



# Méthanation et production de méthane de synthèse

*Perspectives de la filière et conseils aux acteurs*

8 juin 2021



Avec



&



# L'Association Technique Energie Environnement

- **Association indépendante**
- **Créée en 1978**
- **Plus de 2200 adhérents**
- **12 délégations régionales**

- Favoriser la maîtrise de l'énergie dans les entreprises et les collectivités.
- Aider les utilisateurs d'énergie à mieux connaître les actions possibles pour économiser et bien gérer l'énergie.
- Concourir à l'objectif national de lutte pour la réduction des gaz à effet de serre, tout en préservant les équilibres technico-économiques des filières.

➔ **L'ATEE est force de proposition autour de 7 thèmes pour faire progresser la maîtrise de l'énergie dans le respect de l'environnement**

## **Club Cogénération**

- Plateforme d'échanges CogeNext, Groupes de travail, veilles technologique, tarifaire, économique, réglementaire et fiscale, consultation publique.

## **Département Efficacité énergétique**

- carrefour d'échanges sur les bonnes pratiques et les retours d'expériences Communauté des Référents énergie
- Programmes : PROSMEn et PROREFEI, ICCEE, ENSMOV, EPATEE

## **Club C2E**

### **Certificats d'économies d'énergie**

- Groupes de travail sectoriels et Procédures;
- Rédaction des FOS, fiches techniques et explicatives
- Questions/réponses, FAQ, Mémento...

## **Club Biogaz**

- Tarifs de rachat de l'électricité produite, agriculture et biogaz, canalisations dédiées, réinjection dans le réseau de gaz naturel, réglementation des installations classées, ...

## **Club Pyrogazéification**

- 3 groupes de travail : Technologies, Economie, Réglementation

## **Club Power to gas**

- 3 Groupes de Travail : Projets, Scénarios, Réglementation

## **Club Stockage d'énergies**

- Veilles technique, technologique, économique, réglementaire, fiscale
- Groupes de travail spécialisés ; Réalisation d'études et enquêtes,...

L'ATEE édite un bimensuel d'actualités de l'énergie de 32 pages (20nos/an) : **ENERGIE PLUS**



# Accueil



**David LE NOC**

**Délégué Général**

E-mail: [d.lenoc@atee.fr](mailto:d.lenoc@atee.fr)

Pour suivre notre actualité :

<https://atee.fr/energies-renouvelables/club-power-to-gas>

Et sur Twitter: @Clubpowertogas



**Bénédicte COUFFIGNAL**

**Directrice**

E-mail: [benedicte.couffignal@record-net.org](mailto:benedicte.couffignal@record-net.org)

Pour suivre notre actualité :

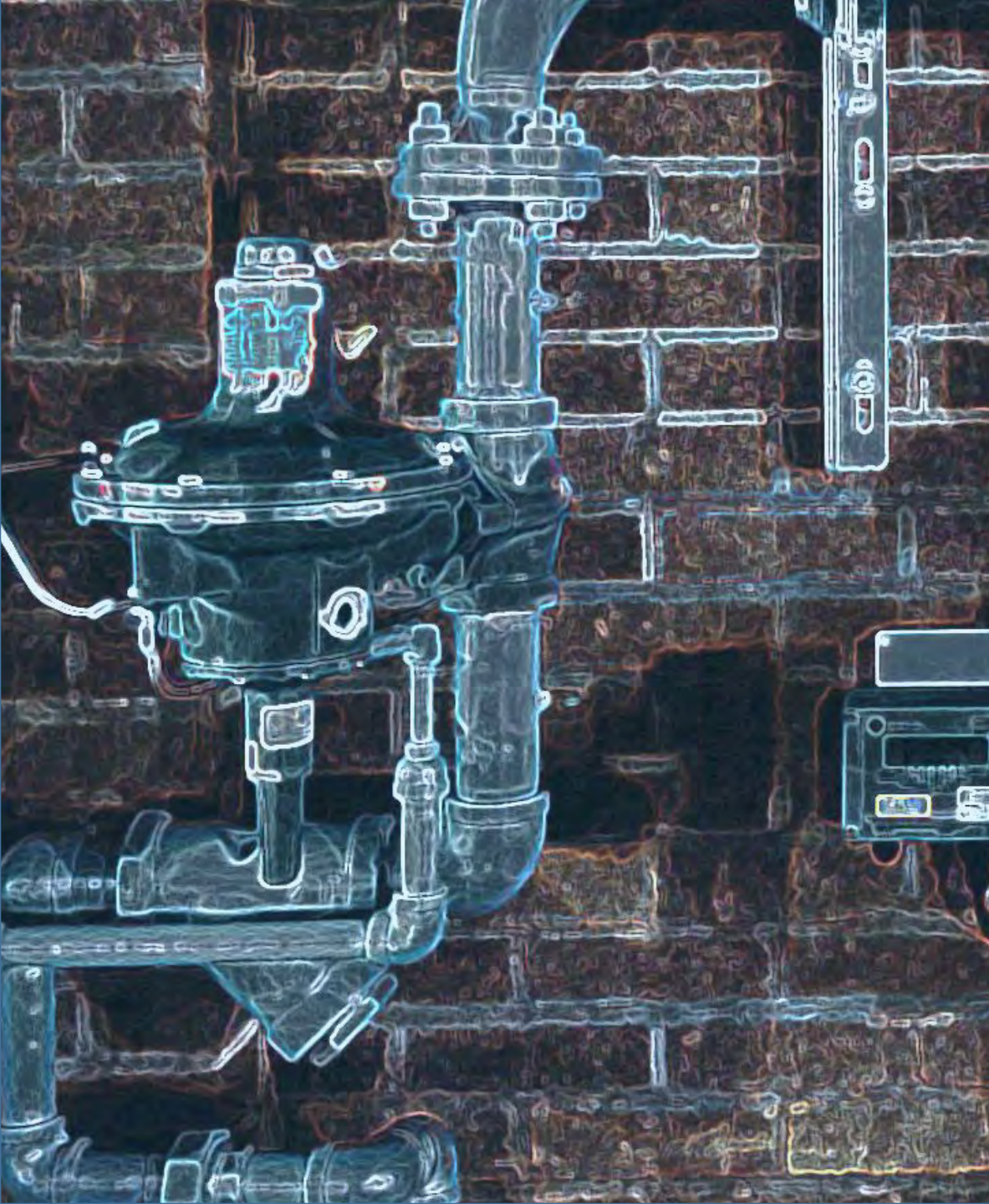
<https://www.linkedin.com/company/record>

[www.record-net.org](http://www.record-net.org)

## Webinaire

# Méthanation et production de méthane de synthèse

## Conseils aux acteurs et perspectives



# Introduction & Sommaire

---

- Introduction : un Webinaire RECORD, ATEE, GRDF, VOLTIGITAL
  - 1. Concepts généraux
  - 2. Quelques installations de références
  - 3. Acteurs
  - 4. Enjeux
  - 5. Cas d'usage
    - Retour sur l'AAP GRDF
  - 6. Perspectives
- 
- Questions / Compléments techniques / plus d'information



Si vous avez tous votre café, on peut démarrer!

---



Source : Electrochaea

Photo by Victor Garcia on Unsplash



# Concepts généraux

# La méthanation en pratique, de quoi parle-t-on ?

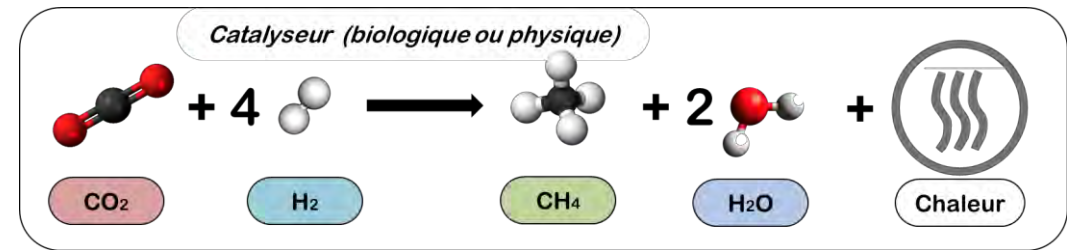
- Biocat (2016), Démonstrateur de 1MWe installé, DK
  - Réacteur biologique (Electrochaea), 50 Nm<sup>3</sup>/h, Biogaz en entrée
- Jupiter 1000 (en cours), Démonstrateur 1MWe, France (Fos sur Mer)
  - Réacteur catalytique milistructuré (Khimod), 25Nm<sup>3</sup>/h, CO<sub>2</sub> industriel
- Mais aussi (et surtout du point de vue quantitatif)
  - Exemple : Huineng (2014) , Usine commerciale, (coal to SNG) (Chine)
    - Procédé TREMP (catalytique) (Haldor Topsoe), 50 000 Nm<sup>3</sup>/h



Sources : Biocat (Electrocheae), [GRTgaz](#), [Haldor Tospoe](#)



# La méthanation : Concepts généraux



« La réaction de méthanation produit du méthane »

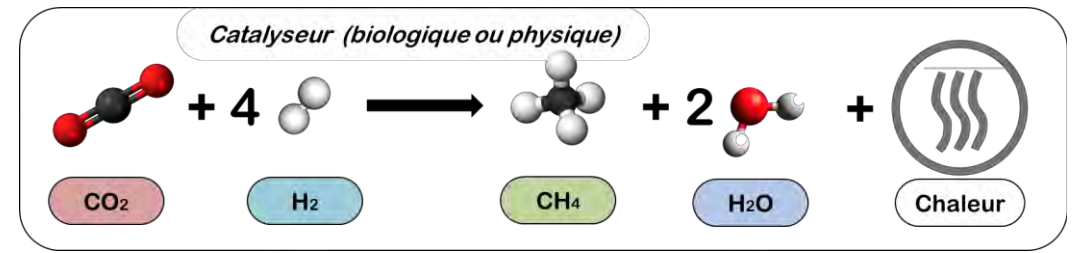
- Une voie « principale » : power-to-methane
  - Consomme du CO<sub>2</sub> ( ~ « polluant » )
  - Consomme du H<sub>2</sub> (vert ! , cher?)
  - Produit du CH<sub>4</sub> (un vecteur énergétique pratique, mais à faible coût)
  - Utilise un catalyseur biologique ou physico-chimique
  
- D'autres voies pour produire du méthane existent cependant
  - Dont CO + H<sub>2</sub>O, CO + H<sub>2</sub> (syngaz de charbon, de biomasse...)
  - La dégradation de l'acétate (digestion)
  - L'électrométhanogénèse (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, elec => CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O) etc.....

Réactions principales	
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	→ CH <sub>4</sub> + CO <sub>2</sub>
4H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub>	→ CH <sub>4</sub> + 2 H <sub>2</sub> O
Réactions secondaires (avec H <sub>2</sub> )	
CH <sub>3</sub> OH + H <sub>2</sub>	→ CH <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> O
HCOO <sup>-</sup> + 3 H <sub>2</sub> + H <sup>+</sup>	→ CH <sub>4</sub> + 2 H <sub>2</sub> O
Réactions secondaires (sans ajout de H <sub>2</sub> )	
4 HCOO <sup>-</sup> + 2 H <sup>+</sup>	→ CH <sub>4</sub> + CO <sub>2</sub> + 2 HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
4 CO + 2 H <sub>2</sub> O	→ CH <sub>4</sub> + 3 CO <sub>2</sub>
4 HCOOH	→ CH <sub>4</sub> + 3 CO <sub>2</sub> + 2 H <sub>2</sub> O
4 CO + 5 H <sub>2</sub> O	→ CH <sub>4</sub> + 3 H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
4 CH <sub>3</sub> OH	→ 3 CH <sub>4</sub> + CO <sub>2</sub> + 2 H <sub>2</sub> O
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup> + H <sub>2</sub> O	→ CH <sub>4</sub> + HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Réactions en base Azote	
4 CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O + 4 H <sup>+</sup>	→ 3 CH <sub>4</sub> + CO <sub>2</sub> + 4 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
2(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> NH + 2H <sub>2</sub> O + 2H <sup>+</sup>	→ 3 CH <sub>4</sub> + CO <sub>2</sub> + 2 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
4(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N + 6 H <sub>2</sub> O + 4 H <sup>+</sup>	→ 9 CH <sub>4</sub> + 3 CO <sub>2</sub> + 4 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
2 CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> -N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O	→ 3 CH <sub>4</sub> + CO <sub>2</sub> + 2 CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> NH <sub>2</sub>
Réactions en base Soufre	
2(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S + 2 H <sub>2</sub> O	→ 3 CH <sub>4</sub> + CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> S

Figure 43 – Réactions biologiques associées à la production de CH<sub>4</sub>, d'après (Moletta, 2017 et Zabranska et al., 2017)

Source : VOLTIGITAL, IMT-Atlantique, ENERKA pour RECORD (2020)

# La méthanation : Concepts généraux



« La réaction de méthanation produit du méthane »

- Une voie « principale » : **power-to-methane** Focus de cette présentation
  - Consomme du CO<sub>2</sub> ( ~ « polluant » )
  - Consomme du H<sub>2</sub> (vert ! , cher?)
  - Produit du CH<sub>4</sub> (un vecteur énergétique pratique, mais à faible coût)
  - Utilise un catalyseur biologique ou physico-chimique

- D'autres voies pour produire du méthane existent cependant
  - Dont CO + H<sub>2</sub>O, CO + H<sub>2</sub> (syngaz de charbon, de biomasse...)
  - La dégradation de l'acétate (digestion)
  - L'électrométhanogénèse (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, elec => CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O) etc.....

