



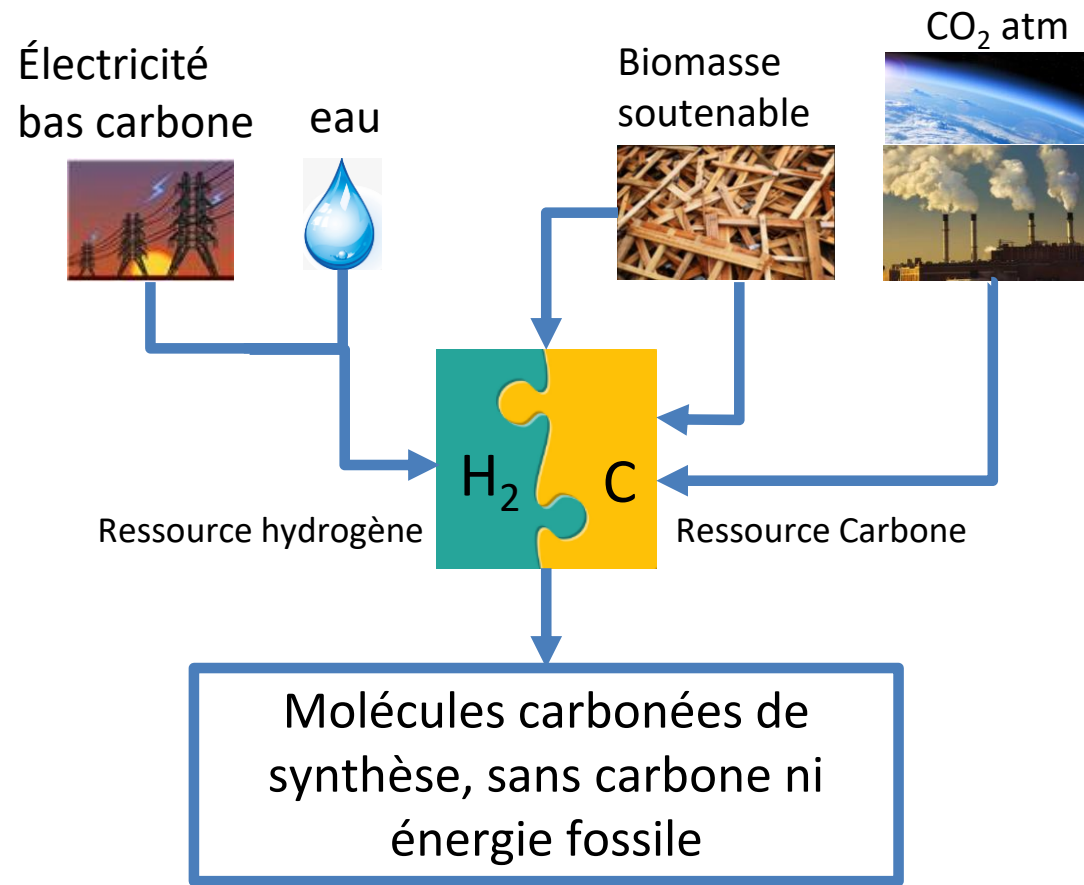
Valorisation du CO₂, besoin de R&I

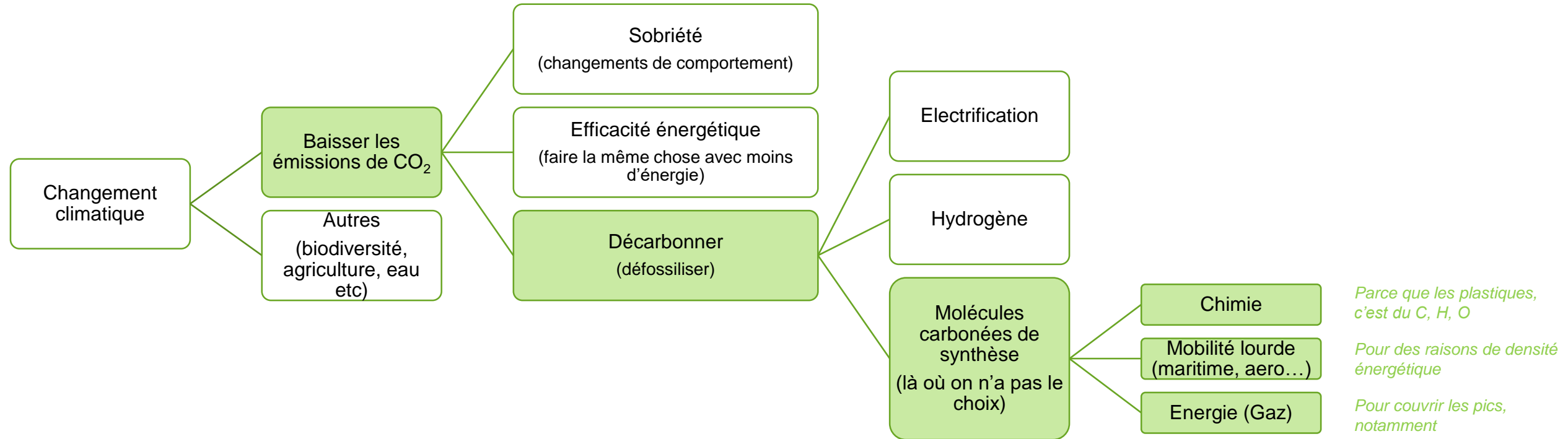
Lundi 3 octobre 2022, Lyon

Armelle Pin armelle.pin@cea.fr Geneviève Geffraye genevieve.geffraye@cea.fr



