

Atelier n°2 - BEGAAR | 15 Avril 2025



LE PROJET

ReSTart

Les technologies utilisées



01

Le contexte

02

Capture du CO₂

03

**Production d'hydrogène par
électrolyse**

04

Production du e-méthanol

05

Synthèse du e-SAF & logistique

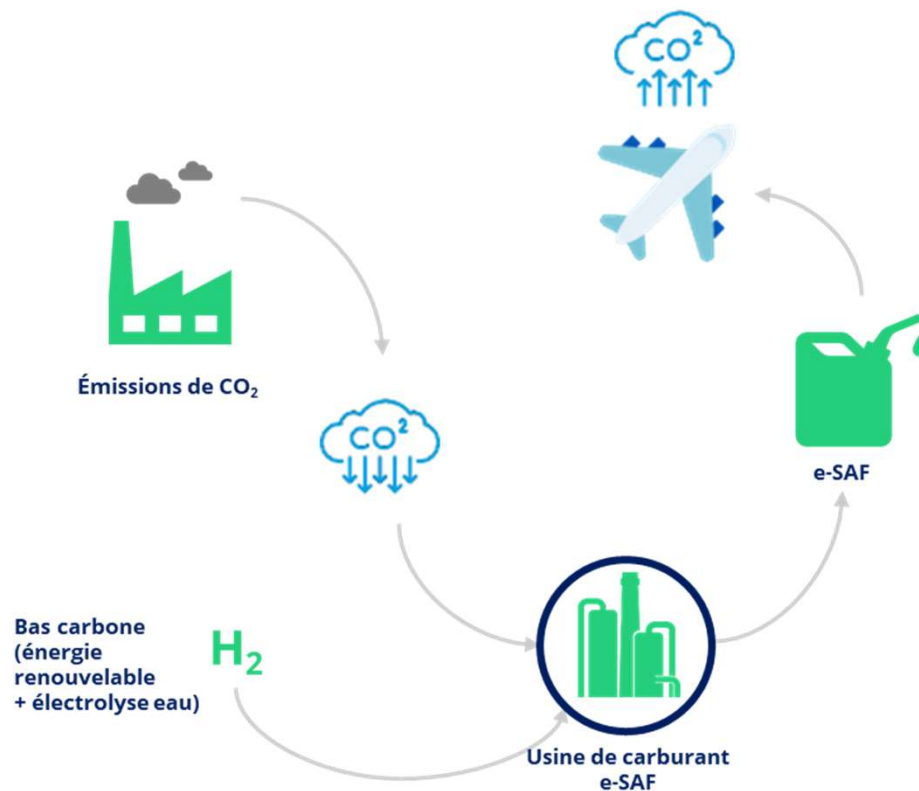


Le Contexte

01

Les e-SAF, une solution d'économie circulaire liant aviation et industrie

L'**aviation commerciale** représentait **3,1 % des émissions de GES mondiales** en 2023 et ce pourcentage pourrait doubler d'ici 2050. Pour décarboner l'aviation, l'**électrique** ou l'**hydrogène** sont des vecteurs intéressants mais **immatures à court terme**. Dès lors, les **carburants de synthèse** sont aujourd'hui **privilégiés** pour la décarbonation du secteur.



