

# Valoriser le bioCO<sub>2</sub> de l'épuration du biogaz

Appels à projets GRDF et projets lauréats

Expo Biogaz 2022 – Bordeaux

*Tristan RIGOU*

*Bastien PRAZ*

**GRDF**  
GAZ RÉSEAU  
DISTRIBUTION FRANCE

# Sommaire

---

Démarche R&D  
biométhane GRDF  
et processus des  
AAP

Valorisation du  
bioCO<sub>2</sub> de la  
méthanisation

Résultats des AAP  
GRDF  
« Valorisation  
bioCO<sub>2</sub> »

Présentation de  
projets lauréats

- Engie, Storengy et Méthamoly
- Solarvi - éMa
- Enosis
- W-ays

# Démarche R&D biométhane GRDF

## 5 axes

1. Gagner en compétitivité sur la production du biométhane

2. Accroître la flexibilité du réseau

3. Crédibiliser les nouveaux moyens de production

4. Contribuer à la sécurité des sites d'injection

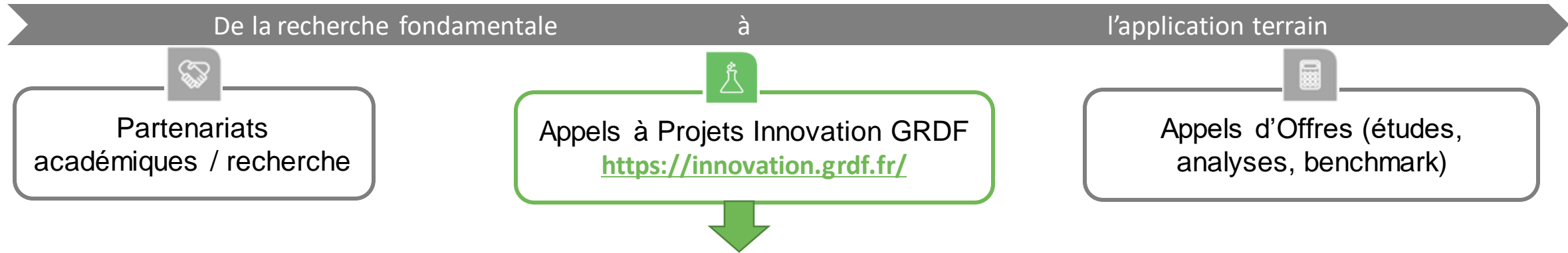
5. Augmenter les bénéfices environnementaux

**Rôle de GRDF** : émulateur / catalyseur pour fédérer les acteurs compétents autour de programmes et projets permettant d'apporter des innovations, du savoir et des bénéfices à la filière méthanisation.

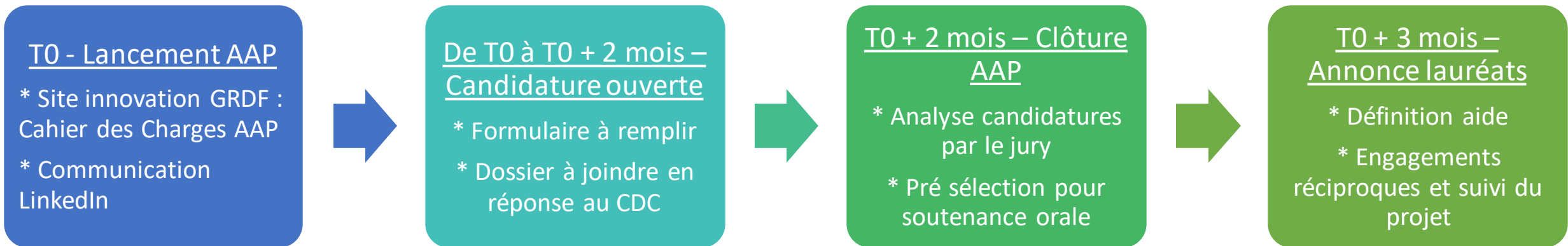
# Démarche R&D biométhane GRDF

## Comment identifier et mobiliser les acteurs ? Les Appels à Projets

Plusieurs façon d'identifier et lancer des projets R&D



Un processus standardisé sur 3 mois



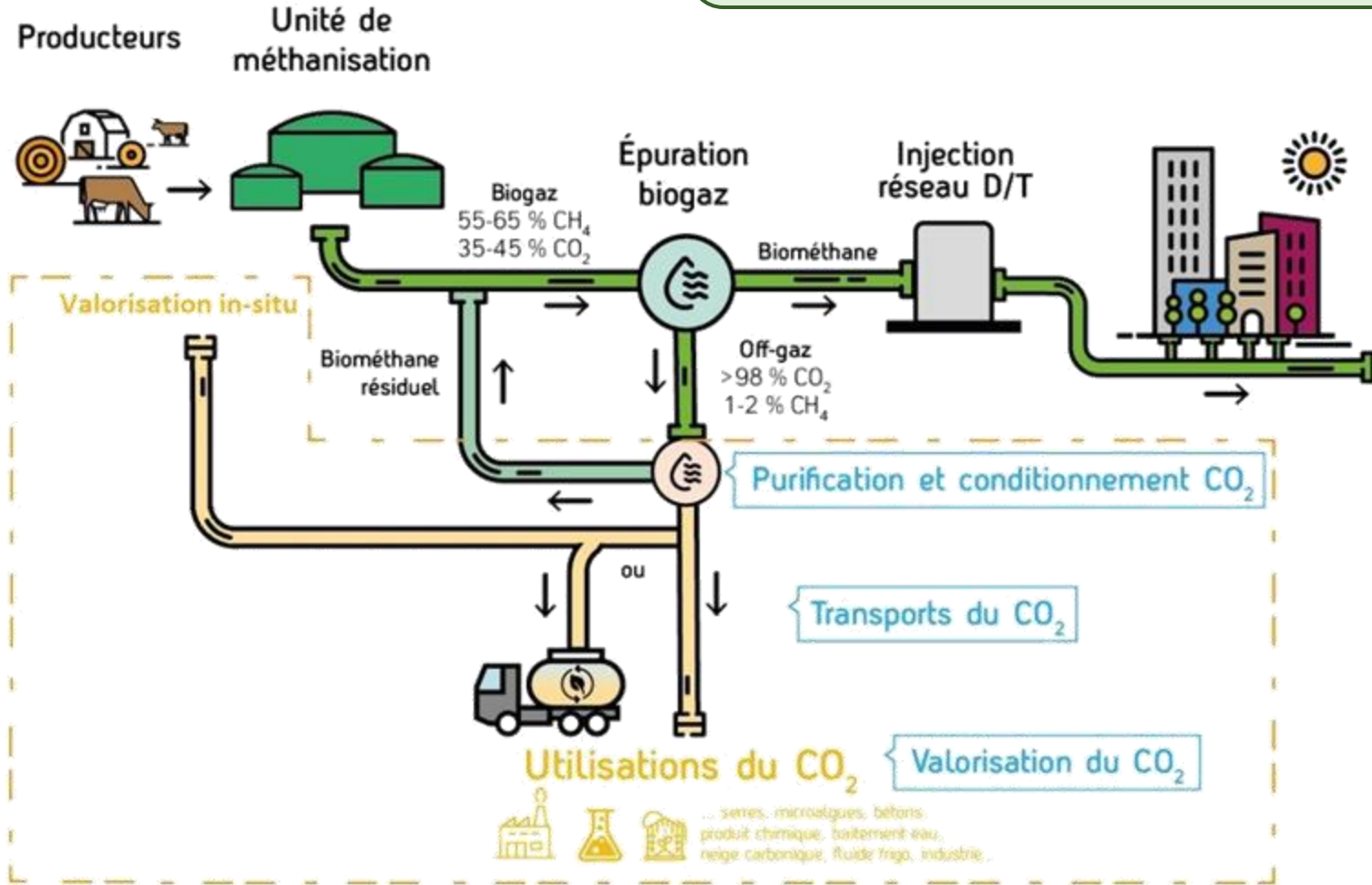
# Valorisation du bioCO<sub>2</sub>

## De quoi parle-t-on ?

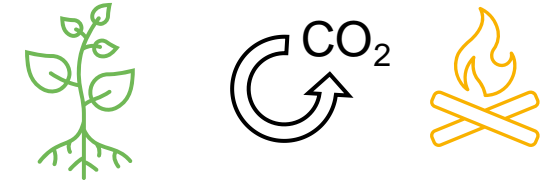


Estimer la capacité d'un site biométhane

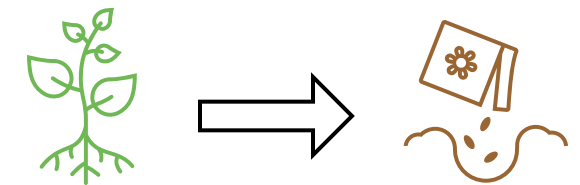
Débit moyen annuel de **1 Nm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/h** ⇔ **10.5 tCO<sub>2</sub>/an**



