



## Valorisation du CO<sub>2</sub> de méthanisation

*SGT « épuration du biométhane et valorisation  
du CO<sub>2</sub> de méthanisation »*

*GT Industrialisation – Axe Méthanisation – CSF NSE*

09/06/21

## Présentation du CSF

CSF = Comité Stratégique de Filière

"Nouveaux systèmes énergétiques" -> "*Axe méthanisation*"

**Contrat entre l'Etat et l'ensemble des acteurs de la filière méthanisation** pour "*Rendre la méthanisation compétitive à l'horizon 2030, en créant simultanément une offre technologique et industrielle en France*"

- **Côté filière** : groupes de travail (actions, livrables)  
-> "GT Industrialisation" -> sous-GT "Épuration et CO2"
- **Côté Etat** : soutien et accompagnement

# Programme

- I. Introduction (Alice L'Hostis, directrice du CTBM)
  
- II. Usages et technologies (Jacky Bonnin, ASTRADE)
  
- III. Calculette de sensibilisation à la valorisation du CO<sub>2</sub> (Bastien Praz, GRDF)

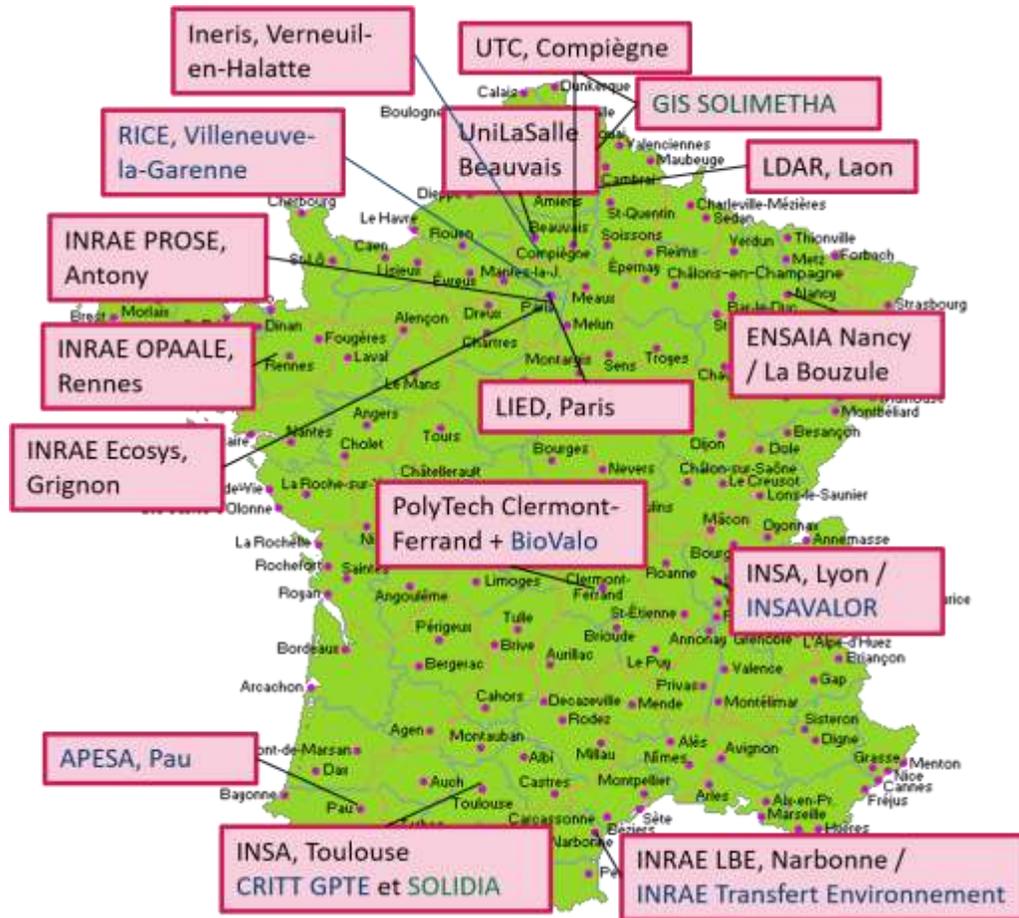


Nouveaux Systèmes  
Énergétiques  
Commissariat à l'Énergie Atomique

## I – Introduction

Alice L'Hostis, directrice du CTBM

# Centre Technique national du Biogaz et de la Méthanisation

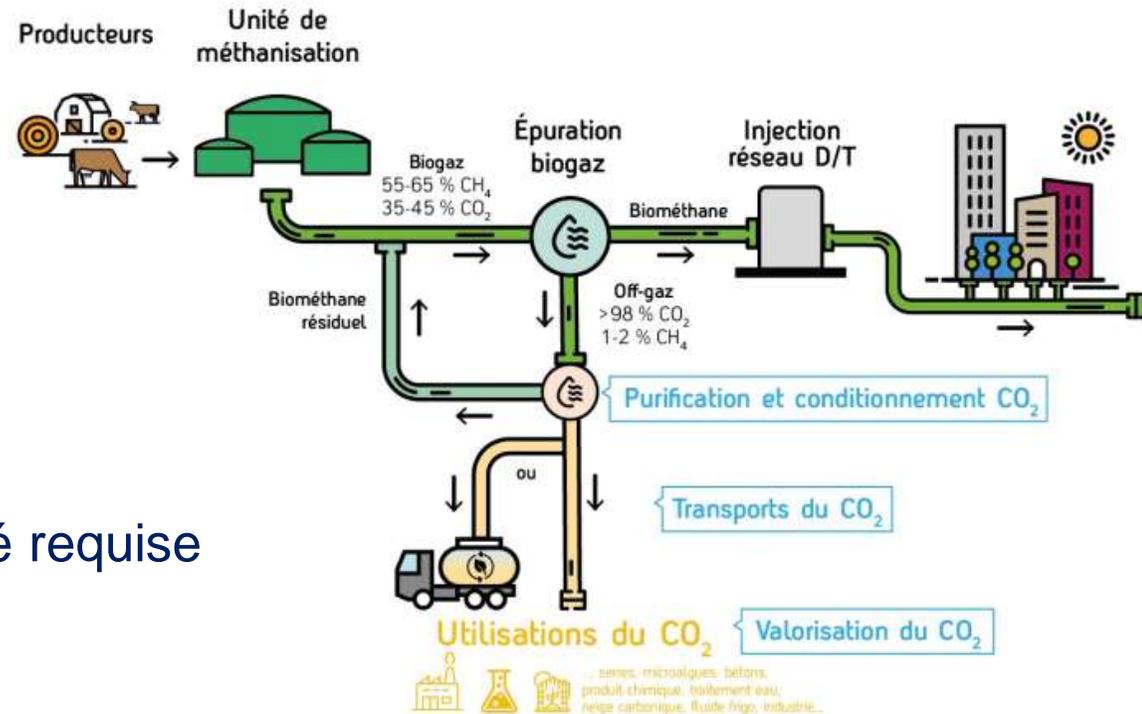


- Réseau des laboratoires
