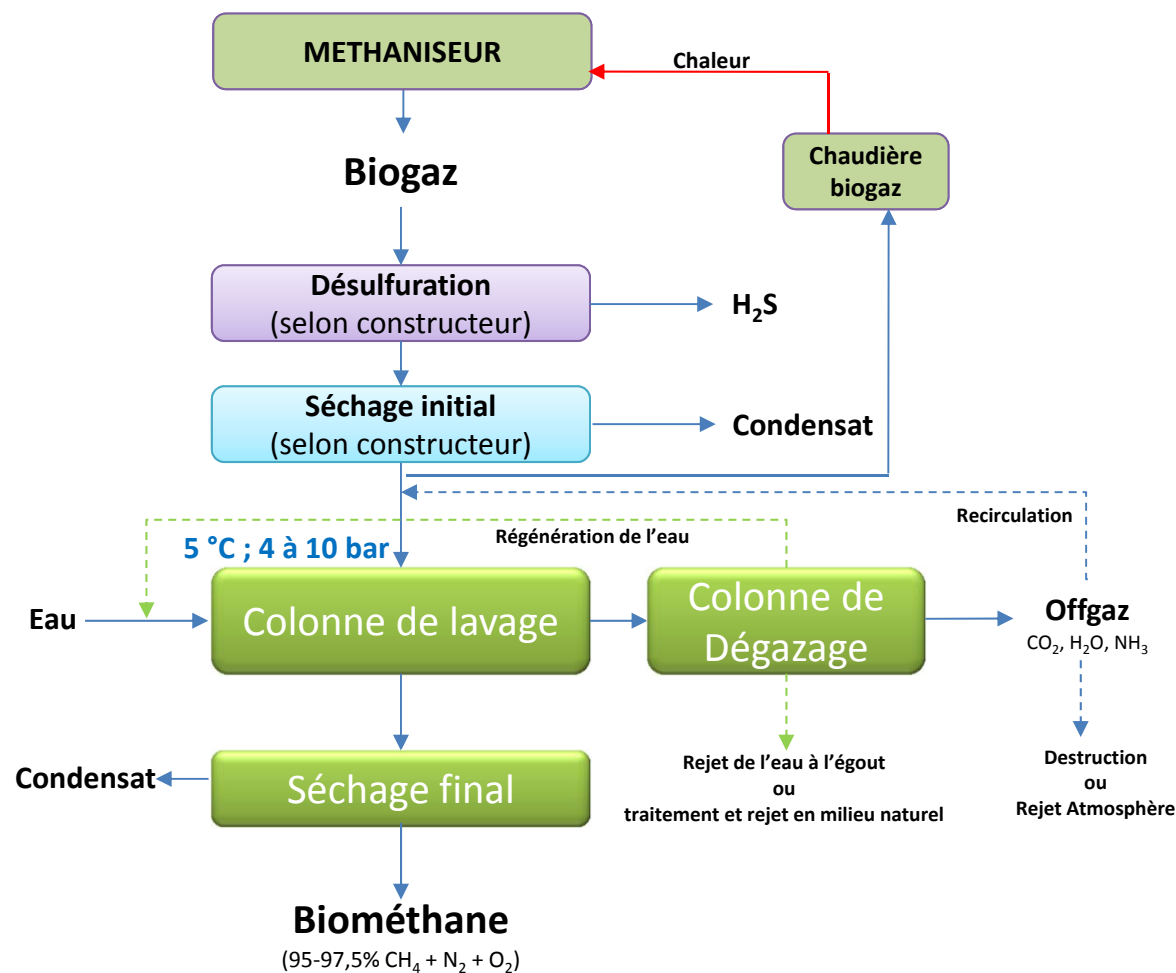
- Exigences de pureté en méthane moindres si le bio-méthane est utilisé uniquement et directement en carburant véhicule.
- La teneur en O₂ < 0,75% est une dérogation aux prescriptions techniques
- L'azote N₂ n'est pas un paramètre réglementé mais sa teneur est un obstacle à l'obtention du minima en PCS.
- Pour les composants non traités par le dispositif d'épuration, il faudra tenir compte de l'effet de concentration par élimination du CO₂.

