

COLLOQUE

JOURNÉE TECHNIQUE VALORISATION DU BIOCO₂

18 mars 2025 - Paris 2

CO₂



LE CO₂ : UNE MATIÈRE PREMIÈRE POUR DES SECTEURS VARIÉS

Animation : Mouhamed Niakate (Bioeconomy For Change)



Marion Guillevic

Directrice du Business Development



Frédéric Martel

Directeur Recherche et Développement Industriel

CRISTAL UNION



Claire Gauthier

Chef de Programme Economie Circulaire du Carbone



Stéphanie Heux

Directrice de recherche



Christophe Lombard

Responsable Culture & Intégration Industrielle



Présentation des intervenants et de leurs structures



Frédéric MARTEL

Directeur Recherche et Développement Industriel

Direction Industrielle

UN GROUPE COOPÉRATIF AUX MARCHÉS DIVERSIFIÉS

CRISTAL UNION

C'est ensemble
que nous avançons.



1er

Fournisseur de
sucre à l'industrie
agroalimentaire
française

1er

Opérateur
d'alcool rectifié
européen



3ème

Opérateur
de bioéthanol
européen



500 000

tonnes de pulpes
de betteraves
et de luzerne



Daddy

erstein

Eridania

CRISTAL UNION

3



Stéphanie HEUX

Director of research & Team Leader
Team MetaSys



Certified ISO 9001, 2016



Labo1.5 approach



Localisation

- Campus INSA Toulouse
- École internationale d'ingénieurs
- 3 268 étudiants
- 500 diplômés/an
- 700 salariés



Personels

- 150 en poste permanent (chercheurs et enseignants, ingénieurs, techniciens et administratifs)
- 150 en poste non permanent (60 doctorants)
- 20 M€/an



Recherche

- Catalyse et ingénierie enzymatique
- Biologie des systèmes et de synthèse
- Fermentation, ingénierie des procédés
- Éco-conception



Claire GAUTHIER

Chef de Programme Economie Circulaire du Carbone
Direction des Energies – Direction des Programmes Energies



Le CEA, acteur de la transition énergétique



Une vision intégrée des énergies,
pour atteindre le « Net Zero 2050 » et les
objectifs fixés par le Gouvernement dans sa
stratégie nationale

TECHNOLOGIES

- Nucléaire
- Production solaire
- Réseaux énergétiques
- Batteries
- Vecteur hydrogène
- Valorisation du carbone
- Fabrication additive
- Data et IA

“ Avec une **approche intégrée du système énergétique**, le CEA s'intéresse aux modes de production d'énergie **bas carbone** (énergie nucléaire, NTE), à leurs **interactions au sein du réseau** (stockage, pilotage, conversion), à la **problématique des ressources** dans une logique de cycle fermé des matières, le tout prenant en compte les **dimensions technico-économiques, sociétales et politiques**. ”

Les chiffres-clés* des activités énergies

	3750	Salariés en CDI
	500	Doctorants et post-doctorants
	230	Partenaires institutionnels
	250	Partenaires industriels
	225	Dépôts de brevets par an
	11	Start-up entre 2020 et 2023



Marion GUILLEVIC
Business Development Director



- Technologie **française**, fabriquée en France
- Entreprise innovante: **8 brevets**
- **16,5 M€ levés** en mars 2024
- 1600 m² de hall d'essai, laboratoire et production
- **Technologie validée** historiquement sur la méthanation:



French Tech 2030 • Promotion 2023



Démonstrateur de 10Nm³/h démarré en 2021



Juillet 2022: 1^{ere} injection de biométhane de synthèse dans le réseau



avec le soutien de



Une ambition

Apporter une solution **miniaturisée** et **adaptable**, de valorisation de gaz en **molécules d'intérêt**, **peu énergivore** et à **faible investissement** pour permettre une **approche décentralisée** de la décarbonation



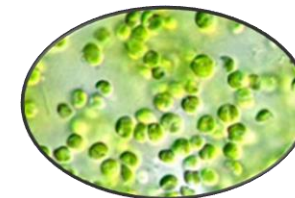
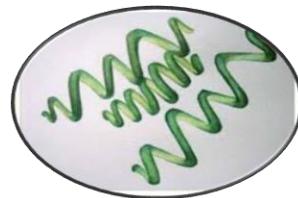
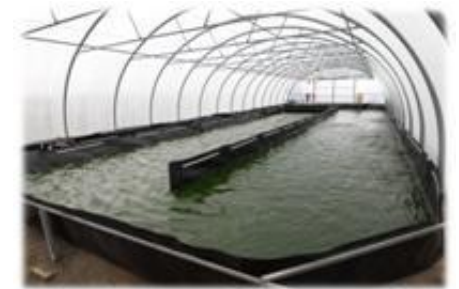
Christophe LOMBARD

Responsable Culture & Intégration
Industrielle

Groupe AlgoSource



- production, récolte, transformation, valorisation de biomasse marine – microalgues et cyanobactéries
- depuis 1993
- implanté en Loire-Atlantique :
 - 1 site de production
 - 1 site d'algoraffinage
- marchés visés : compléments alimentaires, ingrédients cosmétiques (« nutraceutiques »)
- slogan : « *la santé par les microalgues* »
- essais in-vitro et in-vivo pour démontrer les fonctionnalités biologiques (ARS et CHUs)

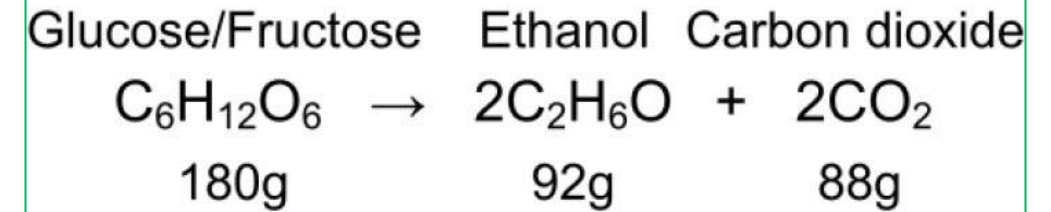


Question 1: Aujourd'hui, quelles valorisations faites-vous du CO2 ?



Cristanol - Air Liquide : 90 à 120.000 t/an

Fermentation

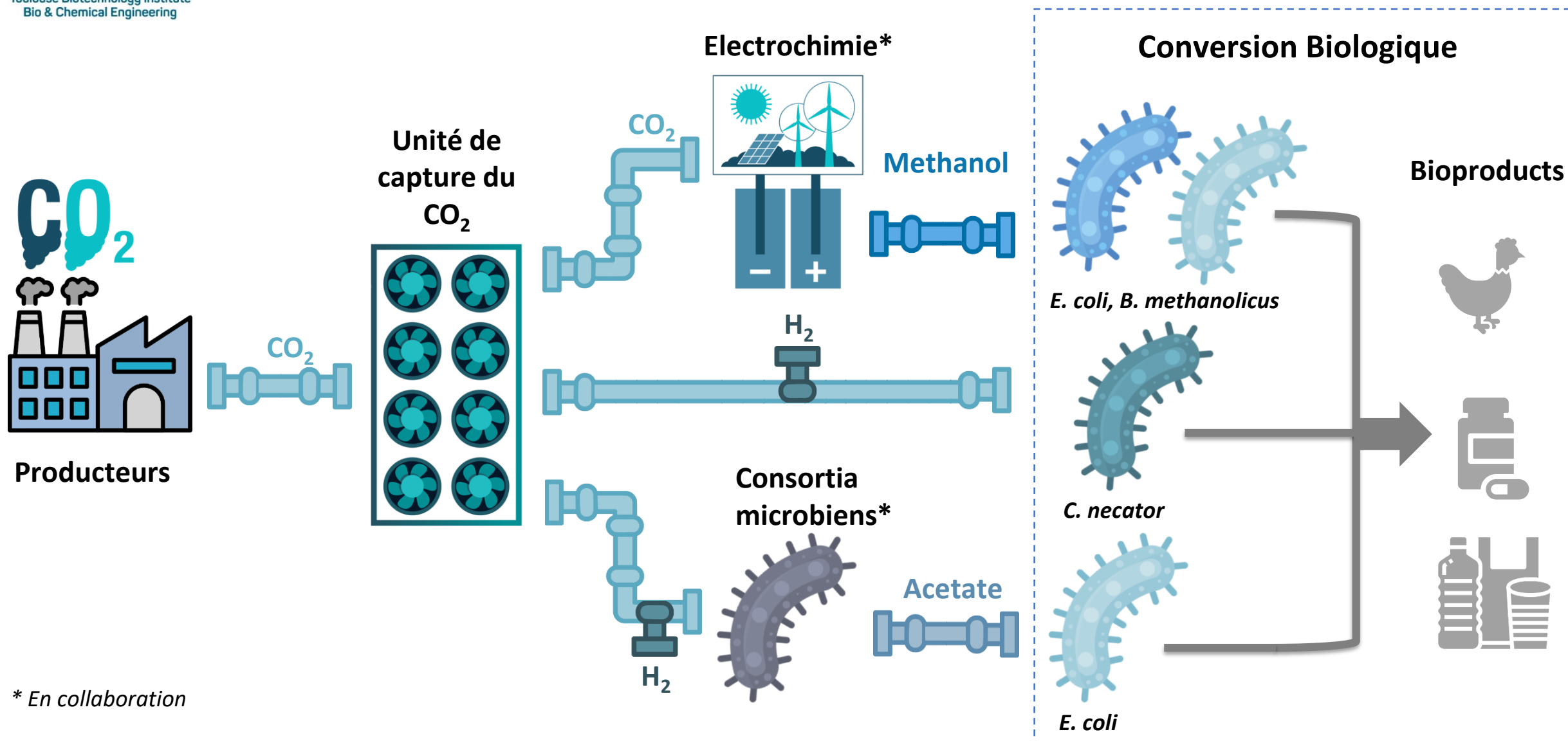


CRISTAL UNION
C'est ensemble
que nous avançons.

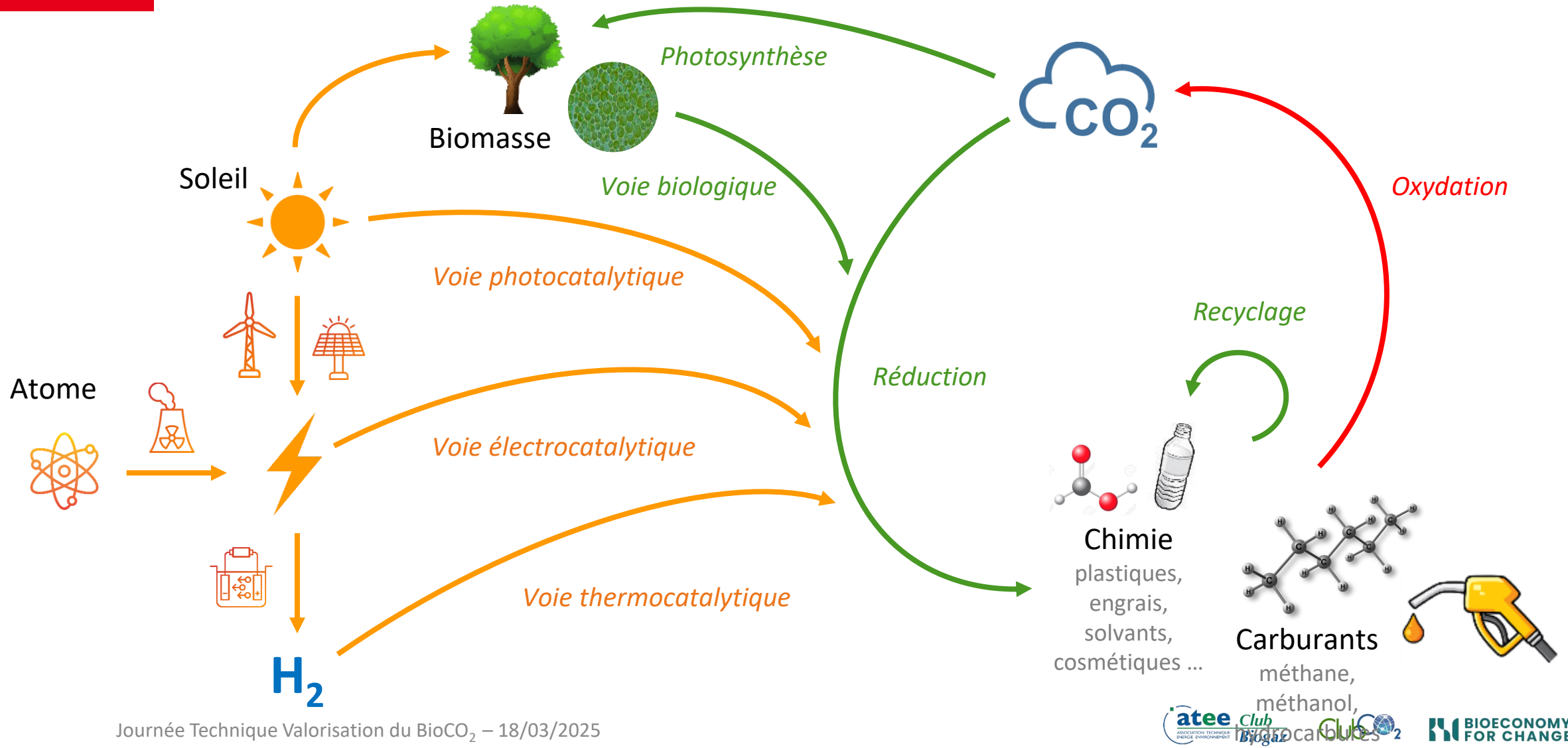
Cristal Union
Ethanol produit :
405.000 t /an
CO2 potentiel :
390.000 t/an