- Vecteur de diffusion des connaissances ([InfoMétha.org](http://InfoMétha.org) et webinaires)
- Co-organisateur des [Journées Recherche Innovation](#)
- Mobilisation des experts au service d'une filière en maturation
- Entité du Club Biogaz de l'ATEE, basée à La Défense
- Soutenu par l'ADEME depuis 2019

<https://atee.fr/energies-renouvelables/club-biogaz/ctbm>

# Valoriser le CO<sub>2</sub> de méthanisation : pourquoi ?

- 40-45% du biogaz est du CO<sub>2</sub> :  
1 Nm<sup>3</sup>/h biométhane <-> 1,2 kg/h CO<sub>2</sub>
- Un flux très riche (90-99%) :  
Relativement simple à amener à la pureté requise

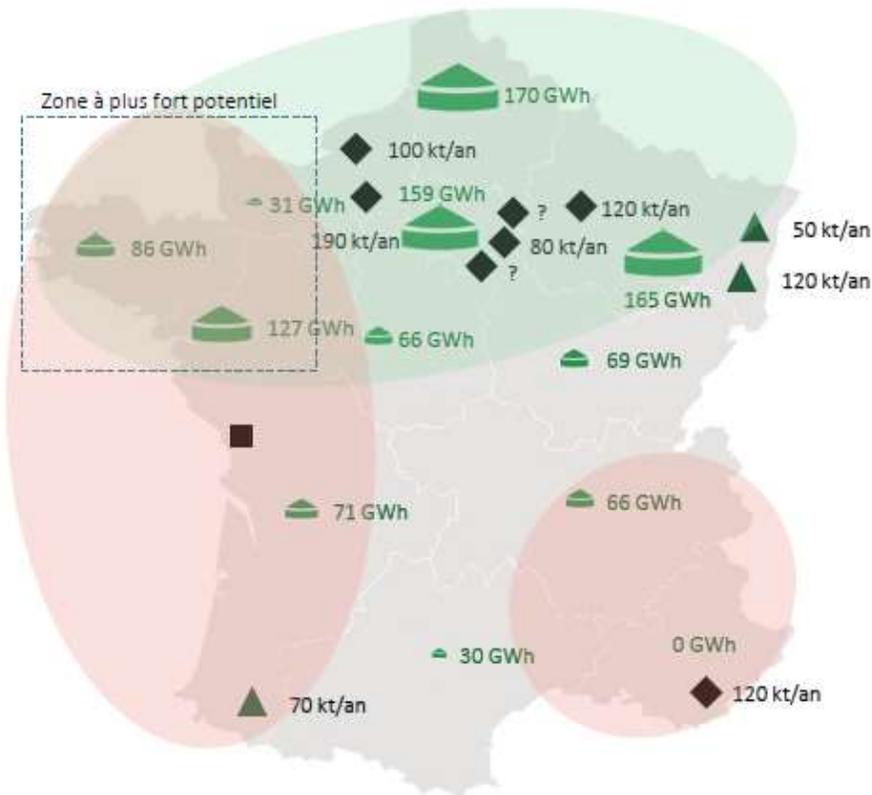


GRDF ©

- Une matière première utile dans différents secteurs
- Optimisation du biogaz : un produit supplémentaire et récupération du méthane résiduel
- Des émissions de GES évitées pour un meilleur bilan climatique

# Marché potentiel du CO<sub>2</sub> de méthanisation

- 1,1 million de tonnes par an
- En 2020, 240 kt de CO<sub>2</sub> biogénique disponible pour 2,2 TWh de biométhane produit



- Très inégalement réparti
- Conditionnement et transport = moitié du prix (de 50 à 200€/t)
- Circuits courts locaux possibles pour s'affranchir des variations de prix et d'approvisionnement