Les différentes voies d'épuration du biogaz



*Schéma adapté de :
Biogasmax 2010*

Épuration par lavage à l'eau



Unité de lavage à l'eau :

- Colonne de désulfuration
- Colonne d'absorption
- Colonne de dégazage

Source : Kempro Environnement

Épuration par lavage à l'eau

Constructeurs identifiés :

| Gamme de débit (en Nm ³ /h de bio-méthane produit) | Fournisseurs de process clé en main |
|--|---|
| 10 - 80 Nm ³ /h = 80 Nm ³ /h | Kempro Environnement GreenLaneBiogas |

Consommables :

Une partie de l'eau doit être renouvelée.
L'eau consommée doit être traitée avant rejet.

| | |
|-------------|--|
| Electricité | 0,42 à 0,5 kWh é/Nm ³ bio-méthane produit |
| Eau | 0,6 à 3 L/Nm ³ bio-méthane produit |

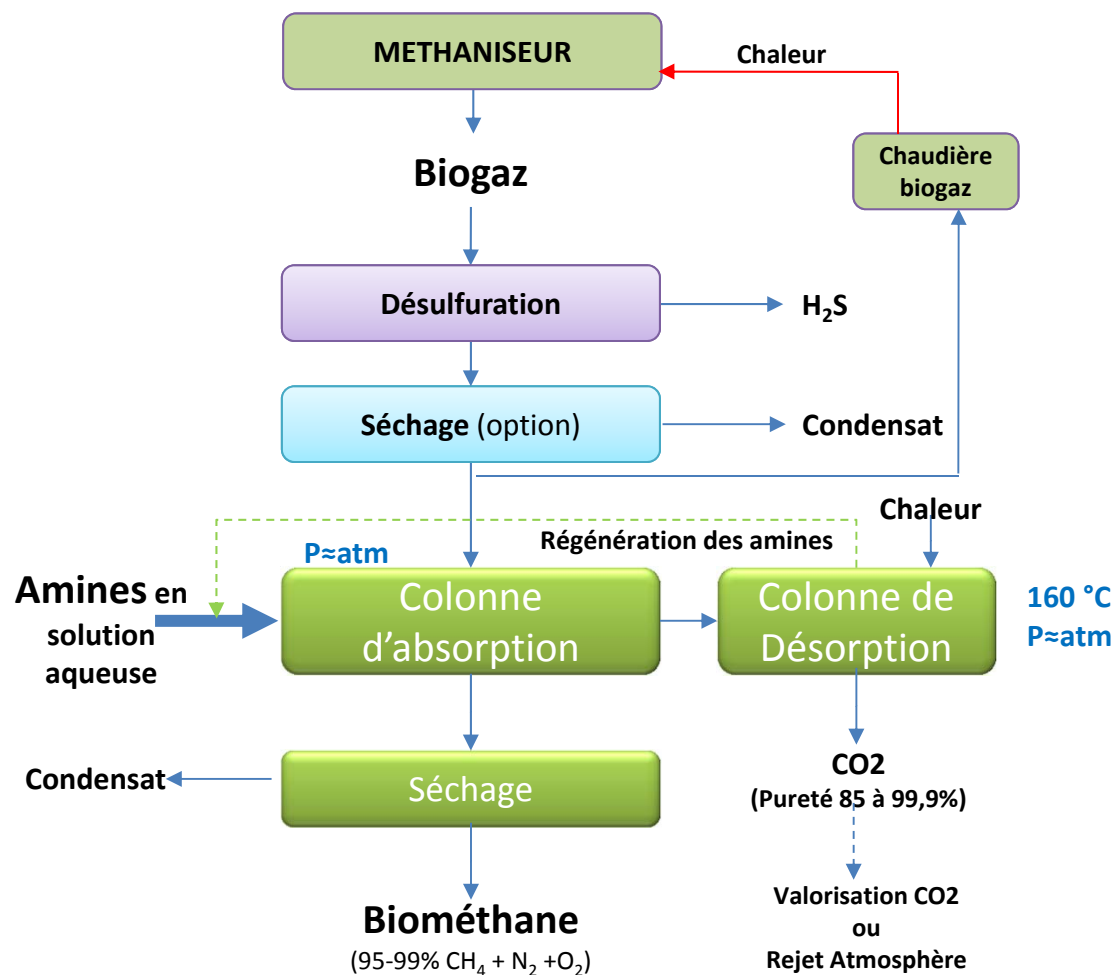
Options possibles proposées :

- Récupération du CO₂ pour le liquéfier et le valoriser (**Kempro**)
- Couplage à 2 colonnes de PSA en fin de process
 - pour élimination de l'O₂ si nécessaire, sur un média d'adsorption spécifique (**Kempro**)
 - pour séchage final du biométhane (**Greenlane Biogas**)

Vigilance:

- O₂ et N₂ se retrouvent concentrés dans le bio-méthane d'un facteur minimum de 1,5

Lavage aux amines



Unité d'épuration aux amines à Vacarisse (Espagne) ;
Source : HeraCleantech

Lavage aux amines

Constructeur identifié :

| Gamme de débit (en Nm ³ /h de bio-méthane produit) | Fournisseurs de process clé en main |
|--|-------------------------------------|
| 30 - 80 Nm ³ /h | HERA Cleantech |