le CCU (Carbone Capture and Usage)

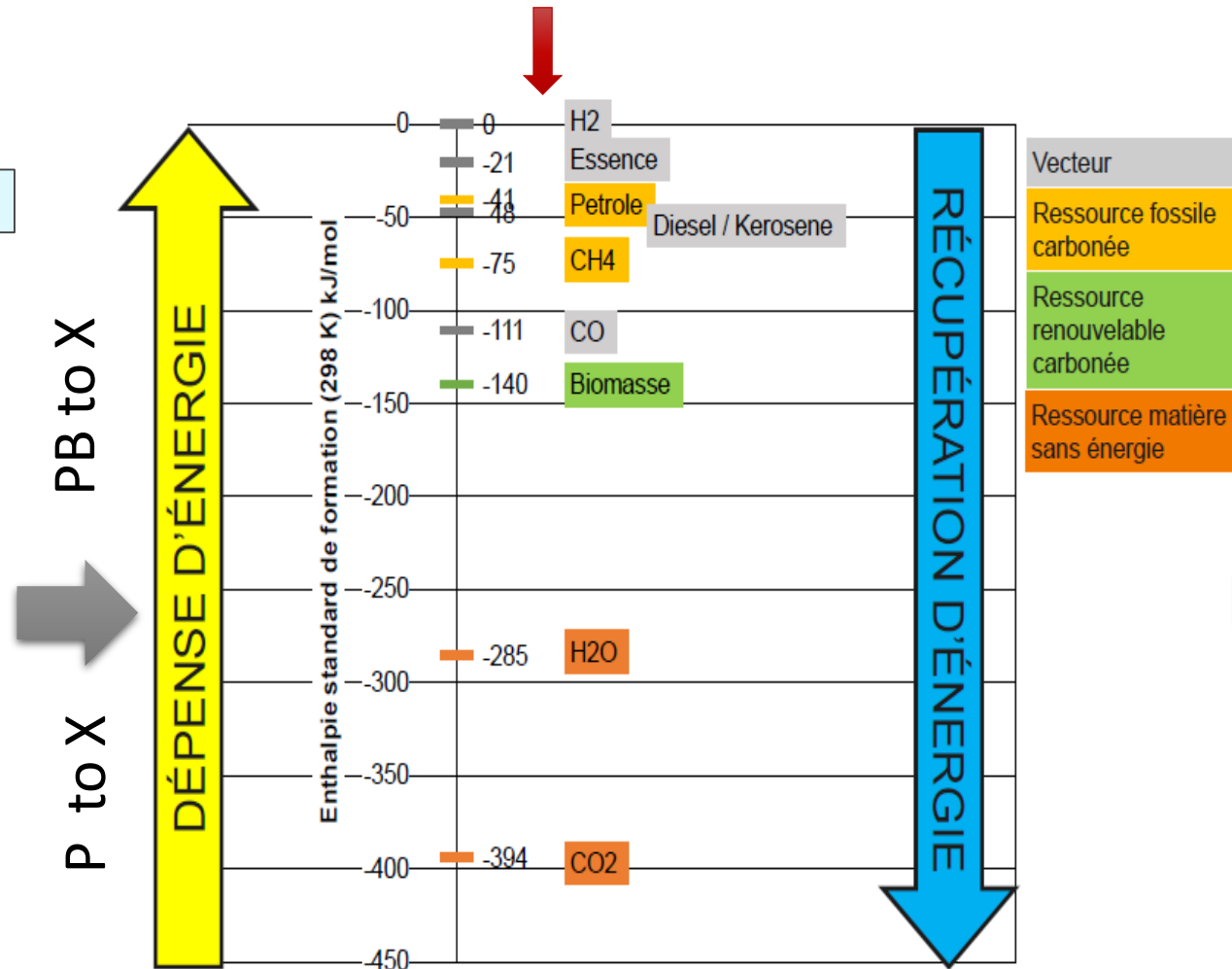




Energie : électricité, chaleur

C-H-O

source de Carbone (+ power)

Conc. CO₂CO₂ Atmosphérique

-(CH)- bien organisé - Drop-in or not ?