Réactions principales	
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	→ CH <sub>4</sub> + CO <sub>2</sub>
4H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub>	→ CH <sub>4</sub> + 2 H <sub>2</sub> O
Réactions secondaires (avec H <sub>2</sub> )	
CH <sub>3</sub> OH + H <sub>2</sub>	→ CH <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> O
HCOO <sup>-</sup> + 3 H <sub>2</sub> + H <sup>+</sup>	→ CH <sub>4</sub> + 2 H <sub>2</sub> O
Réactions secondaires (sans ajout de H <sub>2</sub> )	
4 HCOO <sup>-</sup> + 2 H <sup>+</sup>	→ CH <sub>4</sub> + CO <sub>2</sub> + 2 HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
4 CO + 2 H <sub>2</sub> O	→ CH <sub>4</sub> + 3 CO <sub>2</sub>
4 HCOOH	→ CH <sub>4</sub> + 3 CO <sub>2</sub> + 2 H <sub>2</sub> O
4 CO + 5 H <sub>2</sub> O	→ CH <sub>4</sub> + 3 H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
4 CH <sub>3</sub> OH	→ 3 CH <sub>4</sub> + CO <sub>2</sub> + 2 H <sub>2</sub> O
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup> + H <sub>2</sub> O	→ CH <sub>4</sub> + HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Réactions en base Azote	
4 CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O + 4 H <sup>+</sup>	→ 3 CH <sub>4</sub> + CO <sub>2</sub> + 4 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
2(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> NH + 2H <sub>2</sub> O + 2H <sup>+</sup>	→ 3 CH <sub>4</sub> + CO <sub>2</sub> + 2 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
4(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N + 6 H <sub>2</sub> O + 4 H <sup>+</sup>	→ 9 CH <sub>4</sub> + 3 CO <sub>2</sub> + 4 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
2 CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> -N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O	→ 3 CH <sub>4</sub> + CO <sub>2</sub> + 2 CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> NH <sub>2</sub>
Réactions en base Soufre	
2(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S + 2 H <sub>2</sub> O	→ 3 CH <sub>4</sub> + CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> S

Figure 43 – Réactions biologiques associées à la production de CH<sub>4</sub>, d'après (Moletta, 2017 et Zabranska et al., 2017)

Source : VOLTIGITAL, IMT-Atlantique, ENERKA pour RECORD (2020)



Photo by Crystal Kwok on Unsplash

# Quelques installations de références

## Revue de références / Audi – Allemagne (Werlte) (2013)

- Client : Audi
- Fonctionnement saisonnier (h/an)
- Réacteur catalytique par MAN - ES
  - Refroidi aux sels fondus
- Balance of Plant par Etogas (acquis par Hitachi Sozen)
  - Nota: en 2021, les 2 acteurs sont potentiellement concurrents sur l'ensemble power-to-gas

### 2. MAN Power to Gas

Customer reference in Werlte



Power to Gas plant

Biogas plant



Electrolyzer



Methanation Reactor

**Key facts:**

- 6,3MW power input for alkaline Electrolysis
- SNG used as e-fuel for Audi customers
- Methanation reactor by MDT
- Commercial operation since December 2013

MAN Diesel & Turbo

M. Grünwald, Business Units Power Plants

Clean Air Tech Day 2018: Power to Gas for Augsburg

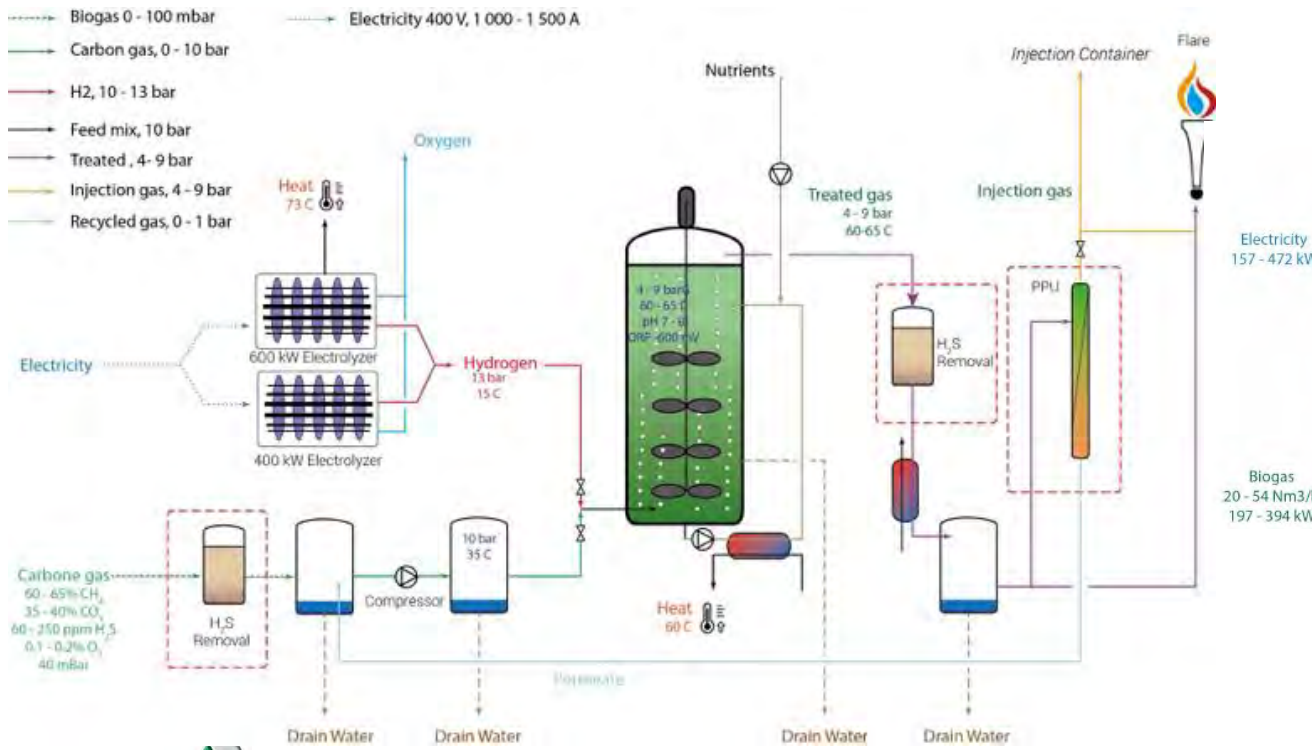
05.06.2018

6

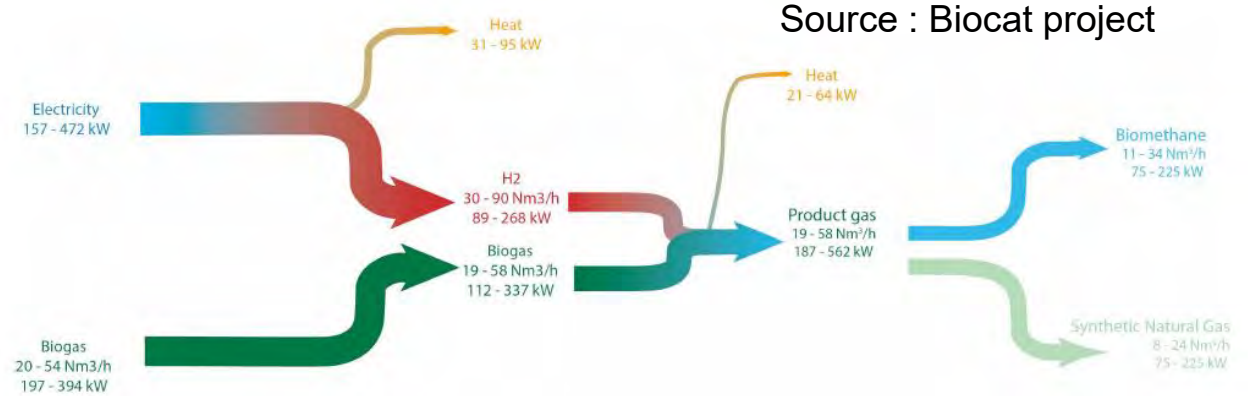
Source : [MAN](#) ES, AUDI

# Revue de références / Biocat - Danemark (2016)

- Démonstrateur de 1MWe installé, DK
- Application : STEU (démonstrateur)
- Réacteur biologique (Electrochaeta)
- Biogaz en entrée



Source : Biocat project



**« Recette » :**  
 1MWe ~ 200 Nm<sup>3</sup>/h de H<sub>2</sub>  
 4 Nm<sup>3</sup>/h de H<sub>2</sub> pour 1 Nm<sup>3</sup>/h de CO<sub>2</sub>  
 1 Nm<sup>3</sup>/h CO<sub>2</sub> -> ~ 1 Nm<sup>3</sup>/h de CH<sub>4</sub> synthétique

## Revue de références / FalkenHagen Store&Go (2020)

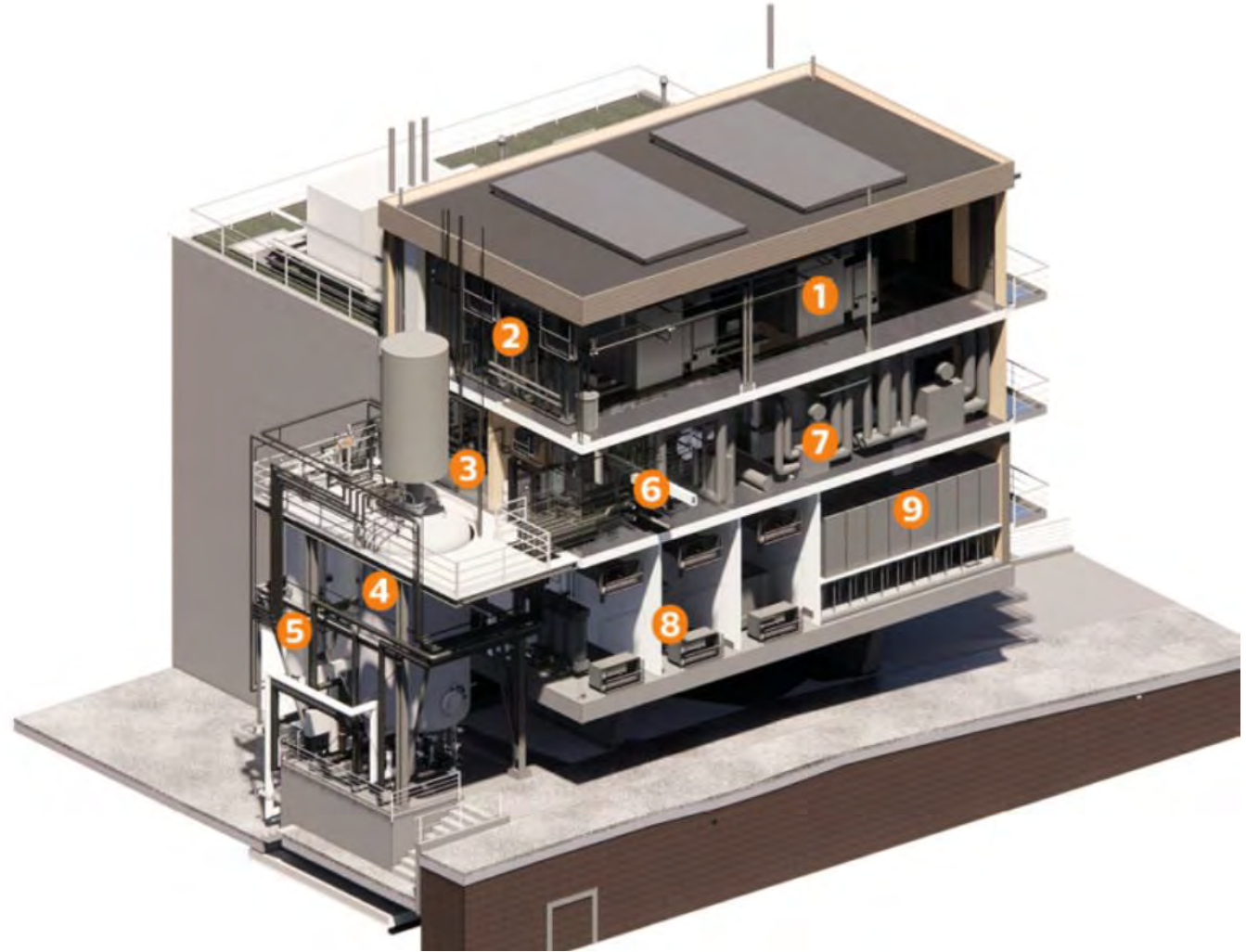
- Démonstrateur de 1MWe , E-On, Allemagne
- Application : Power-to-gas (démonstrateur), projet Européen [Store&Go](#)
- Réacteur Catalytique (Thyssenkrup), 57 Nm<sup>3</sup>/h de SNG
- CO<sub>2</sub> en entrée, injection sur le réseau de transport ONTRAS



Source : <https://www.thyssenkrupp-industrial-solutions.com/power-to-x/en/green-sng/>

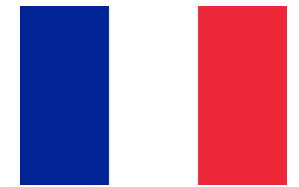
## Revue de références / LIMECO - Suisse (2020/2021)

- Exploitant : LIMECO
- Unité commerciale 2.5MWe d'électrolyse
- Application STEU (projet commercial)
- Réacteur Biologique (Viessman/ Microbenergy)
- 14 M CHF ( ~ 12.7M€)



Source : <https://www.powertogas.ch/anlage/>  
Nota :Mention de 4 à 5000 tCO2 économisées. Calcul donne 2000 tCO2 consommée

# Les acteurs Français (industriels fournisseurs de solutions / technologies)



## Biologique

- **ARKOLIA** (Occitanie)
  - Projet pilote taille réelle en 2021
- **ENOSIS** (Occitanie)
  - Pilote mobile pour caractériser des gaz à méthaner (BIMOTEP / PLAINERGIE)
  - DEMETA : orienté sur la méthanisation
- **STORENGY**
  - Filiale Engie spécialisée dans le stockage (de gaz), actionnaire de Electrochaea
  - Projet Hyaunais et Methycentre
- **TERRAWATT** (Paris)
  - Méthanation biologique de CO sans ajout de H2 (pyro)
  - Projet Titan V Pilote TRL 5-6 à Nantes (Leroux et Lotz, GRT)
- **TMA PROCESS** ( Grand Est)
  - Projet Methagrid (financement ADEME/GRAINE) (2019-2020)
  - Réacteur membrane, 150L à l'essai (2020)

Sources : VOLTIGITAL pour RECORD, 2020

## Catalytique

- **ENERGO** (Ile de France)
  - Méthanation catalytique par plasma froid
- **Khimod** (Ile de France)
  - filiale ALCEN
  - Projets Jupiter 1000, Store&Go (Troia)
- **MAN-ES** (Pays de la Loire)
  - Réacteur catalytique produit en Allemagne
  - Référence : Audi, Wertle, 6MWe (2013)
- **Top industrie** (Ile de France)
  - Plateforme MINERVE (Nantes) 1Nm3/h



## Autres acteurs industriels

- Electrochaea (Allemagne / USA)
- GICON
- MAN-ES
- MicroEnergy / Viessman
- Micropyros
- Outotec
- PFI-Germany
- Thyssenkrupp



- Hitachi Sozen (Suisse, Japon)
- Krajete (Autriche)
- Qpower (Finlande)
- Haldor Topsoe (Danemark)

°	Project	Country	City	Product	Grid_injection	year	Power_inMWe	Methanation_type
181	e-Gas-Anlage Wertte	DE	Wertte	CH4	yes	2 013	6,00	chem.
36	BioPower2Gas	DE	Allendorf (Eder)	CH4	yes	2 015	0,30	biol.
79	Energiepark Pirmasens-Winzeln PFI	DE	Pirmasens	CH4	yes	2 015	2,50	biol.
176	WindGas Falkenhagen (Store&Go)	DE	Falkenhagen	CH4	yes	2 015	2,00	chem.
54	BioCat Project (electrochaea)	DK	Kopenhagen/Avedore	CH4	yes	2 016	1,00	biol.
57	Store&Go- Italy	IT	Troia/Puglia	CH4	no	2 016	0,35	chem.
32	SoCalGas-NREL	US	Golden/Colorado	CH4	yes	2 017	0,25	biol.
31	MicroPyros GmbH	DE	Weilheim-Schongau	CH4	no	2 018	0,25	biol.
134	MicroPyros GmbH - Altenstadt	DE	Altenstadt	CH4	no	2 018	0,25	biol.
155	Store&Go-Project, Hybridwerk Aarmatt	CH	Solothum/Zuchwil	CH4	yes	2 018	0,35	chem.
175	Jupiter 1000	FR	Fos-sur-Mer	CH4	yes	2 018	1,00	chem.
74	MicroEnergy GmbH	CH	Dietikon	CH4	yes	2 020	2,50	biol.
59	HyCAUNAI	FR	Saint-Florentin	CH4	yes	2 022	1,00	biol.
182	Methycentre	FR		CH4	yes	2 022	0,25	chem.