BioCO<sub>2</sub>  
=  
CO<sub>2</sub> biogénique  
=  
neutre pour le climat



Réduction des émissions de CO<sub>2</sub>



Séquestration de CO<sub>2</sub>

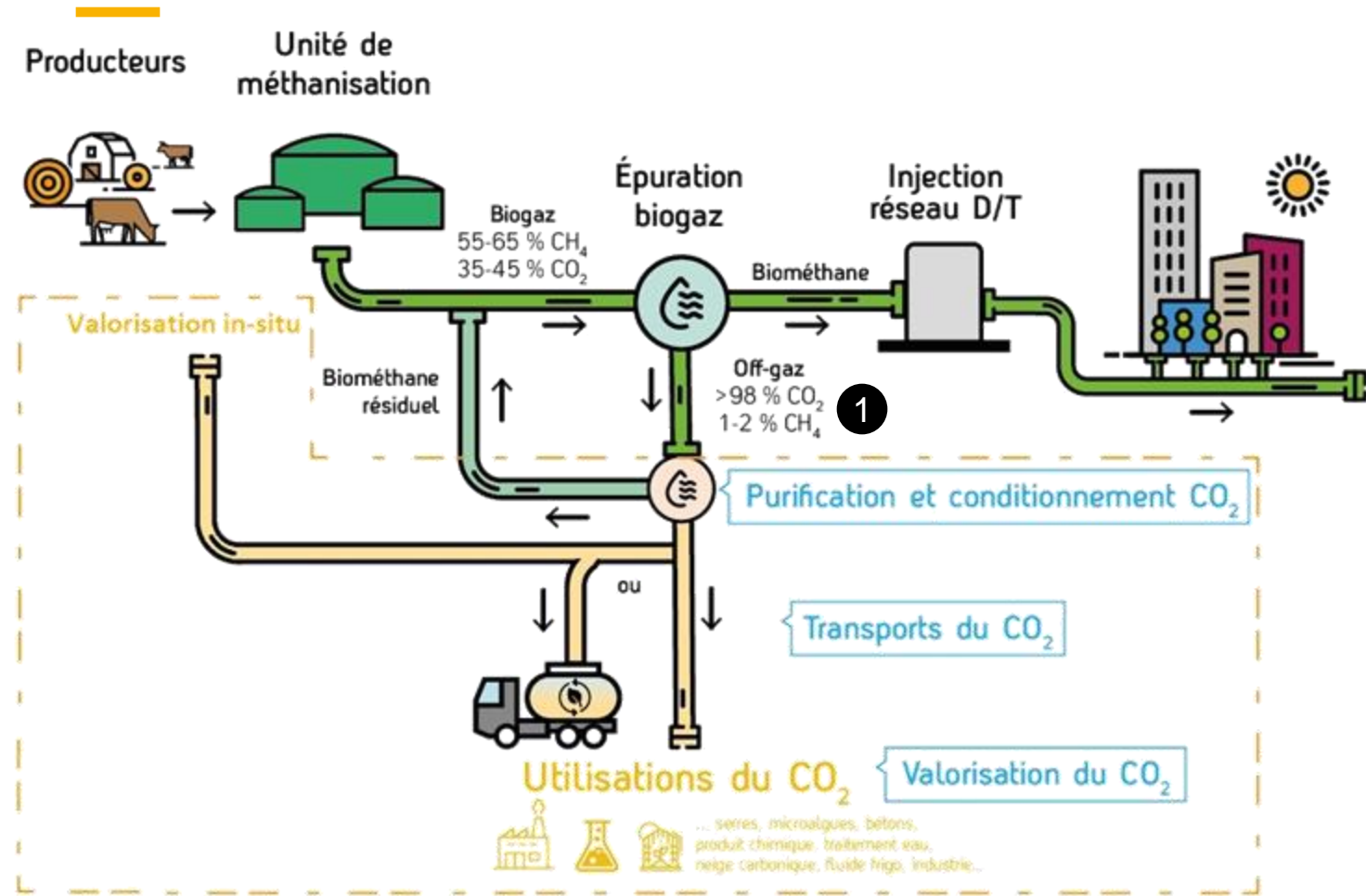
**Périmètre étudié**

# Valorisation du bioCO<sub>2</sub>

Un potentiel important face à un défi de compétitivité... Accessible !

1

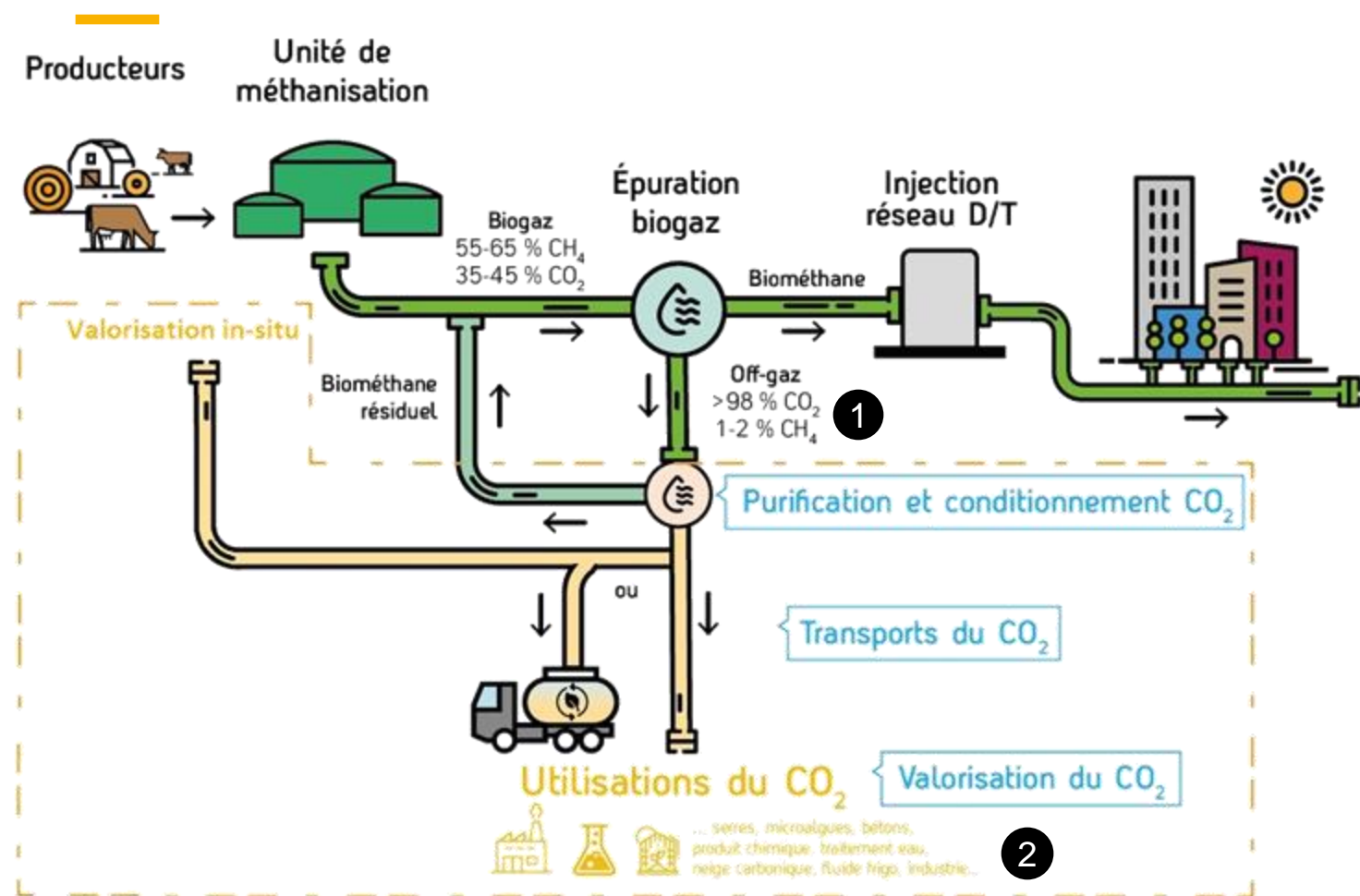
CO<sub>2</sub> quasi pur disponible après l'épuration  
Offgaz des 439 sites ⇔ env. 845 kTco<sub>2</sub>/an (mi 2022)



Périmètre étudié

# Valorisation du bioCO<sub>2</sub>

Un potentiel important face à un défi de compétitivité... Accessible !