HYDROCARBURES

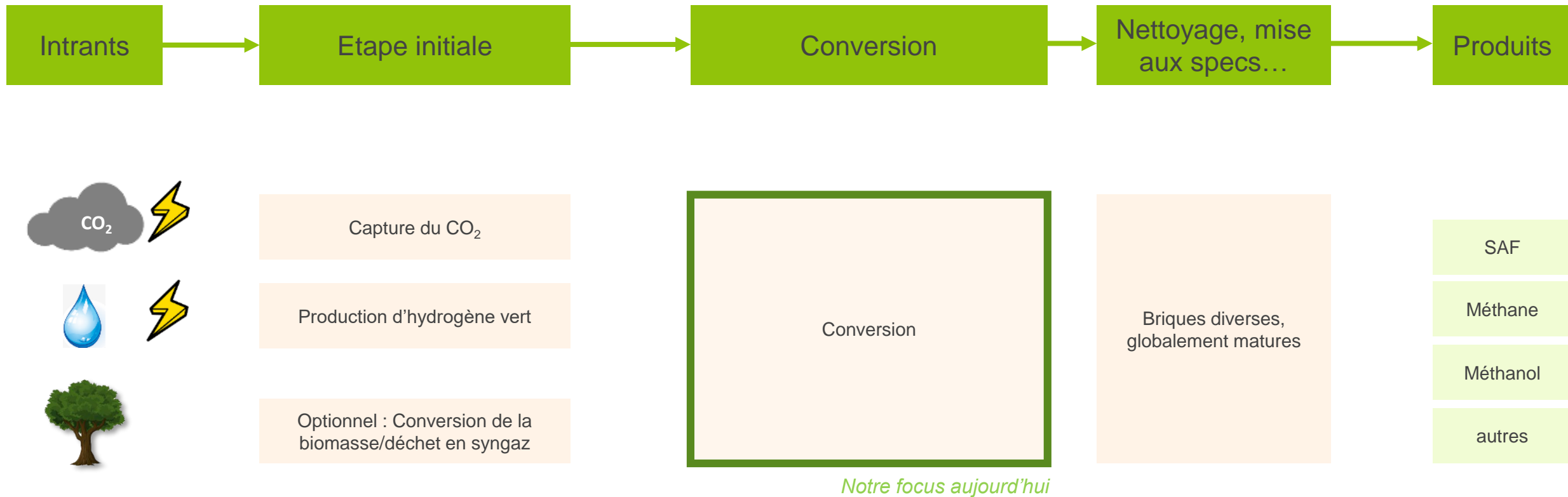
Méthane

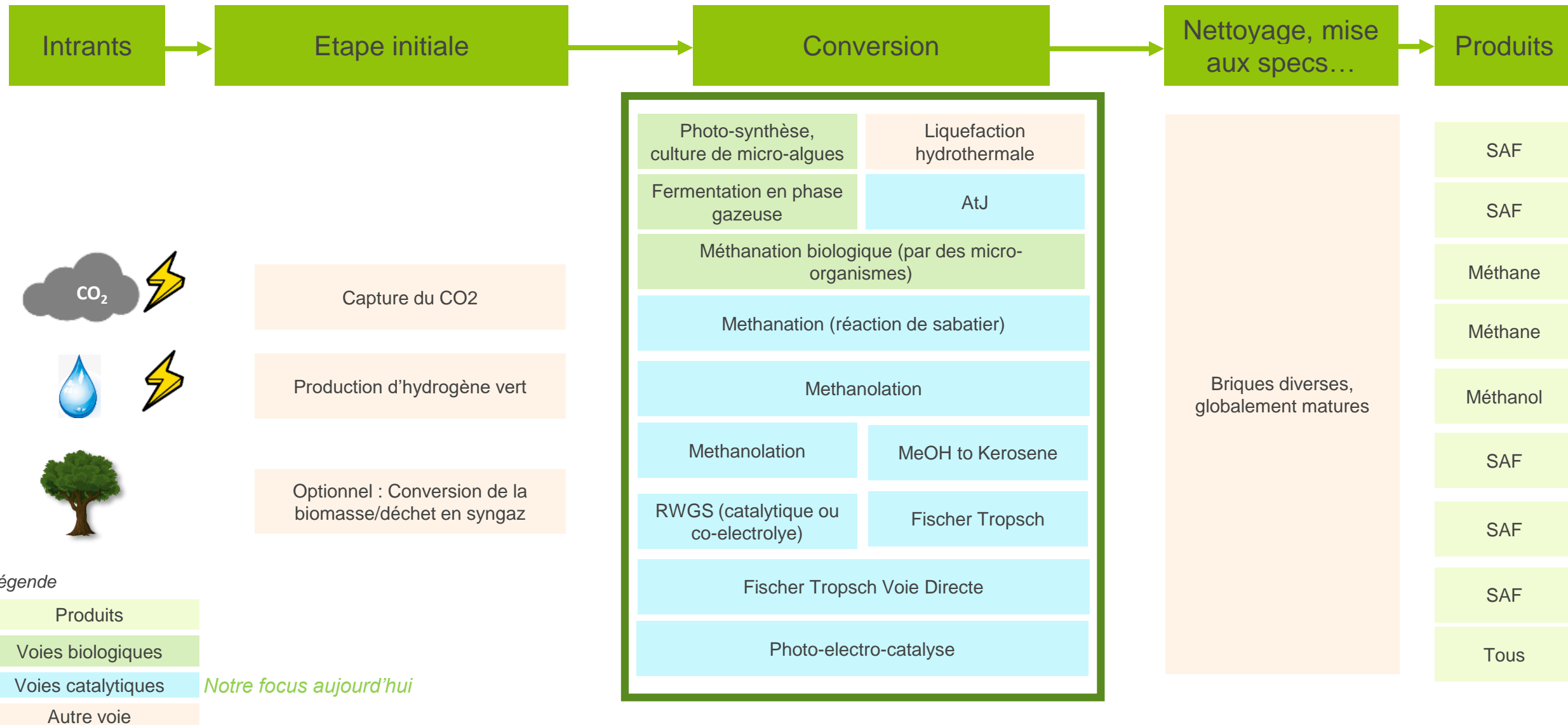
SAF