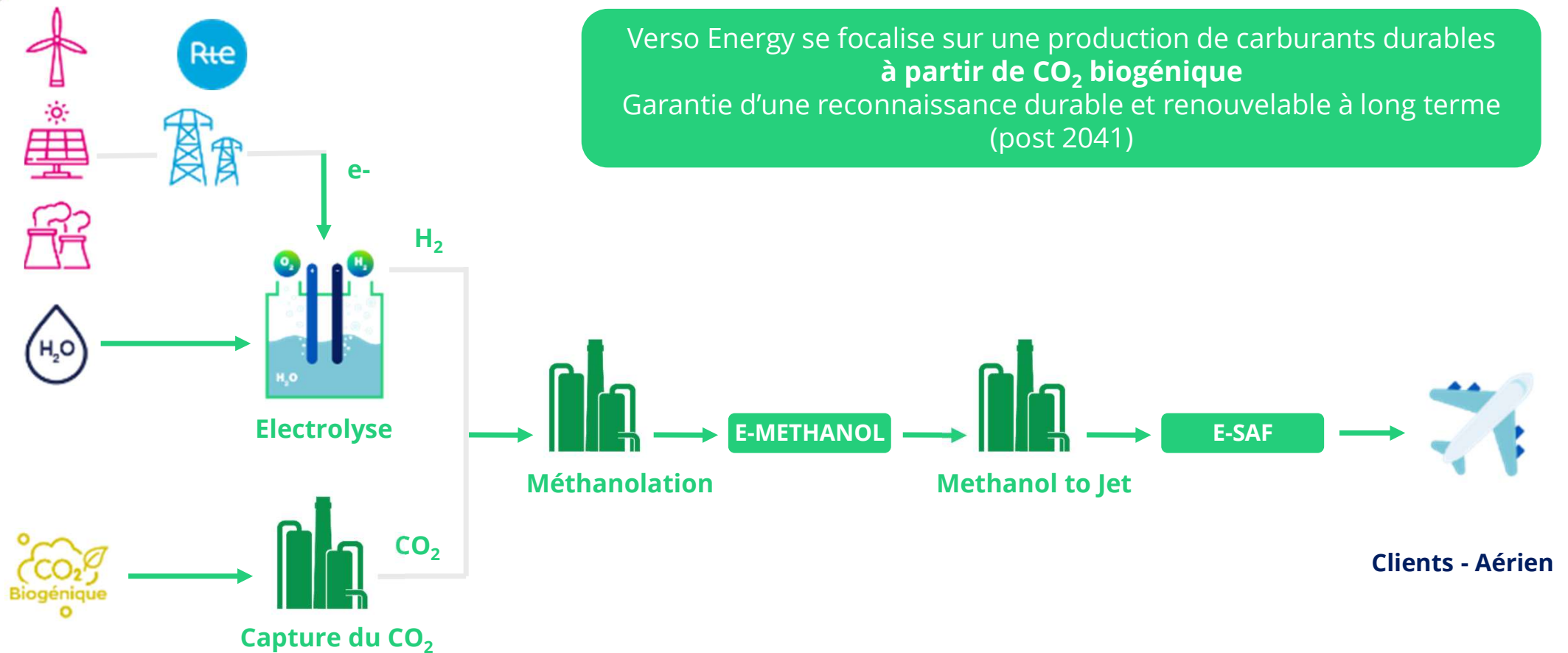
Vert (cas CO₂ biogénique)