2 **Marché spécifique d'env. 500 kT<sub>CO2</sub>/an aux usages variés**

⇒ **Actuels** (industrie, agro-alimentaire, serres, froid)

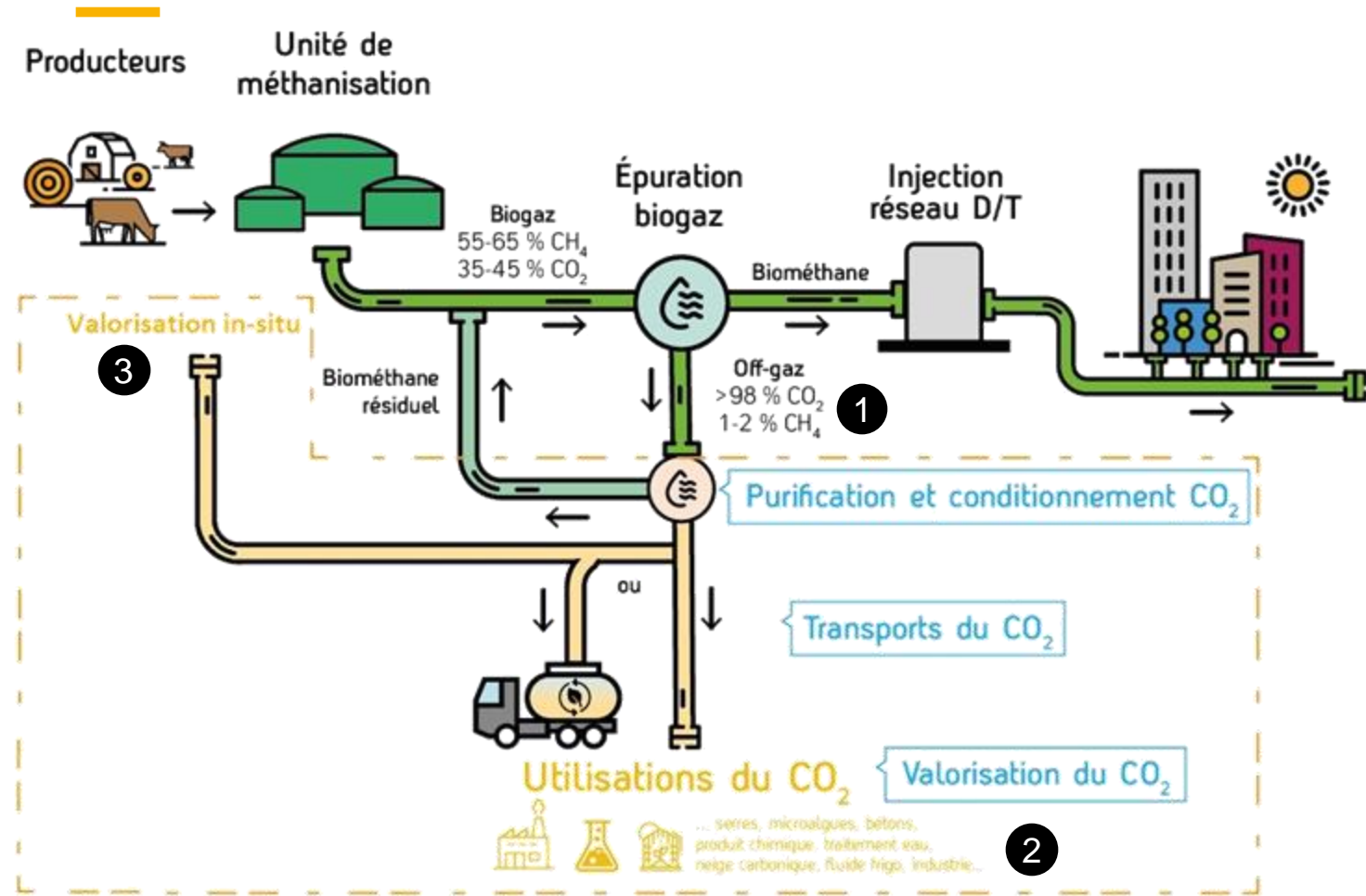
⇒ **Emergents** (béton, e-fuels, microalgues, méthanation)

Marché **volatil** (prix, pénuries)

Périmètre étudié

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

Un potentiel important face à un défi de compétitivité... Accessible !

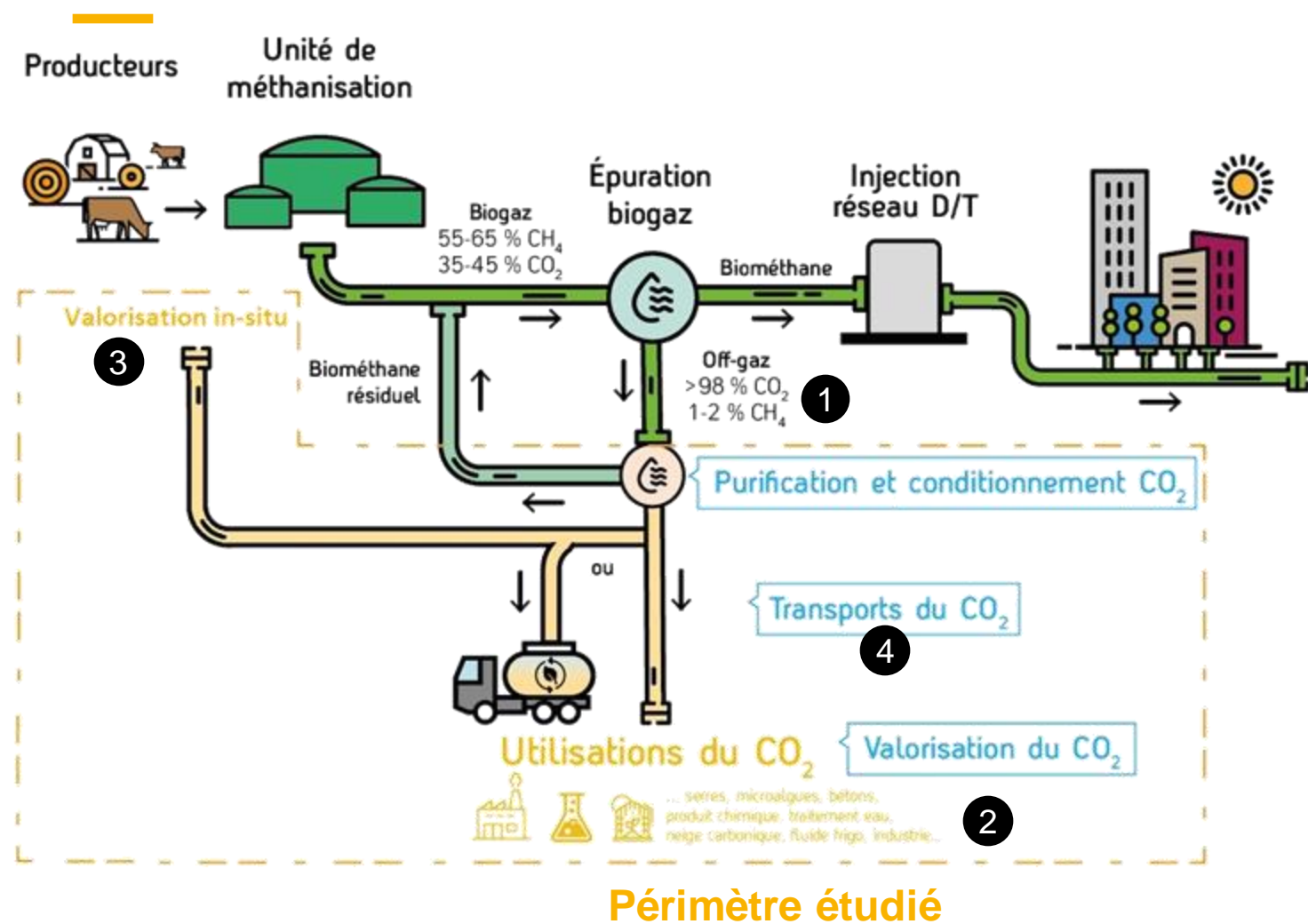


Périmètre étudié

**3** *Opportunité de la valorisation in-situ : CO<sub>2</sub> à prix bas*  
Usages spécifiques : serres, microalgues, chaux, etc.