Methanol

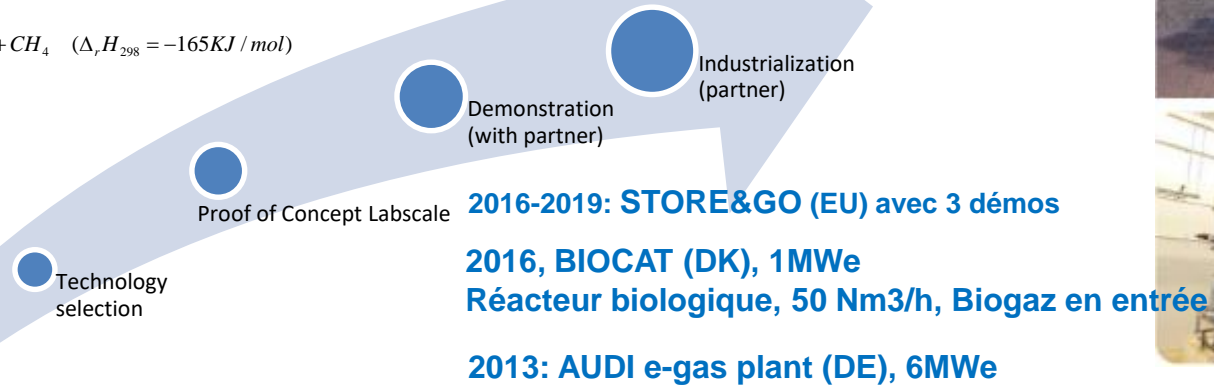
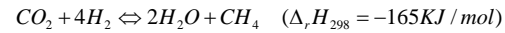
Oléfines

"fuel"