Immédiatement Compatible

Grande production

Procédés connus

Verso Energy produit des molécules de synthèse suivant un modèle intégré





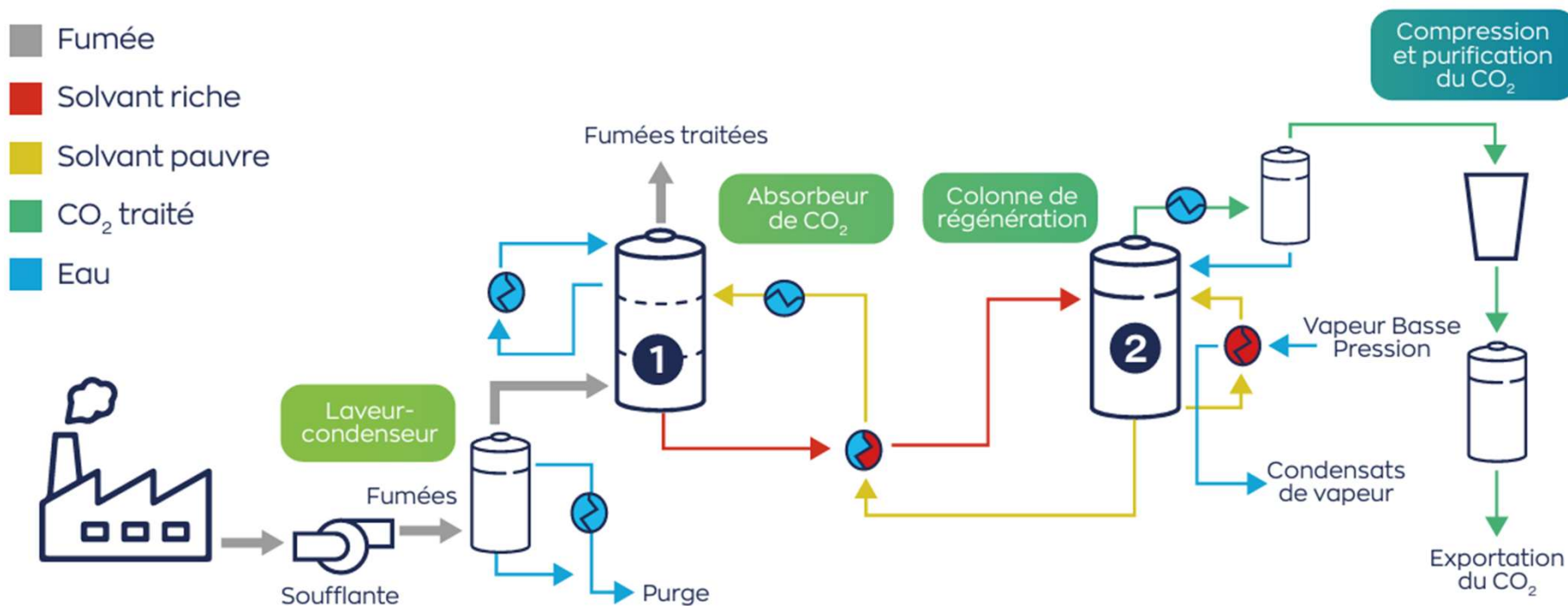
La Capture du CO₂

02

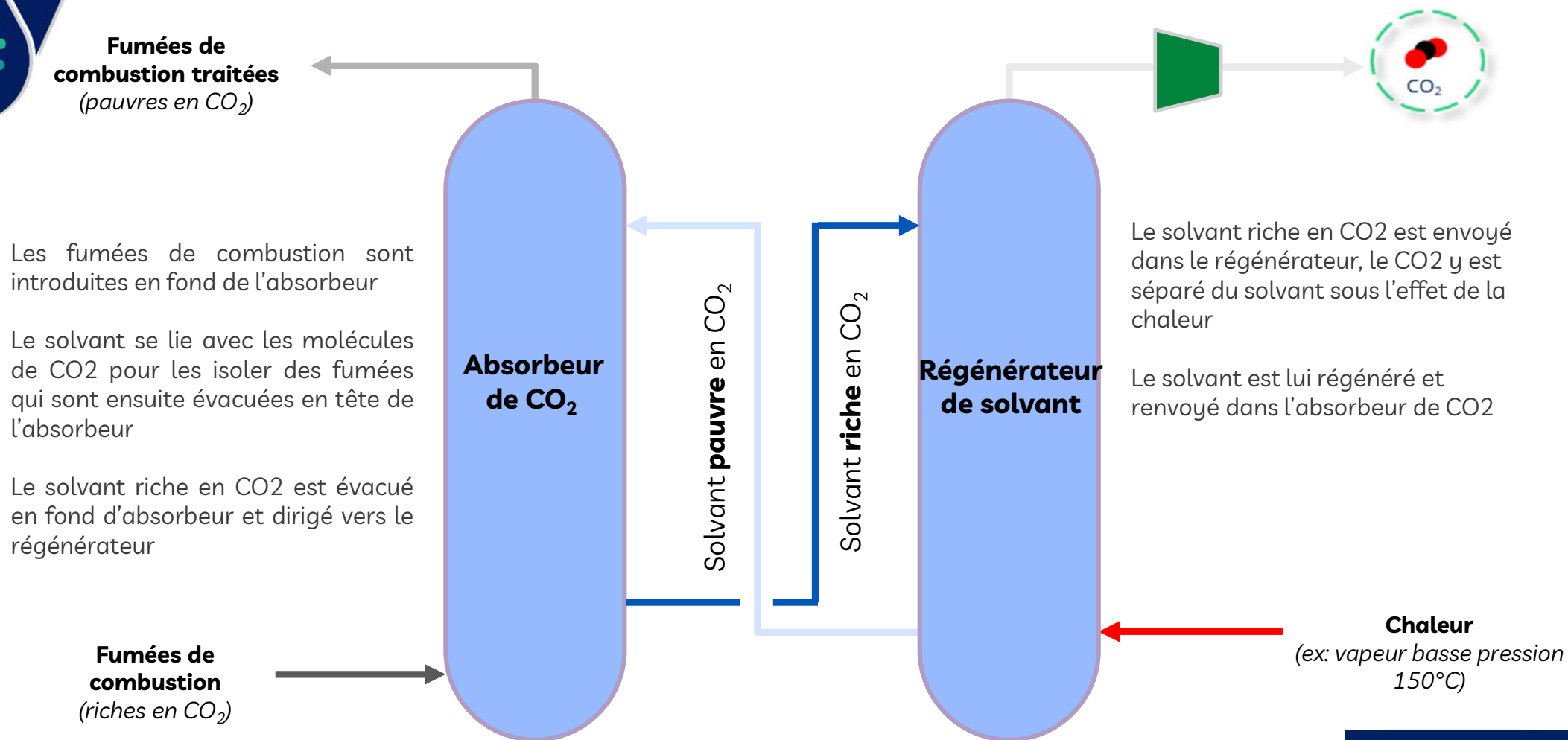