# Valorisation du bioCO<sub>2</sub>

Un potentiel important face à un défi de compétitivité... Accessible !



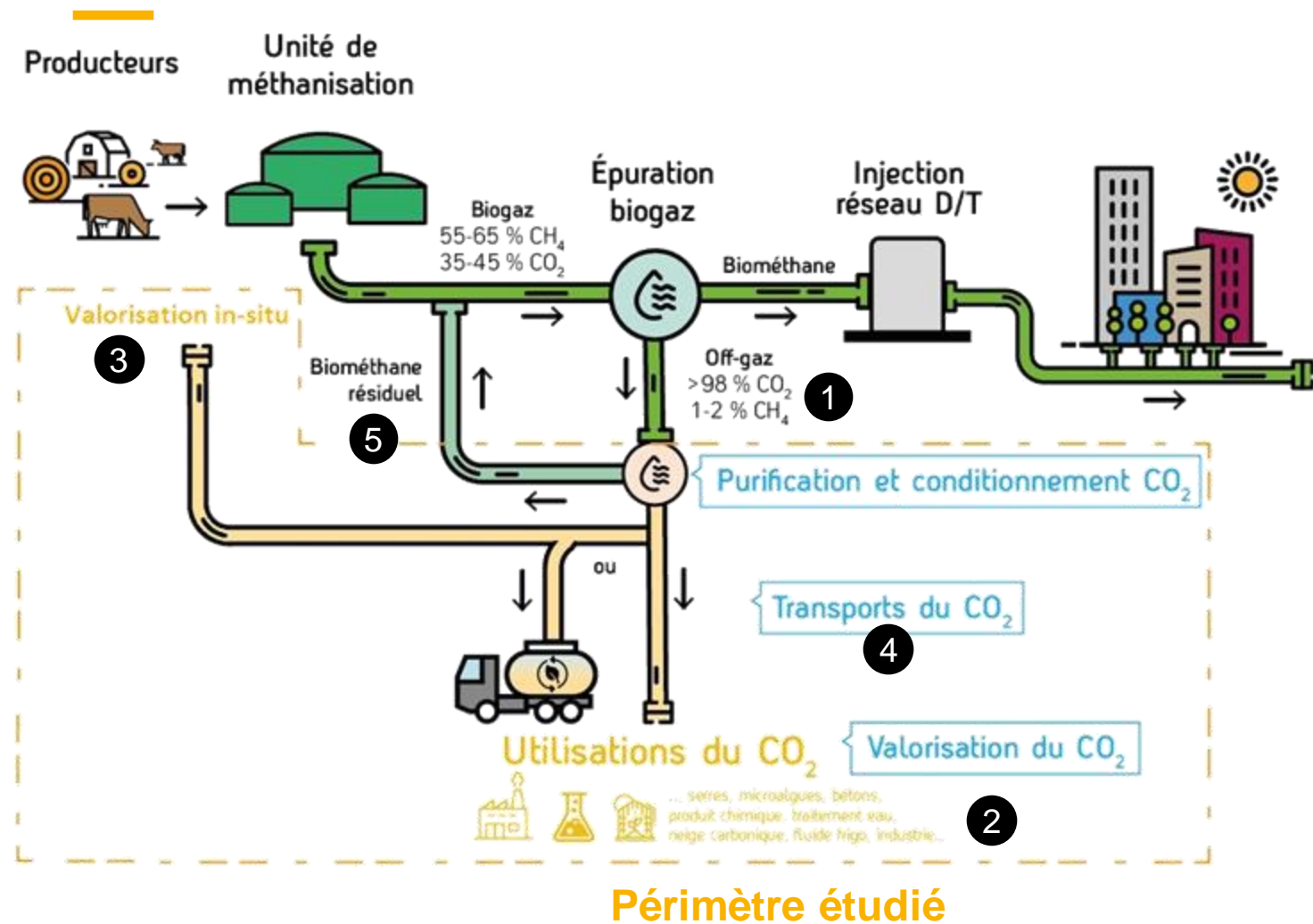
4

## Economie d'échelle

CO<sub>2</sub> métha (1.5 kTco<sub>2</sub>/an) VS CO<sub>2</sub> conventionnel (100 kTco<sub>2</sub>/an, usines engrais – H<sub>2</sub> – bioéthanol) : compétitif si **valorisation locale** et **mutualisation**

# Valorisation du bioCO<sub>2</sub>

Un potentiel important face à un défi de compétitivité... Accessible !



## La méthanisation, puit de carbone ?

Si **stockage long terme** du CO<sub>2</sub> capté (minéralisation), le bilan carbone du biométhane passerait de 23.4 à env. **- 125 gCO<sub>2</sub>eq/kWh<sub>PCI</sub>** !

A 60 €/Tco<sub>2</sub> à l'ETS, c'est un potentiel revenu de **7.5 €/MWh** de biométhane injecté

nb : estimation enveloppe, sous réserve de système de labellisation bas carbone, sans tenir compte du coût de la capture

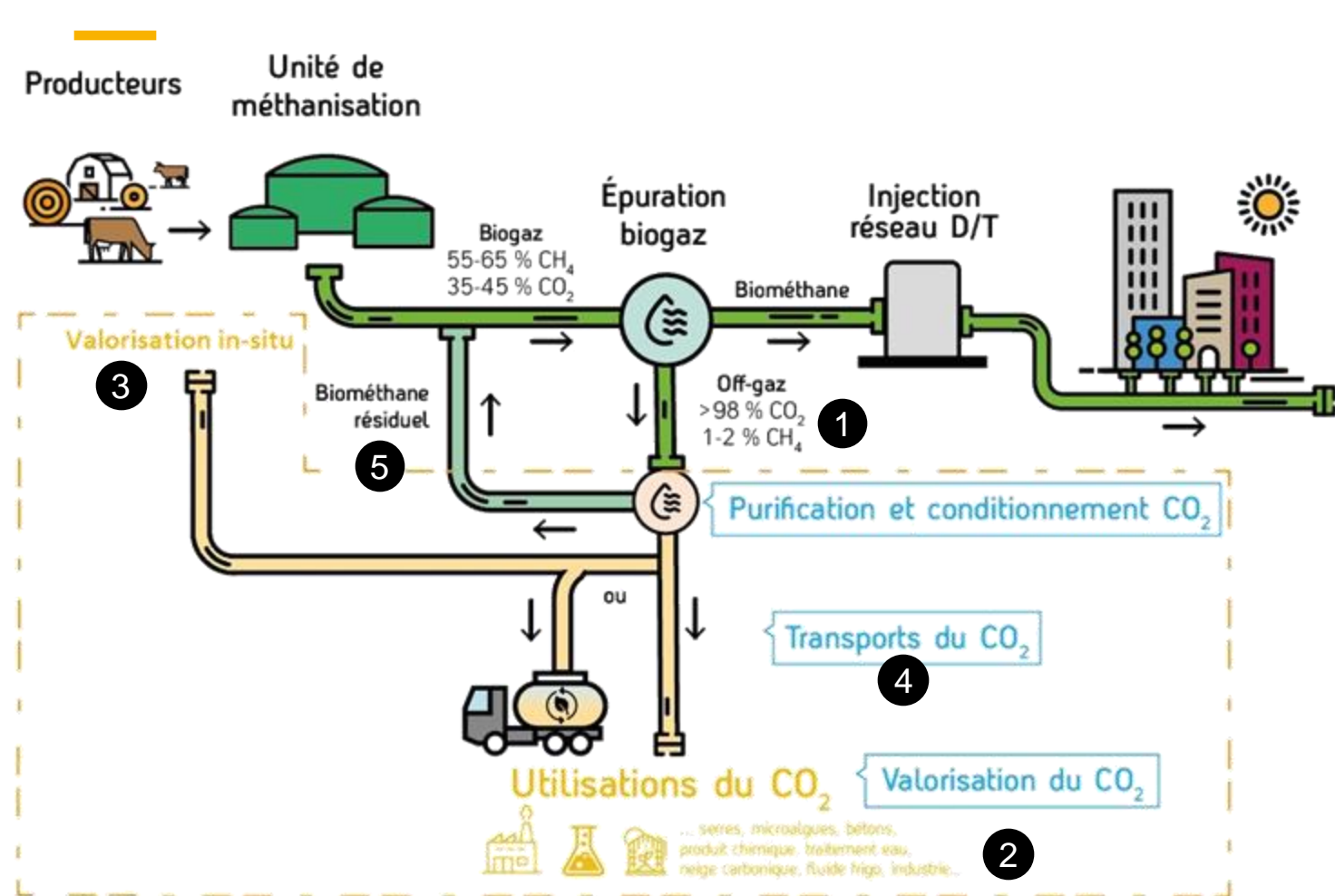


5

**Gains économiques et environnementaux**  
Récupération du **bioCH<sub>4</sub> résiduel**

# Valorisation du bioCO<sub>2</sub>

Un potentiel important face à un défi de compétitivité... Accessible !