Une valorisation biologique du CO₂ et de ses dérivés



L'Economie Circulaire du Carbone pour la défossilisation (des carburants et) des molécules chimiques

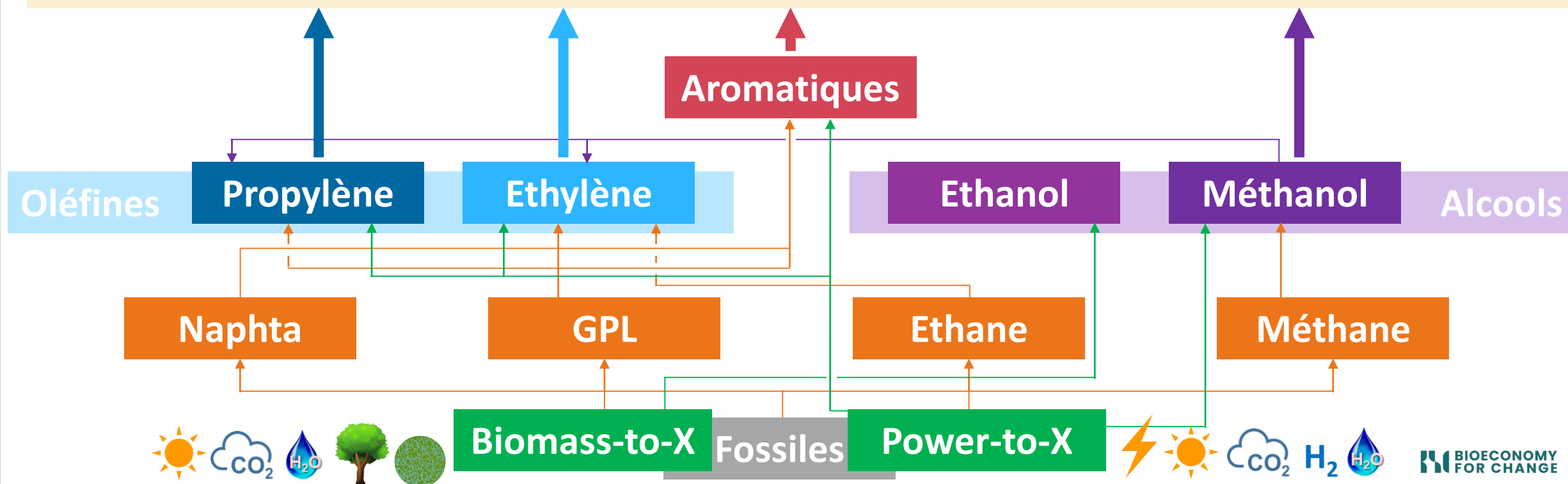


L'Economie Circulaire du Carbone pour la défossilisation (des carburants et) des molécules chimiques

95% des produits manufacturés sont fabriqués à partir de la pétrochimie

Plastiques : polystyrènes, polyéthylènes, polypropylènes, polyesters, polycarbonates, PVC, résines, caoutchoucs et élastomères, ...

Solvants, peintures, revêtements, adhésifs, lubrifiants, détergents, engrais, médicaments, chewing-gum, ...

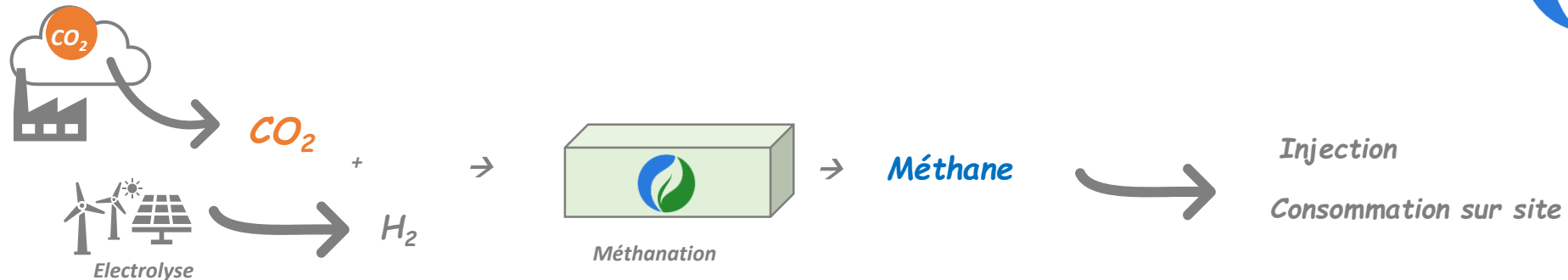


CO₂

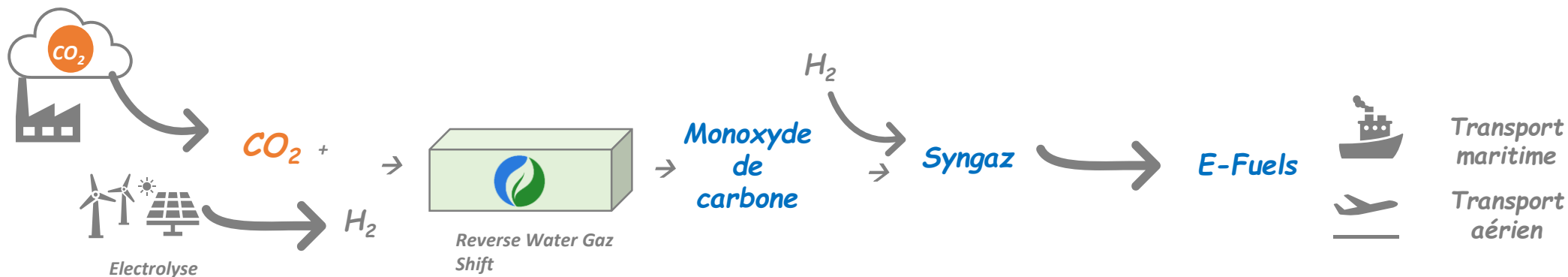
Plusieurs voies de valorisation de CO₂



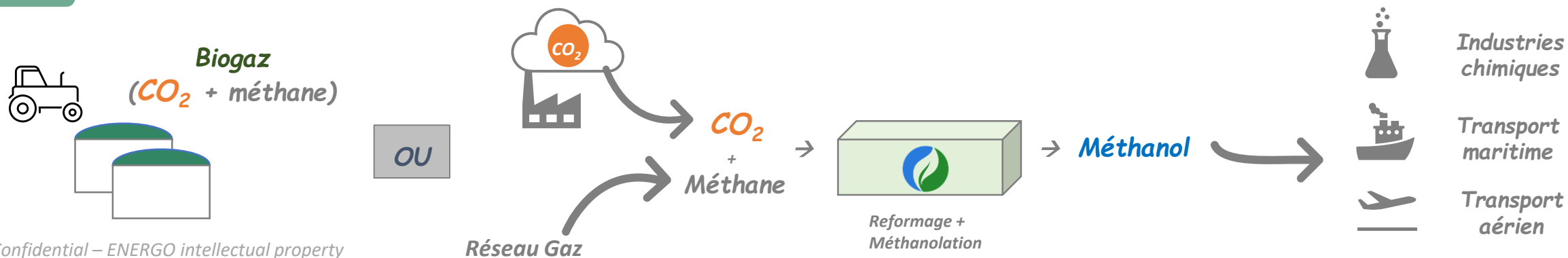
Méthane



E-Fuels



Méthanol



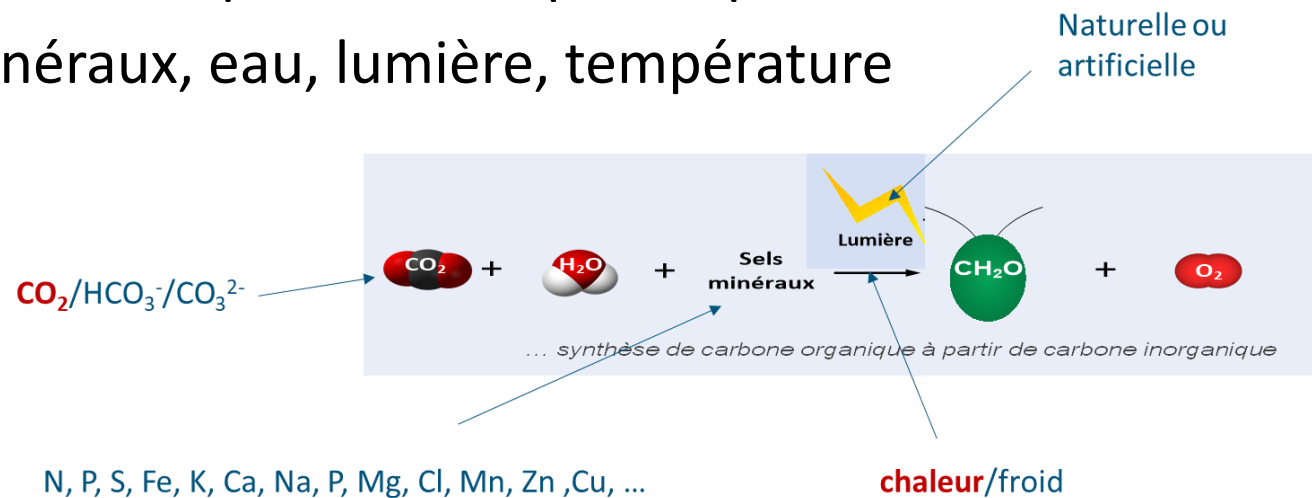
Confidential – ENERGO intellectual property

Journée Technique Valorisation du BioCO₂ – 18/03/2025

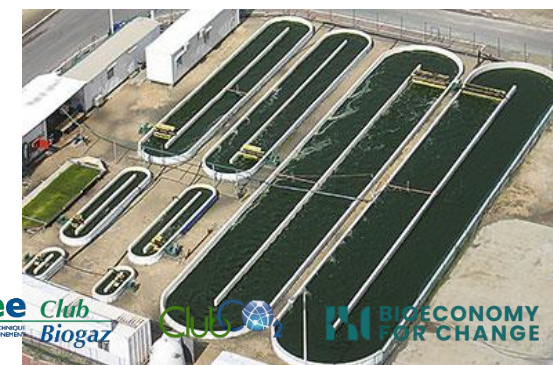
Valorisation biologique de CO₂



- avec microorganismes photosynthétiques : microalgues / cyanobact
- « domestiquées » par l'homme depuis les années 1970s
 - Bassins : 40 ha (EUA) ; PBRs : 1000 km (Chine)
- croissance de 5 à 10 fois plus élevée que les plantes terrestres
- carbone, sels minéraux, eau, lumière, température



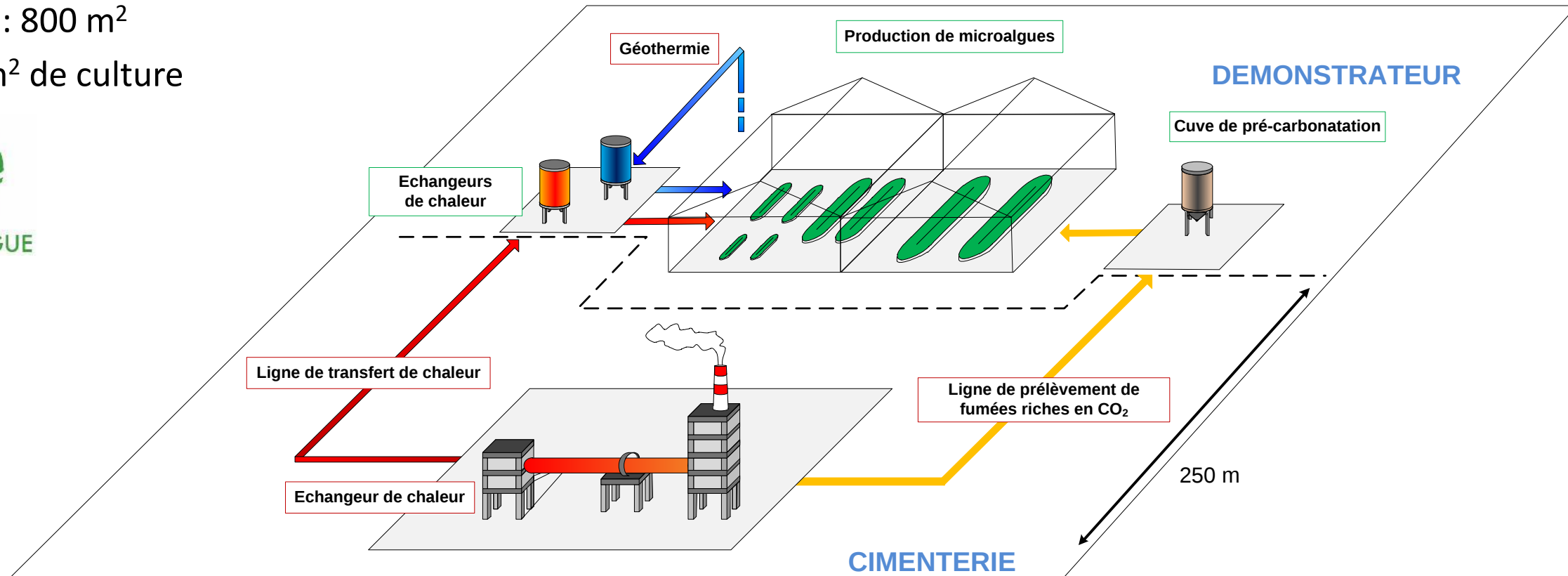
- valorisation : facile à mettre en œuvre, pas d'étape de captage
- tolère le CO₂ mélangé à : CO, O₂, NO_x, SO₂, métaux lourds, imbrûlés
- Attention à la qualité de la biomasse produite !