Consommables :

| | |
|-------------------|---|
| Electricité | 0,22 kWh él/Nm ³ bio-méthane produit |
| Amines | 1,6 L/Nm ³ Biométhane produit |
| Energie thermique | 1,8 kWhth/Nm ³ bio-méthane produit |

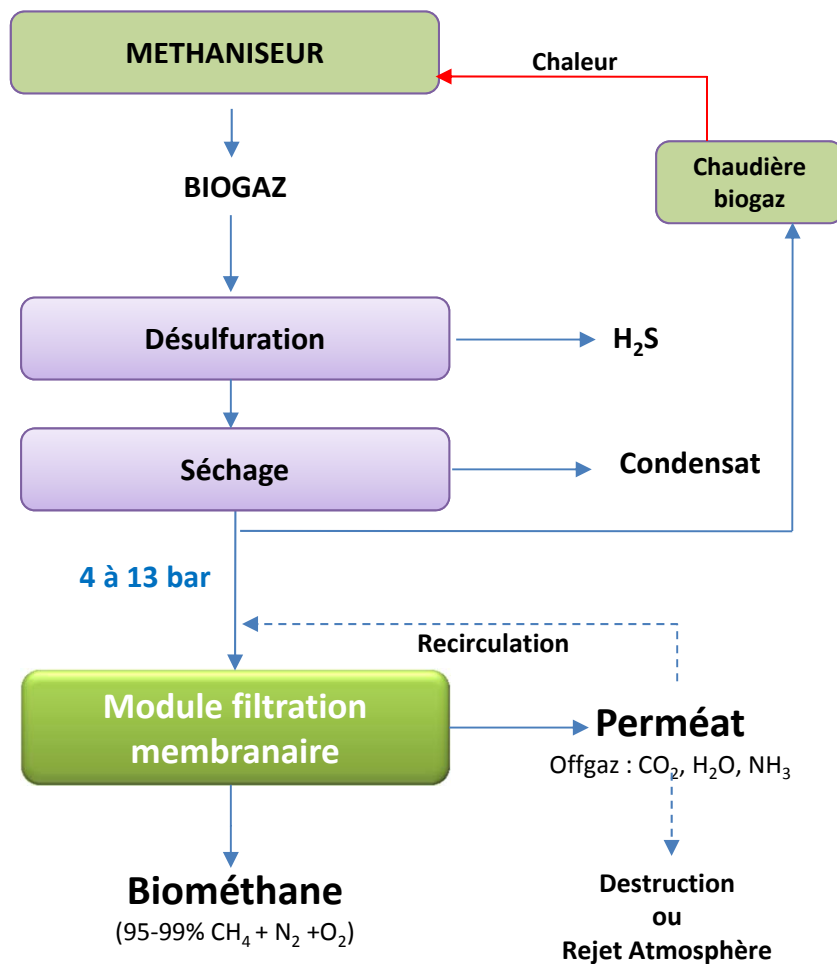
Particularités :

- ✓ Travail à basse pression (faible demande d'énergie électrique)
- ✓ Obtention d'un CO₂ et d'un bio-méthane très purs (valorisation CO₂ facilitée)
- ✓ Pas de perte de méthane
- ✓ Elimination poussée du H₂S souhaitable (économies en consommables)
- ✓ Consommation de MEA (solution d'amines)
- ✓ Demande thermique importante (env. 15% de l'énergie primaire)

Vigilance:

- Intégrer le coût lié aux consommations en amines

Épuration membranaire



Combinaison de modules membranaires
Source : DMT (membranes Evonik)

Épuration membranaire

Constructeurs identifiés :

| Fabricants de techniques membranaires | Fournisseurs de process clé en main | Débit en Nm ³ /h de bio-méthane produit |
|---------------------------------------|-------------------------------------|--|
| Air Liquide | Air Liquide | 30 - 80 Nm ³ /h |
| Evonik | Prodeval | 20 – 80 Nm ³ /h |
| | Host | 20 – 80 Nm ³ /h |
| | DMT | 50 – 80 Nm ³ /h |
| | MT-Energie | > 70 Nm ³ /h |
| Cirmac | Cirmac (Atlas Copco) | |
| Air Products | Arol Energy | 45 – 80 Nm ³ /h |

Consommables :

| | |
|-------------|--|
| Electricité | 0,2 à 0,5 kWh él/Nm ³ bio-méthane produit |
|-------------|--|

