



La valorisation du CO₂

Séminaire national CSCV – 13 décembre 2021



Etat des lieux et perspectives de la recherche & innovation française

Valorisation du CO₂ :

1. Contexte, le CCU en France
2. Complémentarité avec CCS
3. Etat des lieux et chiffres clés
4. Enjeux scientifiques, technologiques, réglementaires
5. Opportunités
6. Réalisations concrètes et ambitions futures

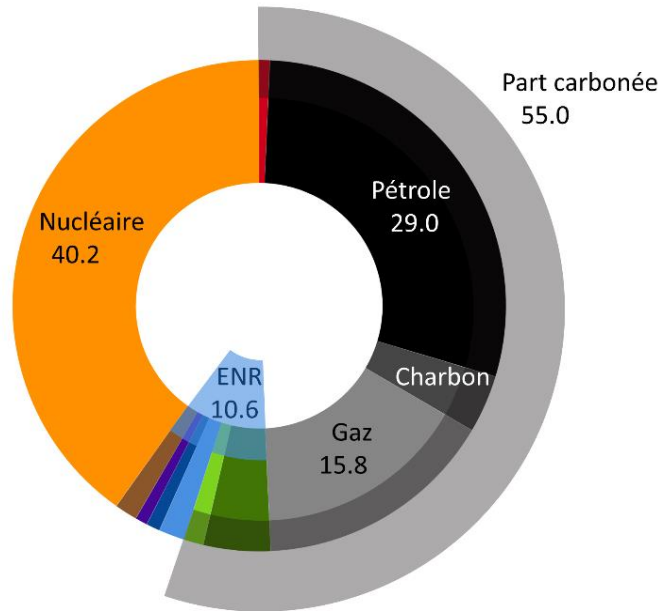
Contexte, le CCU/CVC en France

Quelle place pour les produits carbonés ? Peut-on strictement « décarboner » notre économie ?

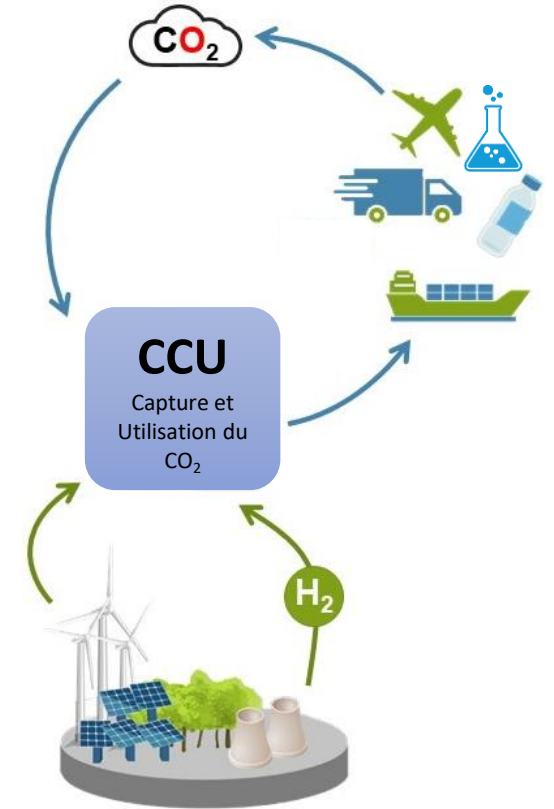
55% de produits carbonés
(70% de fossiles en énergie finale)

2/3 des usages décarbonables via le vecteur électrique,
l'H₂, l'efficacité énergétique, mais
1/3 des usages des produits carbonés ne peuvent pas
être substitués par des alternatives sans carbone

La ressource en biomasse sera
insuffisante pour compenser la totalité
du besoin de carbone



Déchets non renouvelables (0.7%)	Pétrole (28.97%)
Charbon (3.8%)	Gaz (15.78%)
Biocarburants (1.3%)	Biomasse solide (4.4%)
Pompes à chaleur (0.9%)	Hydraulique (hors pompage) (1.7%)
Eolien (0.8%)	Autres (1.5%)
Nucléaire (40.16%)	