Exemple d'un projet : CIMENTALGUE



- démonstrateur : implanté au sein de la cimenterie VICAT de Montalieu (38)
- co-valorisation de CO₂ (15%-20% bioCO₂) & de chaleur fatale
- phase 2 : 2019 – 2025
- recherche de nouveaux co-partenaires industriels
- Serre : 800 m²
- 400 m² de culture



Exemple d'un projet : CIMENTALGUE

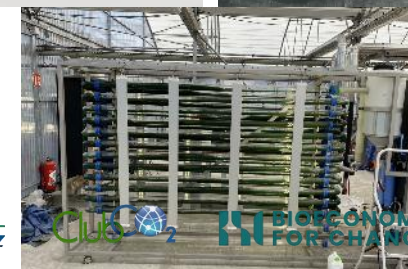
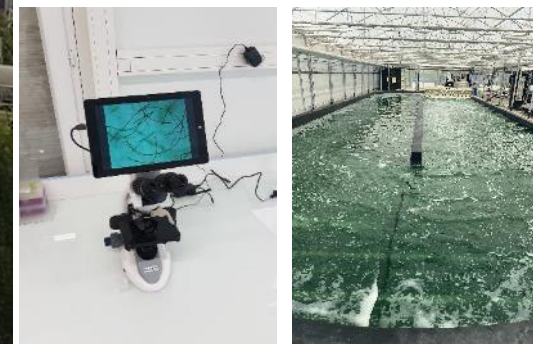


Laboratoire



Démonstrateur

Lignes de transfert fumée
(CO₂)/chaleur



Question 2: Selon vous, quels sont les défis et menaces à relever pour favoriser le développement des différents projets de valorisation du CO₂ ?

Défis et menaces à relever pour favoriser le développement des différents projets de valorisation

- **Marché du CO₂ français : 1,1-1,2 Mt/an**
- **Aujourd'hui : 70% alimentaire, 30% autres usages classiques (chimie, pharmacie, industrie, etc...)**
- **Potentiel de Cristal Union = 33% du marché actuel, mais seulement 10% réalisé**
- **Concurrence nouvelles productions : coproduit du biogaz, coproduit de l'H₂ base méthane, CCU fumées, ...**
- **Nécessité de relais de croissance : vecteurs énergétiques (MeOH, e-fuels), matériaux (carbonates), ...**

Les défis et menaces à la valorisation biologique du CO₂ et de ses dérivés



Défis scientifiques & technologiques:

- Faible efficacité de fixation du CO₂/les microorganismes
- Coût et passage à l'échelle industriel (ex. gestion du CO₂ + H₂ à grand échelle)
- Efficacité insuffisante de la transformation électrochimique du CO₂ en méthanol



Menaces économiques:

- Investissement important et absence de rentabilité immédiate
- Coût élevées des bioproduits
- Concurrence avec d'autres solutions (ex. Stockage du CO₂, conflits d'usage du méthanol)



Manque d'incitations et de soutien politique:

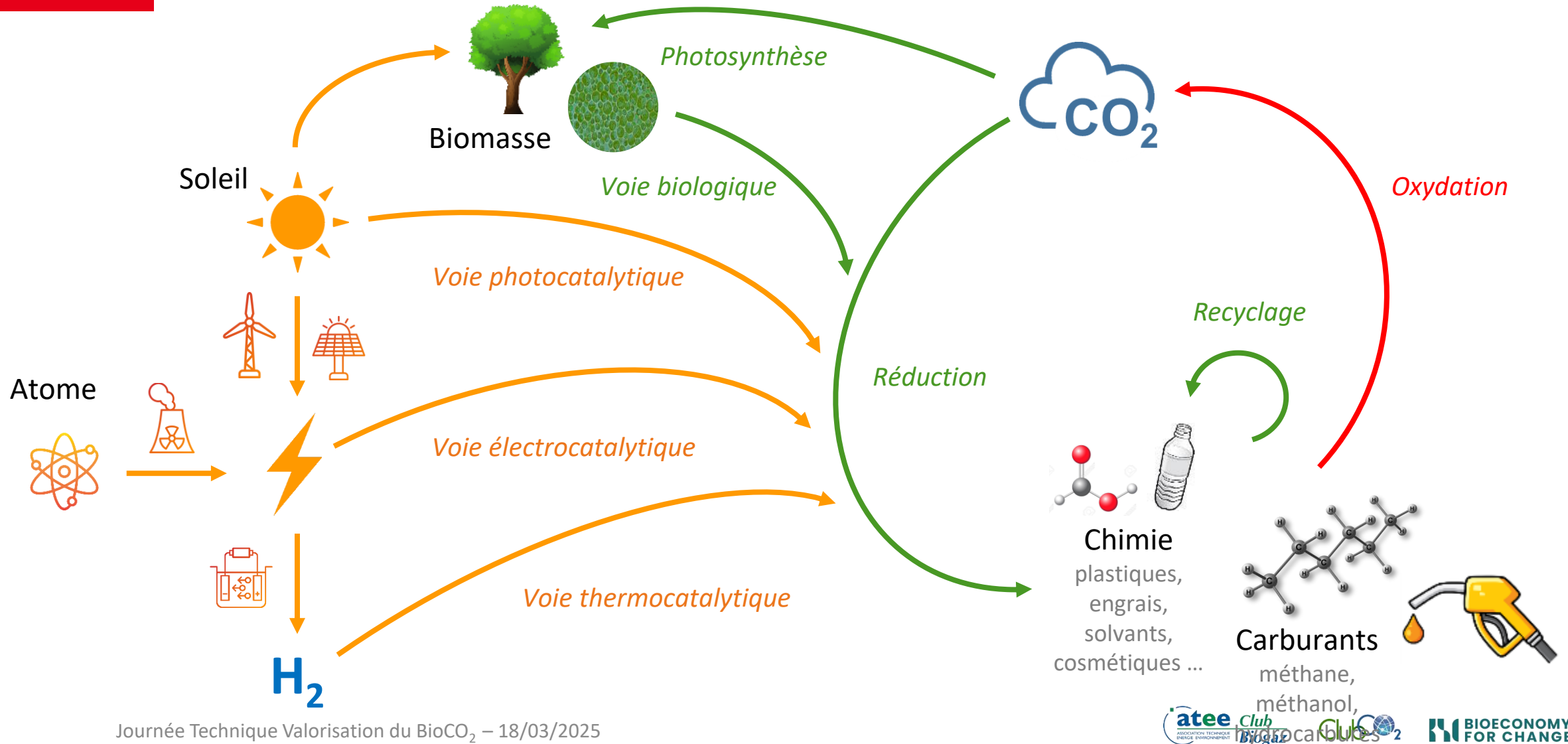
- Normes et législation insuffisantes qui ralentit le filière
- Manque d'incitations au niveau académique et industriel pour favoriser la recherche à bas TRL



Risques environnementaux et sociétaux

- Bilan carbone global du procédé pouvant être défavorable
- Méfiance du public envers les biotechnologies (/OGM)

L'Economie Circulaire du Carbone pour la défossilisation (des carburants et) des molécules chimiques



Question 3: Quelles sont les perspectives de développement marchés et applications pour les projets de valorisation du CO₂ ?



Actuel

Futur

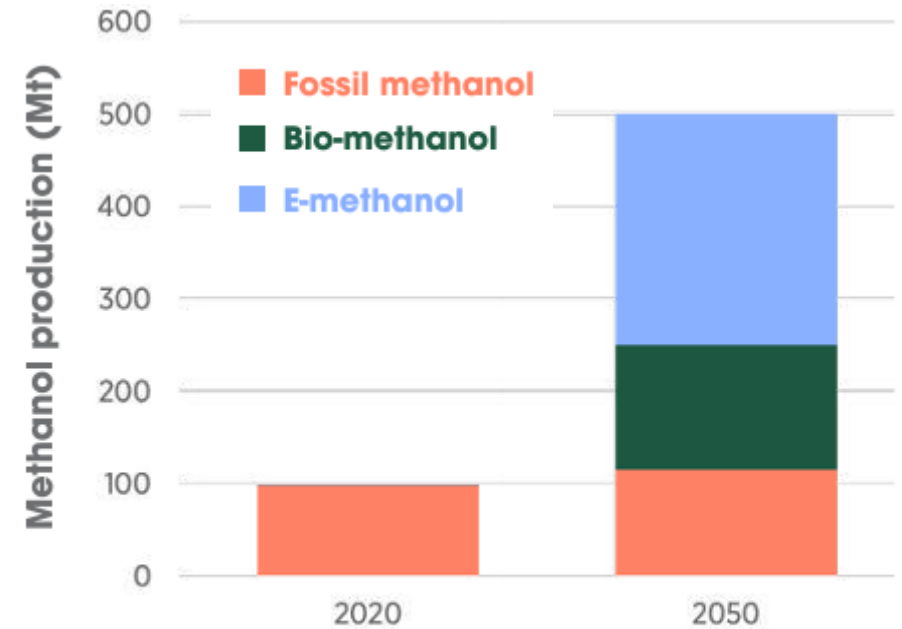
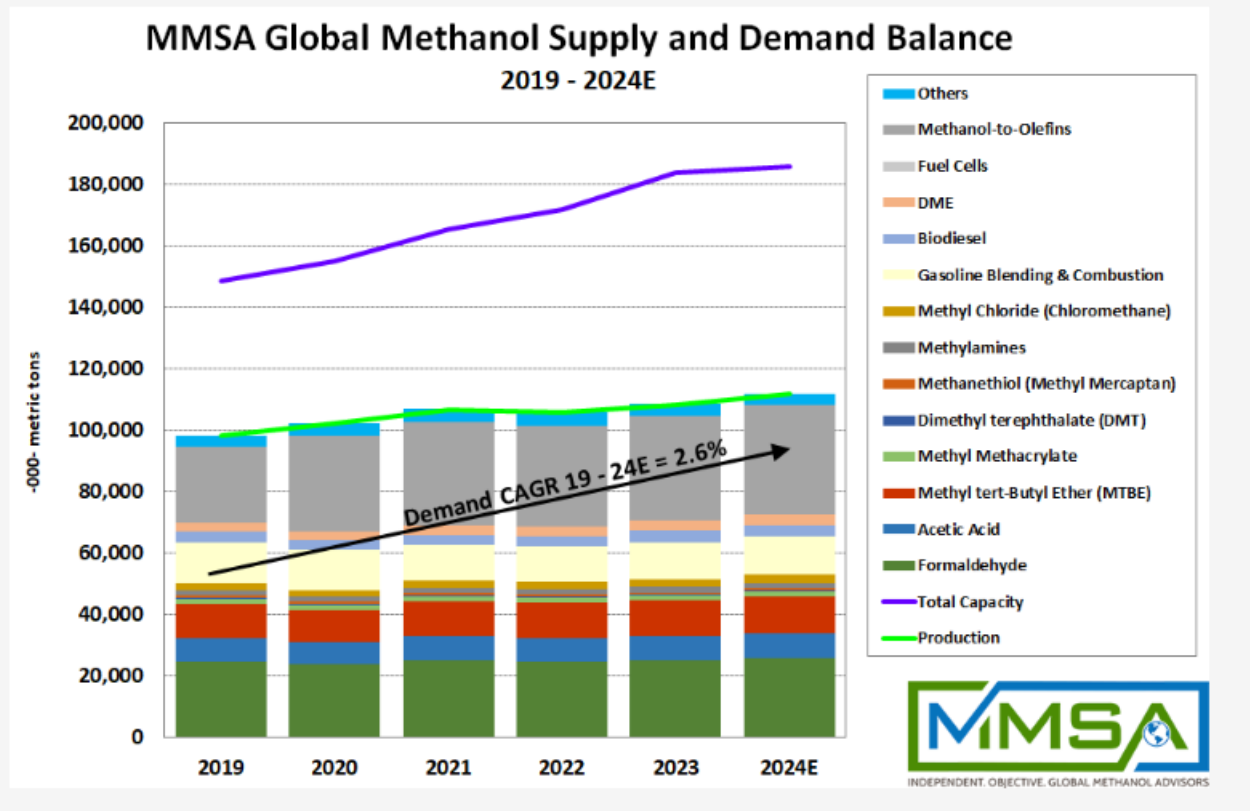


Figure 47. Current and future methanol production by source

Référence Rapport IRENA 2021 Innovation Outlook Renewable Methanol

Référence Methanol Institute

 **Haute compétitivité** du méthanol issu de **biogaz** ou **CO₂ & méthane** par rapport aux voies **e-méthanol**

Confidential – ENERGO intellectual property

Journée Technique Valorisation du BioCO₂ – 18/03/2025

Conclusion de la table ronde et Q&R



PAUSE CAFÉ

Reprise à 15h45

COLLOQUE

JOURNÉE TECHNIQUE VALORISATION DU BIOCO₂

18 mars 2025 - Paris 2

CO₂



L'ÉNERGIE : DES BESOINS IMPORTANTS DE CO₂ EN PERSPECTIVE, COMMENT LES CONCRÉTISER ?