Sélection non exhaustive des projets de type power-to-methane les plus représentatifs / proches du marché

- Biologique Techno. allemande
- Catalytique Techno française

Ressources additionnelles :

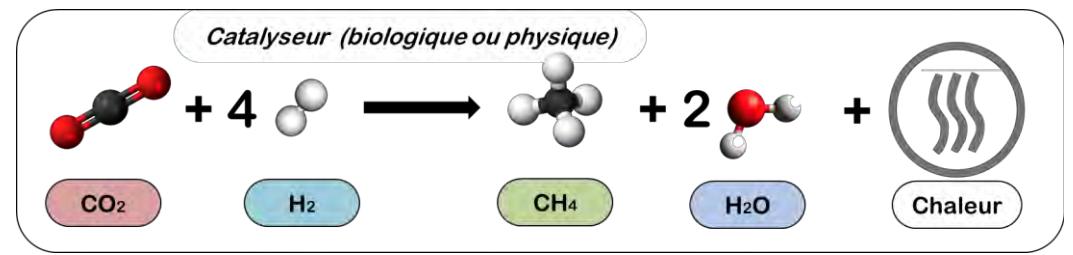
- [https://public.tableau.com/views/AReviewofPower-to-GasProjectsToDate/Dashboard2?:display\\_count=y&publish=yes&:origin=viz\\_share\\_link&:showVizHome=no](https://public.tableau.com/views/AReviewofPower-to-GasProjectsToDate/Dashboard2?:display_count=y&publish=yes&:origin=viz_share_link&:showVizHome=no)
- Article : Review of Power-to-Gas Projects in Europe , Wulfe et al., 2018

Photo by Victor Garcia on Unsplash



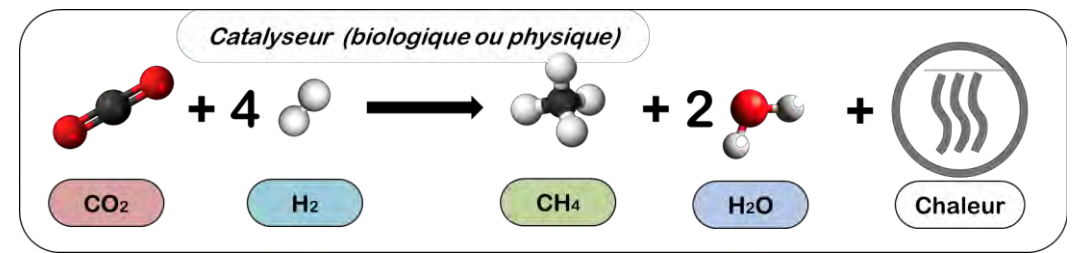
# Enjeux

# La méthanation une technique à la mode?



- Des usines commerciales, un procédé de 1897 (Sabatier)... pourquoi la méthanation serait à la mode en 2021?
- Premier niveau de réponse : Le premier électrolyseur date de ..... 1800

## La méthanation une technique à la mode?



- Des usines commerciales, un procédé de 1897 (Sabatier)... pourquoi la méthanation serait à la mode en 2021?
- Premier niveau de réponse : Le premier électrolyseur date de ..... 1800

### • **De nouveaux besoins :**

- Enjeux climatiques : Besoin de consommer le CO2
- Baisse des coûts drastiques de l'électricité renouvelable (mais intermittente)  
=> H2 décarboné accessible en vue
- Taux de pénétration des ENR dans nos économies.... Pas facile de tout changer...  
=> besoin de décarboner les vecteurs et usages existants => Gaz vert

### • **Des progrès technologiques :**

- Biotechnologies, meilleures compréhensions des microorganismes (archées re-'découvertes' en 1970)
- Catalyse
- Conception et fabrication de réacteurs
- Simulation et Mécanique des fluides (diffusion H2)

## « L'éléphant dans la pièce » : Posons le problème sur un cas d'étude simplifié

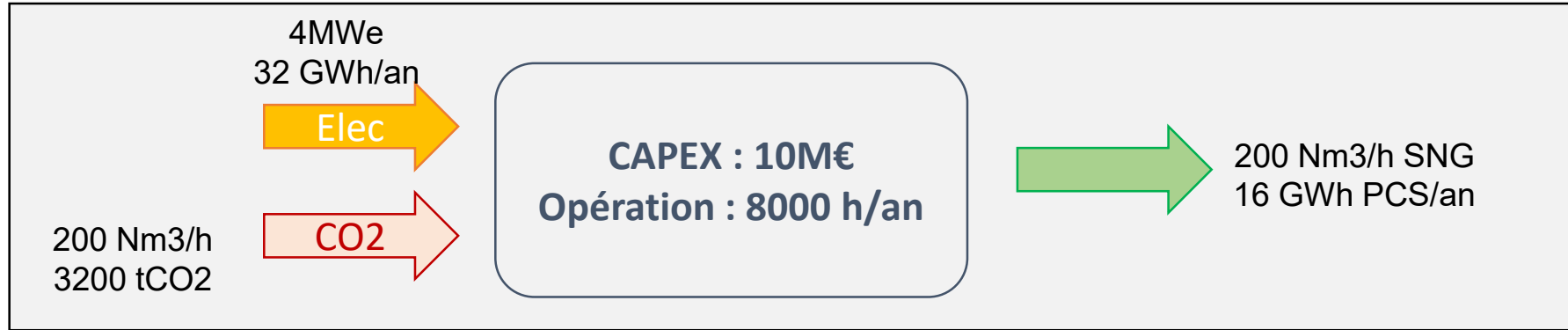


### • Hypothèses (simplifiées)

- Méthanation couplée à une unité de méthanisation, 300 Nm3/h de biométhane
- CAPEX : 2000 à 2500 €/kWe électrolyse (optimiste), à amortir sur 10ans
- OPEX = 0 (!)
- Electricité : 50 €/MWh (!)

Nota : Rendement type plutôt 55 - 60%

## « L'éléphant dans la pièce » : Posons le problème sur un cas d'étude simplifié



### • Hypothèses (simplifiées)

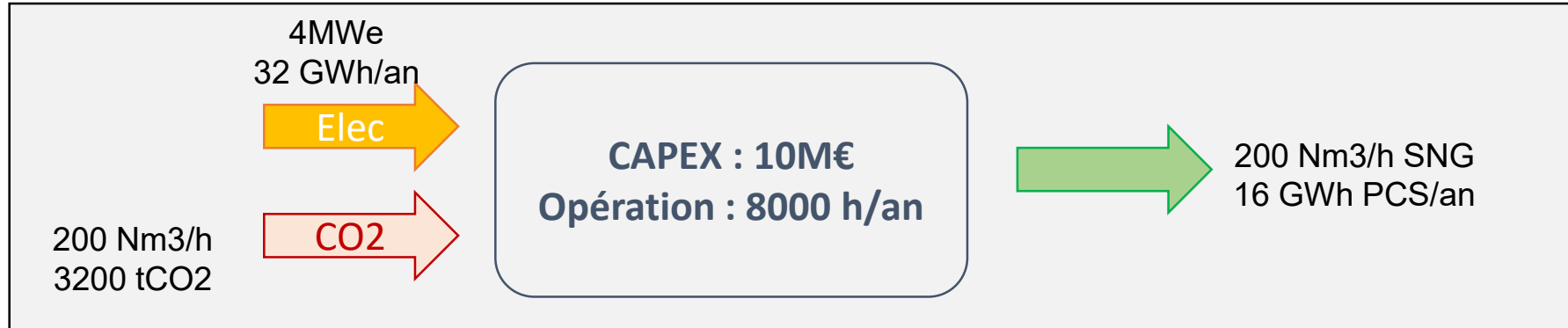
- Méthanation couplée à une unité de méthanisation, 300 Nm<sup>3</sup>/h de biométhane
- CAPEX : 2000 à 2500 €/kWe électrolyse (optimiste), à amortir sur 10ans
- OPEX = 0 (!)
- Electricité : 50 €/MWh (!)

Nota : Rendement type plutôt 55 - 60%

### • Ordre de grandeur

- Si CAPEX = 0 & électricité à 50 €/MWh : Prix du SNG : 100 €/MWh PCS
- Si elec = 0, CAPEX = 10M€ : Prix du SNG = 62,5 €/MWh PCS (cible biométhane)
- Prix réel sur un projet (hors upside et avec OPEX etc... ) > 200 €/MWh PCS
  - ~ x2 vs biométhane et x10 vs prix du gaz naturel

## « L'éléphant dans la pièce » : Posons le problème sur un cas d'étude simplifié



- Hypothèses (simplifiées)
  - Méthanation couplée à une unité de méthanisation, 300 Nm3/h de biométhane
  - CAPEX : 2000 à 2500 €/kWe électrolyse (optimiste), à amortir sur 10ans
  - OPEX = 0 (!)
  - Electricité : 50 €/MWh (!)
- Ordre de grandeur
  - Si CAPEX = 0 & électricité à 50 €/MWh : Prix du SNG : 100 €/MWh PCS
  - Si elec = 0, CAPEX = 10M€ : Prix du SNG = 62,5 €/MWh PCS (cible biométhane)
  - Prix réel sur un projet (hors upside et avec OPEX etc... ) > 200 €/MWh PCS
    - ~ x2 vs biométhane et x10 vs prix du gaz naturel

Nota : Rendement type plutôt 55 - 60%



## « L'éléphant dans la pièce » : Posons le problème sur un cas d'étude simplifié

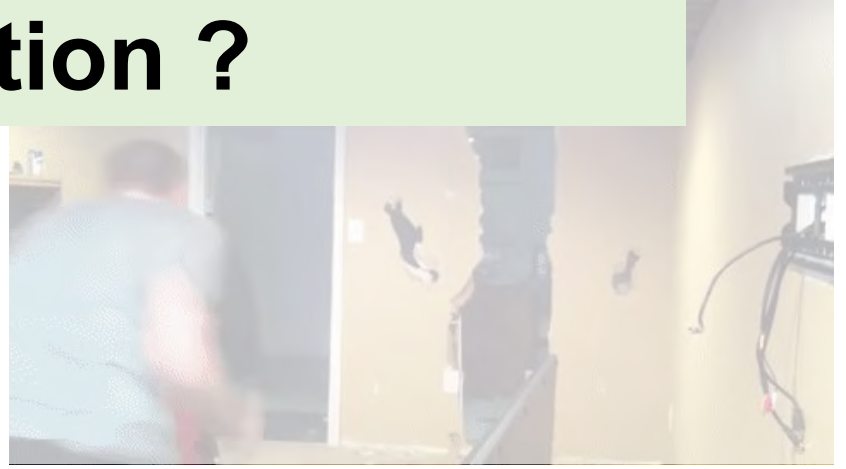
4MWe  
32 GWh/an

# Questions : Dans quel contexte cela peut-il marcher ?

• Hypo

# Quel est l'intérêt de la méthanation ?

5 - 60%



• Ordre de grandeur

- Si CAPEX = 0 & électricité à 50 €/MWh : Prix du SNG : 100 €/MWh PCS
- Si elec = 0, CAPEX = 10M€ : Prix du SNG = 62,5 €/MWh PCS (cible biométhane)
- Prix réel sur un projet (hors upside et avec OPEX etc... ) > 200 €/MWh PCS
  - ~ x2 vs biométhane et x10 vs prix du gaz naturel

=> Ce type de projet ne va pas faire baisser les coûts du biométhane => Pas de viabilité économique dans ce cas de figure.



# Pourquoi un tel projet ne « marche » pas ?

- Rappel : des « **nouveaux** besoins »

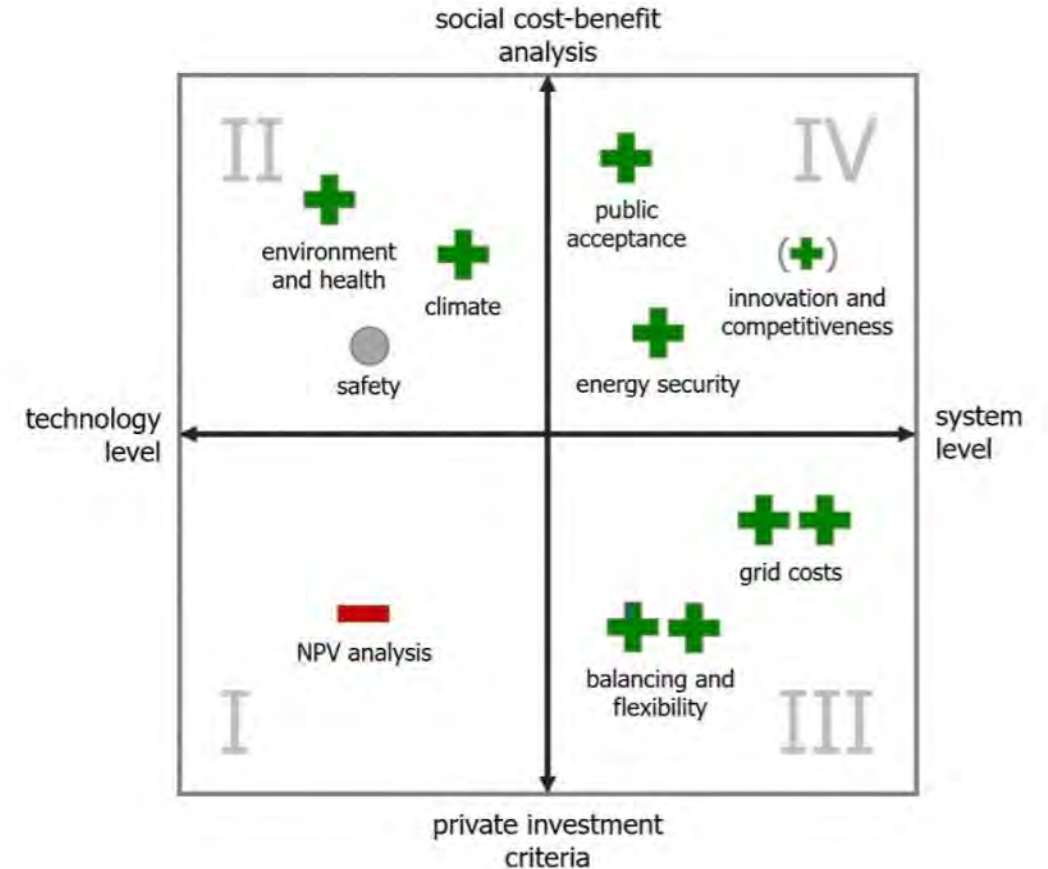
- **De nouveaux besoins :**
  - Enjeux climatiques : Besoin de consommer le CO2
  - Baisse des coûts drastiques de l'électricité renouvelable (mais intermittente)  
=> H2 décarboné accessible en vue
  - Taux de pénétration des ENR dans nos économies... Pas facile de tout changer...  
=> besoin de décarboner les vecteurs et usages existants => Gaz vert



- Ici
  - Il n'y a pas besoin de consommer un CO<sub>2</sub> >=< 'déchet'
    - On est plutôt sur un CO<sub>2</sub> 'ressource'
  - La méthanation vient après un épurateur (#DoubleCapex)
  - Flexibilité, accès au réseau ... les aspects « power » ne sont pas valorisés
  - Le projet n'est pas inscrit dans un contexte plus grand
    - Electrolyseur dédié
    - Pas de valorisation des autres 'co-produits' (chaleur, O<sub>2</sub>)

## « L'éléphant dans la pièce » : suite

- Une rentabilité défavorable au niveau du projet
- Mais des gains « externes » majeurs
  - Environnementaux, Climat, développement
  - Sécurité énergétique
  - Atteindre des secteurs peu accessibles à l'électrification
  - Mais également des gains économiques
    - Coûts évités de réseaux pour le stockage
    - Coûts évités pour l'équilibrage réseaux



Source : Storeandgo, [https://www.storeandgo.info/fileadmin/downloads/deliverables\\_2020/20200713-STOREandGO\\_D8.8\\_RUG\\_The\\_societal\\_business\\_case\\_for\\_PtG\\_valuing\\_positive\\_and\\_negative\\_externalities.pdf](https://www.storeandgo.info/fileadmin/downloads/deliverables_2020/20200713-STOREandGO_D8.8_RUG_The_societal_business_case_for_PtG_valuing_positive_and_negative_externalities.pdf)