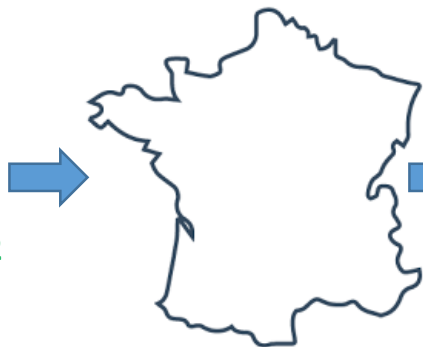
**La décarbonation ne peut être que partielle, pour le reste il
faudra *défossiliser* en bâtissant
une économie circulaire du carbone**

Contexte, le CCU en France

Une utilisation historique de CO₂ plutôt faible :



Utilisation
annuelle
< 1 Mt CO₂



Emissions annuelles
~ 300 Mt CO₂*

Un fort potentiel de sources fatales
concentrées de CO₂ à exploiter

De nombreuses et nouvelles voies de valorisation sur des marchés déjà existants en vue de :

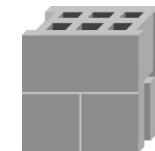
- Recycler le CO₂ pour réduire l'extraction de ressources fossiles (émissions évitées) au service de l'énergie et de la chimie



- Valoriser le CO₂ concentré des émetteurs fatals



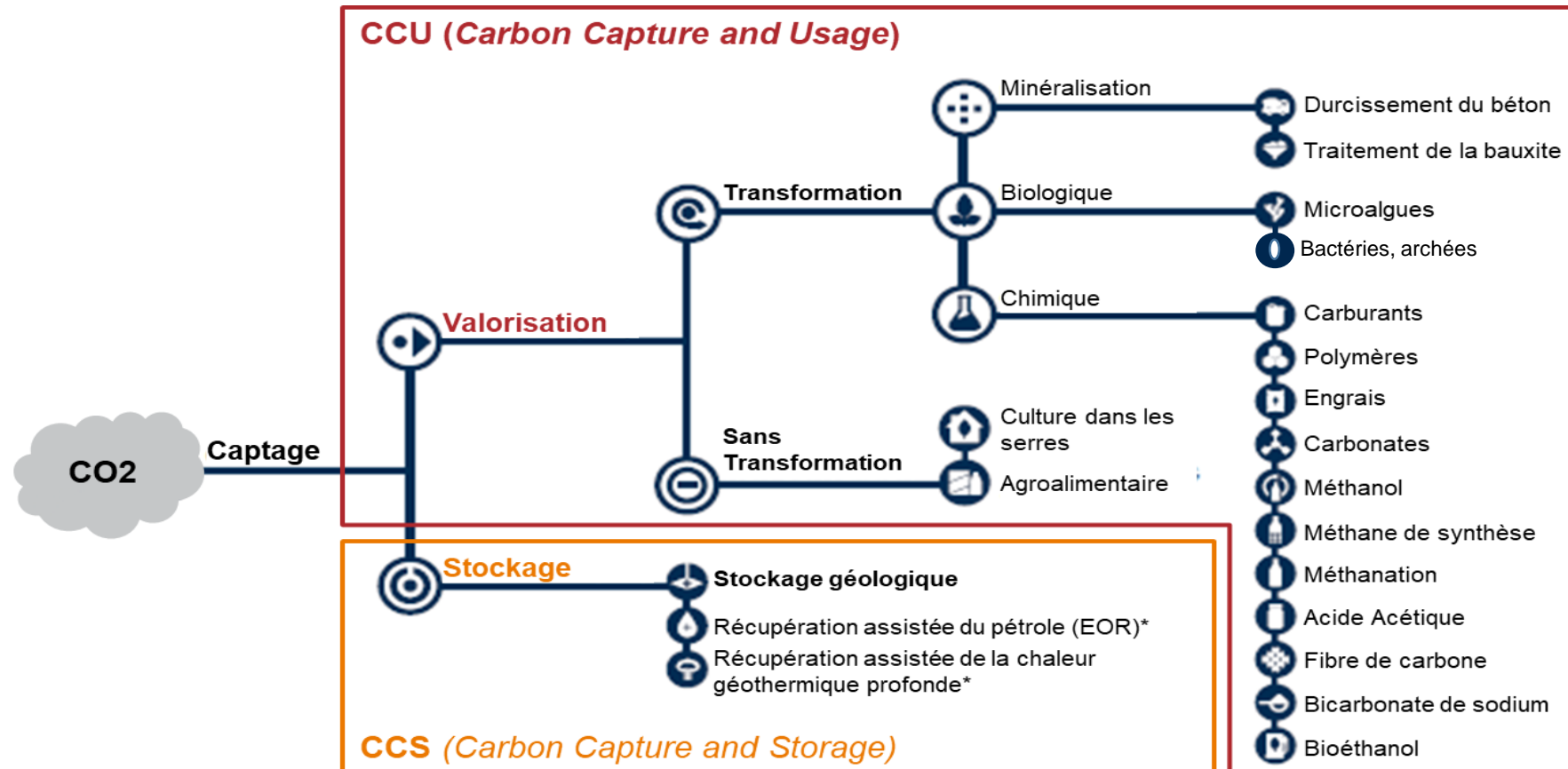
- Le séquestrer durablement dans des matériaux de construction (stockage et services cumulés)