Animation : Adrien Hallé (Club CO₂)



Stéphane Marquerie
Directeur industriel



Tibaut Fotso
Délégué Général Power-to-Gas



Enrico Tommasel
Directeur de projet



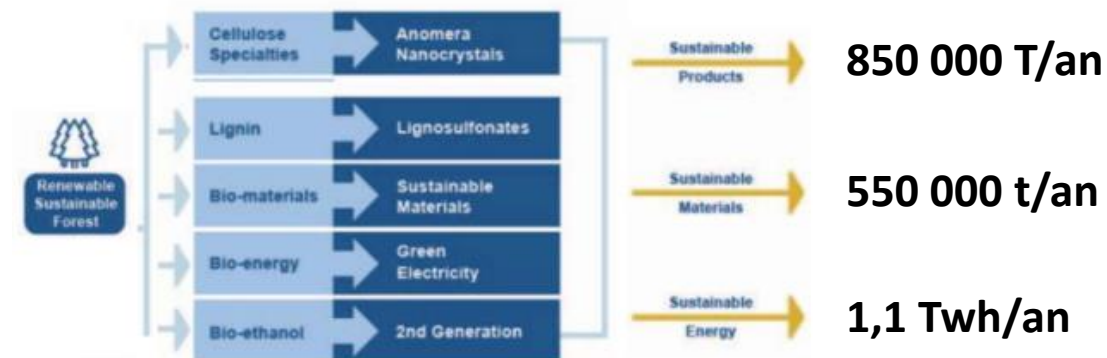
Alexandre Stuber
Sustainability Manager



Stéphane MARQUERIE - RYAM



- 2500 employés
- 4 installations de fabrication
- 8 bureaux de vente
- 2 centres de recherche



LE PROJET ReSTart

Création d'une unité de capture de CO₂
et d'un site de production de carburant d'aviation
durable à Bégaar et Tartas



Chaudières Biomasse RYAM



Verso Energy est un nouvel acteur de la transition énergétique spécialisé dans le développement, le financement et l'exploitation d'actifs de production d'énergie décarbonée



Enrico TOMMASEL - ENGIE

K

ENGIE

www.france-kereauzen.fr

FRANCE
KEREAUZEN ENGIE

ACCUEIL LE PROJET LA TECHNOLOGIE LE TERRITOIRE FAQ

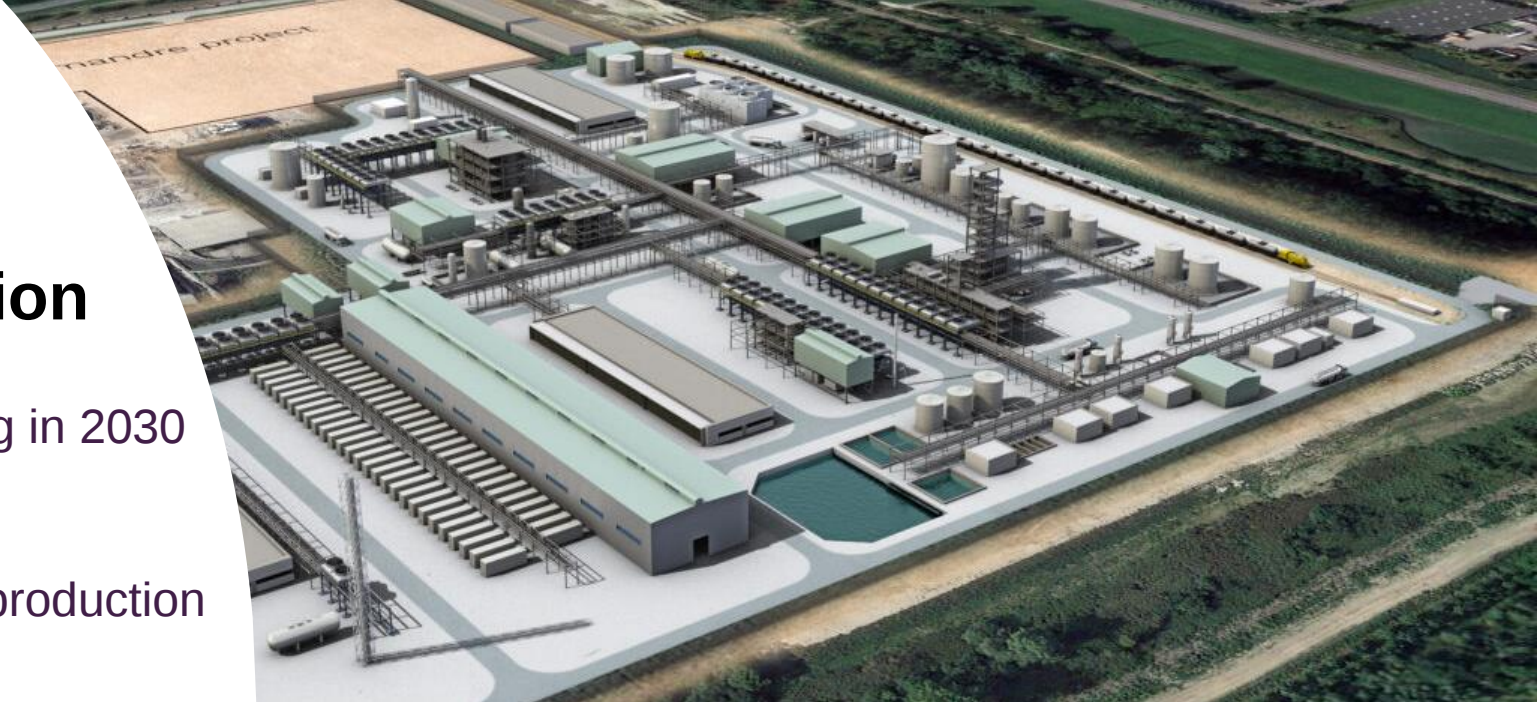
Découvrez FRANCE KERAUZEN



France KerEAUzen -> A new decarbonization path for aviation, by ENGIE

France KerEAUzen DROP-IN solution to decarbonize the aviation

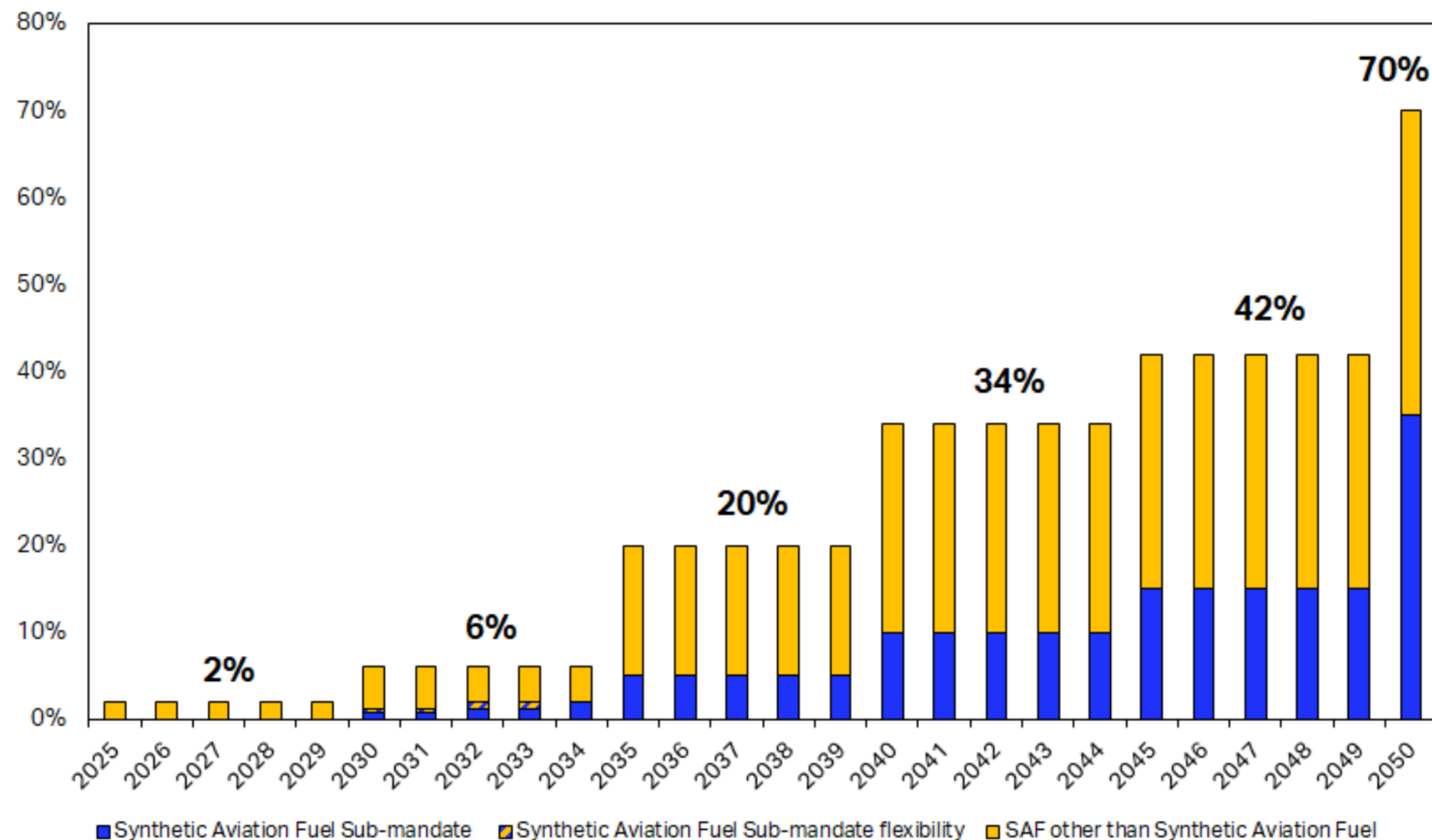
- ✓ EU Regulatory obligations starting in 2030
- ✓ > 80% e-SAF & 20% e-Naphtha production
- ✓ 80% reduction in CO2 emission along the kerosene life-cycle
- ✓ Project Status
 - rWGS/Fischer-Tropsch Pathway
 - Feasibility completed
 - GtL Technology preselected
 - Power connection secured
 - Land lease started
 - CO2 supply reserved





Alexandre STUBER – Air France

RefuelEU SAF mandate on fuel suppliers



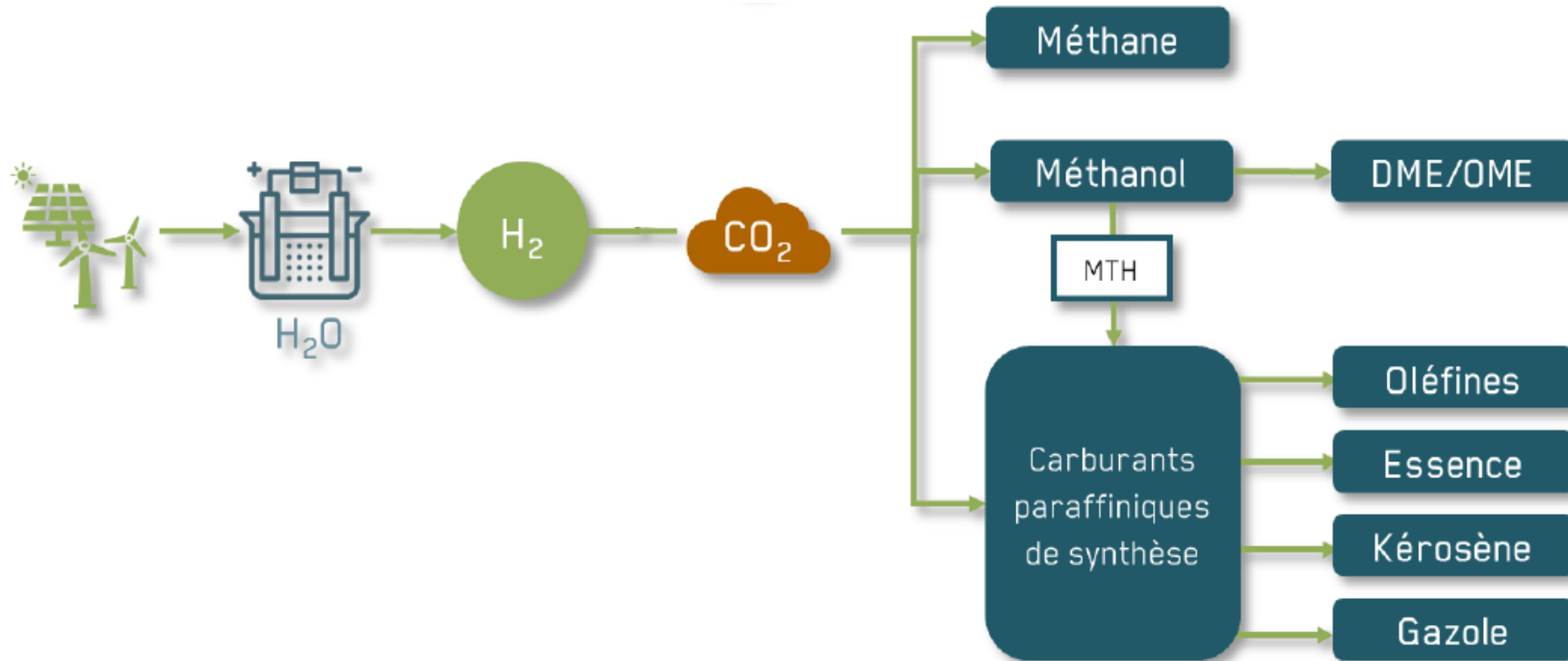


Tibaut FOTSO – ATEE – Club Power-to-Gas

Le Club Power-to-Gas de l'ATEE : + 40 acteurs impliqués dans le développement de la production de e-methane



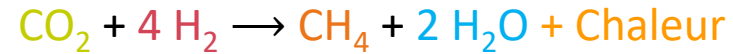
L'utilisation énergétique du CO₂ : de quoi parle-t-on ?