# Des pistes pour dépasser le problème...

## TRANSPORT

Gas transport is the cheapest and most efficient form of energy transport

### POWER

- 260 km
- € 600 mln
- 1 GW cable capacity
- 230€ per kW/100 km



### GAS

- 230 km
- € 500 mln
- 20 GW
- 11€ per kW/100 km
- 9€ per kW/100 km



GASUNIE

Gain complet production + infra + utilisateurs

## DISTRIBUTION

ELECTRIC POWER — 06 Aug 2019 | 12:18 UTC — London

### Germany to review wind quotas for grid saturation zones

Q1 2019 wind curtailment hit record 3.2 TWh

L'énergie intermittente produite n'est pas toujours consommable

## STOCKAGE

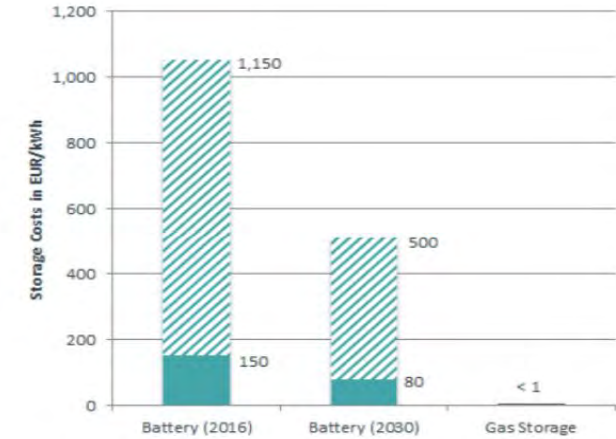


Figure 12. Comparison of battery and gas storage costs (Bothe & Janssen, 2019, p. 35)

Pas les mêmes technos/vecteurs, mais équivalent si on parle des mêmes usages (chauffage, mobilité)

## 1 L'électricité (ou l'hydrogène) ont aussi leurs limites

- Sujet du coût complet de l'énergie distribuée et de l'équilibrage des réseaux

Sources :

- GASUNIE
- S&P plats : <https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/electric-power/080619-germany-to-review-wind-quotas-for-grid-saturation-zones>
- StoreandGo : [https://www.storeandgo.info/fileadmin/downloads/deliverables\\_2020/20200713-STOREandGO\\_D8.8\\_RUG\\_The\\_societal\\_business\\_case\\_for\\_PtG\\_valuing\\_positive\\_and\\_negative\\_externalities.pdf](https://www.storeandgo.info/fileadmin/downloads/deliverables_2020/20200713-STOREandGO_D8.8_RUG_The_societal_business_case_for_PtG_valuing_positive_and_negative_externalities.pdf)

## Des pistes pour dépasser le problème...

2 La décarbonation par 'changement de vecteurs' n'est pas accessible à tous

- Cas des procédés difficiles à modifier
- Valorisation des flux physiques de CO2 (même biogénique)

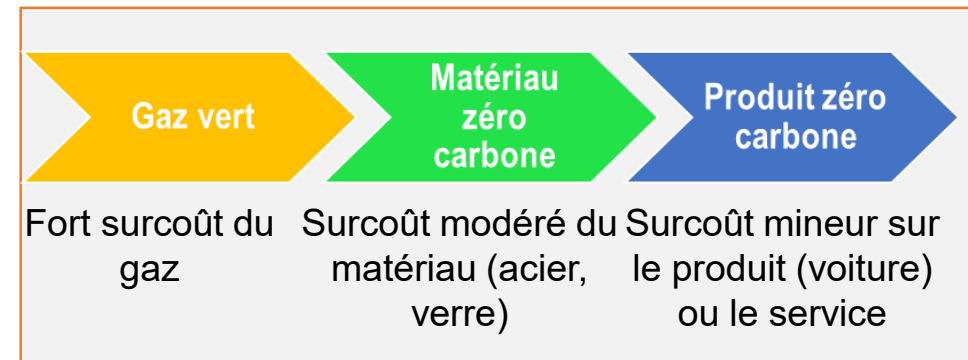
Valoriser la décarbonation effective de procédé en  
CO2 fatal  
(ex : STEU)

Exemple :

- STEU
- Cimenteries, Usines de Chaux

3 La méthanation rend la décarbonation effective / possible dès 2021

- Sans attendre 2050
- Quel premium accessible pour telle une usine à matériau ~ zero carbone ?



## En résumé : Rôles et intérêts du Power-to-Methane ?

---

---

Le Power-to-Méthane est :

⇒ un bon moyen de pallier la faiblesse de 2 'vecteurs' énergétiques

- i) Electricité intermittente ou éloignée (ou H<sub>2</sub> non distribué) et
- ii) CO<sub>2</sub>

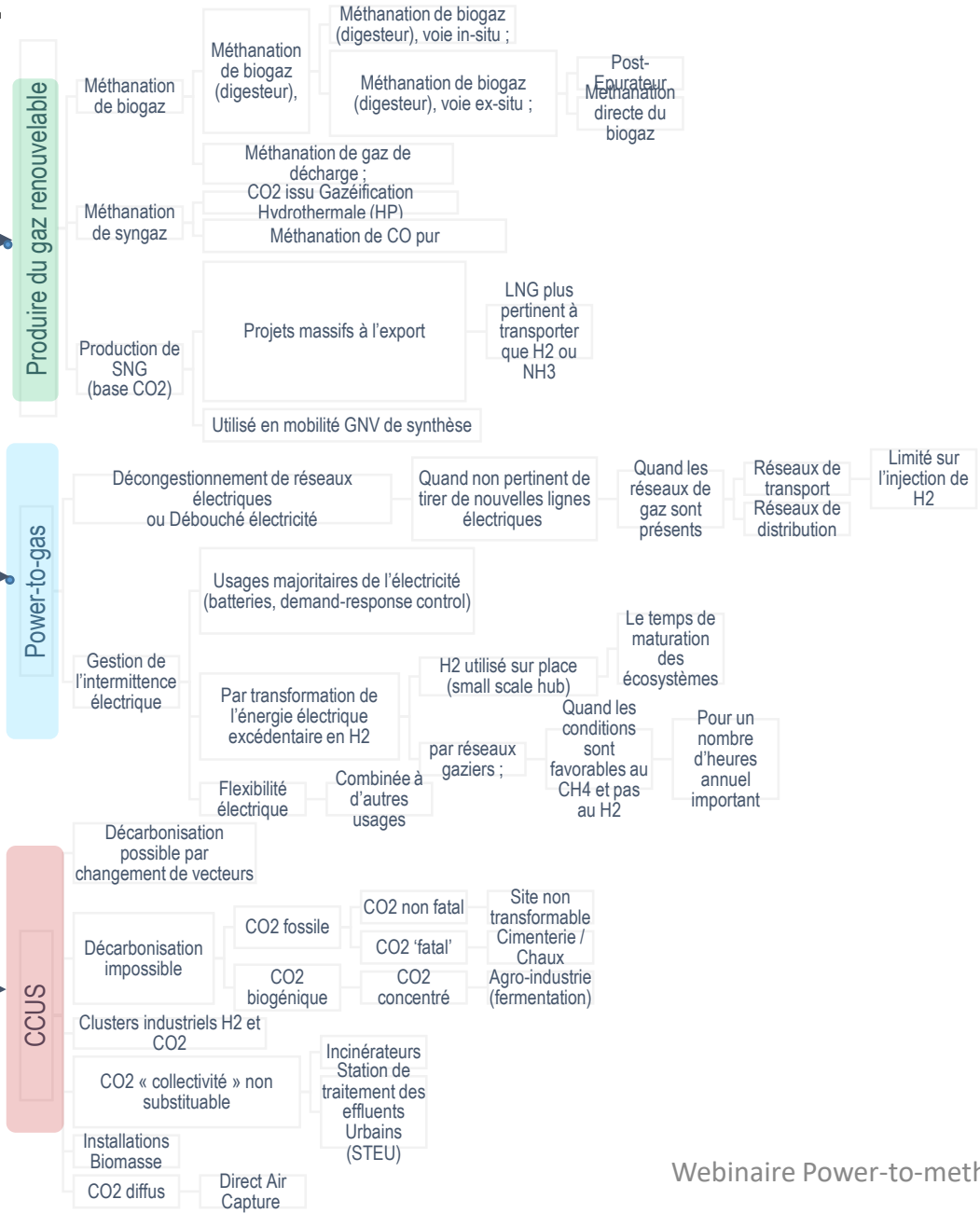
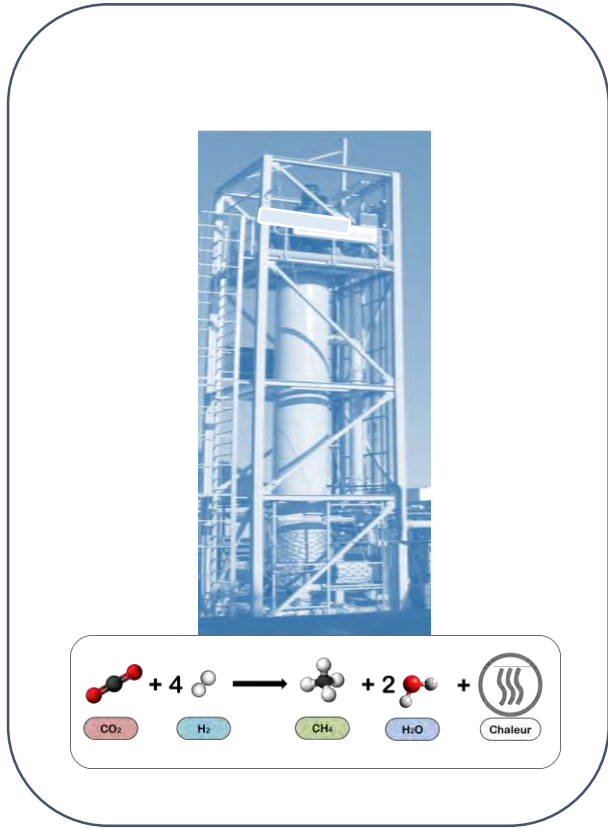
via un 3eme vecteur (le CH<sub>4</sub>) et ses infrastructures en place (existantes, amorties et 'pratiques')

En revanche, le Power-to-Méthane n'est pas vraiment (en France, aux conditions actuelles)  
=> un 'bon moyen' juste pour produire du méthane décarboné



# Cas d'usage

# Explorons les cas d'usages potentiels...



## Cas d'usage : les stations de traitement des effluents urbains

---

- Points clés :
  - Client = Collectivité : projet exemplaire de décarbonation
  - Valorisation de l'ensemble des produits (chaleur, O<sub>2</sub>, eau)
  - Emergence d'écosystèmes H<sub>2</sub> :
    - la méthanation est un consommateur structurant d'un écosystème H<sub>2</sub>
  - Petits projets vitrines permettant également de rendre visibles des acteurs industriels
    - (50 – 150 Nm<sup>3</sup>/h de SNG)
- Exemples
  - LIMECO, SOLOTHURM (Suisse)
  - BIOCAT (Danemark)
- France / 2021 : 2 projets au bac à sable de la CRE (Pau et Perpignan) et lauréats AAP GRDF



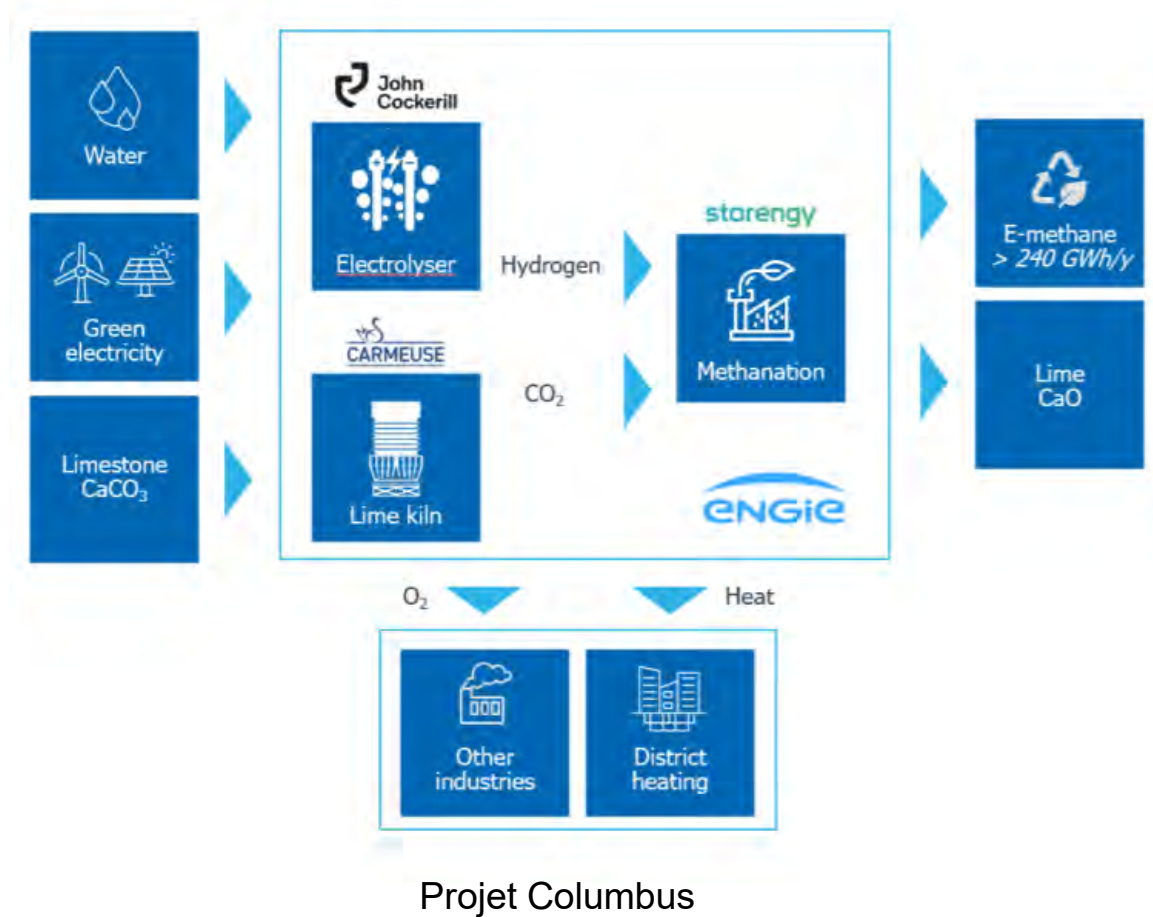
Projet Solothurm,  
Source Electrochaea /  
Storeandgo

Sources : <https://www.cre.fr/Actualites/bac-a-sable-reglementaire-la-cre-accorde-des-derogations-a-9-projets-innovants>  
[https://www.limeco.ch/de/aktuell/pressemitteilungen/leuchtturmprojekt\\_power-to-gas-anlage](https://www.limeco.ch/de/aktuell/pressemitteilungen/leuchtturmprojekt_power-to-gas-anlage)  
<https://www.storeandgo.info/demonstration-sites/switzerland/>



## Cas d'usage : La décarbonation d'industries avec CO2 « fatal »

- Exemple : Projet Columbus
- Points clés :
  - Projet massif (75MWe, 150M€)
  - Approvisionnement électrique compétitif
  - Synergies (O<sub>2</sub>, chaleur)
  - Vendre de la chaux zéro carbone est un avantage compétitif qui peut compenser le surcoût (si valorisé)
  - Opportunité applicable dès 2020+
- Condition règlementaire
  - SNG '=<sup>' Biométhane (Wallonie)</sup>



Sources : <https://www.laborelec.com/wp-content/uploads/2020/12/201210-Joint-Development-Agreement-Carmeuse-ENGIE-and-John-Cockerill-ENG.pdf>