Contexte, le CCU en France

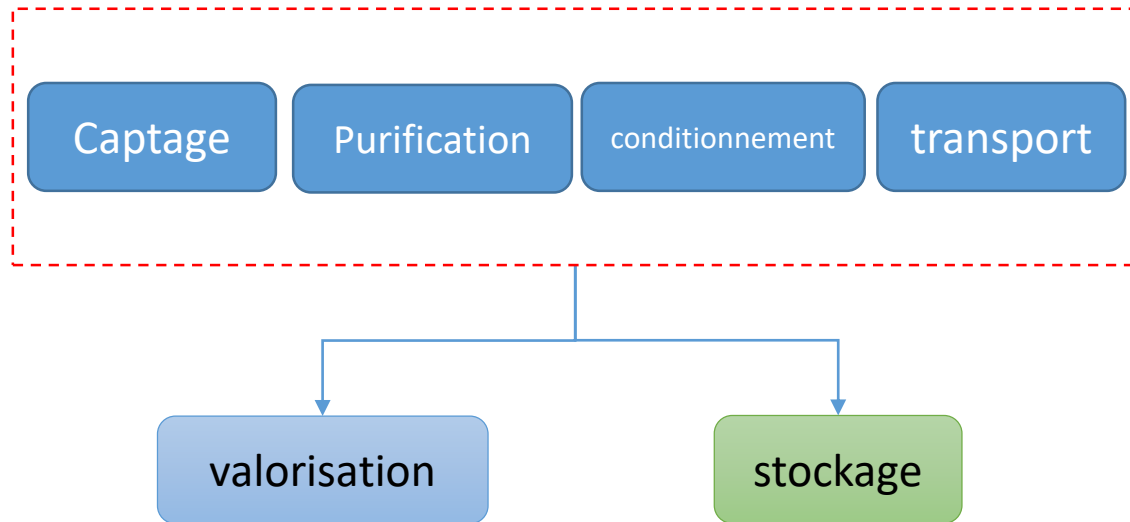
Une large variété de molécules et matériaux synthétisés à partir de CO₂ et d'énergies renouvelables et bas-carbone

- D'après la SNBC 2 : un besoin total de 460 TWh biomasse difficile à atteindre que le CCU viendra soutenir
- Des volumes potentiels massifs dans une multitude de secteurs pour des produits à forte ou faible valeur ajoutée



Complémentarité CCU et CCS (capture, transport, stockage, services)