Source : EVOLEN, Fév. 2023

Méthanation biologique et catalytique

Réaction de méthanation



Méthanation catalytique

Taille 400-1200 Nm3/h

Réacteur à 200-600°C avec conversion des gaz grâce à un catalyseur métallique.

- + Conversion du carbone >95%
- + Forte exothermicité permet la valorisation de chaleur haute température (~200-300°C)
- Sensibilité du catalyseur aux impuretés (soufre notamment), avec risque d'usure prématurée

KHIMOD
ALCEN

MAN
MAN Energy Solutions

TOP INDUSTRIE
High Pressure Technology

ENERGO

wood.

Kanadevia
INOVA

HALDOR TOPSØE



Méthanation biologique

Réacteur à 35-65°C avec conversion des gaz par des micro-organismes

- + Conversion du carbone >95%
- + Résilience des archées aux impuretés
- + Pas de catalyseur à changer
- Moindre potentiel de valorisation de chaleur fatale (basse température ~50°C)

Electrochaea

micROPYROS

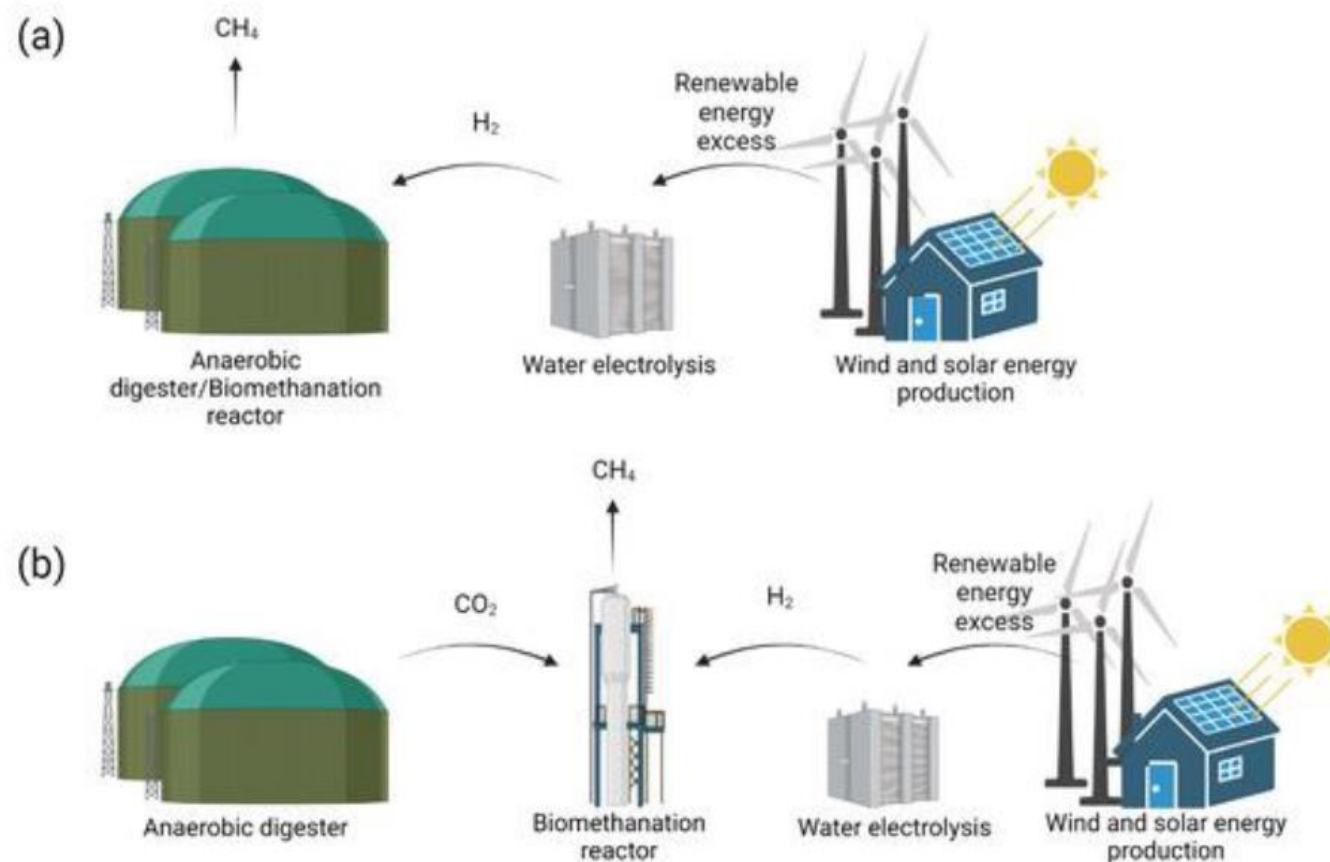
arkolia
ENERGIES

enosir

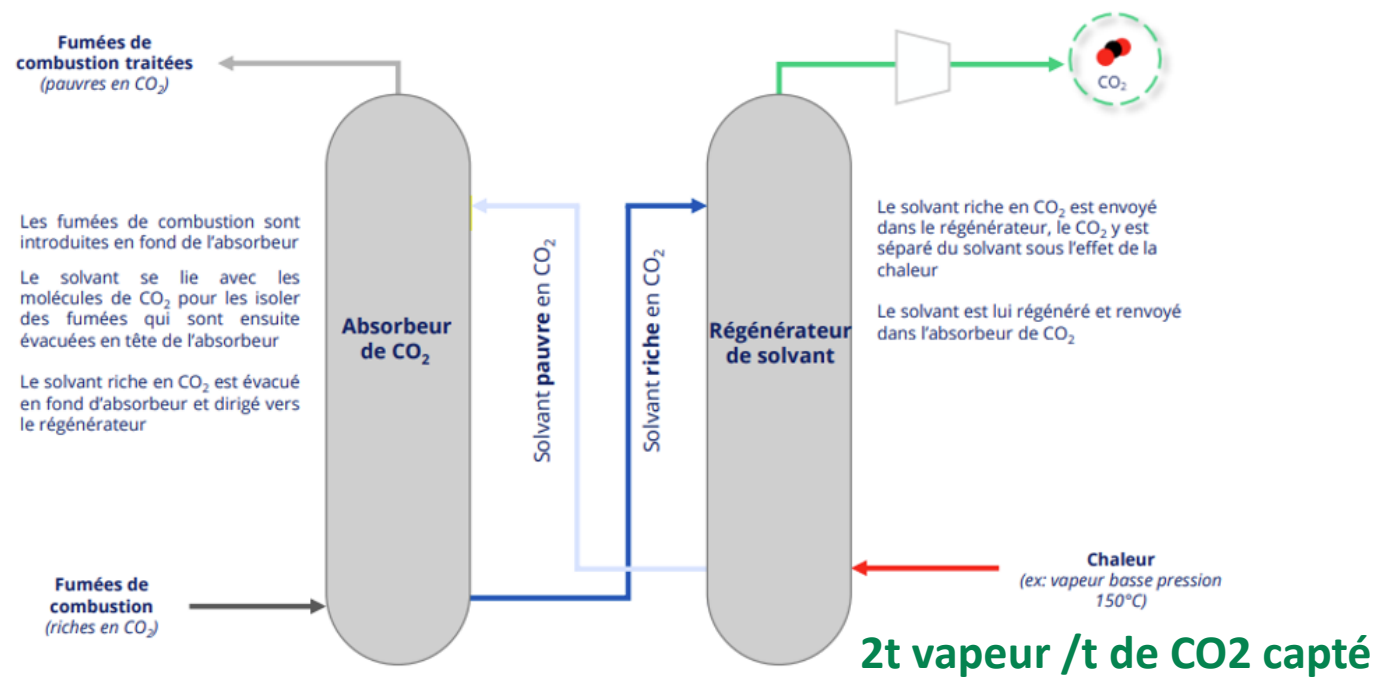
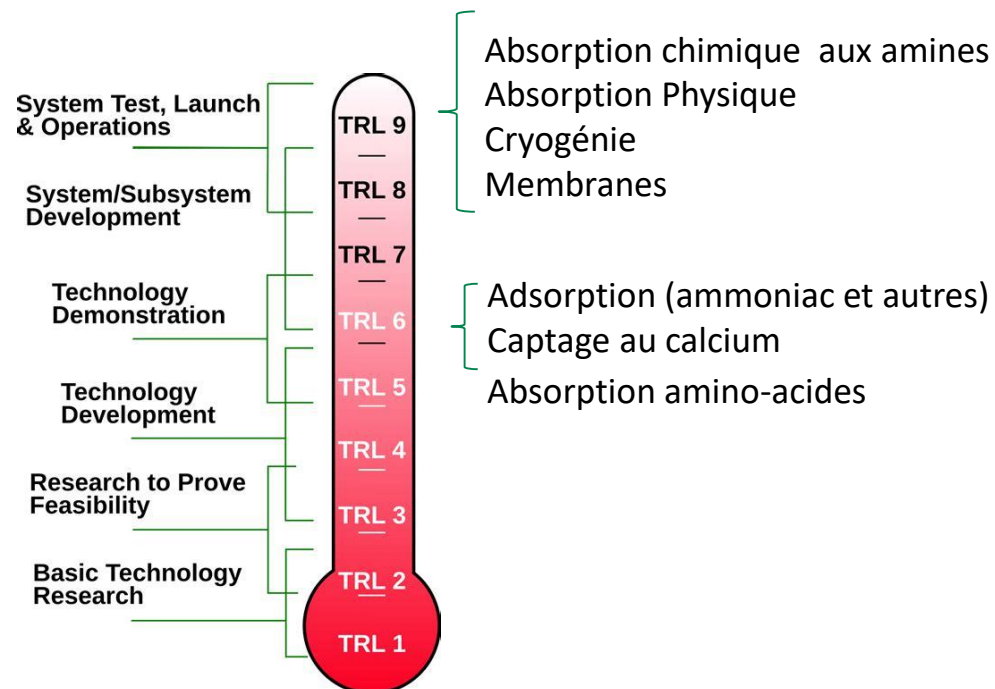
terrawatt

microbEnergy
VIESSMANN GROUP

Méthanation Biologique : In situ (A) and Ex situ (B)

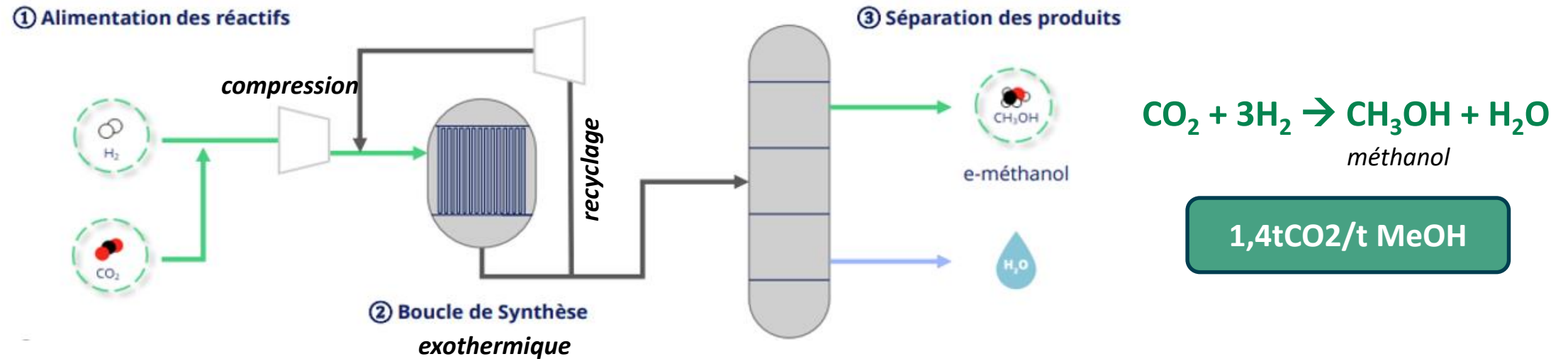


Zoom sur le captage de CO2

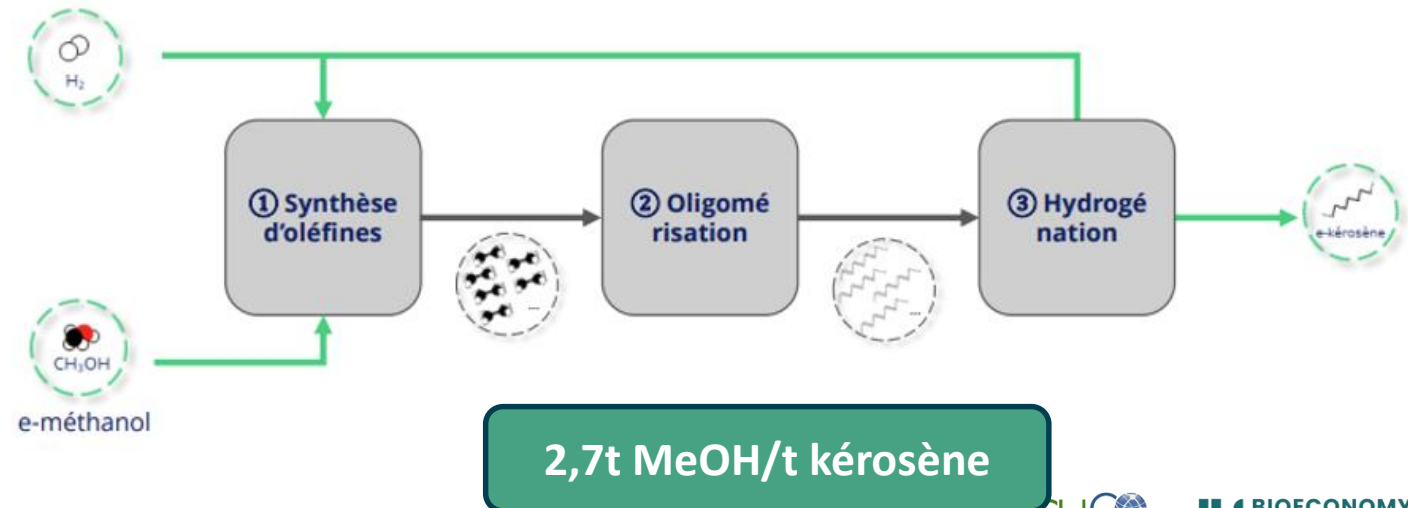


Zoom sur la voie Methanol-to-Jet (MTJ)