Périmètre étudié

1

**CO<sub>2</sub> quasi pur disponible après l'épuration**  
Offgaz des **414 sites** ⇔ env. 840 kTco<sub>2</sub>/an (mi 2022)

2

**Marché spécifique d'env. 500 kTco<sub>2</sub>/an aux usages variés**  
⇒ **Actuels** (industrie, agro-alimentaire, serres, froid)  
⇒ **Emergents** (béton, e-fuels, microalgues, méthanation)  
Marché **volatil** (prix, pénuries)

3

**Opportunité de la valorisation in-situ : CO<sub>2</sub> à prix bas**  
Usages spécifiques : serres, microalgues, chaux, etc.

4

**Economie d'échelle**  
CO<sub>2</sub> métha (1.5 kTco<sub>2</sub>/an) VS CO<sub>2</sub> conventionnel (100 kTco<sub>2</sub>/an, usines engrais – H<sub>2</sub> – bioéthanol) : compétitif si **valorisation locale** et **mutualisation**

5

**Gains économiques et environnementaux**  
Récupération du **bioCH<sub>4</sub> résiduel**

# Les AAP GRDF pour la valorisation du bioCO<sub>2</sub>

## *Bilan général*

---

- **Objectif** : permettre l'essor de plusieurs références démontrant la viabilité de cette filière, tant à l'amont (captation) qu'à l'aval (usages), en passant par la structuration logistique entre les 2
- **Périmètre** : identifier des projets dans différentes régions pour mettre en avant la captation et valorisation **locale** du bioCO<sub>2</sub>
- **Ce qui a été fait en 2021 et 2022 – 6 AAP bioCO<sub>2</sub>** :
  - Auvergne-Rhône-Alpes – *Terminé*
  - Bretagne et Pays de la Loire – *Terminé*
  - Nouvelle Aquitaine et Occitanie – *Terminé*
  - Grand Est et Bourgogne-Franche-Comté – *Terminé*
  - Île-de-France (en partenariat avec le SIGEIF) – *Terminé*
  - Normandie et Hauts-de-France – *Sélection des lauréats en cours*
- **19 lauréats pour les 5 premiers AAP** :
  - Projets de valorisation locale (brasserie, serres, usage froid, microalgues, conversion chimique, méthanation, maturation béton)
  - Etudes de marché, études de coopérative locale (business plan), études comparatives (valo in situ VS ex situ)

# Les AAP GRDF pour la valorisation du bioCO<sub>2</sub>

## Panorama des projets récompensés

### Valorisation **in situ** :

- Injection en serres
- Production de bicarbonate de sodium
- Croissance de micro algues
- Production de carbo-glace

**ACV** du CO<sub>2</sub>  
biogénique

19 projets  
retenus

Analyse technique du traitement du BioCO<sub>2</sub> :

- Pilote ZOE (distillation/liquéfaction)
- Pot catalytique

Etudes de la **logistique** :

- Mutualisation du transport
- Sous traitance partielle/totale du transport
- Transport par canalisation

Valorisation dans l'**IAA** :

- Business plan
- Verrous réglementaires

Etudes de **marchés locaux** :

- Acceptabilité
- Valorisation du caractère biogénique : marque, label

Usages émergents du CO<sub>2</sub>:

- Séchage du bois
- Maturation de béton
- Méthanation

# Présentation de projets lauréats

---

## CARBIOGENIC

Engie, Storengy et  
Méthamoly

Maturation du béton

## SOLARVI

éMa

Electro réduction du  
CO<sub>2</sub>

## Méthanation

ENOSIS

Méthanation  
biologique du biogaz

## Séchage du bois

W-ays

Séchage du bois sous  
atmosphère de CO<sub>2</sub>

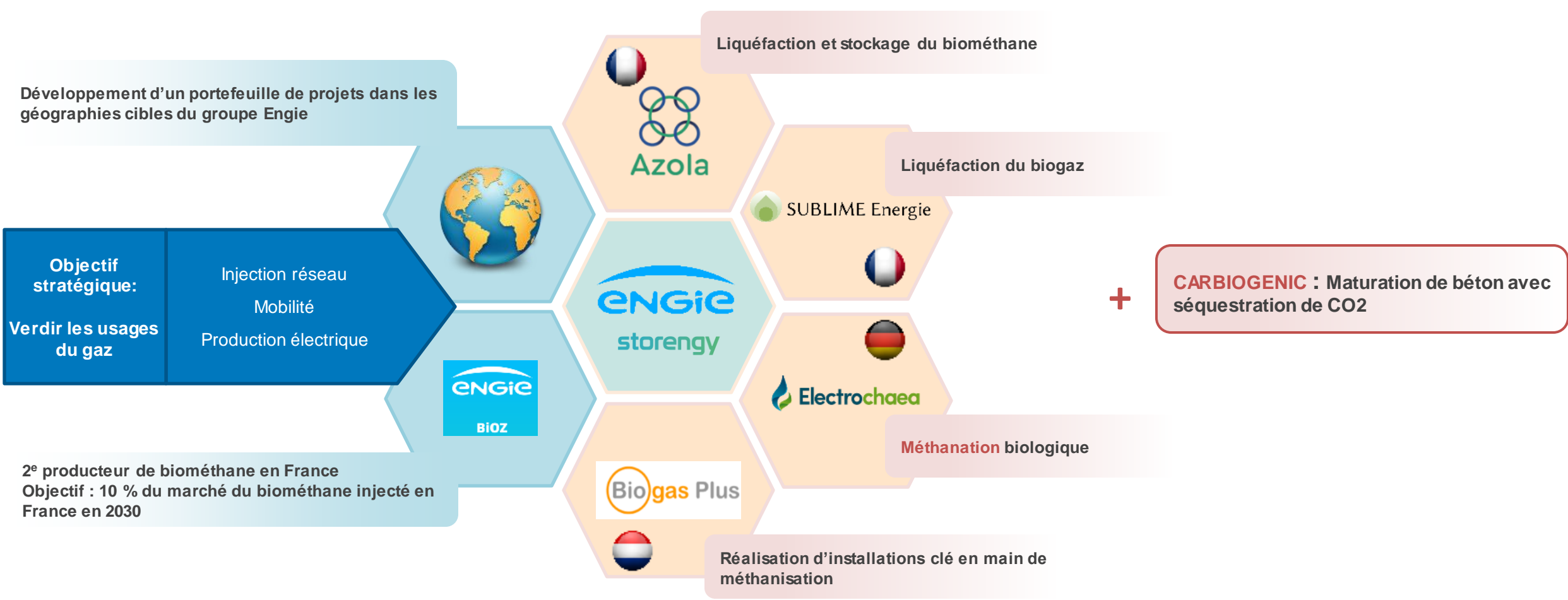
# Projet METHAMOLY Carbiogenic

Projet pilote de valorisation du CO<sub>2</sub> biogénique pour la  
production de béton bas-carbone

Expo Biogaz - 9 juin 2022



# Storengy : un leader de la production de gaz renouvelables



## Carbiogenic - Liquéfaction du CO<sub>2</sub> produit pour une utilisation régionale

Un projet de valorisation du CO<sub>2</sub> co-produit par l'unité de méthanisation pour répondre aux usages industriels et/ou développer des solutions « bas-carbone » pour les acteurs publics et privés.