Légende de la carte

- Principales zones de consommation de CO<sub>2</sub>
- Principaux foyers de développement du biométhane
- Capacité installée de biométhane dans la région (en GWh/an)
- ◆ Unité de production de CO<sub>2</sub> conventionnel (ammoniac, vaporeformage du gaz naturel)
- ▲ Unité de production de CO<sub>2</sub> « vert » (bioéthanol)
- Unité de stockage de CO<sub>2</sub> (Praxair)

## Qualités du CO<sub>2</sub>

	ALIMENTAIRE	INDUSTRIEL
Référentiels	EIGA/ISBT ou E290	-
Part de marché (distributeurs)	95%	5%
Impuretés recherchées	Nombreuses	Variables
Forme	Liquide	Selon besoin
Saisonnalité	Forte (haute demande en été)	Selon clients

- 2 qualités alimentaires : EIGA très stricte, E290 nettement moins
- Des qualités "industrielles" variables selon les besoins des clients (cf. partie suivante)
- Pas de mélange dans les transports : véhicules ou canalisations dédiés à une qualité

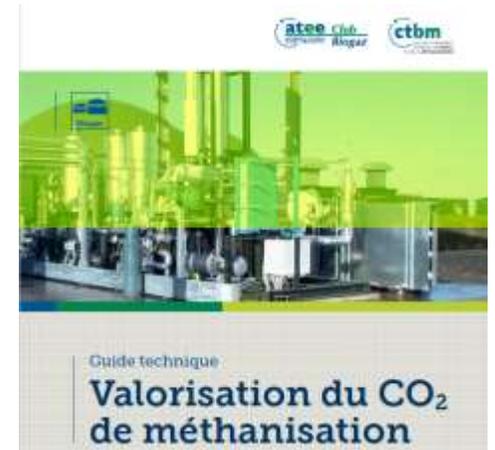
## Un sujet dynamique

- Des questionnements anciens sur la maîtrise des émissions
- Recherche d'un revenu complémentaire pour compenser la baisse des tarifs de vente de l'énergie
- Première unité française (MéthaTreil) mise en service en octobre 2020
- Deux GT nationaux : CTBM (2019-2020) puis CSF (depuis 2020)
- Des travaux en cours à l'échelle européenne (EBA)

## GT du CTBM « Valorisation du CO<sub>2</sub> »



- Premier groupe de travail du CTBM
- Piloté par sa directrice A. L'Hostis
- 64 membres adhérents du Club Biogaz
- Réunions de juillet 2019 à mars 2020



- Guide technique publié en 2020 pour les porteurs de projets : <https://atee.fr/document/guide-technique-valorisation-CO2>
- Présentation du marché français, principales technologies, modèles d'affaire possibles
- Ressources : <https://atee.fr/club-ctbm/valorisation-du-co2-de-methanisation>

## Objectifs

- Établir les bases d'une standardisation de l'épuration du biogaz (spécifications et offres) dans un objectif de baisse des coûts (CAPEX / OPEX / coûts annexes)
- Évaluer l'intérêt des valorisations complémentaires (CO<sub>2</sub> en particulier)
- Objectifs d'impacts: CAPEX -10% ; OPEX : garanties, disponibilité...

## Participants



## Livrables à paraître bientôt

1. Guide pour spécifications "Épuration du biogaz"
2. Guide pour spécifications "Valorisation du CO<sub>2</sub>"
3. Catalogue des offres épuration biogaz et purification CO<sub>2</sub>
4. **Calculatrice aide à la décision valorisation CO<sub>2</sub>** : cf. présentation de B. Praz
5. **Analyses des flux gazeux** dans l'unité pionnière MéthaTreil : cf. présentation J. Bonnin



## II – Usages et technologies

Jacky Bonnin



**ASTRADE** est un bureau d'études indépendant, créé en 2001, spécialisé en **METHANISATION** et **VALORISATION des PRODUITS ISSUS de la METHANISATION** : les 3 valorisations du BIOGAZ (en **BIOGNV**, en injection **BIOMETHANE**, en cogénération) et valorisation du **CO<sub>2</sub>** issu du Biogaz.

**ASTRADE** intervient en AMO sur toutes les étapes d'un projet :

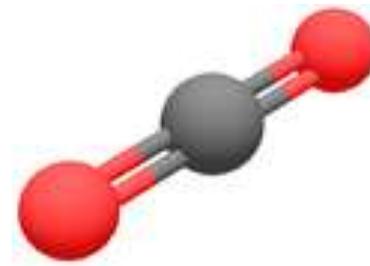
- Etude préliminaire et de faisabilité
- Développement du projet
- Suivi de travaux et mise en service
- Suivi et assistance en exploitation.

**ASTRADE** a accompagné **METHATREIL** dans son projet de valorisation du CO<sub>2</sub> (première unité en France de valorisation à partir de biogaz) : Dimensionnement, implantation, appel d'offres constructeurs, suivi de travaux, réception.