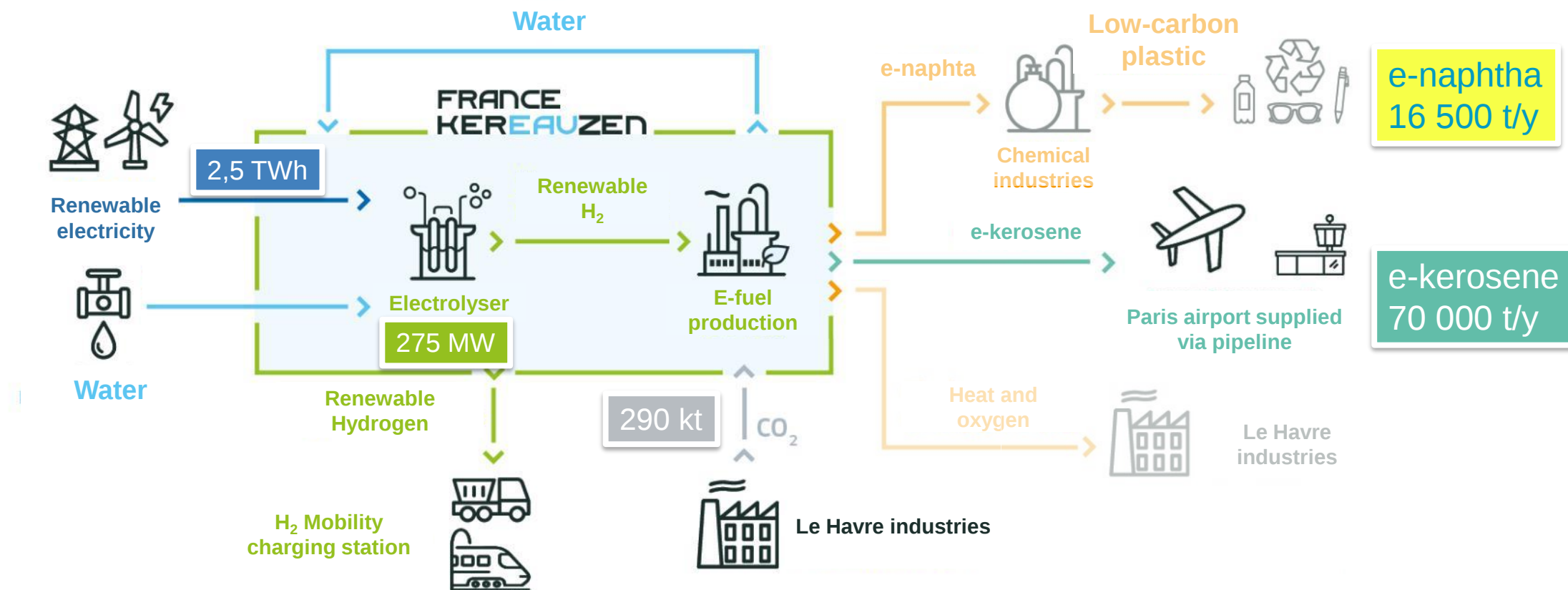
1



2



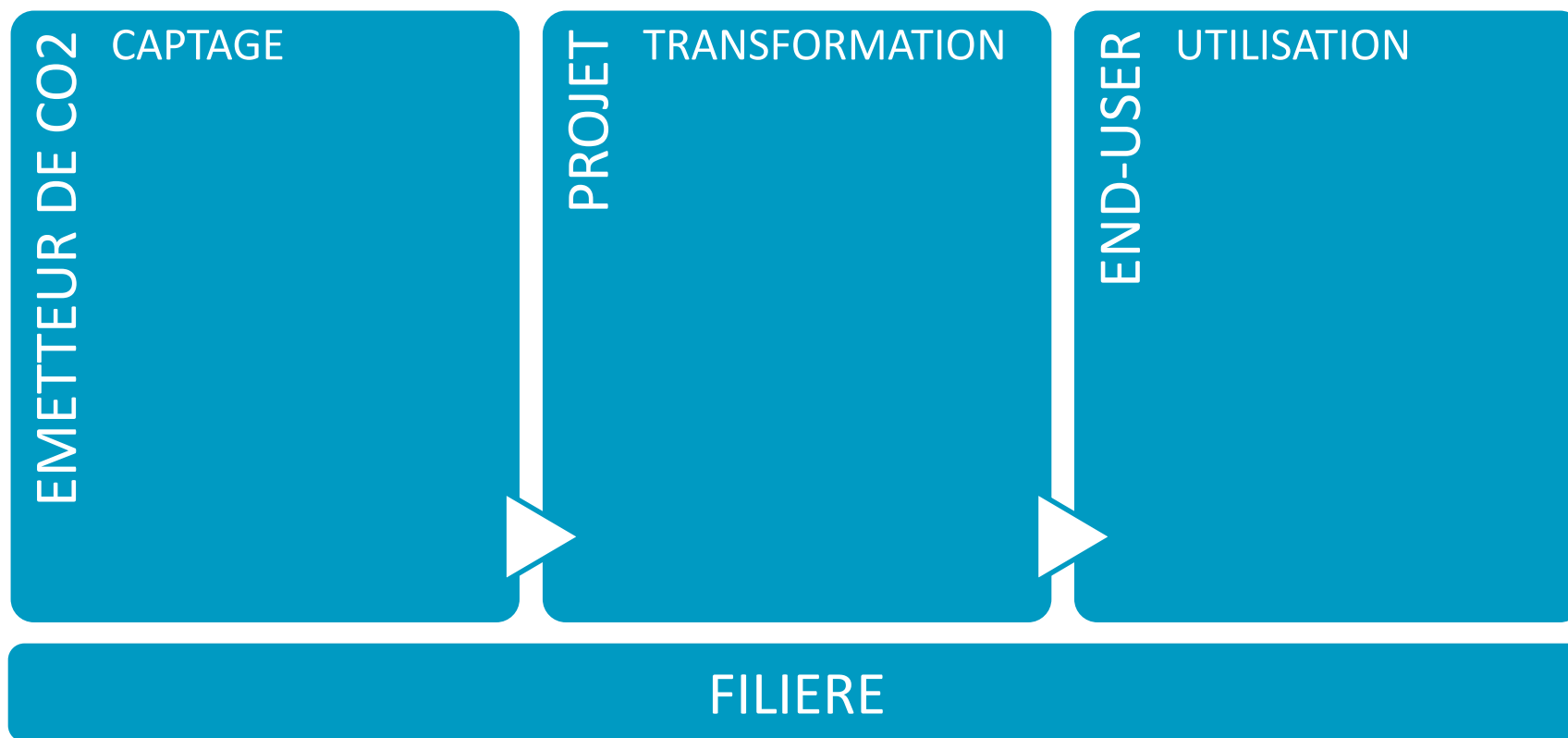
Zoom sur la voie RWGS



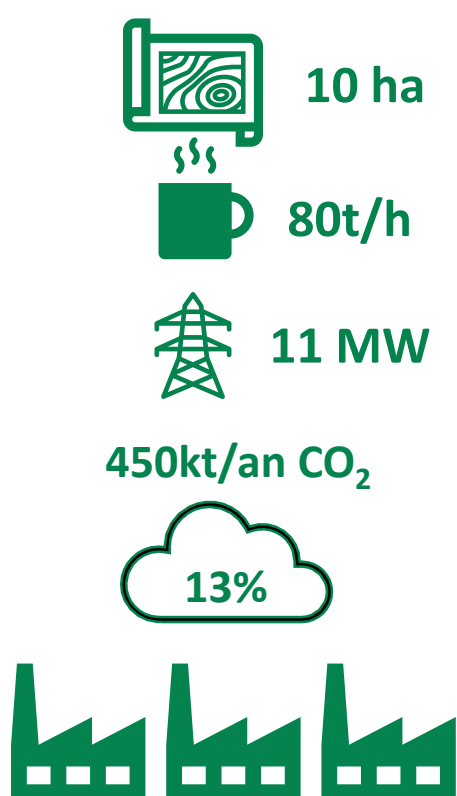
20% of French needs by 2035

Located in Normandy, Le Havre, ready to deserve Europe

Une chaîne de valeur complète à mettre en place dans un cadre réglementaire émergent



Du point de vue de l'émetteur initial...



Utilisation
350kt/an CO₂



Stockage
100kt/an CO₂

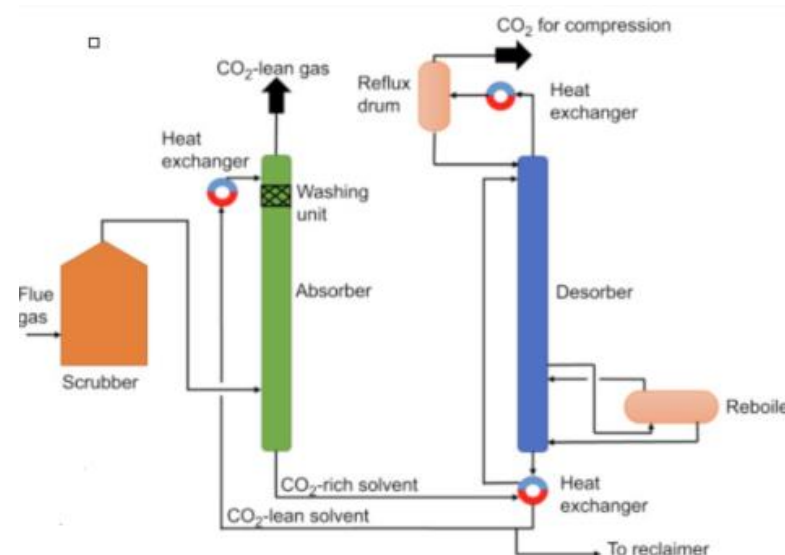
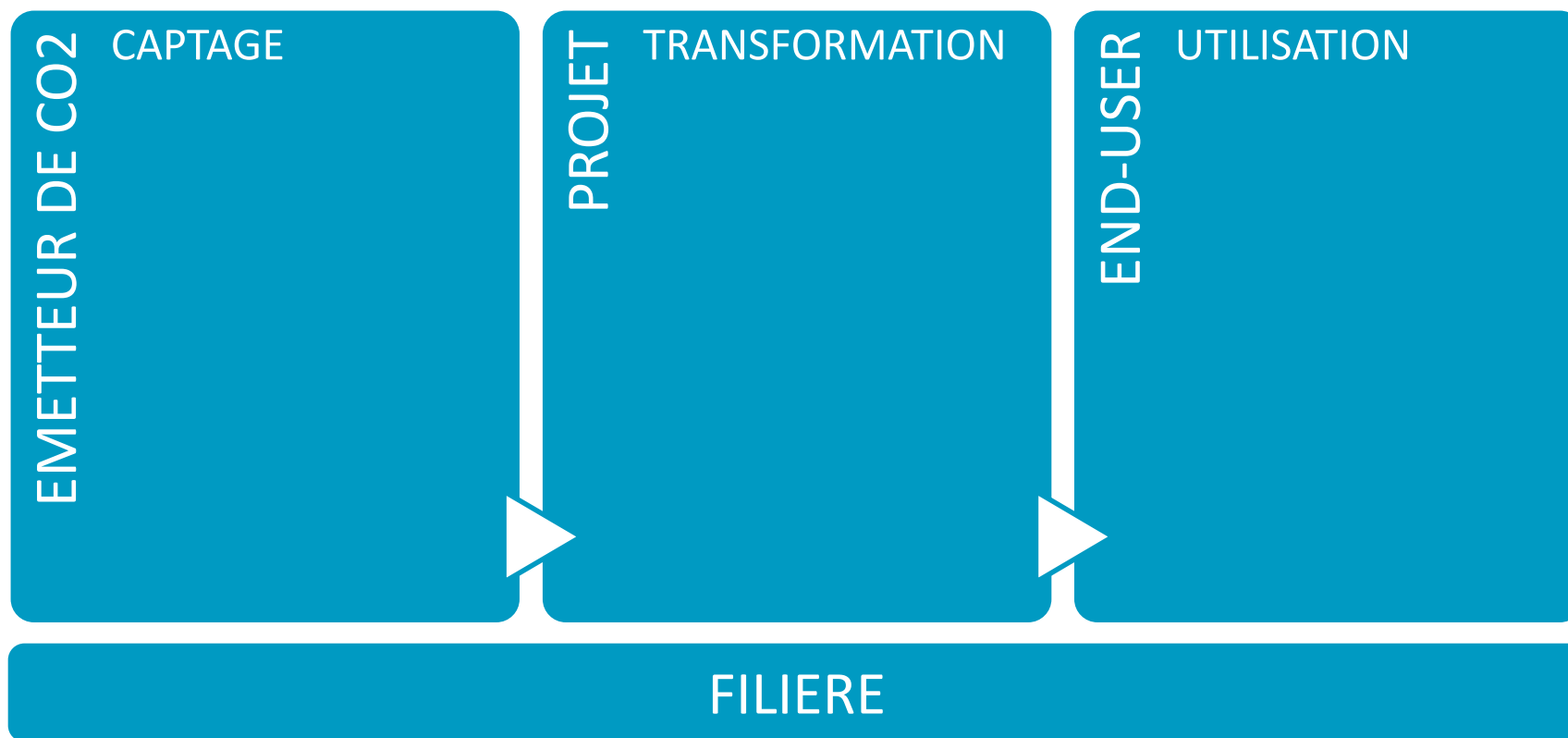