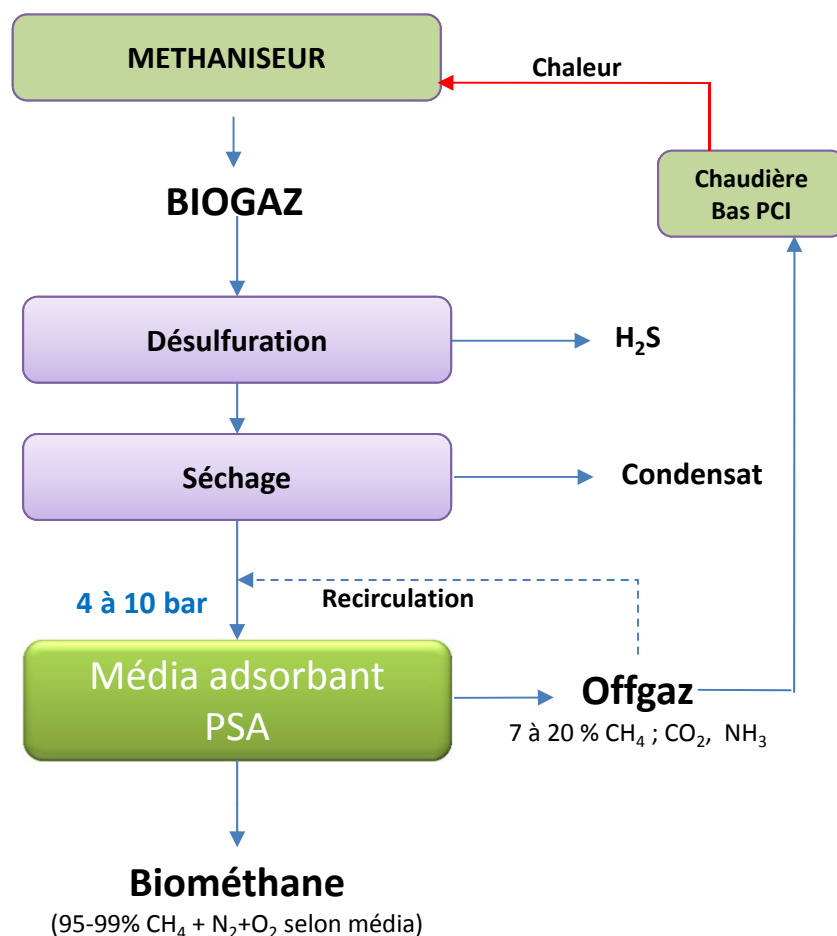
Particularités :

- ✓ Le procédé ne consomme pas de réactif (hors prétraitement du biogaz)
- ✓ Il ne sépare pas l'oxygène et l'azote dans le bio-méthane
- ✓ Les membranes peuvent être sensibles à des micro-constituants du biogaz nécessitant un prétraitement spécifique (exemple : en présence de terpènes)
- ✓ La durée de vie des membranes n'est pas infinie (estimée à 7/9ans par les constructeurs avec des prétraitements bien adaptés)

Vigilance:

- Intégrer le coût de remplacement des membranes

Épuration par PSA (Pressure Swing Adsorption)



Skid PSA

Source : Xebec – VerdeMobil

Mortagne sur Sevres (85) 65 Nm³/h

Épuration par PSA (Pressure Swing Adsorption)

Constructeur identifié :

| Gamme de débit (en Nm ³ /h de bio-méthane produit) | Fournisseurs de process clé en main |
|--|-------------------------------------|
| 30 - 80 Nm ³ /h | VerdeMobil (technologie Xebec) |

Consommables :

| Electricité | 0,25 kWh él/Nm ³ bio-méthane produit |
|-------------|---|
|-------------|---|