## Retour sur l'AAP GRDF Power\_to\_methane

---



- Objectifs de l'AAP :
  - Favoriser l'émergence de projets répliquables
  - Encourager la dissémination d'expérience vers la filière

VOLTIGITAL et ses partenaires étaient conseils de GRDF pour l'appui à l'évaluation des projets

- Les clés du succès d'un projet pour cet AAP:
  - Pas de développement technologique majeur (on recherchait des vitrines)
  - Tour de table financier solide (pour aller au bout du projet)
  - Des choix techniques bien définis
  - Un projet clarifié (terrain, financement, partenaires)
  - Une intégration optimale (O<sub>2</sub>, chaleur, flexibilité, positionnement dans un éco-système H<sub>2</sub>)

Rappel des autres conditions :

- > 50Nm<sup>3</sup>/h
- CO<sub>2</sub> issu de méthanisation (sous toutes ses formes)
- H<sub>2</sub> renouvelable issu d'électrolyseur

## Retour sur l'AAP GRDF Power\_to\_methane

---



- Lauréats
  - Storengy / Hycanais : Biologique
  - Pau ( STEU) : Catalytique
  - Perpignan (STEU) : ouvert
- 12 projets, 1200 Nm<sup>3</sup>/h de SNG (moyenne : 100 Nm<sup>3</sup>/h, écart-type : 78 Nm<sup>3</sup>/h)
  - 100% des porteurs sont français
  - 1 seul projet visant un SNG compétitif vs biométhane (dans le cas très particulier d'un H<sub>2</sub> très compétitif)
  - 2 projets portés par des collectivités publiques
  - 3 projets portés par des développeurs de leur propre technologie
  - 2 projets STEU
  - 7 projets ont mis en avant la méthanation catalytique

Sources : <https://www.grdf.fr/institutionnel/actualite/newsroom/liste/communiqués-presse/laureats-power-to-gas>

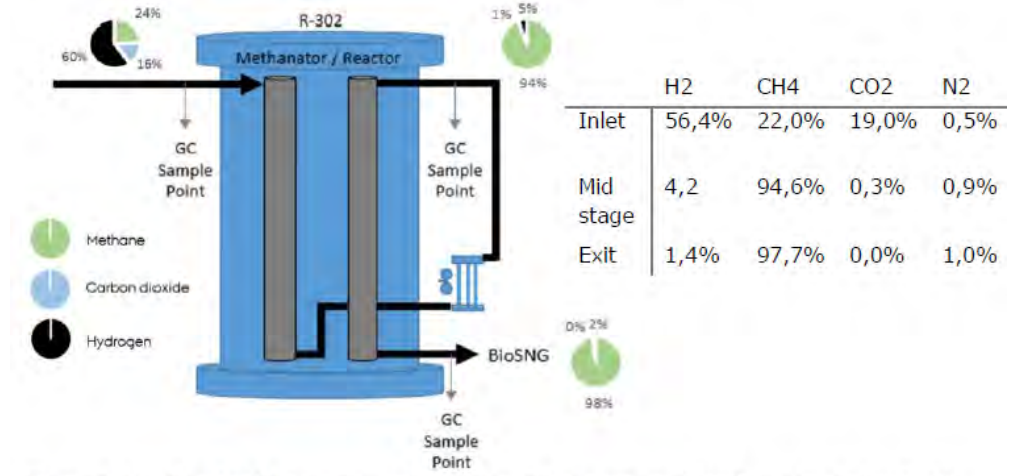
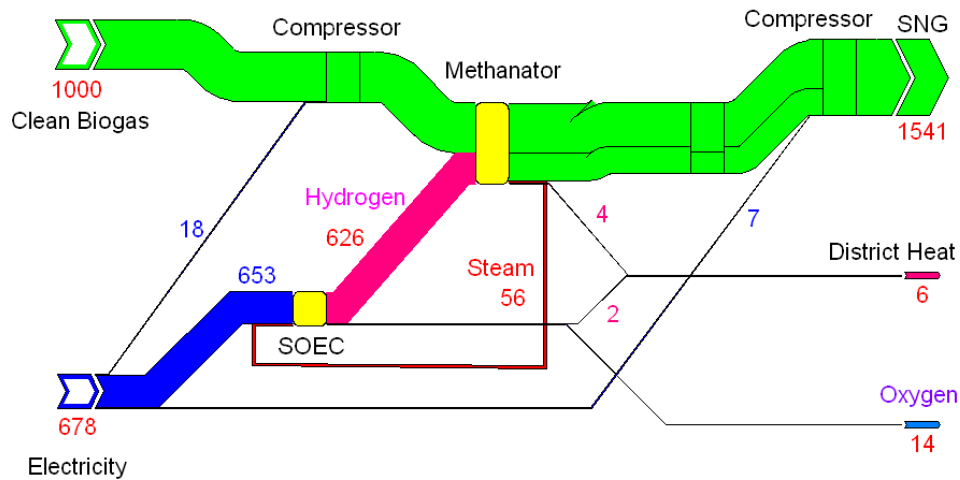


Photo by Krissana Porro on Unsplash

# Perspectives

# Développements Technologiques

- Exemple TRL 7 -8 :
  - Couplage SOEC et méthanation catalytique
  - Epuration directe du biogaz pré-traité
  - Rendement énergétique significativement amélioré
  - Réacteur 1 tube, 2 passes : extrapolable
  - Sortie du gaz H<sub>2</sub> <2% en vol, Sans post-traitement



Pilote 10 Nm<sup>3</sup>/h de SNG (2020)

Source : Haldor Tospoe et partenaires, Electrical upgrading of biogas, rapport de fin de projet

Webinaire Power-to-methane Juin 2021

# Méthanation Biologique – La méthanation IN-SITU

Venturi-type injection system as a potential H<sub>2</sub> mass transfer technology for full-scale *in situ* biomethanation

Mads Bjørnkjær Jensen<sup>a</sup>, Michael Vedel Wegener Kofoed<sup>b</sup>, Keelan Fischer<sup>c</sup>, Niels Vinther Voigt<sup>a</sup>, Laura Mia Agneessens<sup>a</sup>, Damien John Batstone<sup>c</sup>, Lars Ditlev Mørck Ottosen<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Engineering, Aarhus University, Høngvej 2, DK-8200 Aarhus N, Denmark

<sup>b</sup> Chemistry and Biotechnology, Danish Technological Institute, Teknologiparken, Kongsvang Allé 29, DK-8000 Aarhus C, Denmark

<sup>c</sup> Advanced Water Management Centre, The University of Queensland, Brisbane, Queensland 4072, Australia

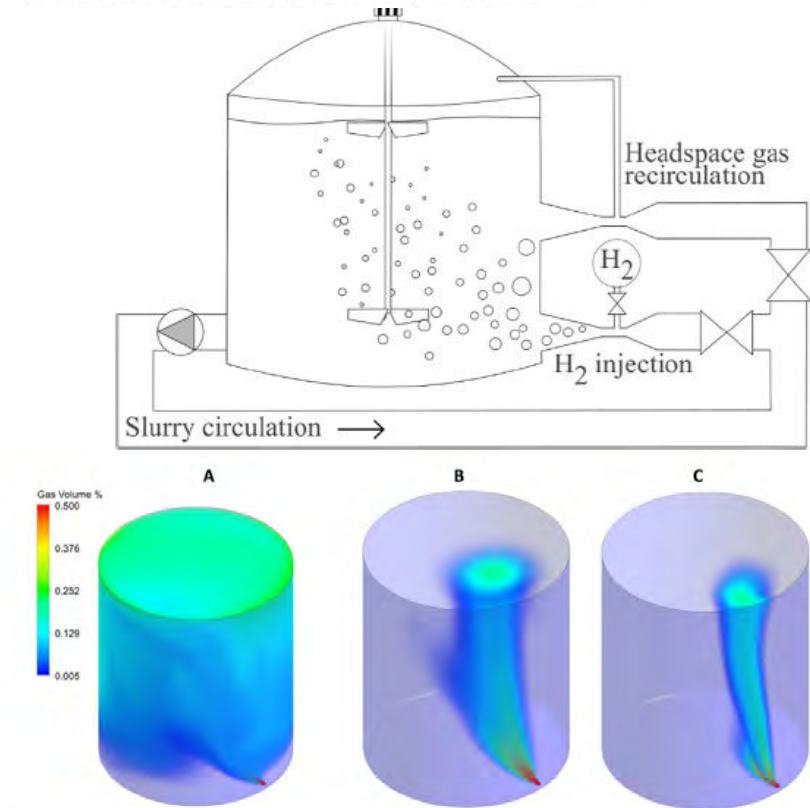
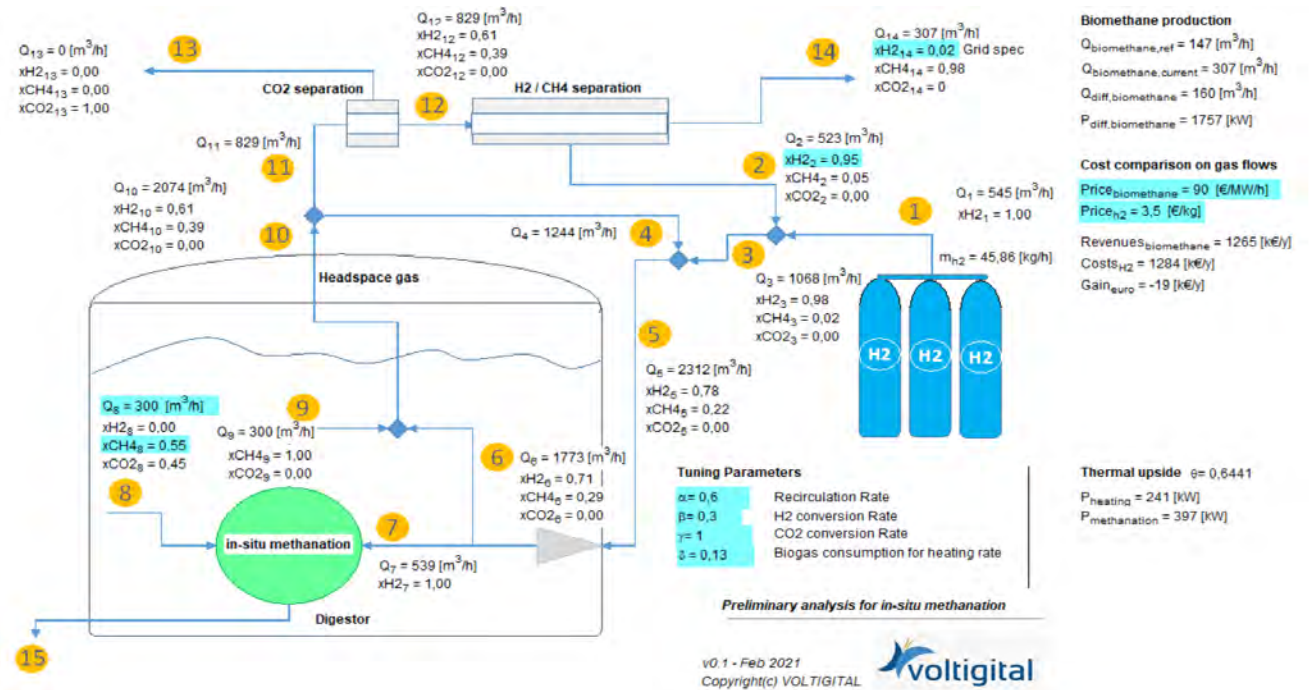


Fig. 4. H<sub>2</sub> volume fraction of the CFD simulated digester with 2.5 (A), 10 (B), and 40 (C) mm mean bubble diameter sizes. Volume fractions below 0.005% were ignored. Flow rates were 20 m<sup>3</sup>/h H<sub>2</sub> and 150 m<sup>3</sup>/h slurry.

- Complexe et peu de développements industriels ou académiques
- Mais :
  - Des progrès importants néanmoins (Danemark)
  - Des perspectives intéressantes pour la méthanisation

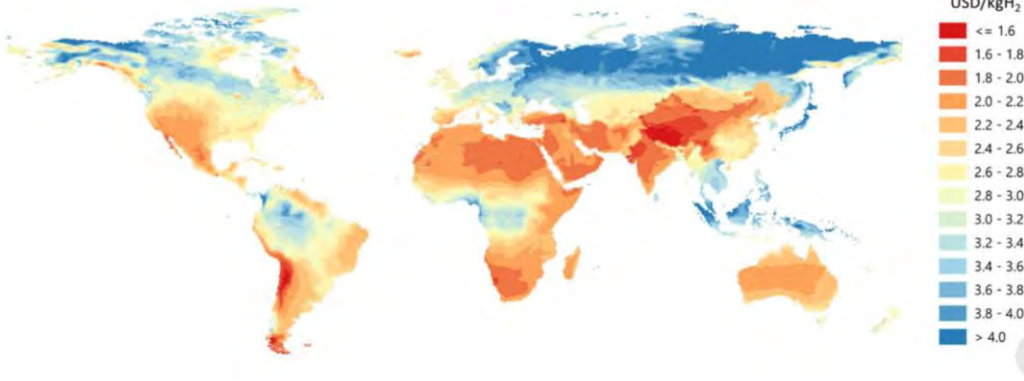


Sources : gauche :Université de Aarhus 2018 ; droite :VOLTIGITAL, 2021

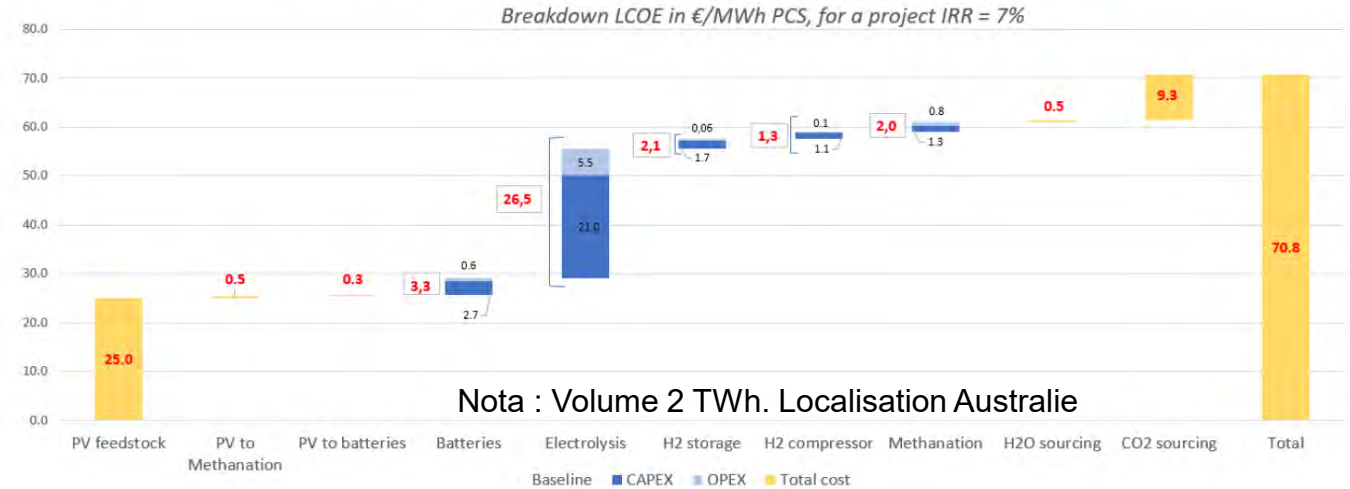
# Power-to-methane de forte puissance (export)