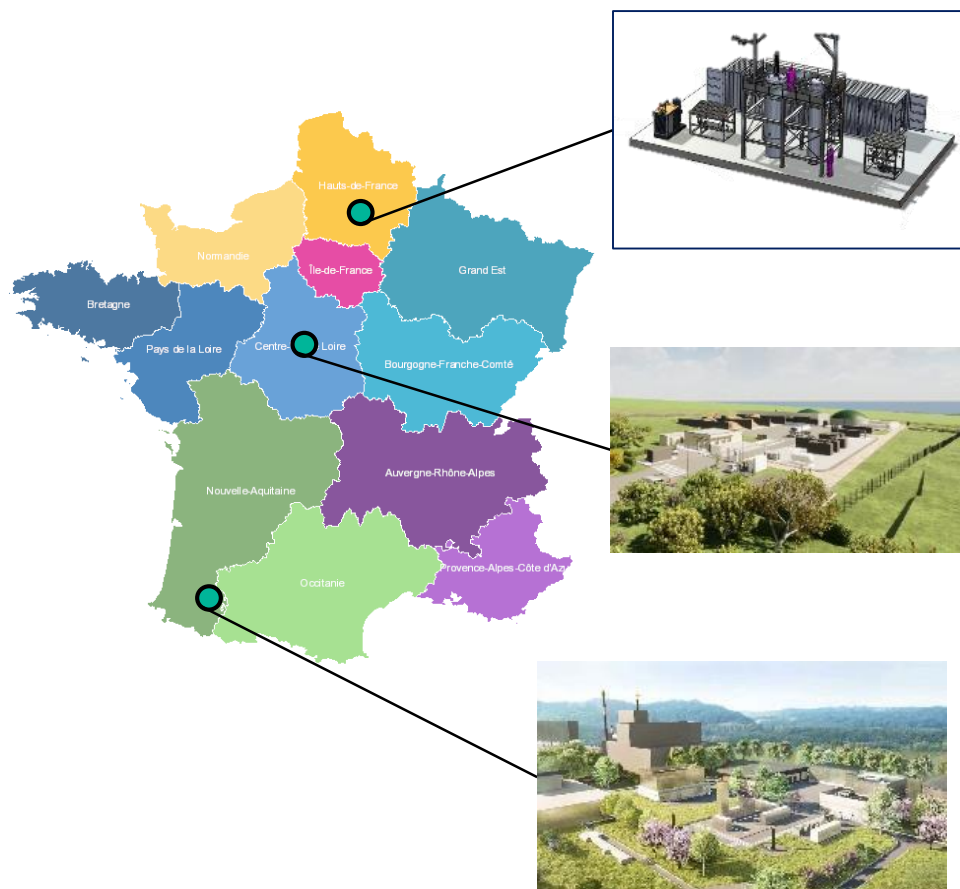
Schéma opération captage CO₂

- Le projet :
 - Améliorera les émissions actuelles
 - Imposera une **fiabilité absolue** des chaudières
- CCU/CCS permettra de la **flexibilité**
- Ce projet est un élément majeur de la **stratégie** de RYAM

Une chaine de valeur complète à mettre en place dans un cadre réglementaire émergent



Fédérer pour faire émerger une filière



1-Projet Denobio – Lesquielles-Saint-Germain (02) – Région Hauts-de-France

Démonstrateur R&D de méthanation biologique couplé à une unité de méthanisation, en deux phases :

Méthanation du CO₂

Méthanation du biogaz brut

Biométhane : injection déjà en service

E-méthane : capacité de production de **20 Nm³/h** à partir du CO₂ éventé puis du CO₂ issu de biogaz– Mise en service prévue au **1er trimestre 2025** – Durée d'exploitation : **18 mois**

2- Projet Méthycentre – Angé (41) – Région Centre-Val de Loire

Démonstrateur R&D préindustriel de méthanation catalytique couplé à une unité de méthanisation.

Biométhane : injection déjà en service

E-méthane : capacité de production de **13 Nm³/h** – Mise en service prévue au **1er trimestre 2025** – Durée d'exploitation : jusqu'à juin 2025.

3- Projet Pau'wer-to-Gas – Lescar (64) – Région Sud-Ouest

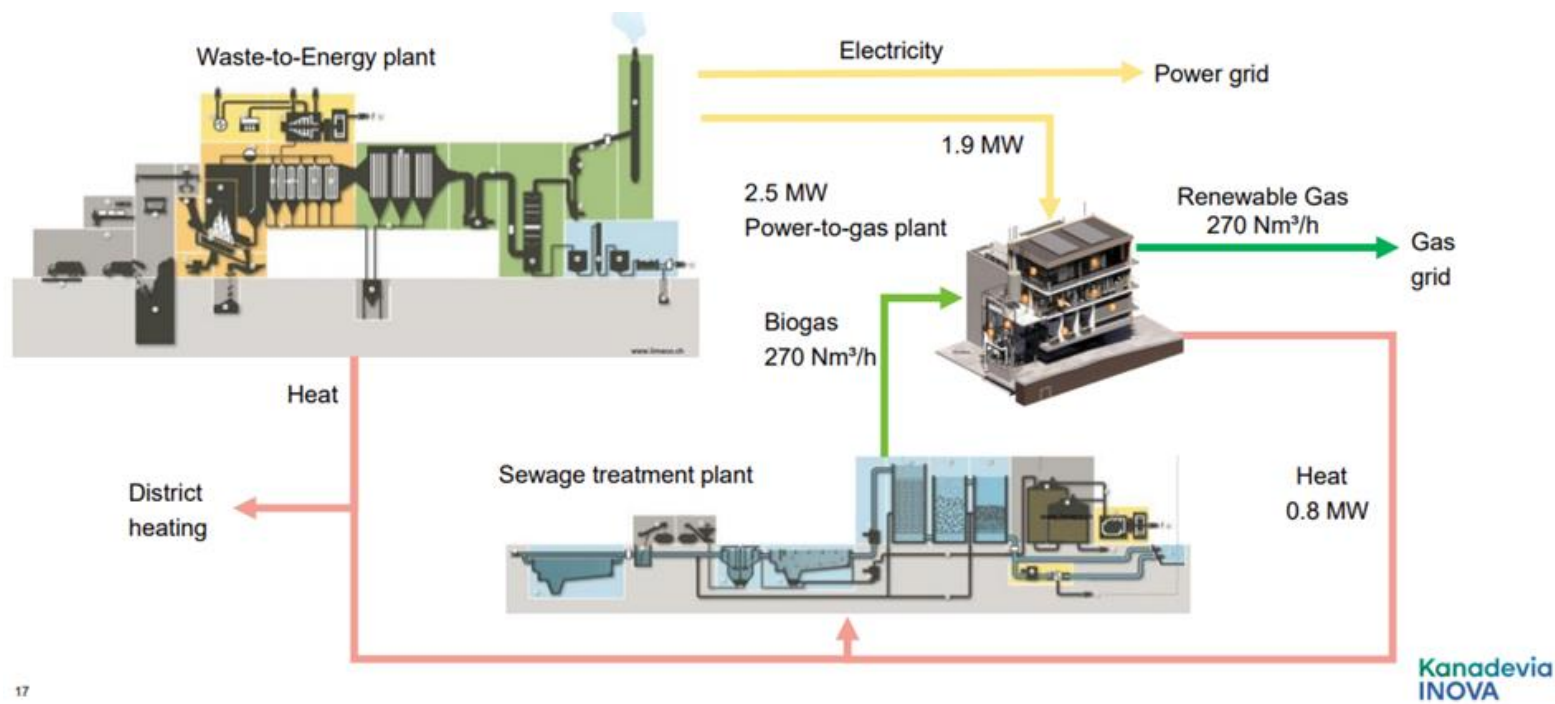
Projet commercial intégré à une **Station d'Épuration (STEP)** exploitée par **SUEZ**, visant à explorer les synergies entre **méthanisation et méthanation**.

Biométhane : **120 Nm³/h** – En service depuis **juillet 2023** – Contrat de **15 ans**

E-méthane : **70 Nm³/h** – Mise en service prévue en **septembre 2025** – Durée d'exploitation : **15 ans**

Fédérer – Un projet Européen

- Turnkey Power-to-Gas Plant- KANADEVIA INOVA
- Electrolyser + Biological Methanation, Dietikon, Switzerland
- Démarré en 2022



Chiffres clefs :

- 1,8Mi.Nm3 gaz d'épuration utilisés
- 4000-5000tCO2 utilisées par an
- 80% efficacité totale (incl. chaleur fatale)

De multiples enjeux à adresser pour qu'émergent ces produits



Stéphane Marquerie
Directeur industriel



Tibaut Fotso
Délégué Général Power-to-Gas

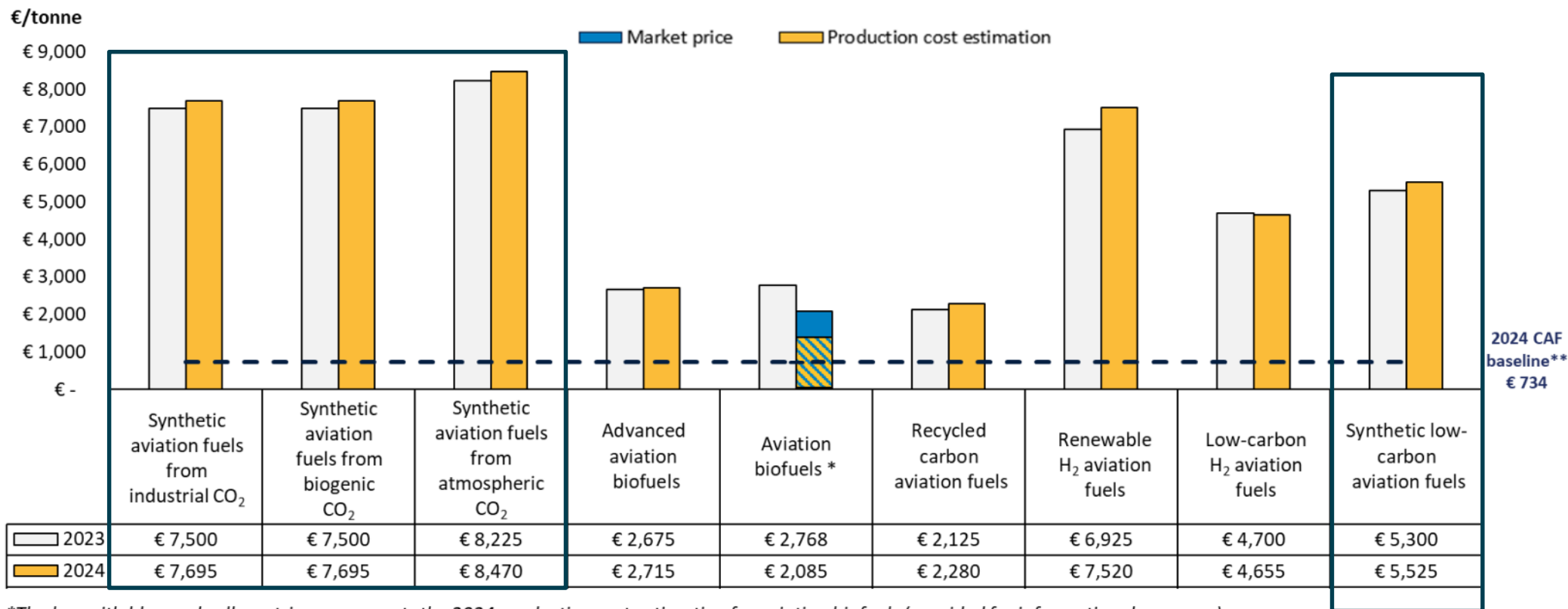


Enrico Tommasel
Directeur de projet



Alexandre Stuber
Sustainability Manager

Les prix de ces carburants synthétiques



*The bar with blue and yellow stripes represents the 2024 production cost estimation for aviation biofuels (provided for informational purposes).