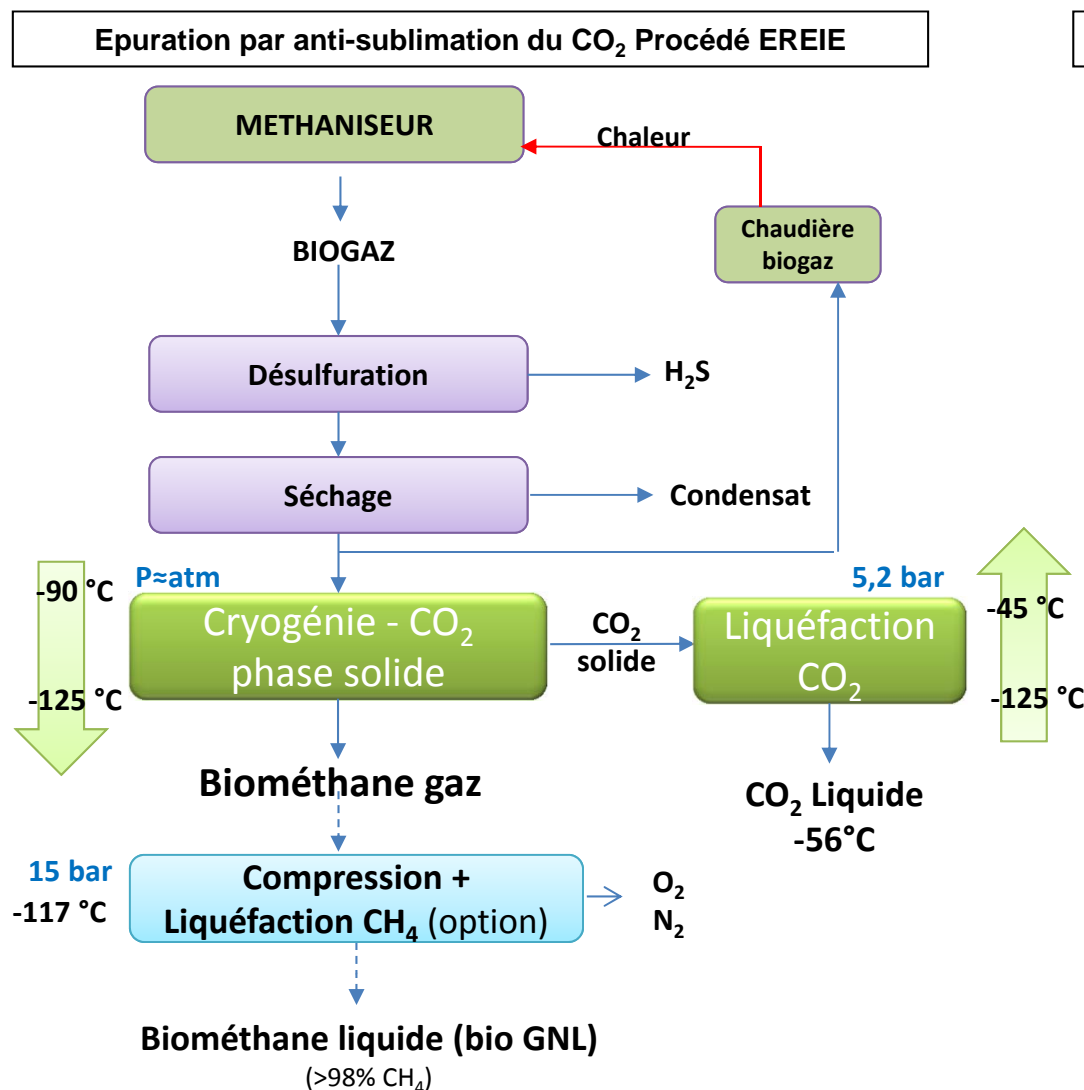
Particularités :

- ✓ Valorisation du offgaz sur chaudière
 - Pas de rejet de CH₄ à l'atmosphère
 - Alimentation en chaleur de la méthanisation
- ✓ Le procédé ne consomme aucun réactif (hors prétraitement)
- ✓ Durée de vie du média filtrant (garanti 15 ans par **Xebec**)
- ✓ O₂ et N₂ se retrouvent concentrés dans le bio-méthane d'un facteur minimum de 1,5

Options possibles proposées :

- Média spécifique Xebec: PSA Kinetic élimine 65% de N₂ et O₂
- Couplage à un procédé membranaire permet de re-concentrer le offgaz pour le retraiter

Épuration cryogénique



Epuration par liquéfaction Procédé GTS

LIQUEFACTION DU BIOGAZ
Après désulfuration et séchage

Production directe de
Bio-méthane liquéfié
et de CO₂ liquide

NOTA: La LIQUEFACTION DU Bio-méthane
est toujours possible après tout système d'épuration

Épuration cryogénique

Constructeurs identifiés :

| Gamme de débit (en Nm ³ /h de bio-méthane produit) | Fournisseurs de process clé en main |
|--|-------------------------------------|
| 65 - 80 Nm ³ /h | EREIE GTS VerdeMobil |

Consommables : (EREIE)

| | |
|-------------|---|
| Electricité | 0,96 kWh él/Nm ³ bio-méthane produit |
| Réactif | Soude 0,008/Nm ³ bio-méthane produit |

Particularités :

- ✓ Production de bio-GNL: énergie facilement transportable
- ✓ Aucune perte/émission de méthane à l'atmosphère
- ✓ Consommation électrique mais grande quantité d'énergie thermique récupérée sur le process (besoins en autoconsommation de la méthanisation fortement compensés)
- ✓ Valorisation du CO₂ facilitée
- ✓ Pureté élevée du bio-méthane

Compression- Distribution de bio-GNV

- **Compression : Biométhane gaz → compression à 250 bar = bio-GNV**
 - ✓ Les caractéristiques du compresseur et son coût sont liés entre autre à la pression d'aspiration
 - ✓ Le compresseur est un équipement à durée de vie limitée
 - ✓ Ne pas négliger son coût d'entretien
 - ✓ Le coût et les consommations sont fortement impactés par le débit
 - ✓ L'équipement est essentiel dans la chaine de production de bio-GNV
- Redondance à prévoir?