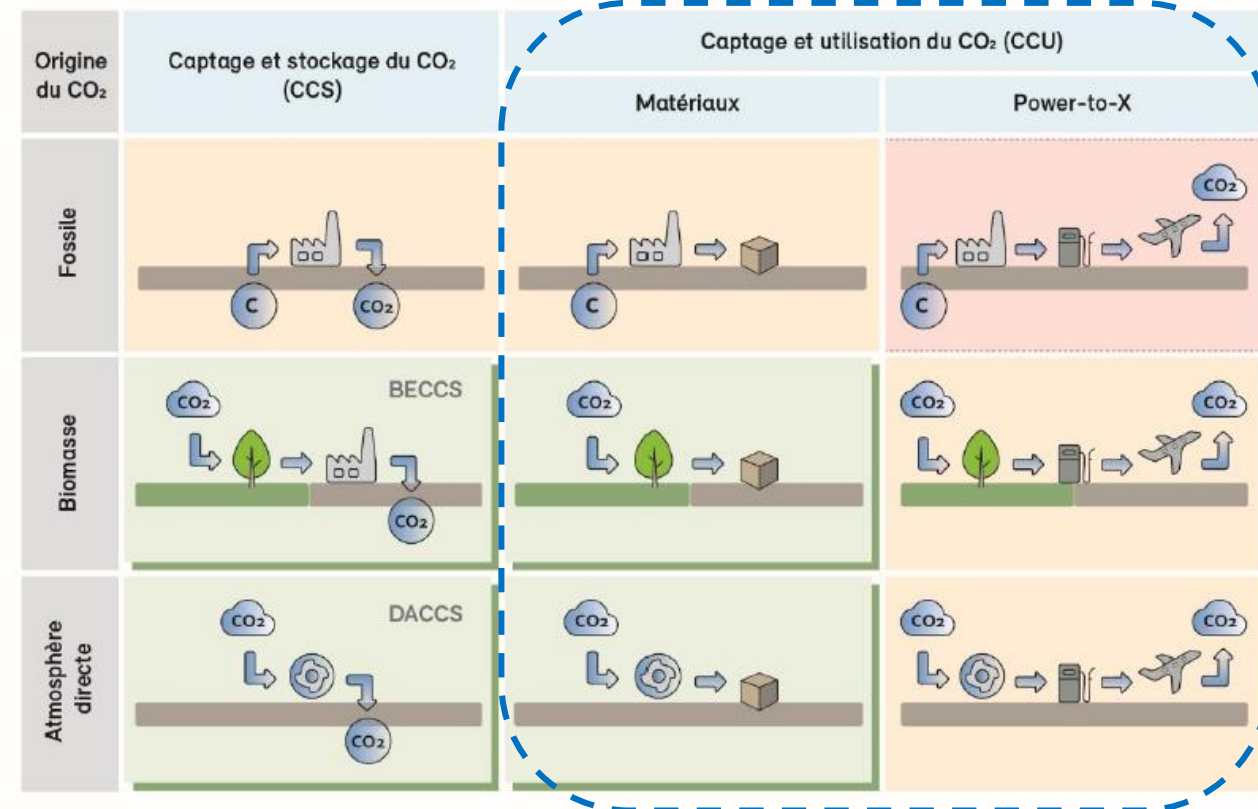
Des besoins communs aux stockage et à l'utilisation



- Justifie l'intérêt d'une filière mixte CCUS pour développer les technologies communes

Des services complémentaires :

- Evitement d'émissions
- Compensation (neutralisation)
- Émissions négatives



L'énergie utilisée est considérée comme étant décarbonée.