Une deuxième unité est en construction pour mise en service en janvier 2022

## USAGES du CO<sub>2</sub>

- **Des applications extrêmement variées dans tous les domaines** (Agriculture, Industrie et Services) avec des volumes de consommation très disparates (de moins de 1T à plusieurs x 10 000T/an par consommateur)
- Les propriétés des **3 états physiques** sont exploitées - Gaz CO<sub>2</sub> – CO<sub>2</sub> liquide – Glace carbonique
- La forme liquide (-20°C / ± 20 bars) est la forme dédiée au transport
- Selon les usages, **les exigences de qualité** seront différentes, ce qui aura un impact sur le choix de la technologie de production du CO<sub>2</sub> à partir du gaz de purge d'un méthaniseur



# Usages agricoles

## Optimiser la photosynthèse

- **Production agricole**      Cultures sous serres (tomates, concombres et autres)  
100 – 300 T/ha/an    Saisonnalité marquée  
Très fortes disparités régionales
- **Production d'algues**      Production d'algues pour alimentation animale  
ou humaine, pour biocarburants  
Plus pertinent en photobioréacteurs qu'en bassin ouvert

## Usages dans l'Industrie agroalimentaire

- **Abattoirs:** Etourdissement des animaux avant abattage : utilisé dans certains abattoirs, notamment pour les porcs. Pas utilisée pour les bovins et rarement pour les volailles
- **Conditionnement alimentaire:**
  - ✓ Conditionnement sous atmosphère protectrice
  - ✓ Surgélation
  - ✓ Refroidissement notamment pour le cryobroyage
- **Boissons:**
  - ✓ Gazéification des boissons gazeuses
  - ✓ Minéralisation de l'eau potable

Des niveaux variés de contact avec la denrée alimentaire

## Usages dans l'Industrie non alimentaire

- **Chimie:**

- ✓ *CO<sub>2</sub> comme réactif*

utilisé comme produit dans des réactions chimiques, pour des combustibles des matériaux utilisés en construction ou en chimie fine

- ✓ *CO<sub>2</sub> comme agent d'expansion*

fabrication de matières expansées (polyuréthane et polystyrène notamment)

- ✓ *CO<sub>2</sub> pour inertage (concurrence de l'azote gazeux)*

- **Métallurgie:** *des applications très variées*

Fabrication des moules et noyaux, durcissement de l'acier, Mélanges de gaz pour Soudage et Laser, nettoyage, dégraissage, départiculage (CO<sub>2</sub> supercritique)

- **Traitement des eaux usées:** *correction de pH*

## Applications et industries diverses

- Remplissage d'extincteurs
- Réfrigérant pour groupes frigorifiques (R-744)
- Propulsion d'aérosol
- Évènementiel

## Usages de la glace carbonique

- Conservation à très basse température (industrie pharmaceutique –vaccins)
- Transport frigorifique (containers aériens notamment)
- Cryodécapage ou cryosablage

## Usages et Qualité du CO<sub>2</sub>

- Autant de secteurs et d'applications signifie des niveaux de qualité très différents
- Pour un méthaniseur, en cas de commercialisation sur différentes applications, c'est la plus exigeante qui fixera le niveau de qualité requis
- Schématiquement, trois niveaux de qualité peuvent être envisagés
  - Utilisation du gaz de purge sans extraction du méthane résiduel  
*À considérer avec beaucoup de prudence (risque ATEX)*
  - Séparation du méthane
  - Purification: élimination quasi-totale des COV et autres contaminants
- L'usage alimentaire (au sens additif E290) peut s'envisager mais nécessite un approfondissement des connaissances

## Qualité des gaz de purge

- **Encore très mal connue**
- **Le SGT Euration du biométhane et valorisation du CO<sub>2</sub> de méthanisation** a inclus dans ses travaux un premier travail de compréhension de la qualité du CO<sub>2</sub> obtenu sur un méthaniseur agricole
  - ✓ 3 campagnes d'analyses complètes sur la première unité en fonctionnement (Méthatreil), avec screening des composés traces
  - ✓ Technologies utilisées = épuration membranaire + distillation cryogénique
  - ✓ Echantillonnage et analyses en 5 points du procédé pour comprendre le cheminement et le devenir des composés traces (biogaz brut, offgas, offgas prétraité, gaz recyclé, CO<sub>2</sub> liquide)
  - ✓ 2 campagnes sur 3 sont réalisées : les résultats seront publiés à l'automne 21
  - ✓ Premiers résultats satisfaisants

# Technologies de purification et liquéfaction

- Trois technologies disponibles :
  - Cryo-distillation
  - Adsorption par solvant
  - PSA
- Prétraitement du offgas en général indispensable pour éliminer
  - Composés soufrés et autres COV
  - H<sub>2</sub>O
  - Huiles (contamination par les compresseurs)

Prétraitement indispensable pour les technologies de cryo-distillation et PSA

- Récupération du gaz enrichi en méthane : réduction des émissions et optimisation de l'injection de biométhane

# Cryo-distillation

- Technique d'épuration de CO<sub>2</sub> la plus répandue en Europe.
- Principe: Le CO<sub>2</sub> s'évapore à plus haute température que le méthane et les autres composés de l'évent. Le CO<sub>2</sub> est récupéré en bas de la colonne de distillation sous forme liquide. Le reste de l'évent est récupéré en haut de la colonne sous forme gazeuse (dont le CH<sub>4</sub> résiduel), à recycler sur l'épurateur de biogaz.