Fabricants de compresseurs bio-méthane 250 bar :

- ***Cirrus***
- ***Bauer Compresseurs***
- ***Atlas Copco***



Compresseur 250 à 350 bar ; Source : Cirrus

Stockage de bio-méthane

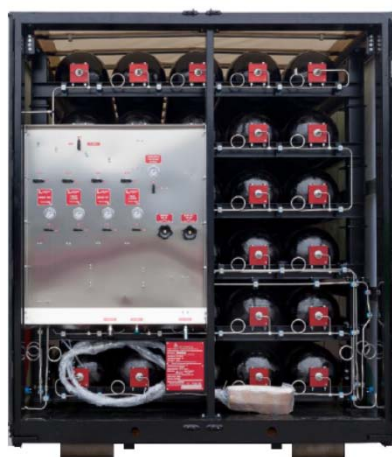
Deux fonctions

- ✓ Permettre son transport
- ✓ Constituer une réserve notamment pour du remplissage rapide de véhicule

• Stockage de bio-méthane gazeux (250 – 300 bar)

- ✓ en bouteilles type 80 L
- ✓ Elles peuvent être combinées en rack de bouteilles
- ✓ Le transport du biogaz s'effectue par montage de racks de bouteilles en container

Container de transport
Source : Luxfer/Dynetek



Racks de stockage fixe bio-GNV ; Source : Cirrus



Stockage de bio-méthane

- **Stockage de bio-méthane liquéfié (stockage cryogénique)**

- ✓ Stockage en citerne fixe
- ✓ le transport peut être facilement externalisé



Source: Cryolor

Fabricants et fournisseurs identifiés :

- *Cuves de stockage/transport :*
 - IndoxCryoEnergy
 - Cryolor
- *Procédés d'odorisation et regazéification*
 - VerdeMobil
 - Host France
 - Air Liquide
 - Cryolor

Coûts et seuils économiques

• Epuration

| | Membranes | PSA | Lavage eau | Amines | Cryogénie |
|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Gamme débit Nm ³ /h bio- méthane | 20 – 80 Nm ³ /h | 30 – 80 Nm ³ /h | 10 – 80 Nm ³ /h | 30 – 80 Nm ³ /h | 65 – 80 Nm ³ /h |
| Investissement Prétraitement Epuration (€HT) | 300 à 750 k€ | 400 – 600 k€ | 100 à 650 k€ | 650 à 800 k€ | 820 à 1040 k€ |

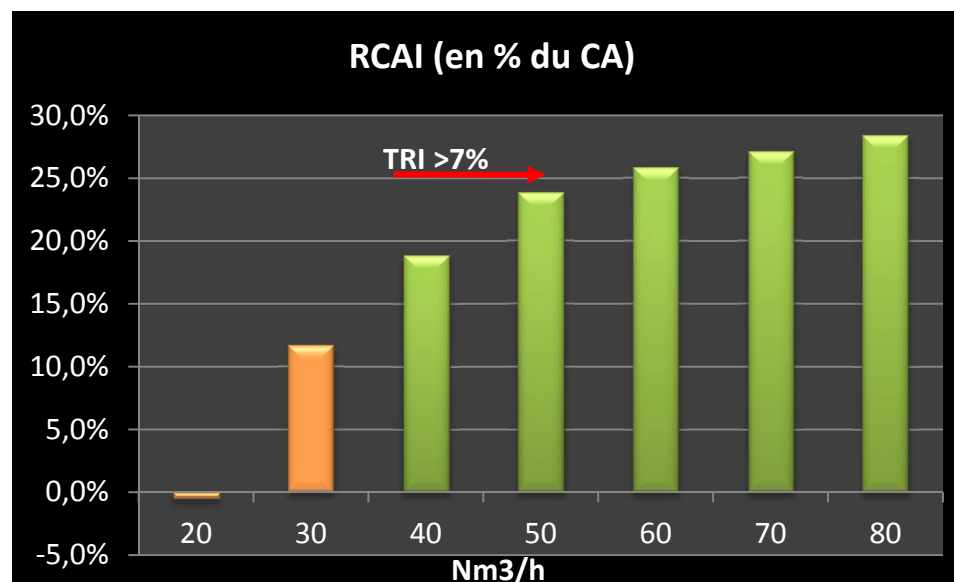
Dans le contexte français, compte tenu du très faible nombre d'unités en service, il est impossible de fournir des chiffres fiables et comparables sur les coûts d'exploitation