### Objectifs :

- ✓ Créer une **économie circulaire** en valorisant localement le CO<sub>2</sub> issu de la méthanisation de déchets produits sur le territoire
- ✓ **Réduire** les émissions de CO<sub>2</sub> et compenser les émissions
- ✓ Maximiser la **récupération du CH<sub>4</sub>** contenu dans le biogaz (CH<sub>4</sub> résiduel dans les off-gaz)
- ✓ Développer une **filière innovante**, performante et **répliquable de capture et d'utilisation** du CO<sub>2</sub> biogénique (valorisation sous forme gazeuse ou liquide)



500 usines dans le monde (société  
Carboncure ,  
lauréat du prix  | ELON MUSK

1<sup>ère</sup> expérimentation en France

## CARBIOGENIC : Minéralisation du CO<sub>2</sub> pour la maturation du béton

Réduction de la  
consommation de ciment  
(recyclage des eaux de laitance)

Séquestration de CO<sub>2</sub>  
biogénique

10 à 20 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> de béton

Potentiel de  
consommation de  
**370 kTCO<sub>2</sub>/an**

Bilan carbone : 38,3kg/ m<sup>3</sup>  
(Bilan GES, ADEME)



## Chiffres clés Engie Bioz :

- 120 salariés
- 21 unités de méthanisation en fonctionnement (19 en injection biométhane) et 13 installations en construction



Plus de 425 GWh/an d'énergie produite



Plus de 440 agriculteurs partenaires



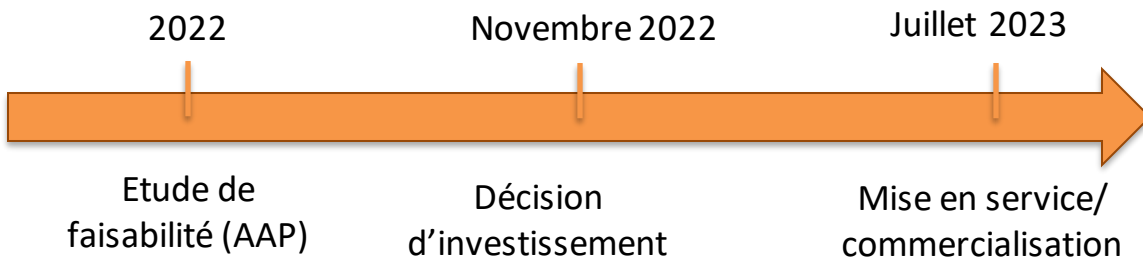
Plus de 200 industriels de l'agro-alimentaire



Plus de 300 000 tonnes de matières valorisées



## Projet Carbiogenic de capture et liquéfaction du CO<sub>2</sub>



## Méthamoly (Saint-Denis-sur-Coise)

- Projet multi-acteurs : 12 éleveurs bovins (majoritaires), ENGIE BioZ, SUEZ Organique...
- Mise en service en mars 2019
- Production de biométhane : **13 GWh/an**
- Potentiel de production de CO<sub>2</sub> : **1500 tCO<sub>2</sub> /an**



# SOLARVI

Lauréat AAP CO<sub>2</sub>  
Occitanie

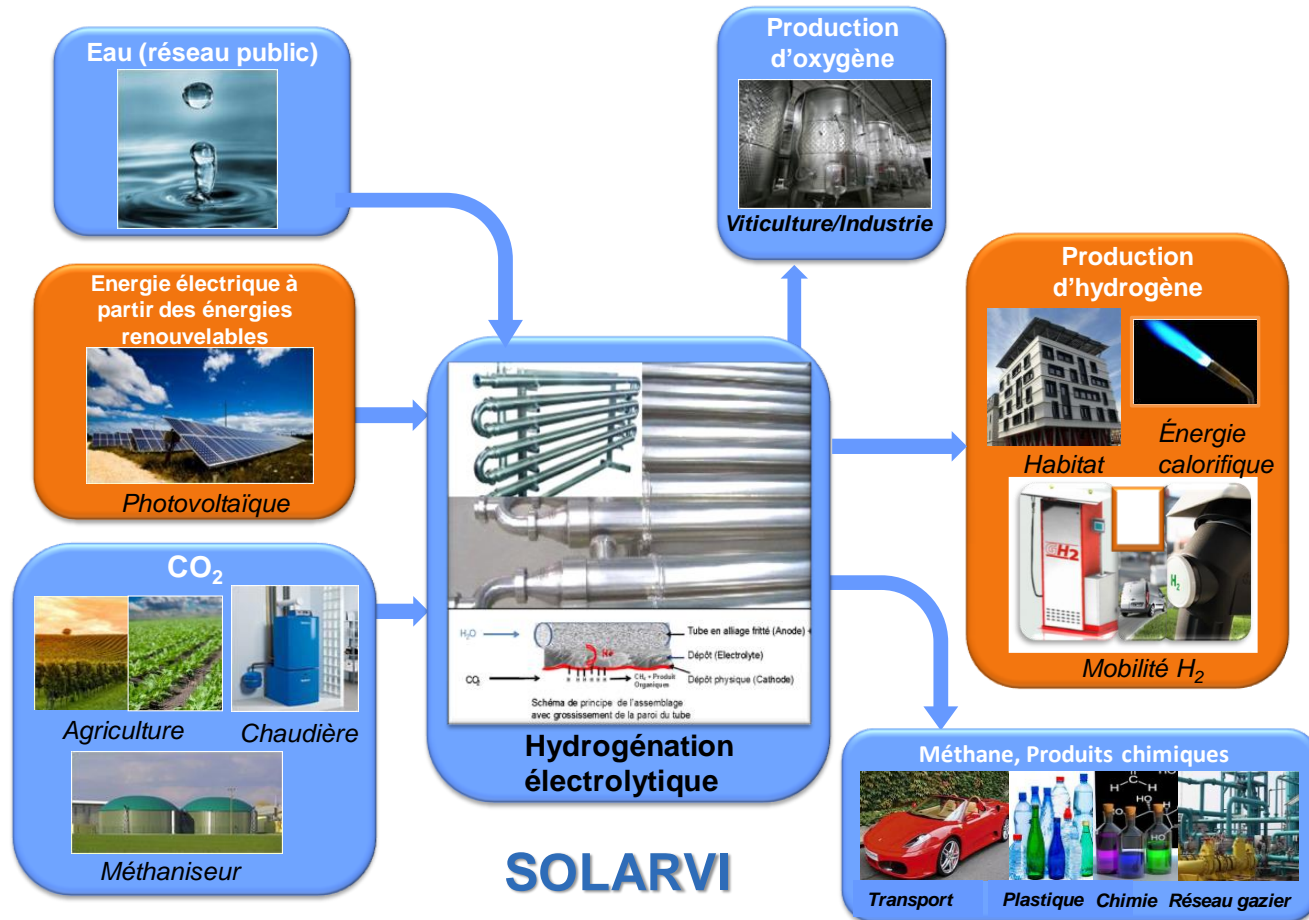


Partenaires:

READYNOV - SOLARVI



# Conception d'un électrolyseur pour la production de méthane et/ou de molécules organiques



## Les objectifs techniques :

- Un **électrolyseur** capable de produire de l'hydrogène et transformer le CO<sub>2</sub> en produits carbonés (**produits chimiques et hydrocarbures**)
- Un système de récupération du CO<sub>2</sub> de la méthanisation
- Un convertisseur DC/DC spécifique pour coupler l'électrolyseur à une installation photovoltaïque.

**Solution modulaire, polyvalente à l'échelle locale**

# Les avantages concurrentiels



- ❖ Le procédé du projet SOLARVI est **plus compétitif que les procédés traditionnels** de catalyse (électrolyseur deux réacteurs de catalyse = Procédé Lurgi) et **plus flexible**
- ❖ Double valorisation : **énergétique et chimique**
- ❖ Température moyenne avec un électrolyte solide => **catalyseurs de métaux non précieux moins onéreux que le platine** (utilisé à basse température) et qui ne s'empoisonnent pas contrairement au Pt avec CO.



- ❖ La température de fonctionnement de 200 à 300°C permet d'obtenir des **composés organiques stables**, contrairement aux procédés anioniques à plus haute température.  
*A ces températures, le CO<sub>2</sub> ne s'adsorbe pas sur le catalyseur et ne bloque pas les réactions.*
- ❖ L'électrolyse du CO<sub>2</sub> se **fait en milieu gazeux** sans problème de solubilisation dans l'eau – le CO<sub>2</sub> comme beaucoup de gaz étant peu soluble.