## Principaux équipements

- *Filtre charbon actif*
- *Compresseur avec séchage du gaz*
- *Groupe froid*
- *Colonne de distillation*
- *Condenseur*
- *Cuve de stockage cryogénique*



## Cryo-distillation

- Consommation d'électricité : 0.2 à 0.3 kWh/kg CO<sub>2</sub> produit
- Récupération totale du méthane
- Récupération de chaleur fatale possible sur le compresseur

- **Unité de METHATREIL**

Fournisseur VERDEMOBIL Biogaz Capacité 260 kg/h



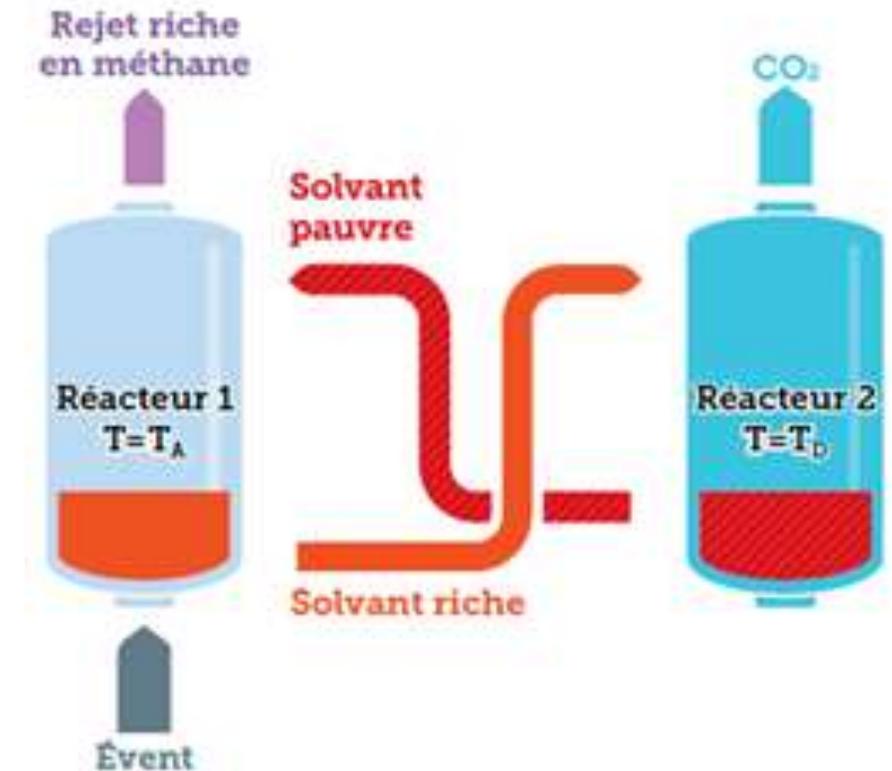
Valorisation en serres



Photos: [Bioénergie International n°71 de mars 2021](#)

# Absorption par solvant

- **Cycles absorption-désorption pour purification**
  - Colonne d'absorption à contre-courant avec solvant à forte affinité  $\text{CO}_2$
  - Désorption à chaud
- **La liquéfaction est une étape supplémentaire**
  - Rendement d'absorption élevé
  - Consommation d'énergie thermique élevée pour la désorption
  - Renouvellement du solvant
- **Pas d'unité connue sur méthaniseur**



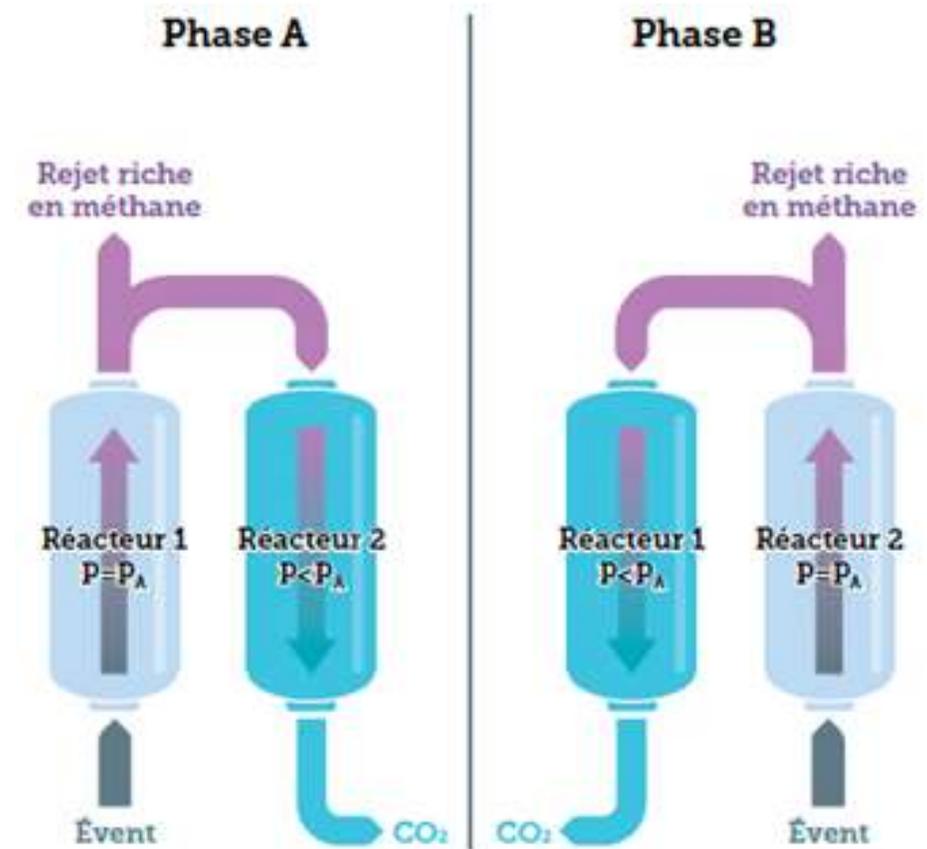
# PSA : Pressure-swing adsorption

- **Purification : adsorption** par inversion de pression.
  - ✓ Adsorption (Phase A) : l'offgas passe dans des colonnes d'adsorption à haute pression
  - ✓ Régénération (Phase B) : le CO<sub>2</sub> capté est libéré par régénération de l'adsorbant en baissant la pression dans les colonnes de régénération. Le rejet riche en méthane peut être récupéré.