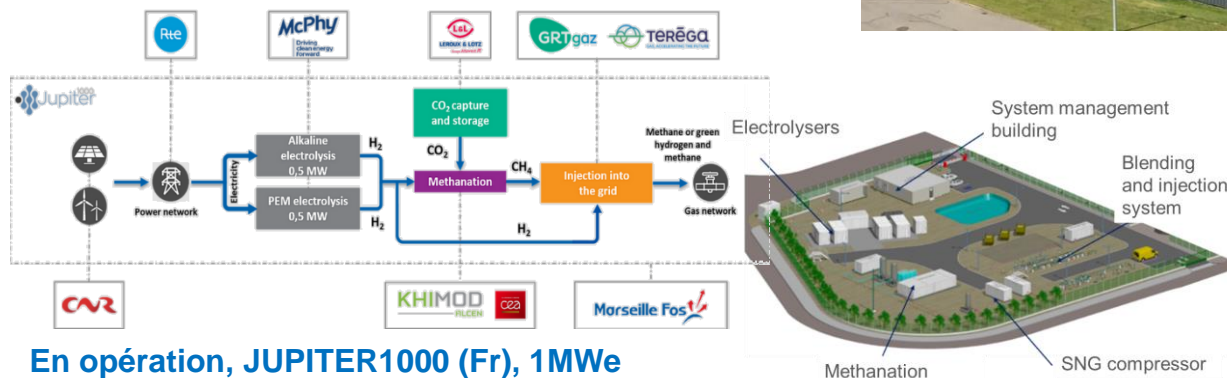





Le process de méthanation du CO et du CO₂ découvert en 1902 par Sabatier et Senderens



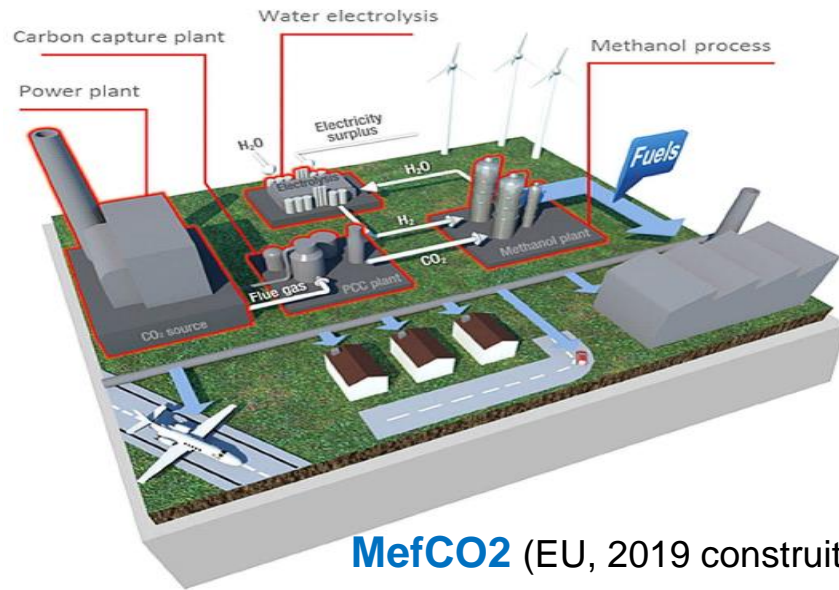
- Key facts:**
- 6,3MW power input for alkaline Electrolysis
 - SNG used as e-fuel for Audi customers
 - Methanation reactor by MDT
 - Commercial operation since December 2013



STORE&GO

	Falkenhagen Allemagne	Solothurn Suisse	Troia Italie
 Supported by the State Secretariat for Education, Research and Innovation under contract no. 15.0333			
Taille de l'installation	1MW	700kW	200kW
Technologie de méthanation	Réacteur catalytique nid d'abeille	Méthanation biologique	Réacteur modulaire milli-structuré
Source CO₂	Biogaz ou usine bioéthanol	Usine de traitement des eaux	CO ₂ atmosphérique





MefCO2 (EU, 2019 construit en DE)

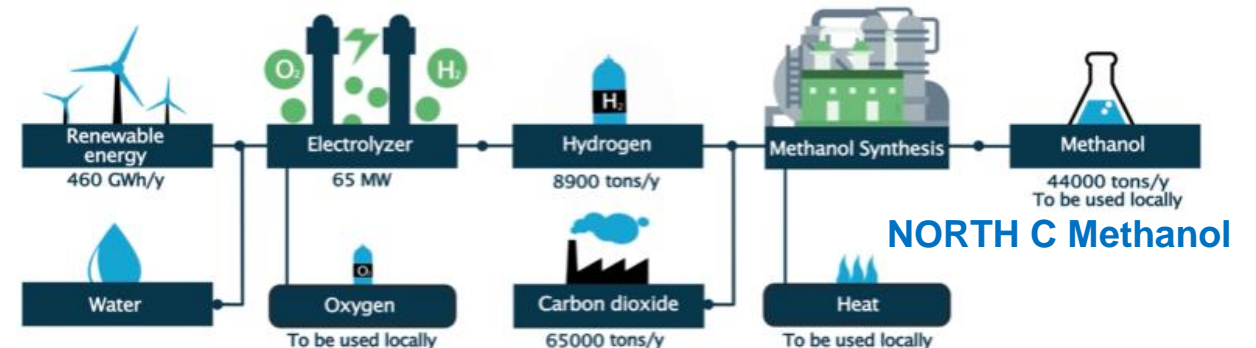
500 t/an de méthanol.