• Stockage – transport

- Stockage bio-méthane gazeux: 150 à 250 k€ pour des capacités de 4000 à 6000 Nm³
- Stockage bio-méthane liquéfié: 75 à 150 k€ pour des capacité de 5000 à 45 000 Nm³

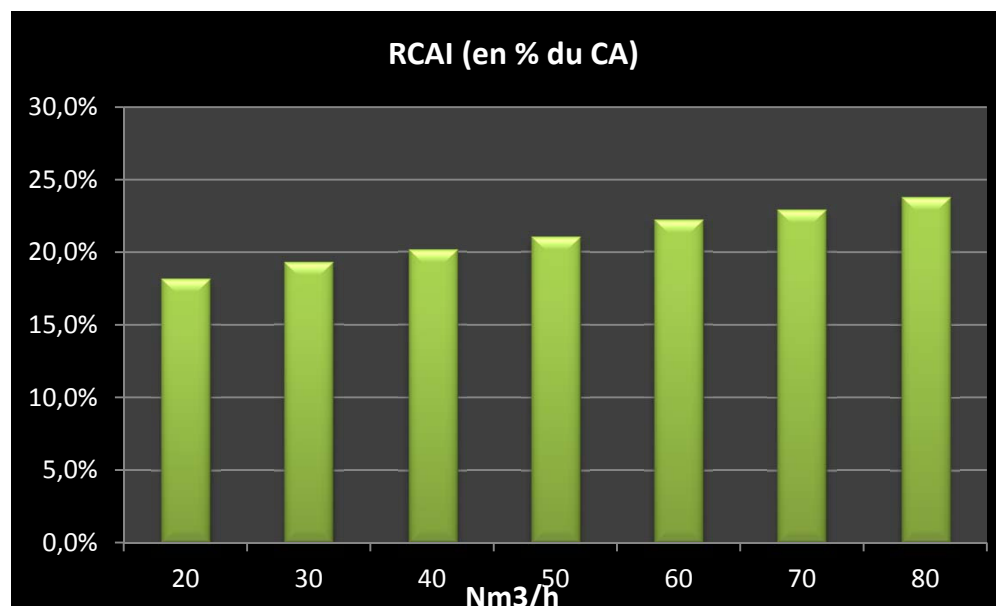
Économie de l'ensemble de la filière

- l'épuration reste difficilement envisageable pour des installations de petite taille
- En injection:
 - en dessous de 50 Nm³/h, le tarif n'augmente plus
 - à 20 Nm³/h, le coût d'injection représente 40% du CA
 - une modélisation à partir de coûts moyens issus de projets en développement fait apparaître un seuil minimum de l'ordre de 40 Nm³/h (base 20% de subvention sur investissement)



Économie de l'ensemble de la filière

- En bio-méthane carburant:
 - le prix de vente est constant
 - la plupart des coûts est proportionnelle à la taille
 - une transposition à partir du modèle précédent issus de projets en développement fait apparaître un profil plus constant (valorisation sur la base de 11 cts/kWhPCI)



Économie de l'ensemble de la filière

- En cas de transport du bio-méthane:

- ✓ vers un point d'injection mutualisé

- baisse du tarif de vente

- on conserve un prix de revient élevé lié à la petite taille en perdant le meilleur tarif: intérêt limité aux petits groupements avec un débit d'injection <100 Nm³/h

- ✓ vers un point de distribution bioGNV

- pas d'évolution du tarif de vente

- situation nettement plus favorable

- ✓ le coût supplémentaire de la liquéfaction ou de l'épuration cryogénique peut être vite compensé par les économies de transport (à partir de 60 Nm³/h)

Points de vigilance: Paramètres influençant la qualité du biogaz

CHOIX des INTRANTS

- **Teneur en Soufre**

(Désulfuration biologique fortement déconseillée : l'élimination de fortes concentrations d'H₂S sera coûteuse)

- **Composés traces**

✓ Exemple des terpènes (limonène, pinène...) potentiellement polluant des systèmes d'épuration

- **Réglementation**

✓ Matières interdites pour l'injection

✓ Incidence sur le tarif d'achat du bio-méthane (P1 et P2)