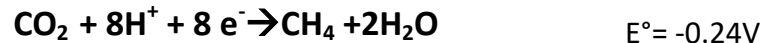
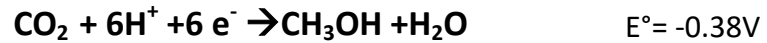
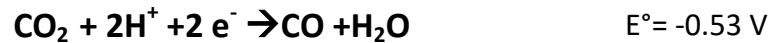
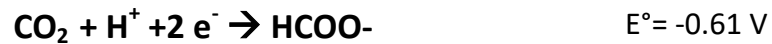
## Electroréduction

du CO<sub>2</sub>

à 200-300°C

### Les avantages de l'électro-catalyse

✓ Pilote la réaction

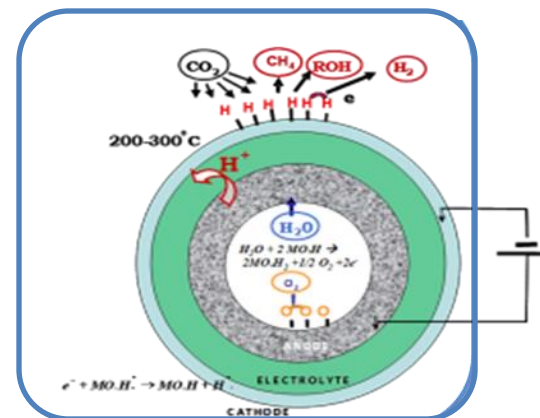
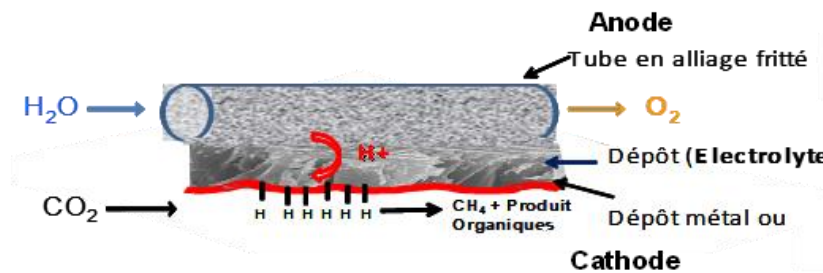


✓ Accélère la cinétique

### Le choix de la température

✓ Accélère la cinétique

✓ Préserve les molécules organiques



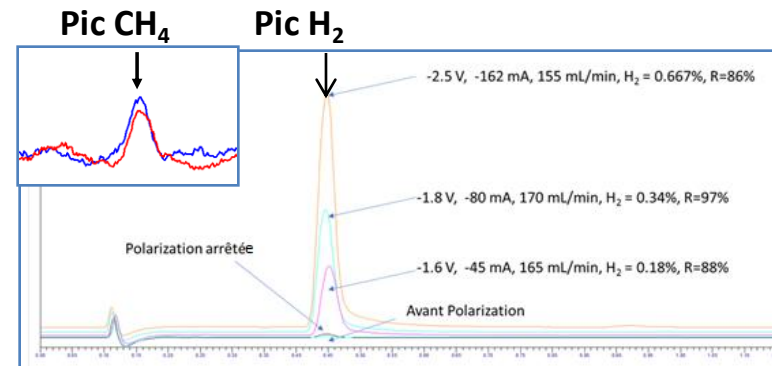
# Les livrables du projet

1 - Réussite **nouvel électrolyte qui n'existe pas sur le marché** (utilisation 200-300°C)-

Assemblage cathode, électrolyte, anode fonctionne

2-Fabrication **H<sub>2</sub> + méthane**

Potentiel /V	Courant /mA	H <sub>2</sub> μmol/min	Rendement faradique /%
1,6	45	12	88
1,8	80	24	97
2,5	162	43	85



3- Appareils nécessaires à la mise en place des pilotes:



Autoclave  
électrochimique  
agité 5L 300°C-100 bars



Potentiostat :  
-2V.-1A, 7ml/min RH<sub>2</sub>: 55.2%  
CO<sub>2</sub>: 8.5% R= 52%



Electrolyseur : Volume 1litre –  
1 tube de 30cm de long (1kW)

Utilisation électrolyse- 250°C- 60 bars

Lauréat AAP CO<sub>2</sub>  
Île-de-France



## Séchage du bois sous atmosphère de CO<sub>2</sub>

# W-ays séchage du bois sous atmosphère de CO<sub>2</sub>

Start up innovante

Lauréat de I-Nov de l'ADEME (2021)

## Contexte :

- Loi RE 2020 : Diminution des émissions carbone de la filière construction
- 20 millions de m<sup>3</sup> de bois d'œuvre récolté par an en France

Séchage de bois en France :

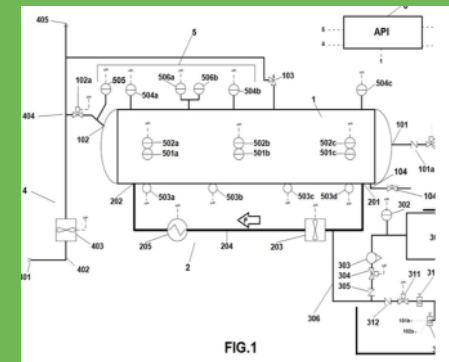
Air libre, bord de route



Séchoir industriel  
(pompe à chaleur, air climatisé, chauffage)



Technologie  
W-ays



# W-ays séchage du bois sous atmosphère de CO<sub>2</sub>

Technologie brevetée : séchage sous atmosphère de CO<sub>2</sub>  
=> chasse et remplace l'eau dans les vides du bois jusqu'à 0% d'humidité

Bénéfices de la technologie :

- Consommation électrique comparable au séchage industriel
- Procédé plus rapide que le séchage à l'air naturel
- Amélioration de la qualité du bois (moins de déformation)
- **Séquestration** de CO<sub>2</sub> : **250 kg/m<sup>3</sup>** => perspective de crédit carbone

Compatibilité avec la méthanisation :

- Valorisation du CO<sub>2</sub> sans épuration
- Procédé décentralisé
- Essais sur le site de Cerneux (77) en partenariat
  - Validation du procédé
  - Etude de l'équilibre technico économique



OPTIMÉTHA



Un cycle de séchage de 72 heures



Qualité du Bois wAys (stabilité & durabilité)



Séchage de tous les types d'essences jusqu'à 0% d'humidité



Capture de CO<sub>2</sub> dans le bois séché de façon durable



Site de Cerneux (77)

# Conclusion et questions / réponses





Pour aller plus loin

# Valorisation du bioCO<sub>2</sub> – Quelques références en Europe

## FRANCE

### Métha Treil à Machecoul (44)

- Agricole autonome
- 125 Nm<sup>3</sup>/h
- Qualité CO<sub>2</sub> : > 99,98 % (qualité alimentaire possible mais les moyens de traçabilité ne sont pas prévus)
- 1300 tCO<sub>2</sub>/an, i.e. 3.5 tCO<sub>2</sub>/jour
- Valorisation : serres à 15 km



- Fournisseur unité CO<sub>2</sub> : 

### Agrogaz Pays de Trie à Fontrailles (65)

- Agricole territorial
- 310 Nm<sup>3</sup>/h
- Qualité CO<sub>2</sub> : > 99,98 % (qualité alimentaire possible mais les moyens de traçabilité ne sont pas prévus)
- 3000 tCO<sub>2</sub>/an, i.e. 8 tCO<sub>2</sub>/jour
- Valorisation : serres à 100 km

- Fournisseur unité CO<sub>2</sub> : 

## EUROPE

### Korskro Biogas Plant Danemark

- Industriel territorial
- 3500 Nm<sup>3</sup>/h
- Qualité CO<sub>2</sub> : alimentaire
- 16 250 tCO<sub>2</sub>/an, i.e. 44 tCO<sub>2</sub>/jour eq. à 25 % de la consommation danoise
- Valorisation : IAA



- Constructeur : 

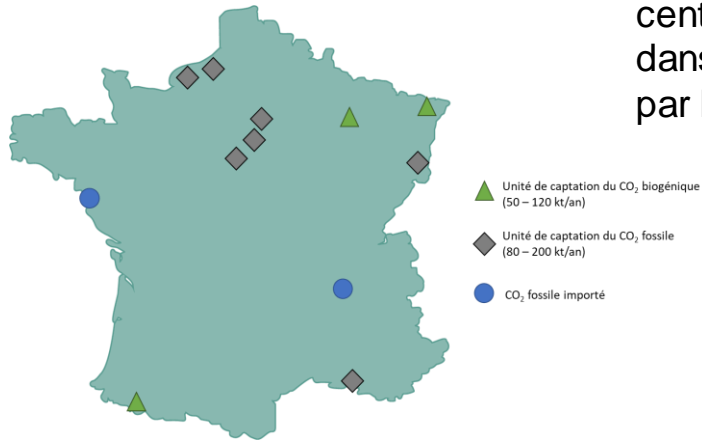
# Résumé (1/3)

## La chaîne actuelle du CO<sub>2</sub>

1

### Sources actuelles de CO<sub>2</sub>

Les principales sources de CO<sub>2</sub> sont les usines de bioéthanol (CO<sub>2</sub> biogénique), d'H<sub>2</sub> et d'engrais (CO<sub>2</sub> fossile).