George Olah plant (Island, depuis 2012),
3600 t/an produit à partir de 5500 t of CO2.

De nombreux projets en cours:

- **HYNOVI** (EDF+VICAT) 200 Mt méthanol d'ici 2025
- **NORTH C Methanol** (BE) 600 Mt méthanol d'ici 2030
- **FlagshipONE** (suède) 50Mt méthanol d'ici 2024
- ...

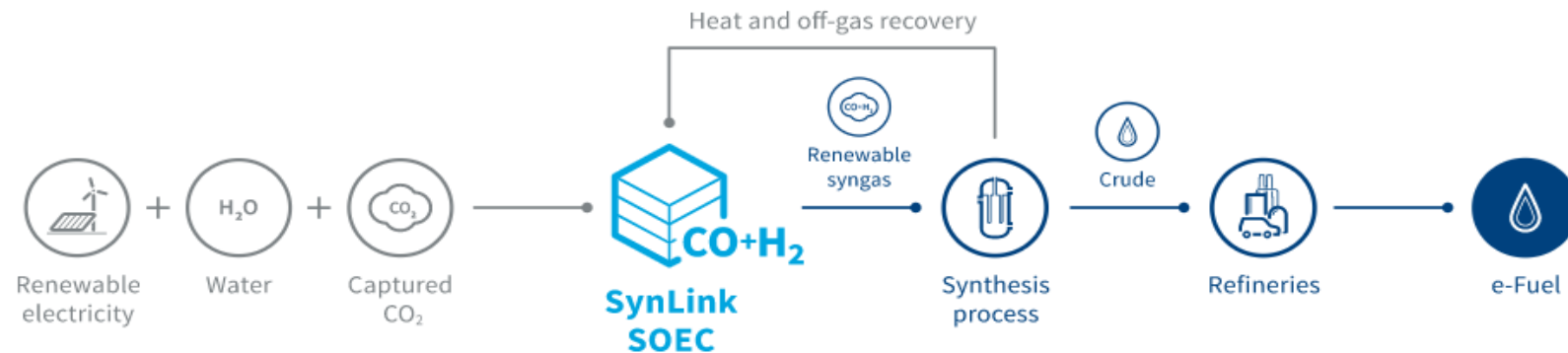


NORTH C Methanol



Norsk e-fuel project driven by an industrial consortium (Sunfire, Climeworks, Valinor, Paul Wurth), is held in Herøya (Norway).

The plant combines CO₂ from Direct air capture (Climeworks technology) and H₂ from SOEC (SUNFIRE technology). By 2023 the plant will provide 10 Million liters of renewable fuel annually for the Norwegian and European fuels market. Until 2026 they envisioned upscaling to 100 Million liters annually.



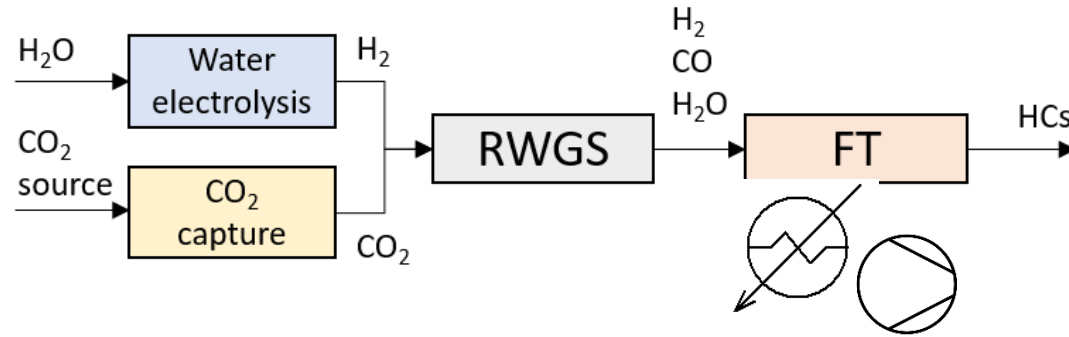
The fully integrated solution to produce e-Fuels of SUNFIRE

S'adapter aux nouvelles données de la transition énergétique

Les grands principes des besoins R&I : s'adapter aux nouvelles données de la transition énergétique