** For reference: The 2023 CAF price was 816 €/tonne.

Source : [EASA, 2024](#)

De multiples enjeux à adresser pour qu'émergent ces produits



Stéphane Marquerie
Directeur industriel



Tibaut Fotso
Délégué Général Power-to-Gas



Enrico Tommasel
Directeur de projet



Alexandre Stuber
Sustainability Manager

En route pour une décision finale d'investissement



Stéphane Marquerie
Directeur industriel



Tibaut Fotso
Délégué Général Power-to-Gas

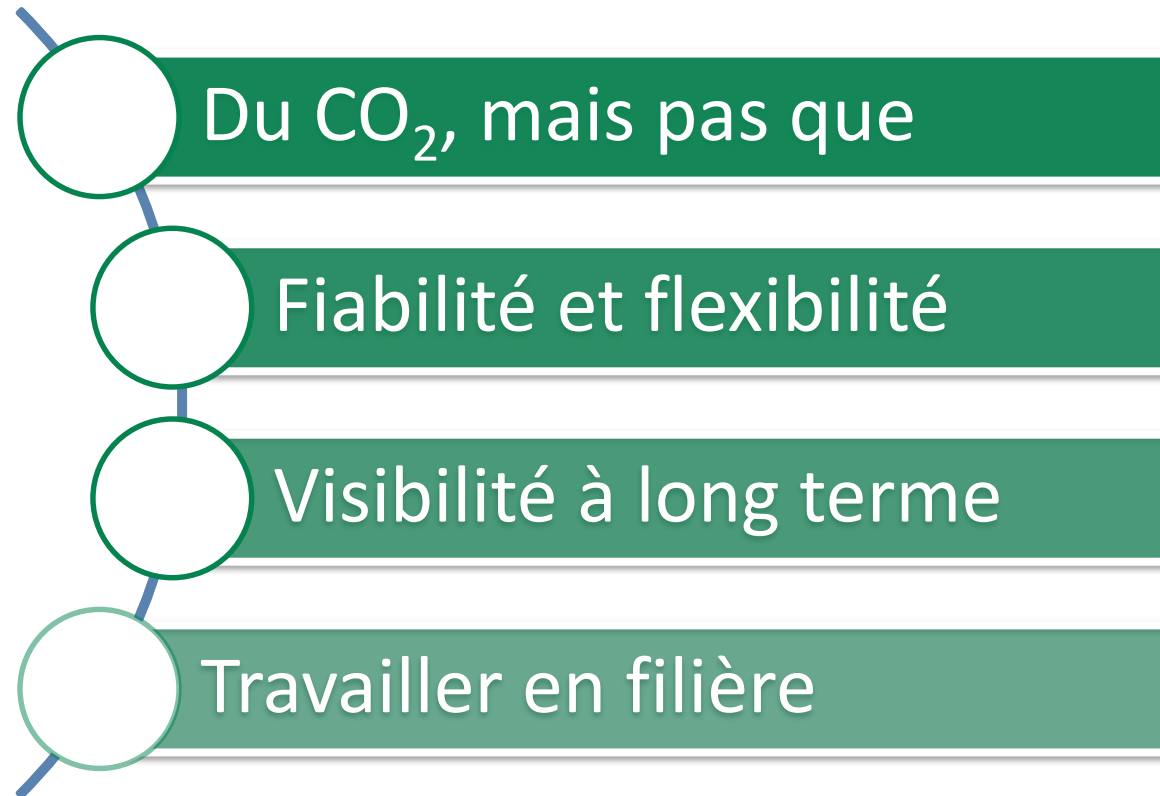


Enrico Tommasel
Directeur de projet



Alexandre Stuber
Sustainability Manager

Conclusions

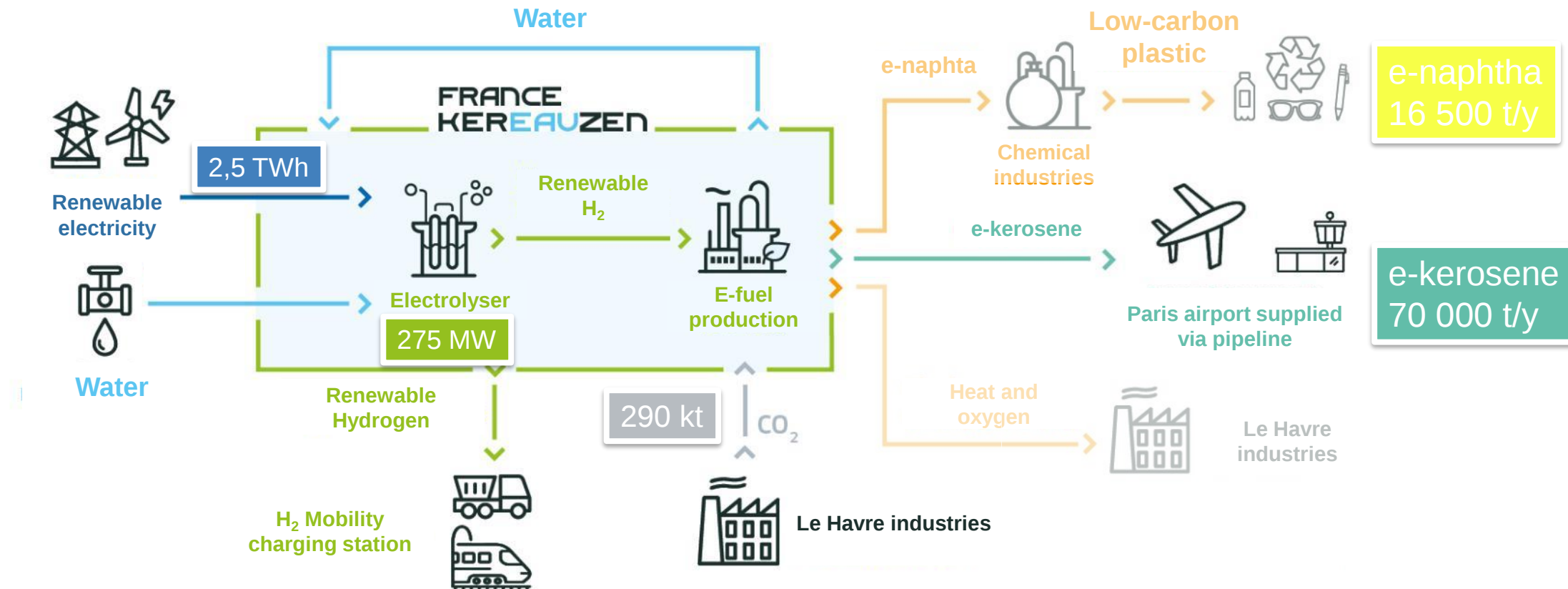


QUESTIONS

Slides complémentaires

France KerEAUzen

DROP-IN solution to decarbonize the aviation

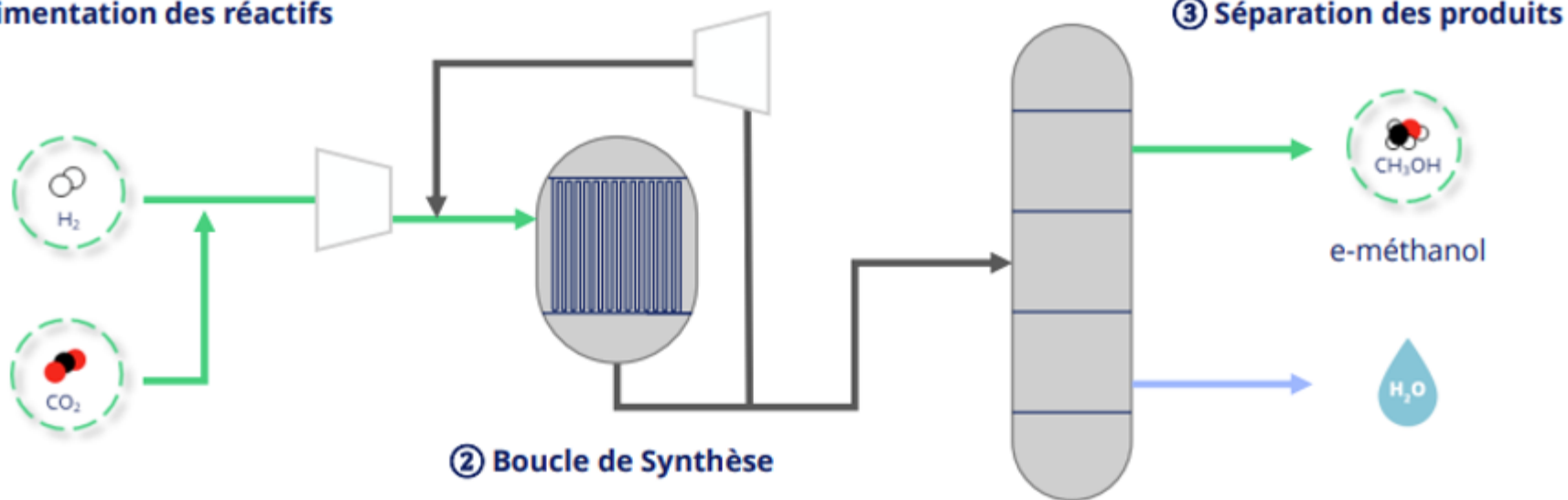


20% of French needs by 2035

Located in Normandy, Le Havre, ready to deserve Europe

Synthèse du e-Methanol

① Alimentation des réactifs



① Alimentation des réactifs

Les flux d'H₂ et de CO₂ purs sont mélangés puis comprimés à haute pression dans les proportions et conditions optimales pour la réaction de synthèse de méthanol

② Boucle de Synthèse

Le mélange réactionnel est chauffé et alimenté à un réacteur contenant un catalyseur dont l'action permet la transformation du CO₂ et de l'H₂ en méthanol:

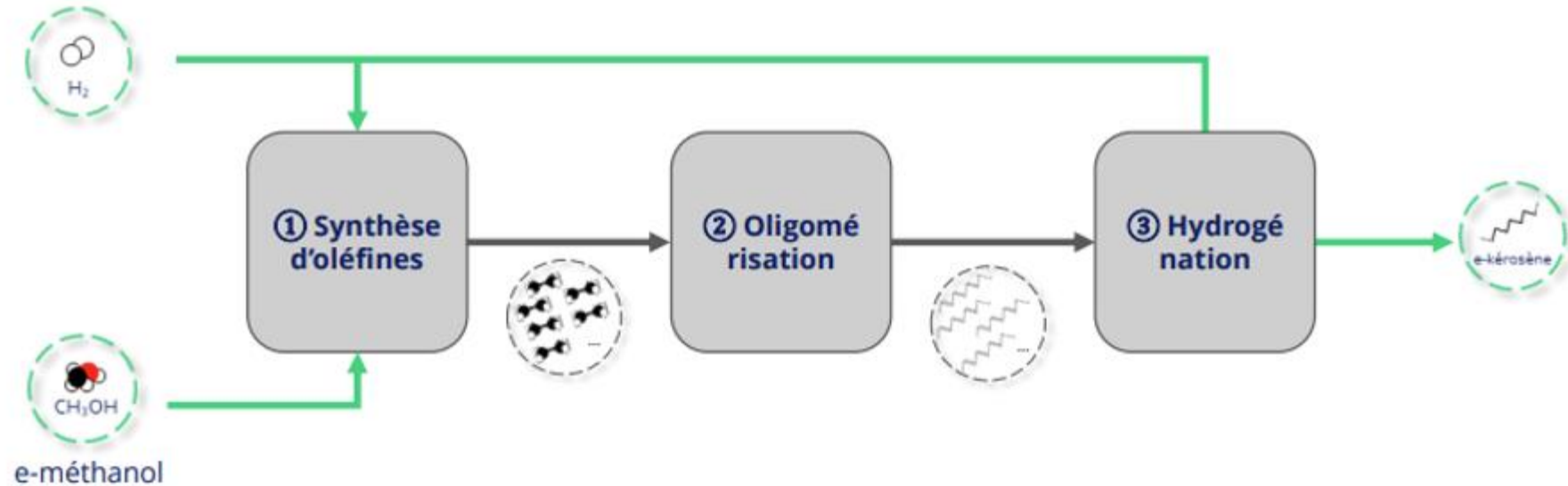


La chaleur nécessaire à chauffer le mélange réactionnel est apportée par la réaction de synthèse du méthanol. Cette chaleur est récupérée au sein du réacteur catalytique et sur ses produits (**réaction exothermique**). Afin de valoriser la globalité du CO₂ et de l'H₂ alimentés à l'unité, les composés n'ayant pas réagi en sortie du réacteur catalytique sont recyclés en entrée du système

③ Séparation des produits

Le méthanol issu de la boucle de synthèse est séparé de l'eau co-produite dans un train de distillation. L'énergie thermique nécessaire à cette séparation est apportée majoritairement par l'énergie excédentaire générée dans la boucle de synthèse.

Methanol to Jet



① Synthèse des oléfines

Le e-méthanol est vaporisé puis décomposé à haute température en eau et en oléfines. Ces oléfines sont des chaînes carbonées de faible poids moléculaire, principalement 2 et trois atomes de carbone, extrêmement réactives du fait de la présence des liaisons covalentes double ($C=C$). Un très faible appoint d' H_2 est nécessaire pour transformer d'éventuelles liaisons triples ($C\equiv C$) trop réactives pour la bonne marche du procédé aval

② Oligomérisation

Le procédé consiste à faire réagir au cours de plusieurs étapes successives les oléfines légères en présence d'un catalyseur pour créer des chaînes carbonées de poids moléculaire plus important, similaire au kérosène conventionnel

③ Hydrogénation

Etape finale du procédé visant à saturer des liaisons covalentes doubles résiduelles et de garantir la conformité du e-kérosène produit avec les spécifications techniques en vigueur

COLLOQUE

JOURNÉE TECHNIQUE VALORISATION DU BIOCO₂

18 mars 2025 - Paris 2

CO₂



Florence Delprat-Jannaud
Présidente du Club CO₂

COLLOQUE

JOURNÉE TECHNIQUE VALORISATION DU BIOCO₂

18 mars 2025 - Paris 2

CO₂

MERCI