- A ~ 1...2 €/kg H<sub>2</sub>, le Power to Methane (livré France) est compétitif avec le biométhane
- Les infrastructures existent déjà pour le transporter (vs H<sub>2</sub> ou NH<sub>3</sub>)

Hydrogen costs from hybrid solar PV and onshore wind systems in the long term



## Résultat préliminaire: performances économiques



Hypothèses:  
 - LCOE Sourcing PV: **14 €/MWh**  
 - Sourcing H<sub>2</sub>O: **3€/m<sup>3</sup>**  
 - Excess electricity sold to the grid

TRI Projet: 7%  
 TRI Investisseurs: 8,1%  
 DSCR: 368%  
 (hypothèse: D/E ratio de 40/60, taux d'intérêt de la dette: 4%, impôt sur les sociétés: 28,5%)

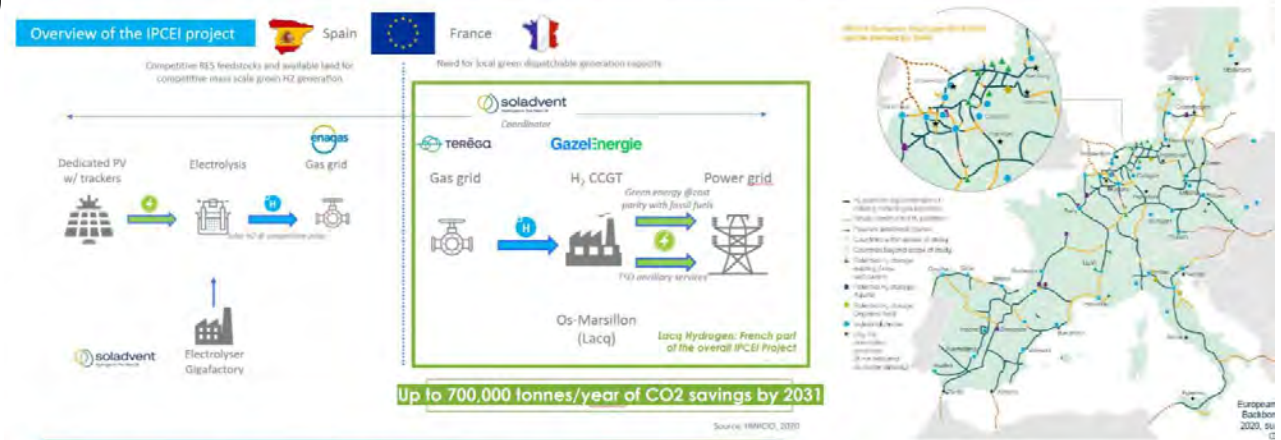
Sources :

- IEA 2019 (gauche)
- Etude PtX, Antoine Perdriel KTH, CentraleSupélec, 2021

# Dorsale H2 Européenne : Une opportunité aussi pour le Power-to-Methane

- Hydrogène massif, annoncé à 1.72€/kg, sur des réseaux de transports reconvertis
- Opportunité pour décarboner via P2M
  - Certains usages réseaux (diffus, en distribution)
  - Certains acteurs (CO2 « fatal »)

## Lacq Hydrogen (LH) : 1er projet-type à échelle industrielle intégrant toute la chaîne de valeur de l'hydrogène

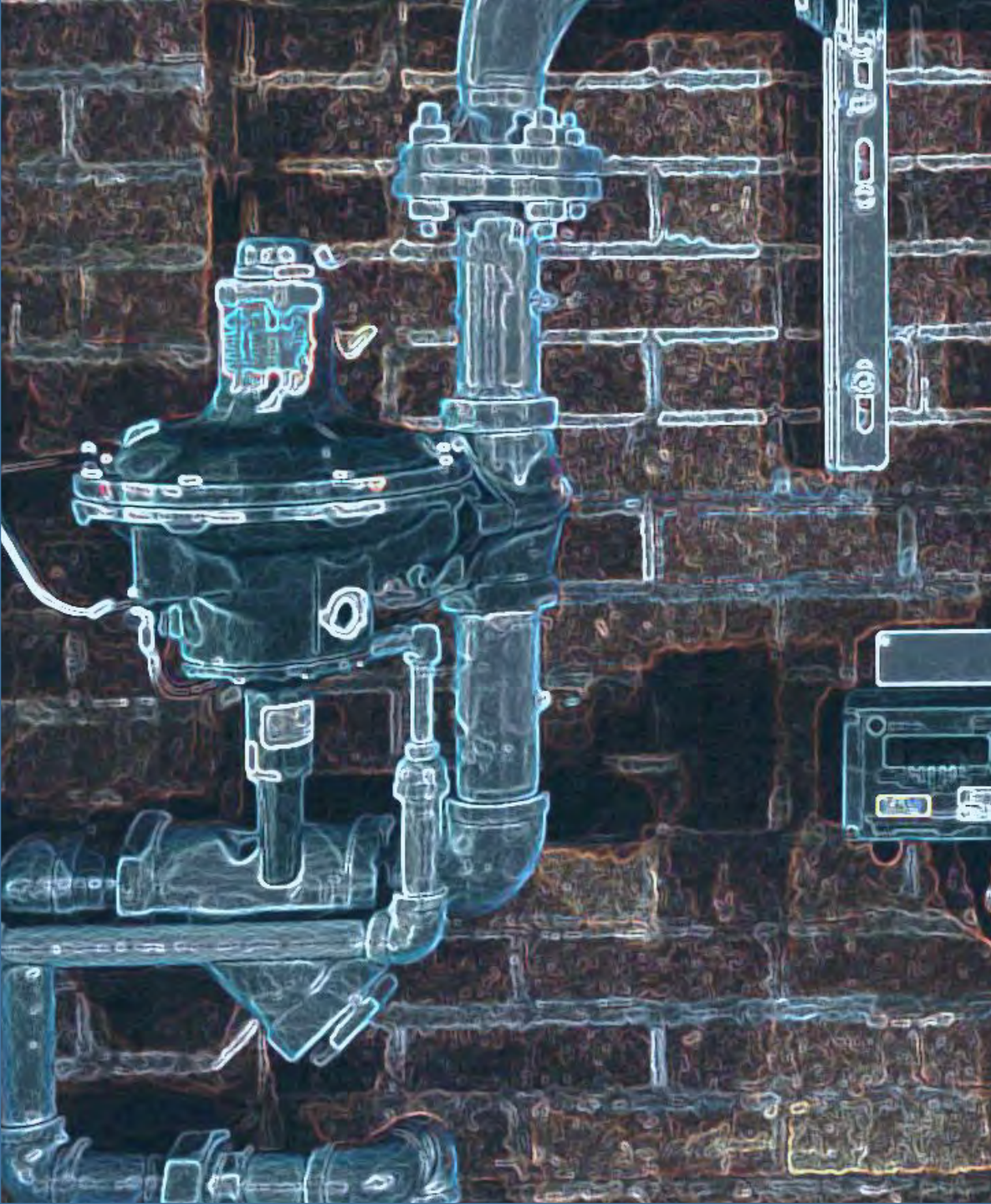


- Un projet de territoire, premier maillon de la dorsale européenne pour l'hydrogène (European Hydrogen Backbone)
- Un H2 vert à des coûts ultra-compétitifs : 1,72 €/kg en 2026-2030 et 1,25 €/kg après 2031



Sources : TERE GA <https://www.nouvelle-aquitaine.paris/application/uploads/files/Alumni/Ter%C3%A9ga%20-%20Hydrog%C3%A8ne%20-%20Table%20ronde%2010mars.pdf>





## Synthèse et Ouverture

# Synthèse et ouverture

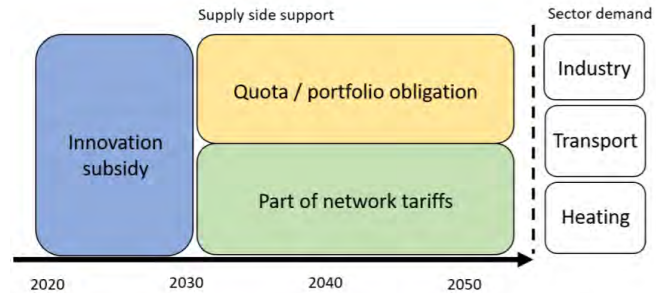
- Le Power-to-Methane a une valeur systémique pour les réseaux énergétiques à moyen/long terme (2050)  
⇒ Une filière à encourager, en évitant les écueils

## Règlementaire

- Cadre réglementaire
  - Origine du CO<sub>2</sub> : biogénique ou industriel ?
  - Statut du gaz de synthèse

## Support / tarif

- Soutien indispensable : Comment ?
- Tarif ? ou autres mécanismes ?



Autres mécanismes à étudier (StoreandGo, 2020)

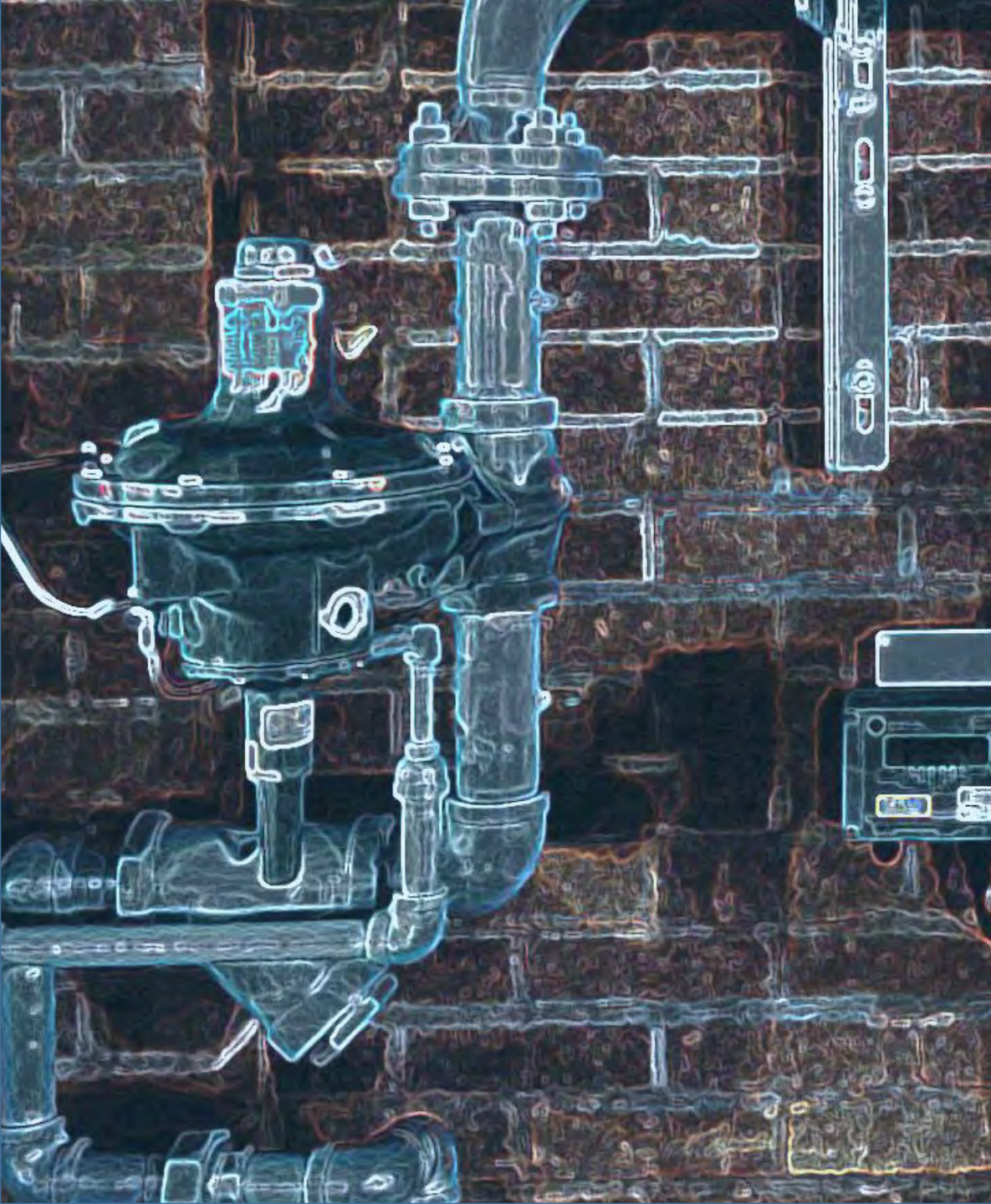
## Des propositions à faire

## Pré-requis

- CO<sub>2</sub> à un impact fort
  - Exemple : Columbus
  - Décarbonation exemplaire (STEU)
- ET / OU
  - le CH<sub>4</sub> est LE bon vecteur
- ET /OU H<sub>2</sub> compétitif
  - Lacq Hydrogen « 1,72 €/kg en 2026-2030 »
  - Australie / Emirats...  
H<sub>2</sub> vert < 1.8€/kg

## « Les bases, c'est la base »

## Besoin d'un cadre clair et simple



A votre disposition pour  
les questions !

## Avant de conclure : Message de service!

Inscription (gratuite) sur :

<http://www.iesf-paysdelaloire.fr/>



### Hydrogène

Emploi et Territoires Industriels dans le Grand Ouest

**Webinaire lundi 28 Juin de 18h30 à 20h00**

**Projets, Emplois, Opportunités** : Venez découvrir des acteurs du Grand Ouest qui œuvrent pour l'attractivité industrielle et l'innovation dans les territoires!