- ***La liquéfaction est une étape supplémentaire***

- *Consommation d'énergie électrique élevée*

- ***Pas d'unité connue sur méthaniseur***



## Valoriser le CO<sub>2</sub> du biogaz

- **Peu de technologies et peu de fournisseurs de procédés sur ce marché**
- **Le choix du process doit se faire en fonction de la qualité à atteindre et il est recommandé, si possible d'analyser son gaz de purge avant conception**
- **La cryo-distillation confirme ses performances et sa capacité à produire du CO<sub>2</sub> liquide de haute qualité**
- **Les projets en cours démontrent la capacité pour certains à fournir un CO<sub>2</sub> compétitif, bénéficiant d'un avantage sur le transport dans certaines régions**
- **Les économies d'échelle semblent très importantes, ce qui tend à défavoriser les plus petits méthaniseurs dans un marché où ils peuvent se retrouver en concurrence entre eux.**



### III – Calculette de sensibilisation à la valorisation CO<sub>2</sub> Bastien Praz, GRDF

# Calculatrice de sensibilisation à la valorisation CO<sub>2</sub>

## Calculatrice CO<sub>2</sub>

Les données et résultats de mon projet de valorisation du BioCO<sub>2</sub>

Production de biométhane	
Débit BioCH <sub>4</sub> (Cmax)	150 Nm <sup>3</sup> /h

Données économiques du projet	
CAPEX total	817 979 €
OPEX total	19 513 €
Fonds propres	20 000 €
Subventions	0 €
Prêt	386 899
Taux d'intérêt	2,50%
Durée Amortissement (10 à 15 ans)	10 ans

La calculatrice CO<sub>2</sub> est un outil s'adressant aux porteurs de projets de biométhane s'intéressant à valoriser le CO<sub>2</sub> biogénique issu de la méthanisation (offgaz de l'épuration). A partir de quelques données renseignées par l'utilisateur - débit offgaz, quantité et distance du site de valorisation final identifié notamment, elle permet de simuler rapidement le prix de vente du CO<sub>2</sub> en fonction de la rentabilité souhaitée (et inversement).

**ATTENTION :** cet outil n'est pas un business plan et ne remplace pas un étude de faisabilité détaillée réalisée par un fournisseur et/ou un bureau d'études.

Pour commencer, cliquez sur le bouton ci-dessous

Remplir mes données

Calculatrice CO<sub>2</sub>

Epuration Biogaz | Offgaz | Transport | Données économiques | **BioCO<sub>2</sub> Livré**

### Calcul du prix CO<sub>2</sub> et du TRI

Qualité:

Volume annuel CO<sub>2</sub> vendu [t/an]:

### TRI & prix de vente du CO<sub>2</sub>

Je veux calculer le prix de vente du CO<sub>2</sub> en fonction du TRI

Je veux calculer le TRI du projet pour un prix de vente du CO<sub>2</sub> fixé

TRI:  %

Prix de vente du CO<sub>2</sub>:  €/tonne

Prix de vente du CO <sub>2</sub>	
	€/t
TRI	6%

vendu	1 248 t/an
-------	------------

Donnée renseignée par l'utilisateur
Donnée calculée
Possibilité de personnaliser les données

# Une calculette de sensibilisation / Pas un business plan

*Simuler les ordres de grandeur pour donner une idée :*

- Du **prix de vente cible du CO<sub>2</sub>** en fonction d'un **objectif de rentabilité**  
OU
- De la **rentabilité de l'investissement** en fonction d'un **prix de vente défini du CO<sub>2</sub>**

## ATOUS

- Simulation rapide et facile
- Analyse de sensibilité rapide
- Simule l'intérêt de mutualiser les moyens de transport CO<sub>2</sub> (camion) ou d'utiliser une canalisation

## LIMITES

- Résultats = ordres de grandeur = à prendre avec précaution
- Ne couvre pas les cas particuliers (offgaz de sites injectant en gaz B, unité de CO<sub>2</sub> intégrée dès la conception du site, traçabilité qualité EIGA, etc.)
- Ne se substitue pas à une étude détaillée + un business plan d'un bureau d'étude / fournisseur

## Exemples de scénarii

### Scénario A

- Méthanisation **agricole**
- Cmax : **300 Nm3/h**
- Tx de CH4 dans le biogaz : **60%**
- Débit max offgaz : **200 Nm3/h**
- Volume CO2 valorisable ≈ **3000 t/an**
- Volume CO2 vendu : **90 %** du volume valorisable
- Pureté CO2 : **> 99% (norme E290 EU 231/2012)**
- Transport : **camion (CO<sub>2</sub> liquide) à 20 km**
- Mutualisation transport : **OUI (projet à 1500 t/an)**
- Fonds propres : **50 k€**
- Durée d'amortissement : **10 ans**