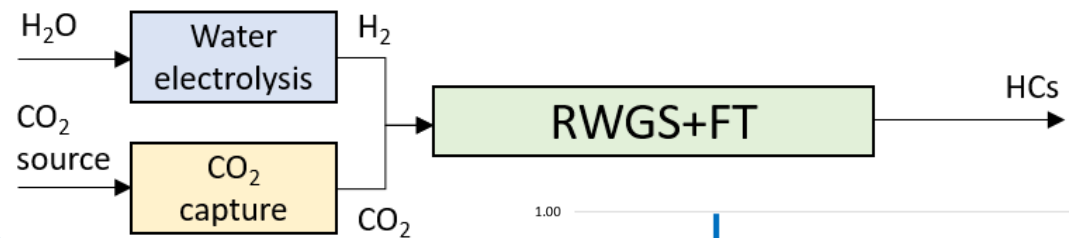
	Avant	Demain	Innovation
« CO ₂ vs CO »	<ul style="list-style-type: none"> CO Ou Syngas constant 	<ul style="list-style-type: none"> CO₂ Syngas de composition diverse et variable ; notion d'origine 	Nouveaux catalyseurs
Variabilité	<ul style="list-style-type: none"> On stocke et injecte l'intrant quand on en a besoin 	<ul style="list-style-type: none"> CO₂ industriel émis au rythme des productions CO₂ biogénique émis au rythme de la méthanisation Variation quotidiennes, saisonnières 	Mode opération flexible (stop&go, stand by variation de charge)
	<ul style="list-style-type: none"> Électricité du réseau, « toujours dispo » 	<ul style="list-style-type: none"> Electricité renouvelable intermittente Electricité du réseau avec contenu carbone variable Ressource limitée 	EMS (Energy Management system) Ressources élec dédiée (SMR)
Ecosystème complexe	<ul style="list-style-type: none"> Modèles centralisés (pipelines, ports, raffineries) 	<ul style="list-style-type: none"> Installations de tailles variées, modèles centralisé et décentralisés (émetteurs de toutes tailles, repartis sur le territoire, usagers gaz repartis, usagers kérosène centralisés, biomasse repartie Installations intégrées dans eco-complexes industriels, multi-énergie, multi-usage 	Composants modulaires ou scalable
Baisser les coûts	<ul style="list-style-type: none"> Pétrole, gaz « pas cher » 	<ul style="list-style-type: none"> CO₂, H₂ « chers », du fait du besoin en capex et électricité pour les obtenir 	Des performances accrues
Nouveaux KPI	<ul style="list-style-type: none"> € (€/MWh + quantité) 	<ul style="list-style-type: none"> € (€/MWh + quantité) CO₂ émis/MWh et coût du CO₂ évité ACV (eau, foncier, biodiversité...) 	Des outils d'optimisation multi-critères

INDIRECT PATHWAY



- + Chaque réaction est optimisée
- ✗ Refroidissement et compression intermédiaire
- ✗ Possible limite thermodynamique de la conversion RWGS

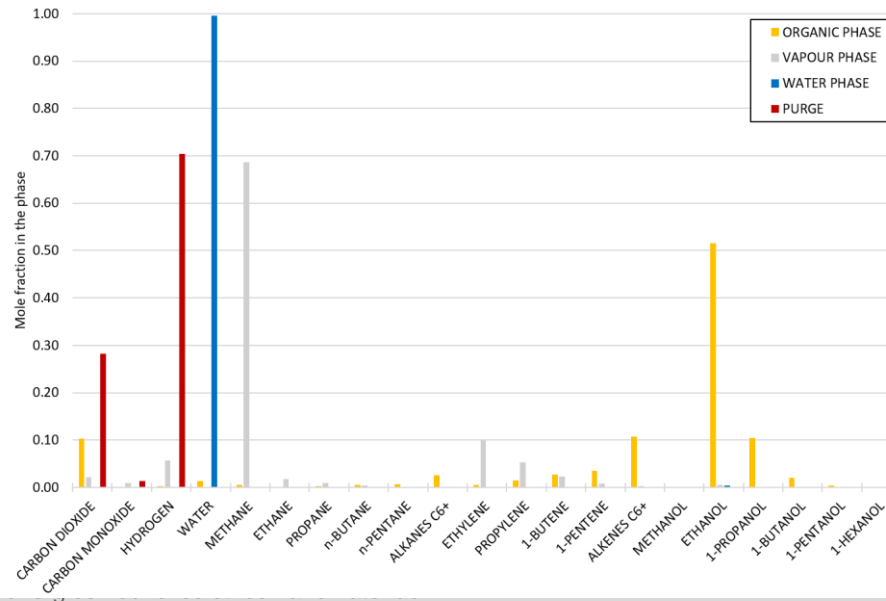
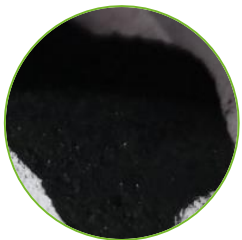
DIRECT PATHWAY