Émissions négatives Neutralité climatique Émissions de CO₂

Source : rapport de l'OFEV (Office fédéral de l'environnement) de septembre 2020

Etat des lieux et chiffres clés

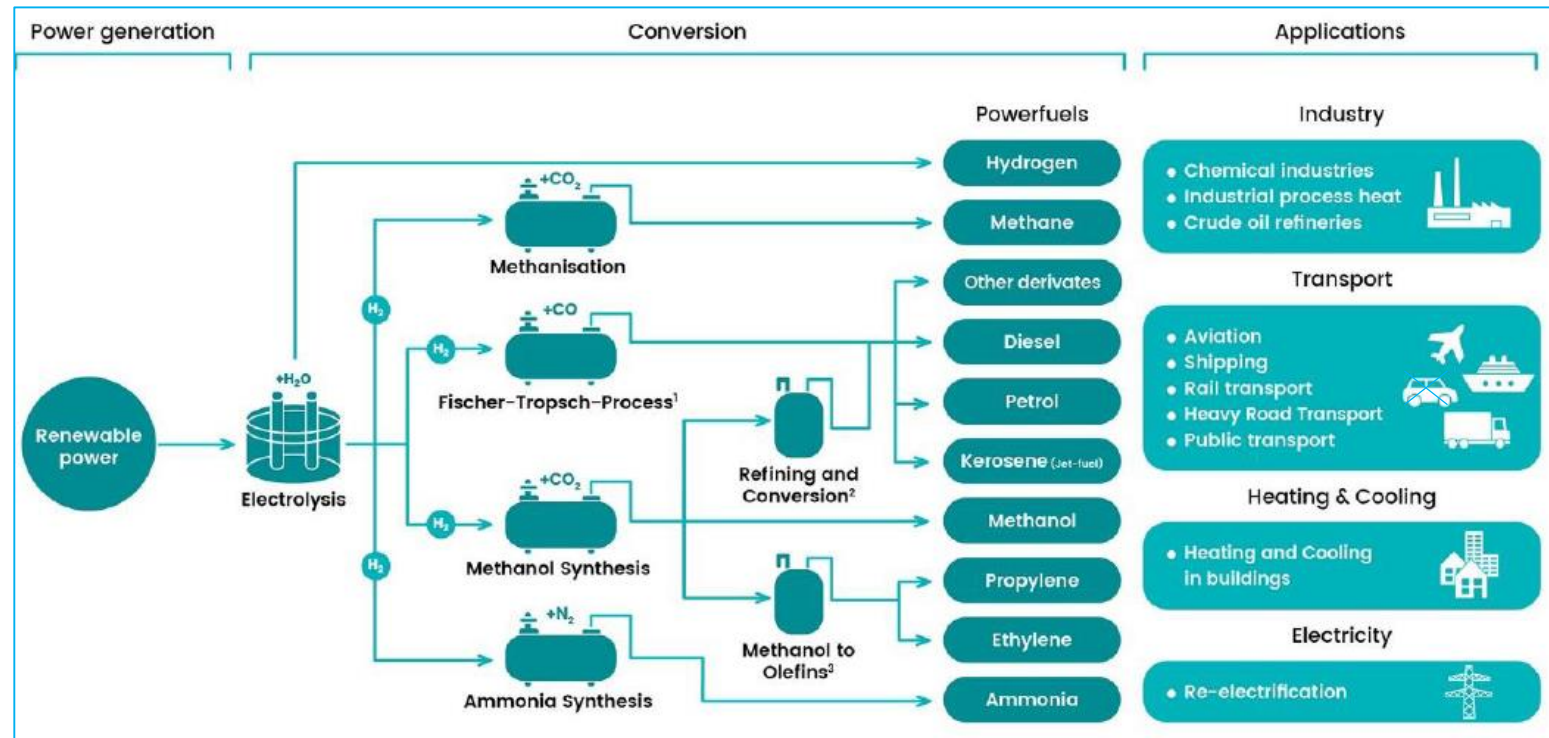
Minéralisation/carbonatation pour les produits du bâtiment

- Valorisation et Stockage du CO₂ par carbonatation du béton recyclé
- Des équipes de recherche mobilisées
 - INP Toulouse LGC
 - Univ Lorraine
- Des industriels (secteur ciment, construction)
 - Vicat
 - Lafarge Holcim
 - EDF (projet Vitamine)



E-fuels et molécules chimiques : besoins actuels et annoncés

- Une demande en **e-fuels (PtL)** estimée à **13 Mt en 2050** pour le secteur **aérien EU***, des volumes massifs attendus par le **transport maritime**
- Des besoins de **SNG (e-méthane)** pour compléter l'offre biogaz
- Des molécules de base pour la chimie (, éthylène, etc.)
- Des huiles minérales et des carbonates méthanol, COdivers pour l'industrie



*Fit for 55 et SkyNRJ Market Outlook on SAF - 2021

Etat des lieux et chiffres clés



Différents axes technologiques de conversion du CO₂



THERMOCATALYSE / THERMOCONVERSION

Méthanation; gazéification;
pyrolyse; torréfaction;
liquéfaction hydrothermale;
hydrogénation