**TRI projet cible : 6 %** ⇒ **Prix vente : 93 €/t CO<sub>2</sub>**

*Résultat net annuel : 10 000 €*

### Scénario B

- Méthanisation **agricole**
- Cmax : **150 Nm3/h**
- Tx de CH4 dans le biogaz : **60%**
- Débit max offgaz : **100 Nm3/h**
- Volume CO2 valorisable ≈ **1500 t/an**
- Volume CO2 vendu : **90 %** du volume valorisable
- Pureté CO2 : **> 98% (~~norme E290 EU 231/2012~~)**
- Transport : **canalisation de 5 km**
- Mutualisation transport : **NON**
- Fonds propres : **20 k€**
- Durée d'amortissement : **10 ans**

**TRI projet : 9 %** ⇐ **Prix vente cible : 110 €/t CO<sub>2</sub>**

*Résultat net annuel : 23 000 €*

# Analyse de sensibilité

**Scénario A – Camion CO<sub>2</sub> liq.**

**TRI projet cible : 6%**



Transport : camion (CO<sub>2</sub> liquide) à ~~20 km~~ => **100 km**

**Prix vente : ~~93~~ 95 €/t CO<sub>2</sub>**

Mutualisation transport : ~~OUI (projet 1500 t/an)~~ => **NON**

**Prix vente : ~~93~~ 114 €/t CO<sub>2</sub>**

Volume CO<sub>2</sub> vendu : ~~90%~~ du volume valorisable => **50%**

**Prix vente : ~~93~~ 155 €/t CO<sub>2</sub>**

**Scénario B - Canalisation**

**Prix vente cible : 110 €/t CO<sub>2</sub>**



Durée d'amortissement : ~~10 ans~~ => **13 ans**

**TRI projet : ~~9%~~ 12 %**

Transport : canalisation de ~~5 km~~ => **10 km**

**TRI projet : ~~9%~~ -1 %**

Volume CO<sub>2</sub> vendu : ~~90%~~ du volume valorisable => **50 %**

**TRI projet : ~~9%~~ -2 %**

# Mise à disposition de la calculette (juillet 2021)

- Hébergé sur [projet-methanisation.grdf.fr](http://projet-methanisation.grdf.fr)



## VALORISATION DU CO2 DE MÉTHANISATION

Le biogaz produit par méthanisation contient principalement du méthane (50 à 60%) et du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>, 40 à 45 %). Après épuration pour valoriser le biométhane, le flux rejeté, appelé "évent", contient entre 90 et 99% de CO<sub>2</sub>. Ce CO<sub>2</sub> biogénique, car issu de ressources renouvelables, pourrait être commercialisé, éventuellement après purification supplémentaire et/ou liquéfaction, pour compléter les revenus des installations.

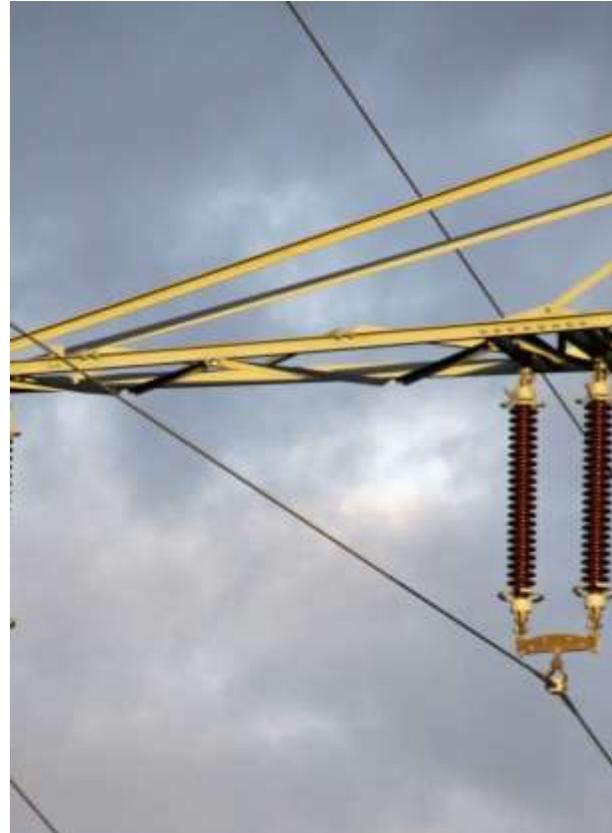
Depuis sa création en 2019, le centre technique national du biogaz et de la méthanisation (CTBM) contribue aux travaux de la filière pour faciliter cette valorisation. Il a piloté un GT en 2019-2020 et participe depuis aux travaux du GT du comité stratégique de filière sur ce thème.

### GUIDE TECHNIQUE DU CTBM

Le groupe de travail du CTBM sur la valorisation du CO<sub>2</sub> s'est réuni en 2019-2020 pour recenser les pistes de valorisation du CO<sub>2</sub> issu de l'épuration du biométhane. Ses membres ont mis en commun leurs connaissances sur les possibilités de commercialisation ainsi que les procédés de purification éventuellement nécessaires.