### Intervenants

**MANITOU**  
GROUP

**GRTgaz**

**edf**

**CHARIER**

*Lhyfe*

**H<sub>2</sub>X**  
ECOSYSTEMS

**MAN**  
**MAN Energy Solutions**

Merci aux participants et aux organisateurs



## Contacts



Fabien MICHEL  
06 32 08 02 81

fabien.michel[a]voltigital.com  
[www.voltigital.com](http://www.voltigital.com)



Photo by Crystal Kwok on Unsplash

# Annexes

## Alors, Biologique ou Catalytique ?

---

- Une question de maturité ?  
... essentiellement de ceux qui fournissent la solution.
- **Atouts du biologique :**
  - Attendu compétitif en « petite » puissance (CAPEX plus faible)
  - Plus robuste aux impuretés => réduction possible des coûts de traitement (syngaz ?)
  - Plus flexible sur un pas de temps court (journée/semaine)
  - Chaîne de valeur « simple » : ingénierie / contrôle du procédé + cuve peu pressurisée + microorganismes
- **Atouts du catalytique :**
  - Scale-up très forte puissance facile à concevoir et mettre en œuvre ( un empilement de « module »)
  - Densité de puissance (typiquement x20 en compacité vs biologique, réacteur seulement)
  - Valorisation thermique HT
  - Plus flexible sur un pas de temps saisonnier (cocon 4000h et fonctionnement 4000h d'affilée)
- Au final, à voir selon le projet et les solutions proposées (par exemple méthanation de biogaz)

## Technologies / La Méthanation Catalytique

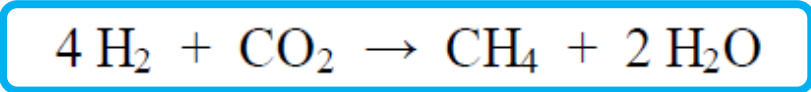
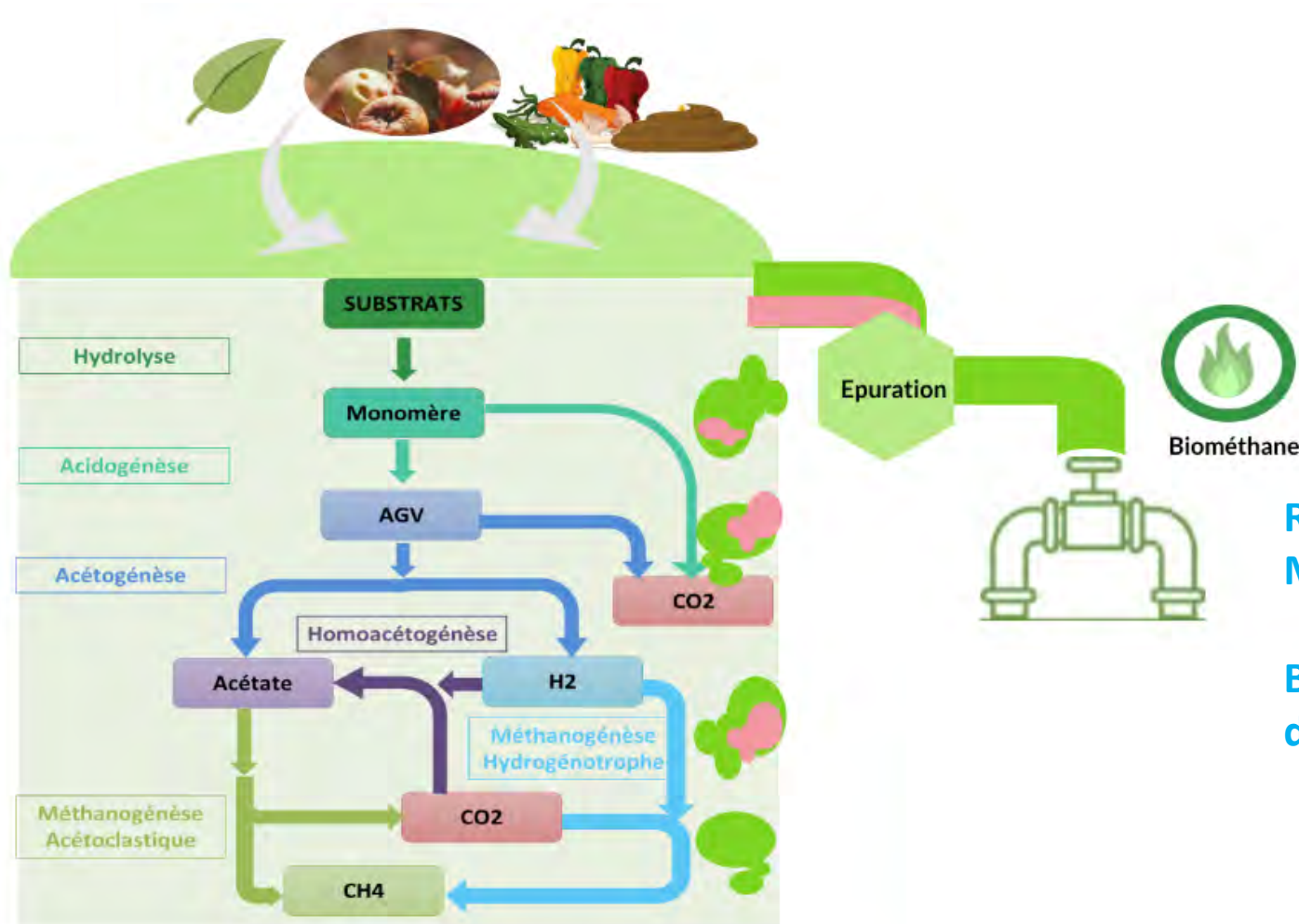
- Réaction catalytique exothermique à température élevée (à contrôler)
- Historiquement, la voie la plus développée
- Maturité : potentiellement élevée
  - REX des réacteurs catalytiques similaires dans la chimie
    - et en particulier Coal – to – sng
  - Attention : selon le design et le constructeur
- Enjeux :
  - Gestion des impuretés (S,  $\leq 1$  ppm)
  - Durée de vie des catalyseurs
  - Gestion thermique
  - Coût des « petites » unités ('scale-down')
  - Pureté du gaz / taux de conversion / nombre de réacteurs



Source : AUDI, Werlte



# Technologies / La Méthanation Biologique – « Back to Biology »



Réaction favorable thermodynamiquement  
Mais seulement ~30% du méthane total

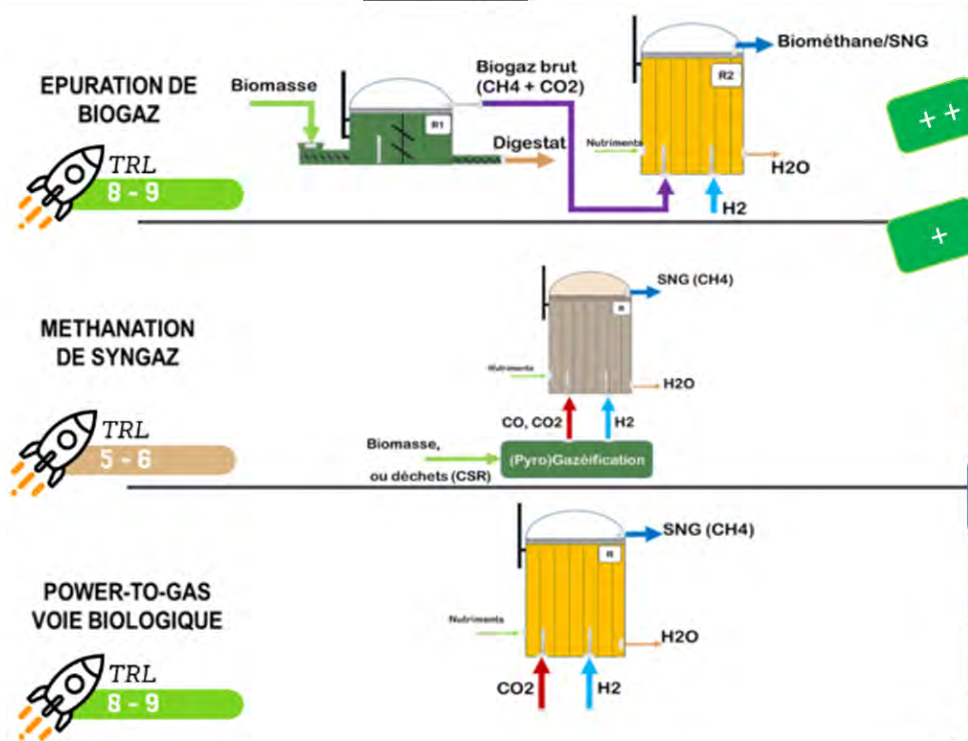
BIOMETHANATION EX-situ = Favoriser cette réaction  
dans un réacteur dédié.

Source : VOLTIGITAL, 2021 et RECORD, 2020

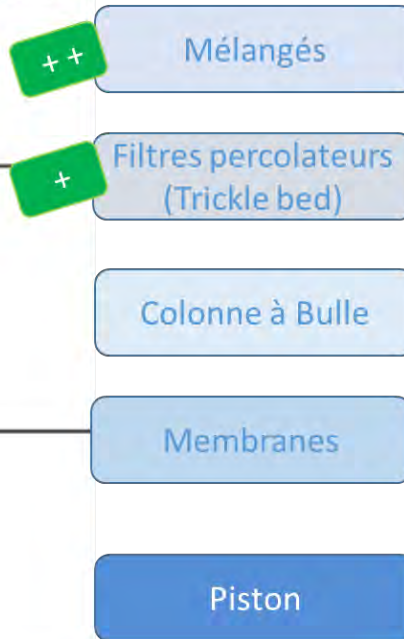
# Technologies / La Méthanation Biologique Ex-situ

- Une voie plus récente (dès 2006, mais surtout 2011+)
- Catalyseur et réacteurs différents => nouvelles opportunités

## Concepts



## Réacteurs



Sources : RECORD, 2020

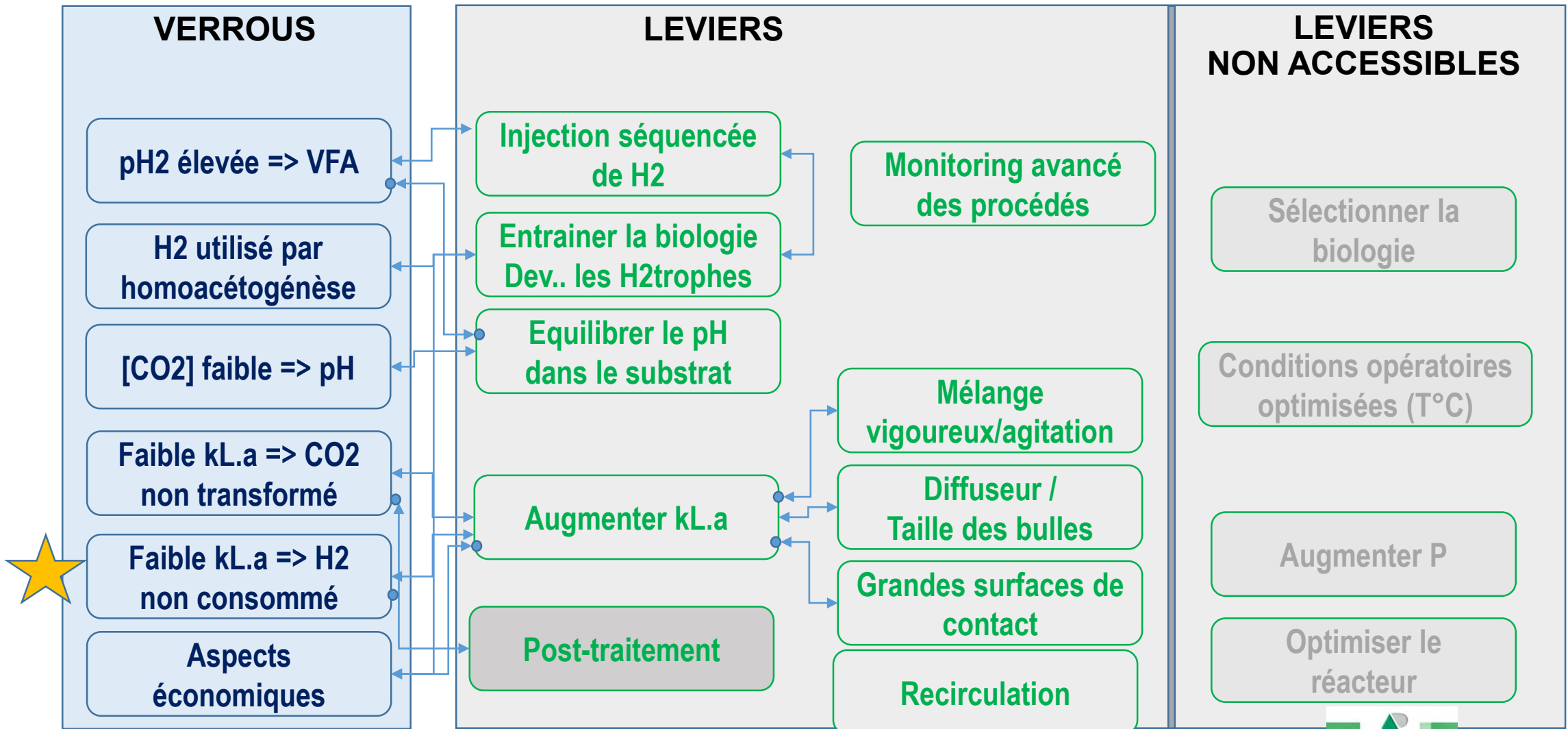
## Principaux Sujets

- Microorganismes
  - Mixte ?
  - Sélectionnés ?
- Productivité des réacteurs
  - En vol/vol/jour
  - Sur CO2 ou Biogaz?
  - Sur Syngaz?
- Qualité gaz
  - Taux de H2 ?
  - Recirculation ?
  - Impureté (nutriments)
  - « Réactivité »
- Robustesse
  - Impureté
  - Taux de O2 max ?
- Conso Electrique
- Pression (10 bar?)



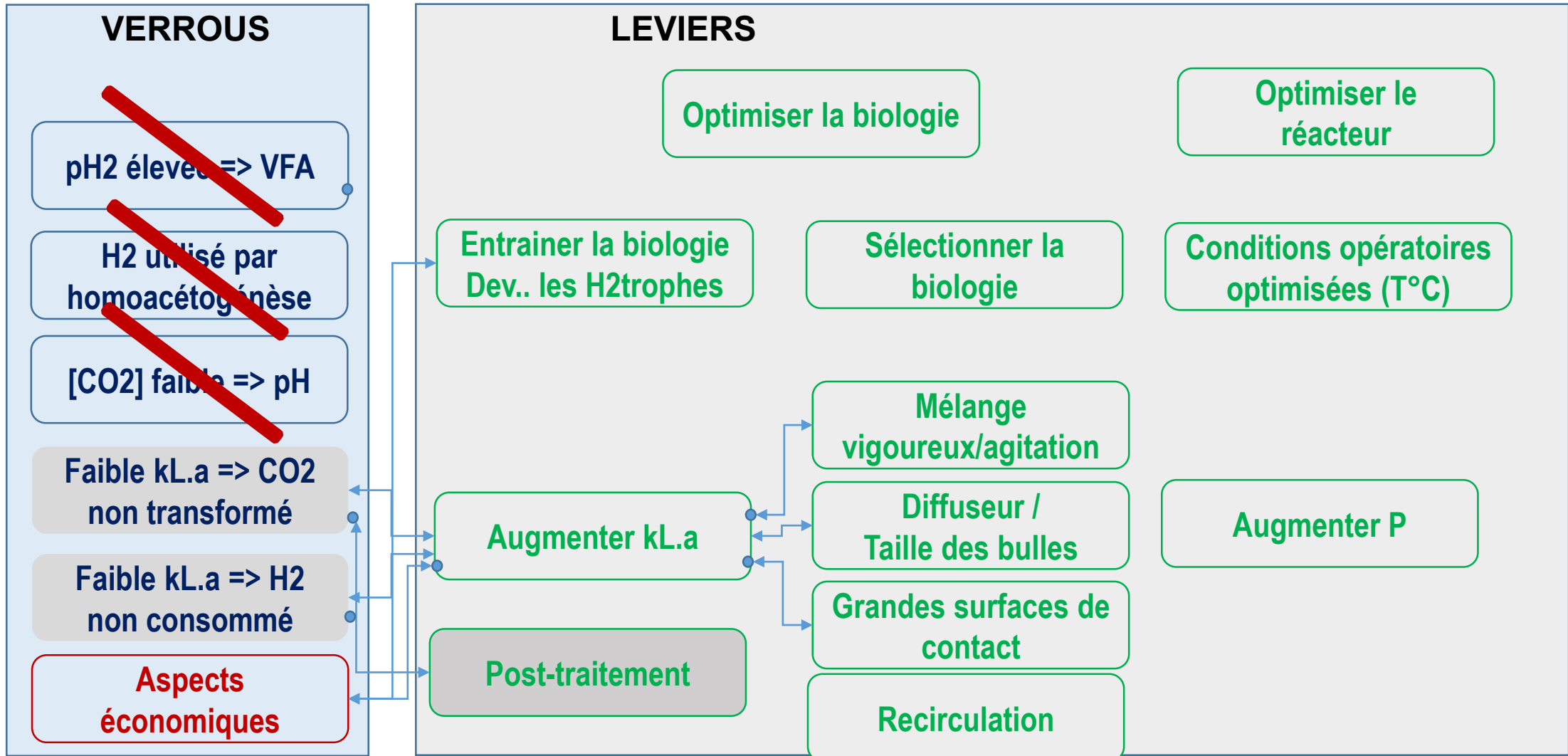
Source : Electrochaea, Storeandgo

# METHANATION IN-SITU : Verrous & Leviers



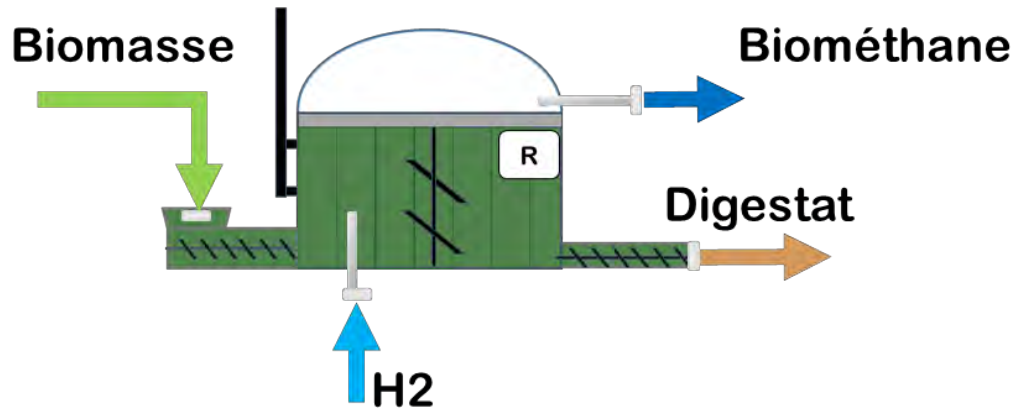
# METHANATION EX-SITU

**VERROUS = ASPECT ECONOMIQUE  
et DEV. Industriel associé**



# Technologies de bio-méthanation in situ (extrait)

- « Standard »



## Points clés

- Faible diffusion H<sub>2</sub>g->Liquide
- Importance du diffuseur
- %CH<sub>4</sub> faible (et H<sub>2</sub> non converti)
- Robustesse / Contrôle du procédé
- Gestion du H<sub>2</sub> dans de grands réacteurs
  - Accepter un gaz avec 20% de H<sub>2</sub> en injection?