CO₂

H₂



(PHOTO)ÉLECTROCATALYSE

Electrolyse; coélectrolyse;
photocatalyse;
photosynthèse artificielle



CO₂



BIOLOGIE / BIOHYBRIDE

Microalgues;
cyanobactéries;
bactéries



CO₂

Maturités, applications, défis

- TRL 5 à 7 (projets industriels en EU)
- Applications phares : CH₄, MeOH, hydrocarbures, minéralisation, CO
- Défis : scale-up, coûts, vitesse de déploiement
- Rendements de conversion à optimiser (TRL 3 à 4)
- Utilisation de ressources abondantes recyclables
- Intégration et scale-up à anticiper (plateformes)
- Compétitivité coût et gestion ressources-effluents (microalgues vers biocarburants TRL 4-5)
- Déjà industrielle en Europe (biométhanation, molécules)
- Montée TRL, robustesse aux polluants, défi sur les molécules à faible valeur ajoutée

Etat des lieux et chiffres clés

TROPHEES DU CO₂
28 septembre 2021

Un réseau d'acteurs académiques et industriels reconnus
Une dynamique croissante



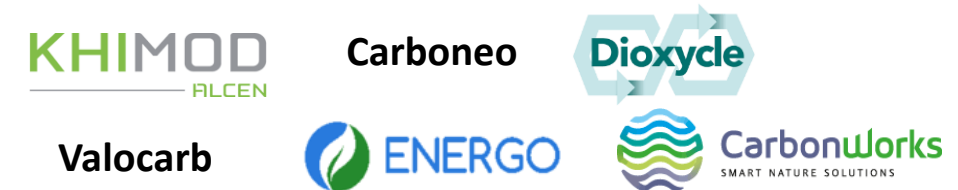
Quelques équipes académiques :

- Valérie Keller (Univ Strasbourg)
- Alessandra Quadrelli (CNRS Lyon)
- Claire-Marie Pradier (CNRS INC Paris)
- Marc Robert (CNRS Paris 7)
- Marc Fontecave (Collège de France)
- Thibault Cantat (CEA UPS)
- Florent Bourgeois (INP LGC Toulouse)
- Vincent Artero (CNRS-CEA-UGA)
- Eric Maréchal (CNRS-CEA-UGA)
- Yonghua Li-Beisson (CEA-UAM)

Grands groupes :



Startup :



Enjeux scientifiques, technologiques et réglementaires

Enjeux scientifiques et technologiques

- Poursuivre des recherches amont et accroître les rendements de conversion (réacteurs, catalyseurs, souches, matériaux)
- Explorer des conversion les plus directs possibles pour réduire les pertes de rendement (électro-photo)
- Réduction des coûts technologiques et adaptation des procédés aux échelles industrielles
- Prise en compte des optimisations systèmes associant source d'énergie, chaleur fatale, production d'H₂, etc.

Analyses de cycle de vie:

- Des référentiels déjà existants à considérer
 - Etude Score LCA (CIRAIG)
 - Etude TEA-LCA du JRC des CO₂ bases fuels
 - TEA-LCA guidelines for CO₂ Utilization du Global CO₂ initiative
- Des discussions à engager entre la filière et l'Etat pour s'accorder sur les méthodologies de référence

Adaptation de la réglementation:

- Reconnaître et soutenir le principe des émissions évitées par la substitution d'équivalents fossiles
- Mettre fin au double comptage de CO₂ (émetteur-transformateur) => EU-ETS
- Soutenir les filières quasi matures au travers de mécanismes de soutien
- Donner de la visibilité aux produits CCU (achat éclairé) au travers de labels CCU s'appuyant sur des méthodologies ACV reconnues

Opportunités, soutiens



Taux d'incorporation e-fuels minimum obligatoires – kérosène SAF (0,7% en 2030; 28% en 2050)



Contrat de filière qui engage les acteurs de l'industrie et de la recherche avec l'Etat



PEPR
Décarbonation de l'industrie
Bioproduits et carburants durables

l'Etat et la filière se sont engagés à :