- [Site du CTBM](http://site-du-ctbm) : page sur la valorisation du CO2 qui renverra vers la page du site [projet-methanisation.grdf.fr](http://projet-methanisation.grdf.fr)



Nouveaux Systèmes  
Énergétiques  
Commissariat à l'Énergie Atomique

# Conclusion

## Sandrine Vaneph, Engie

# Le CO<sub>2</sub> de l'épuration du biogaz : une logistique à optimiser, un marché local à cibler

## Trouver des acheteurs

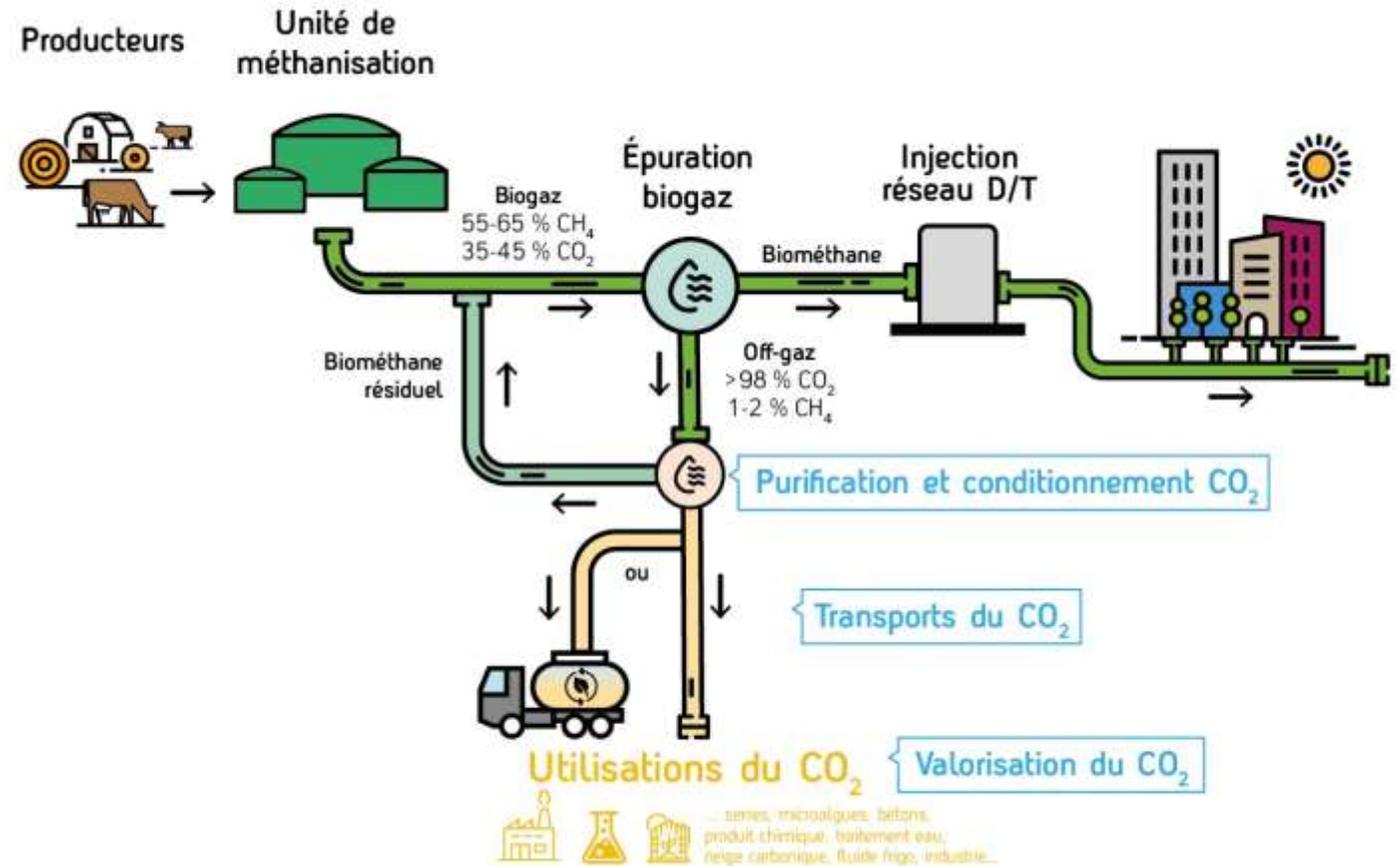
Serristes, frigoristes, minéralisation, traitement de l'eau, extincteurs, nouveaux procédés (maturation du béton, e-fuels, e-plastiques), méthanation, etc. Les usages du CO<sub>2</sub> sont multiples, croissants mais très foisonnés. Une identification des acteurs locaux est primordiales (consommateurs directs ou agrégateurs).

## Optimiser la logistique

Mutualisation des cuves et camions, réalisation d'une canalisation CO<sub>2</sub> pour de courtes distances : en optimisant le coût de transport, il est possible de compenser le surcoût de captation à petite échelle du CO<sub>2</sub> de la méthanisation.

## Connaitre ses atouts

Le CO<sub>2</sub> de la méthanisation, c'est local, fiable face aux pénuries et aux courts, de qualité (REX positif à date pour le niveau norme alimentaire)



## Des livrables à venir bientôt !

1. Guide pour spécifications "Épuration du biogaz"
  2. Guide pour spécifications "Valorisation du CO<sub>2</sub>"
  3. Catalogue des offres épuration biogaz et purification CO<sub>2</sub>
  4. **Calculatrice aide à la décision valorisation CO<sub>2</sub>** : cf. présentation de B. Praz
  5. **Analyses des flux gazeux** dans l'unité pionnière Méthatreil : cf. Présentation J. Bonnin
- => Lettres d'information + surveillez les sites ATEE / GRDF / Biogaz Vallée

Merci pour votre attention !

# ECHANGES

## Intervenants



Alice L'Hostis,  
directrice du CTBM



Bastien Praz, GRDF



Jacky Bonnin,  
Astrade



Sandrine Vanep,  
ENGIE, pilote du  
sous-GT.