- + Refroidissement et compression intermédiaire évités: ↗ de l'efficacité énergétique
- + Meilleure conversion du CO2 en déplaçant l'équilibre RWGS

→ Trouver un catalyseur adéquat

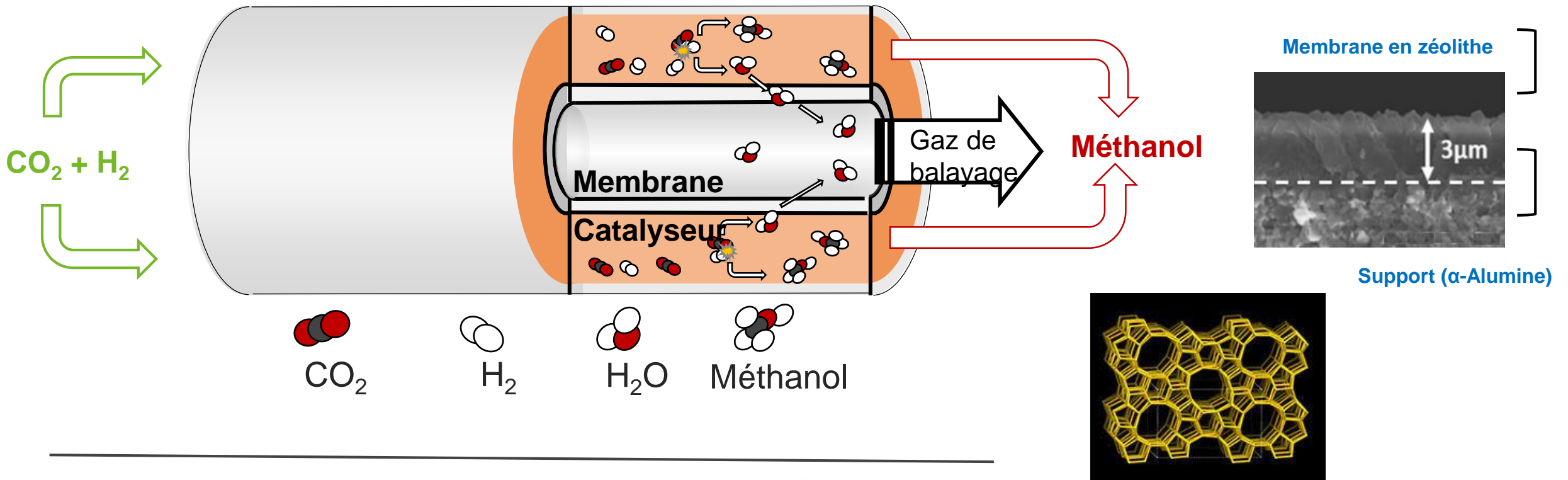
Catalyseur Fe-K sur Alumine



$$\eta_{PtX} = \frac{\sum_i LHV_i \dot{m}_i}{LHV_{H_2} \dot{m}_{H_2} + \dot{P}_u} = 66\%$$

$$\eta_c = \frac{\sum_i \dot{m}_{C,i}}{\dot{m}_{C,IN}} = 95\%$$

Schéma fonctionnel d'un réacteur membranaire



Jusqu'à **32%** d'énergie économisée sur le procédé * :

- Moins de distillation
- Moins de passage des réactifs dans le réacteur
- Moins de désactivation du catalyseur



Principe de Le Chatelier :



* Homa Hamed, Torsten Brinkmann, et Sergey Shishatskiy, « Membrane-Assisted Methanol Synthesis Processes and the Required Permselectivity », *Membranes* 11, n° 8 (6 août 2021): 596, <https://doi.org/10.3390/membranes11080596>.

- Il y a des opportunités d'amélioration incrémentale, et de rupture
- Sur de nombreuses voies, des démonstrateurs donnent confiance dans la scalabilité
- Le CEA mène des travaux sur l'amélioration de l'existant et fait aussi des développement disruptifs
- Un gros effort est porté sur l'optimisation système, la valorisation des flux de matière et de chaleur, et l'adéquation parfaite avec le contexte de chaque usine
- Les axes d'améliorations impacteront les coûts