- Etablir une feuille de route CCU / CVC au niveau national
- Proposer un système de traçabilité et label CCU (le positionner dans un contexte européen / UE)
- Plan d'action pour lever les verrous
- Définir un master plan national à l'horizon 2050, et faire le lien avec les ressources renouvelables disponibles

Projets CCU (passés)



VALORISATION BIOLOGIQUE DES FUMÉES INDUSTRIELLES



Démonstrateurs pré-industriels



Injection CO₂

culture

Récolte

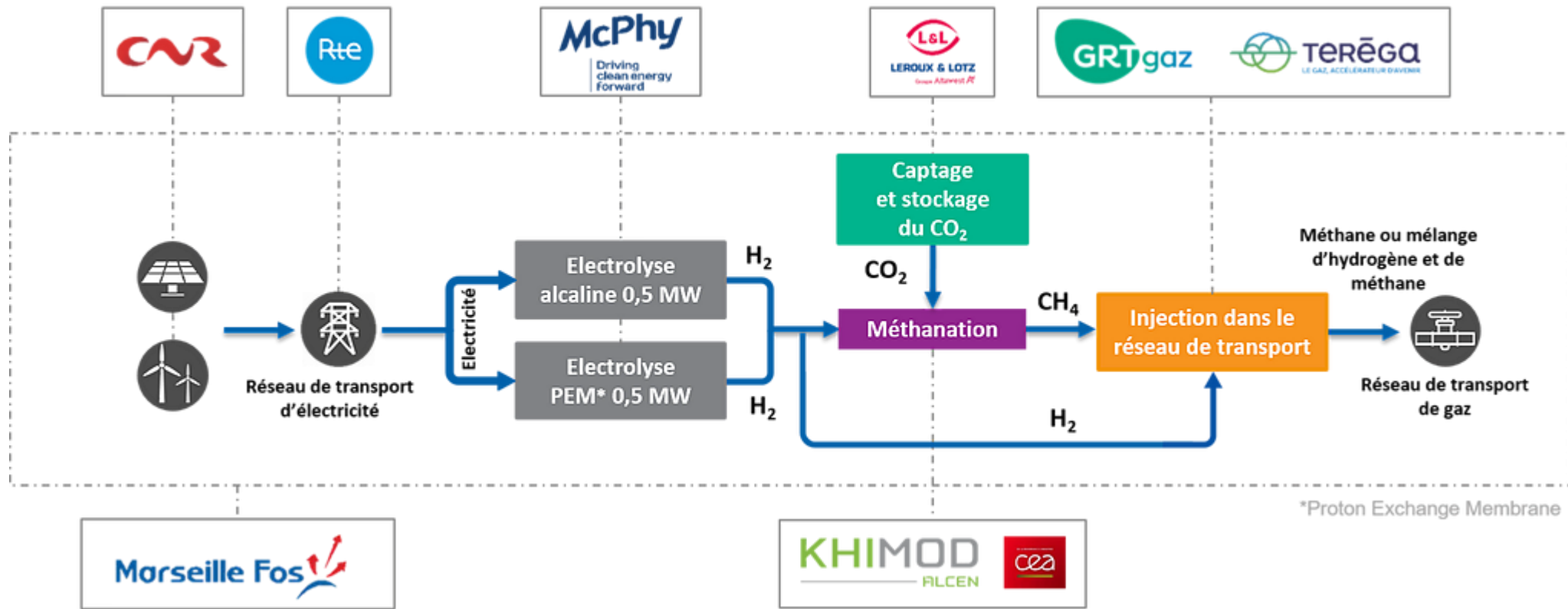
Centrifugation

Conversion

Raffinage

Biocarburant

Projets CCU (en cours)



Projets CCU (futurs)



330 MW d'électrolyseurs H₂

200 000 tonnes de méthanol/an



Projets CCU (futurs)

Alors que la France bénéficie d'atouts majeurs pour le CCU (4 régions émettrices mobilisées, mix électrique décarboné, energy majors, tissu académique reconnu), elle reste très en retard par rapport aux pays scandinaves pays frontaliers.

Il est temps de donner une impulsion à la filière et faire émerger des projets ambitieux français qui sauront tirer le bénéfice d'une énergie électrique déjà décarbonée.