2

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

Après purification et liquéfaction du CO<sub>2</sub> fatal de ces sources, celui-ci est transporté par camion dans des cuves cryogéniques, sur des distances allant jusqu'à plusieurs centaines de km. Le CO<sub>2</sub> est dépoté dans la cuve du client, souvent louée par le gazier.



3

### Qualité du CO<sub>2</sub>

Le référentiel EIGA<sup>1</sup>, qui fixe un niveau de qualité et de traçabilité pour l'industrie agro-alimentaire, est systématiquement appliqué pour rationaliser les moyens logistiques (cuves). Quoique non justifié pour certains usages, il reste aujourd'hui la norme en l'absence d'autres standards.

4

### Acteurs principaux

Grands fournisseurs de gaz industriels



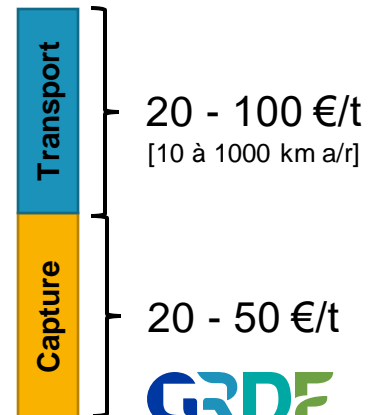
5

### Structure de coût du CO<sub>2</sub> conventionnel

Prix marché : 90-150 €/tCO<sub>2</sub> en moyenne...  
...mais très variable (50 à plus de 400 €/t) selon :

- Distance
- Volume consommé
- Demande > offre

Cette élasticité du prix peut mettre en difficulté certains consommateurs.



1. Référentiel qualité CO<sub>2</sub> EIGA : [www.eiga.eu/publications/eiga-documents/doc-7017-rev1-carbon-dioxide-food-and-beverages-grade-source-qualification-quality-standards-and-verification/](http://www.eiga.eu/publications/eiga-documents/doc-7017-rev1-carbon-dioxide-food-and-beverages-grade-source-qualification-quality-standards-and-verification/)

# Résumé (2/3)

## BioCO<sub>2</sub> de la méthanisation : capture, transport et marchés

Légende :

Valorisation **In-situ** possible  
Part marché France de la conso CO<sub>2</sub> **xx%**

### Opportunités pour le CO<sub>2</sub> de la méthanisation ?

Des pénuries de CO<sub>2</sub> sont observés certains étés, avec des conséquences pour les consommateurs (serristes). Les coûts de transport longue distance du CO<sub>2</sub> conventionnel sont importants et touchent au premier ordre le prix de vente. Disposer d'un CO<sub>2</sub> local, biogénique, produit toute l'année peut répondre à ces limites actuelles.

#### Purifier et transporter le CO<sub>2</sub> de la méthanisation

##### A. Distillation, liquéfaction et transport camion

- Qualité : > 99.9% CO<sub>2</sub>
- Etat CO<sub>2</sub> : env. 20 barg et -20 °C
- Récupération méthane résiduel

##### B. Surpression et transport en canalisation

- Qualité : > 98% CO<sub>2</sub>
- Etat CO<sub>2</sub> : qqes barg, T ambiante
- Avec ou sans séparation préalable du méthane résiduel



Distance de quelques km, sans besoin de haut niveau de pureté

Qualité et traçabilité du référentiel alimentaire EIGA à appliquer

### Valoriser le bioCO<sub>2</sub>

#### Industrie agro-alimentaire (IAA) 70%

- Agro-alimentaire (gazéification boissons, conservation, étourdissement)
- Carboglace alimentaire : surgélation, transport **In-situ**

#### Industrie, agriculture et divers 30%

- Carboglace non alimentaire : décapage, événementiel **In-situ**
- Serres agricoles **In-situ**
- Industrie & divers : soudage, fluide frigorigène, chimie, traitement de l'eau, gaz propulseur, extincteur, etc.

#### Usages émergents du CO<sub>2</sub> En dev.

- Production d'algues **In-situ**
- Matériaux : béton, chaux, plastiques **In-situ**
- E-fuels (méthanol, éthanol)
- Méthanation **In-situ**

nb : une qualité A transportée en canalisation est également possible techniquement

# Résumé (3/3)

## BioCO<sub>2</sub> de la méthanisation : comment réussir à le valoriser ?

1

### Voies de valorisation matures et adaptées

#### In-situ (pas de coût de transport) :

- Serres, cultures d'algues (ex : spiruline) sont aujourd'hui les voies les plus matures
- Carboglace, à partir de volume suffisant de CO<sub>2</sub> disponible

#### Ex-situ :

- Serres et autres usages industriels
- Usages émergents pour la maturation du béton
- Industrie agro-alimentaire - principale consommatrice de CO<sub>2</sub> :
- ⚠️ frilosité des acteurs au regard du risque sanitaire + surcoût induit par le référentiel EIGA (qualité et contrôle des batchs produits) => a minima + 250 k€ de CAPEX (analyseur gaz)

2

### Transporter de manière optimisée

#### Canalisation de CO<sub>2</sub> (PE) avec surpresseur :

- Distances courtes (qqes km), directement vers un consommateur (ex : serres), sans traitement préalable
- ⓘ Opportunité de poser le réseau dans la même tranchée que le raccordement biométhane
- ⚠️ CH<sub>4</sub> résiduel non retiré (risque ATEX à évaluer)
- ⚠️ Non compatible IAA

#### Camion cuve (liquéfaction préalable) => coût nécessairement faible pour compenser le coût de captation petite échelle (500 à 2000 tCO<sub>2</sub>/an) :

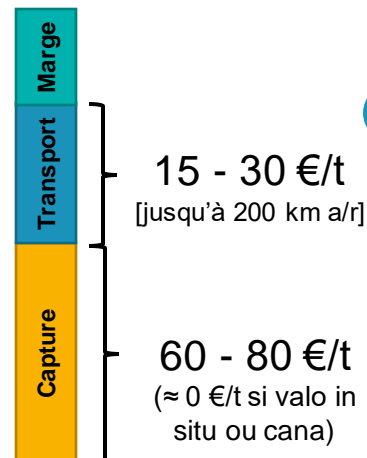
- Valorisation locale (moins d'1 jour de transport a/r)
- Investissement ou sous-traitance
- Un coût de 15 à 30 €/t CO<sub>2</sub>
- ⓘ Modèle de coopérative pour la collecte / revente du CO<sub>2</sub> afin de mutualiser les moyens

3

### Les atouts du CO<sub>2</sub> biogénique

Pour compenser l'aspect non EIGA du CO<sub>2</sub>, les atouts gagnants-gagnants entre producteurs et consommateurs sont à mettre en avant :

- Contrat long terme à prix fixe
- Economie locale
- CO<sub>2</sub> biogénique



ⓘ

Un coût de revient autour de 100 €/tCO<sub>2</sub> atteignable sous réserve :

- d'un volume suffisant (amortissement),
- d'un transport optimisé,
- ou d'une valorisation in situ.

Les technologies de capture CO<sub>2</sub> sont matures. Des optimisations sont cependant possibles, en intégrant notamment la capture du CO<sub>2</sub> à l'unité d'épuration biogaz dès la conception, pour un process global moins coûteux