## IB Catalyst H<sub>2</sub>AD (UK) (2018/2019)

Pilote LUTRA/ Univ Southampton

1500 L, Substrats = Foodwaste

Diffuseur = bulleur

Fonctionnement ok, mais %CH<sub>4</sub> faible (70-80%)

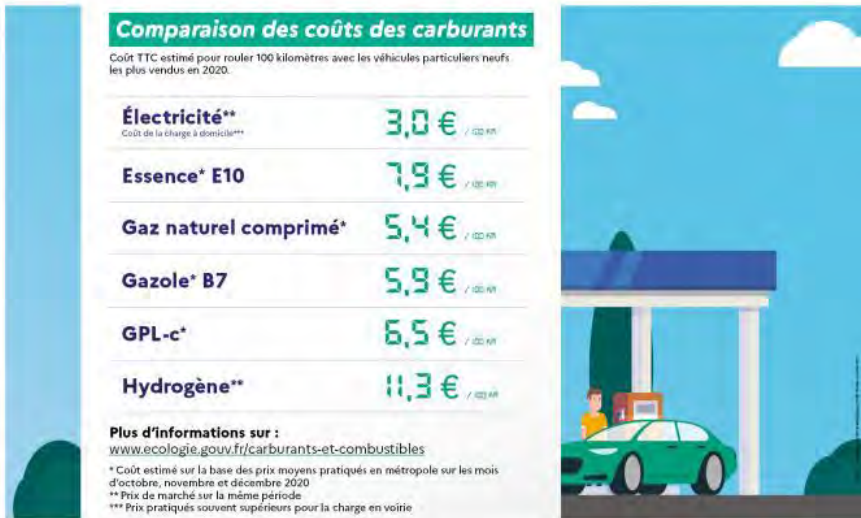
Agitation trop forte = impact négatif

## Des pistes pour dépasser le problème... (suite)

### 4 Le cas de la mobilité :

- Infrastructure – Maillage
- Coûts des véhicules

Il existe un créneau possible de positionnement pour un Gaz Naturel comprimé décarboné pour la mobilité (plutôt l'alimentation de véhicules (lourds), en complément du développement H2)



Carburant ou énergie	Prix du carburant ou de l'énergie	Unité de prix	PCS (en kWh/kg ou kWh/l)	Prix en €/MWh
Gazole B7	1,22	€/l	10,74	114
Gaz naturel comprimé	0,98	€/kg	15,4	64
Hydrogène	12	€/kg	39,4	305
Hydrogène	4,5	€/kg	39,4	114

Sources :

: (ici pour les véhicules de particuliers), <https://www.ecologie.gouv.fr/carburants-et-combustibles-autorises-en-france>

- VOLTIGITAL

## Revue de références / Audi – Allemagne (Werlte) (2013) : informations complémentaires

### Key Performance Indicators Audi e-gas plant (Werlte)

Energy content e-gas (average)	13,85 kWh/kg
Electricity input (prognosis)	26 – 29 GWh/a
Power input electrolyzers	3 x 2 MW
Efficiency „power to gas“ (without using heat)	54 %
Max. H <sub>2</sub> output	1300 Nm <sup>3</sup> /h
Max. H <sub>2</sub> storage time	60 min
Max. e-gas output	325 Nm <sup>3</sup> /h
Operation time (prognosis)	4.000 h/a
e-gas output (prognosis)	1000 t/a



Audi future lab: **mobility**

Vorsprung durch Technik 

Source : <http://www.cedec.com/files/default/8-2014-05-27-cedec-gas-day-reinhard-otten-audi-ag.pdf>

Webinaire Power-to-methane Juin 2021

WIND

# Germany's Maxed-Out Grid Is Causing Trouble Across Europe

Northern Germany can't use all the renewable energy it's making. Neither can its neighbors.

JASON DEIGN | MARCH 31, 2020

<https://www.greentechmedia.com/articles/read/germanys-stressed-grid-is-causing-trouble-across-europe>

## 2/ Décongestionnement de réseaux

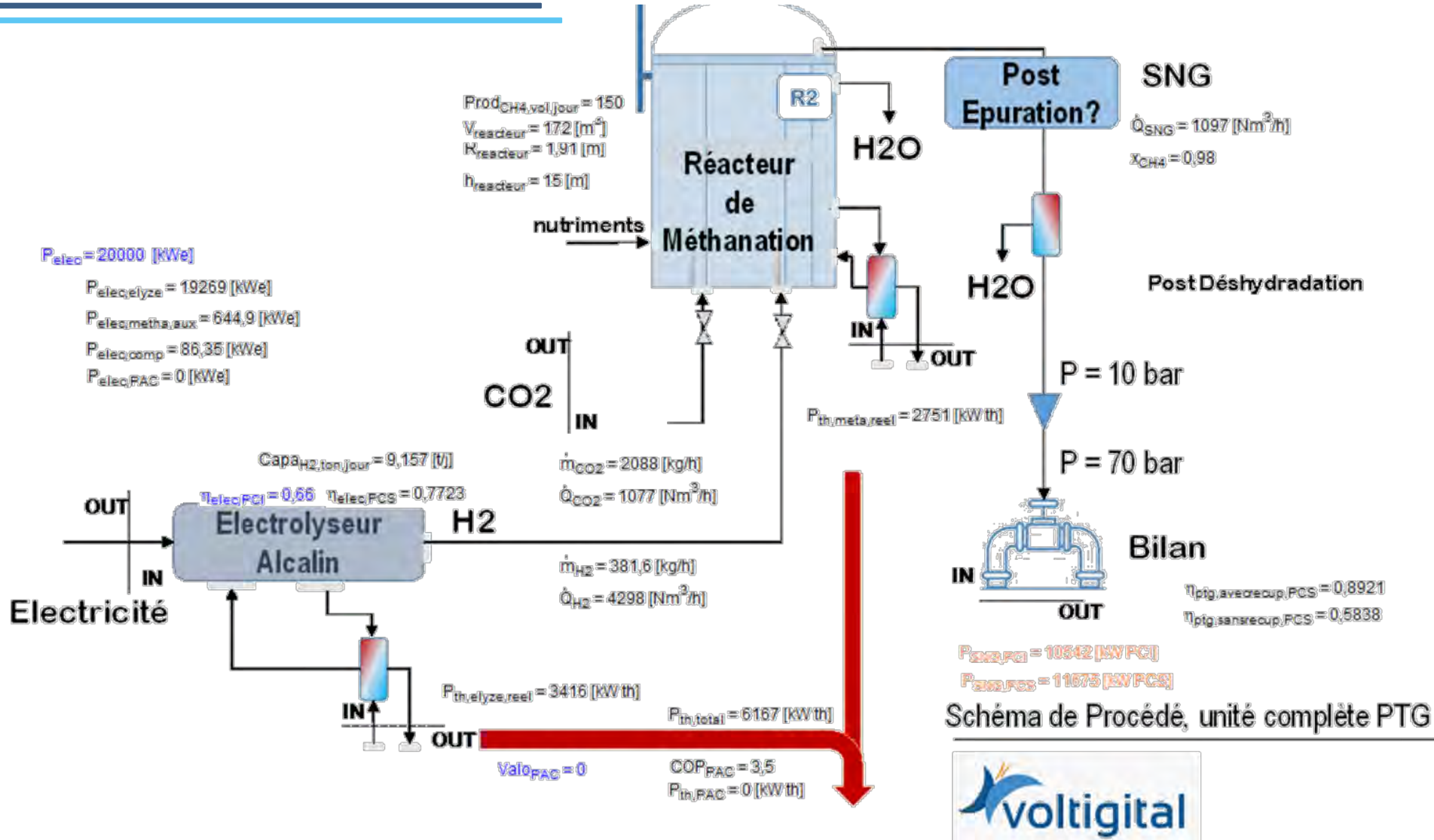
En 2019, 1.6% de l'électricité renouvelable en Allemagne fait l'objet de mesure d'abattement ('curtailment') sur 3 trimestres consécutifs. En parallèle, la production d'énergie renouvelable en Europe en 2020, était de 1 210 TWh électrique.

Si toute l'Europe se comportait comme l'Allemagne, cela correspondrait à environ  $1210 * 1,6\% = 19$  TWh à revaloriser en power-to-gas, soit l'équivalent de 2420 MWe de Power to gas représentant, à terme, un CAPEX de 2420 M€.

VOLTIGITAL pour RECORD, 2020



# Exemple de modélisation – 20MW



## Exemple de modélisation – 20MW – résultats

Maturité →

	Cas 1	Cas 2	Cas 3
Electrolyseur alcalin 20MW	13 000	11 000	7 000
Réacteur de méthanation	12 400	7 700	6 400
Poste de compression	350	350	300
Balance of Plant Electrique et Mécanique	3 203	2 453	2 200
Poste d'injection gaz	650	650	600
Ingénierie, Gestion de projets, Montage et Mise en service	6 301	4 863	3 556
Prix d'achat	38 418	29 653	17 781
Frais de maîtrise d'ouvrage	3 073	2 372	3 073
Cout total d'investissement	41 492	32 025	20 854
Prix au kWe	2 075	1 601	1 043

Zone de pertinence marché ←

		1	2	3	4	5	6	7	8
<b>CAPEX</b>	k€	41 492	32 000	32 000	32 000	35 500	32 000	20 856	20 856
<b>REVENUS</b>									
<b>SNG</b>	€/MWh	25	122	80	60	60	60	65	46
<b>Chaleur</b>	€/MWh	0	0	0	0	40	0	0	0
<b>CO2</b>	€/tCO2	50	50	250	50	250	250	250	0
<b>COUTS</b>									
<b>Electricité</b>	€/MWh	40	40	40	5	40	40	40	0
<b>O&amp;M %CAPEX</b>		3%	4%	4%	4%	4%	4%	6%	6%
<b>Payback</b>	ans	-9,18	7,05	8,08	7,36	10,58	15,31	8,16	6,94
<b>REVENUS - COUTS</b>	k€	-4519,8	4540	3958	4349,2	3354,8	2090	2557	3006,4

Figure 126 - Revue de scénarios 'power to gas' - vue simplifiée

Nota sur les CAPEX (2020) :

- Columbus : 75MWe pour 150M€ : 2000 €/kWe
- LIMECO : 2.5MWe pour 14M€ : 5600€/kWe

## Ressources complémentaires

---

- Synthèse étude RECORD sur la méthanation par voie biologique (2019/2020) :  
[https://record-net.org/storage/etudes/19-0419-1A/synthese/Synth\\_record19-0419\\_1A.pdf](https://record-net.org/storage/etudes/19-0419-1A/synthese/Synth_record19-0419_1A.pdf)

### Articles de recherche (review)

- Thema et al, 2018, “Power-to-Gas: Electrolysis and methanation status review”
- <https://www.dvgw.de/themen/energiewende/power-to-gas>
- <https://atee.fr/energies-renouvelables/club-power-to-gas>
- [www.storeandgo.info](http://www.storeandgo.info)

## Perspectives – Quels soutiens ?

- Rappel :
  - Bénéfices induits élevés pour la ‘communauté’ et mais valeur faible pour un investisseur (rentabilité)
- Tarif / Complément de rémunération ?
- 3 mécanismes à étudier (StoreandGo, 2020)
  - Subventions à l’innovation
  - Incorporations obligatoires Fournisseurs et/ou Clients
    - Peu adapté aux filières en émergence
  - Incorporés aux tarifs de réseaux
    - (similaire au stockage)

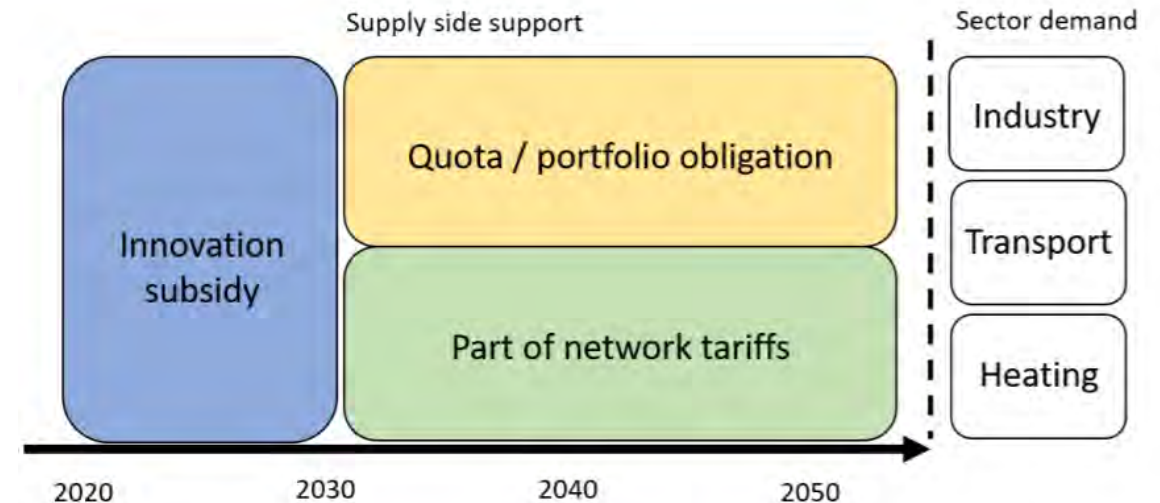


Figure 20. Potential supply side policy pathways and sector demand throughout the 2020-50 period



- Rendez-vous sur [www.atee.fr](http://www.atee.fr) pour découvrir toutes les missions et activités MDE de l'ATEE et ses clubs :
  - Club Biogaz et CTBM
  - Club Certificats d'économies d'énergie
  - Club Cogénération
  - Club Stockage d'énergies
  - Club Power to gas
  - Club Pyrogazéification
- Et sa revue bimensuelle [www.energie-plus.com](http://www.energie-plus.com)