Application des arrêtés du 23 Novembre 2011

CHOIX du PROCEDE de METHANISATION

- **Teneur en Oxygène et en Azote** : Composés pas nécessairement pris en charge par les systèmes d'épuration ; en conséquence, il faut supprimer tout ce qui entraîne un apport d'air dans le biogaz (moindre sensibilité en bio-GNV)

✓ Méthanisation en voie sèche discontinue n'est incompatible avec l'injection qu'avec un procédé d'épuration éliminant l'azote

✓ Désulfurisation biologique par injection d'air dans les ciels gazeux fortement déconseillée

✓ Incorporation directe de matières solides dans les digesteurs déconseillée (→ prémélange)

Points de vigilance: Choix du procédé d'épuration

PROCEDE d'EPURATION

- **Intégration des besoins en énergie thermique de la méthanisation :**
 - ❖ 2 schémas possibles
 - ✓ Combustion des off-gaz (→ chaudière bas PCI)
 - ✓ Combustion d'une fraction du biogaz brut
 - ❖ Récupération d'énergie thermique sur le procédé d'épuration (→ optimisation du taux de valorisation)
 - ❖ Variations saisonnières des productions et des besoins
- **Gestion des off-gaz non valorisables**
 - ✓ Rejet à l'atmosphère, jusqu'à quelle concentration et flux ?
 - ✓ Destruction (le coût peut être très élevé pour des petites unités)
- **Performances vis-à-vis de l'azote et de l'oxygène**
 - ✓ Choix d'un procédé efficace sur ces paramètres pour limiter des risques de non-conformité
- **Sensibilité aux micro-polluants**

Points de vigilance: Choix du procédé d'épuration

PROCEDE d'ÉPURATION

Ne pas sous-estimer les incidences économiques

Ecart de recette pour une unité qui injecte 50 Nm³/h

- PCS du bio-méthane: de 97% à 99% CH₄ + 12 000 €/an
- Indisponibilité 2% d'indisponibilité - 12 000 €/an
- Non-conformité 2% de non-conformité
- Prendre en compte les temps de redémarrage (délai de retour au nominal)
- Récupération d'E thermique 30% de l'autoconsommation ± 20 000 €/an

Consultation des entreprises

LIMITES DE FOURNITURE

- **Un seul constructeur Méthanisation + Epuration:**

- Cohérence de la fourniture
- Pas d'interface à gérer
- Automatismes intégrés

- ✓ Limitation dans le choix des procédés (le constructeur n'est pas nécessairement le meilleur dans les 2 métiers)
- ✓ Concurrence limitée
- ✓ Risque de plus value liée à la sous-traitance

- **Deux constructeurs complémentaires**

- ✓ Limites de fournitures :
 - 1 lot Méthanisation (de la matière première au biogaz brut) + sécurité torchère + aménagement du site
 - 1 lot Biogaz (Prétraitement/épuration/Injection/Compression/chaudière)
- ✓ Multiplie les choix techniques et optimise la mise en concurrence
 - Nécessité d'une MOE
 - Facilité avec épuration containérisée

Consultation des entreprises

ANALYSE DES OFFRES

• Coûts d'exploitation

- ✓ Consommations d'énergie (limite réglementaire en injection $< 0,6 \text{ kWh/Nm}^3$ biogaz traité)
- ✓ Consommables
- ✓ Renouvellement des médias
- ✓ Entretien / renouvellement des équipements
- ✓ Etalonnage des capteurs

• Durée de vie des équipements sensibles

- ✓ Compresseur MP et HP
- ✓ Médias

• Redondance des équipements sensibles

- ✓ Compresseur
- ✓ Surpresseur

• Qualité et précision du contrôle de la qualité du bio-méthane

- ✓ Risque de ne pas anticiper les non conformités en injection
- ✓ Application des délais de retour à la conformité (perte d'exploitation)
- ✓ Moyens et rythme des étalonnages

• Contrat de maintenance et Conditions de mise en œuvre du SAV

- ✓ Délai d'intervention

Engagements du constructeur

Sur la base d'une production et d'une qualité de biogaz (définissant un DTG)

- **Teneur moyenne en méthane du bio-méthane**
- **Débit et capacité de traitement**
- **Disponibilité garantie**
- **Consommations**
 - ✓ Energie
 - ✓ Réactifs
- **Pérennité des médias et coût de remplacement**
- **Quantité d'énergie thermique récupérée pour l'autoconsommation**

Merci de votre attention

Jacky BONNIN

www.astrade.fr

ASTRADE 
méthanisation
Traitement AIR - EAU - DECHETS
BUREAU D'ÉTUDES
MÉTHANISATION • BIOGAZ
VOIE LIQUIDE • VOIE SÈCHE