Zoom sur la brique : Capture de CO₂

SCHÉMA BLOC

Les étapes de la capture du CO₂

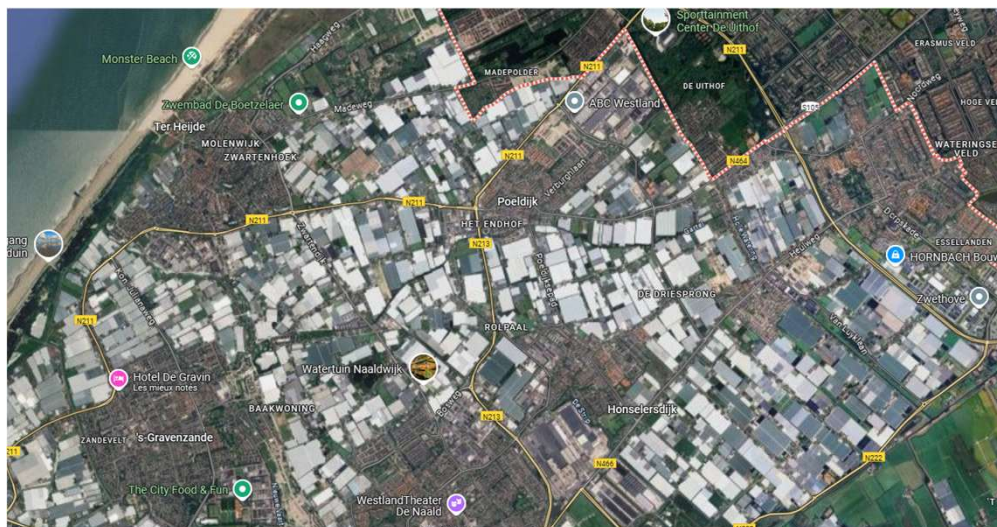


Technologie par absorption avec solvant



Quelles utilisations historiques du CO₂ ?

Serres horticoles au Sud de la Haye

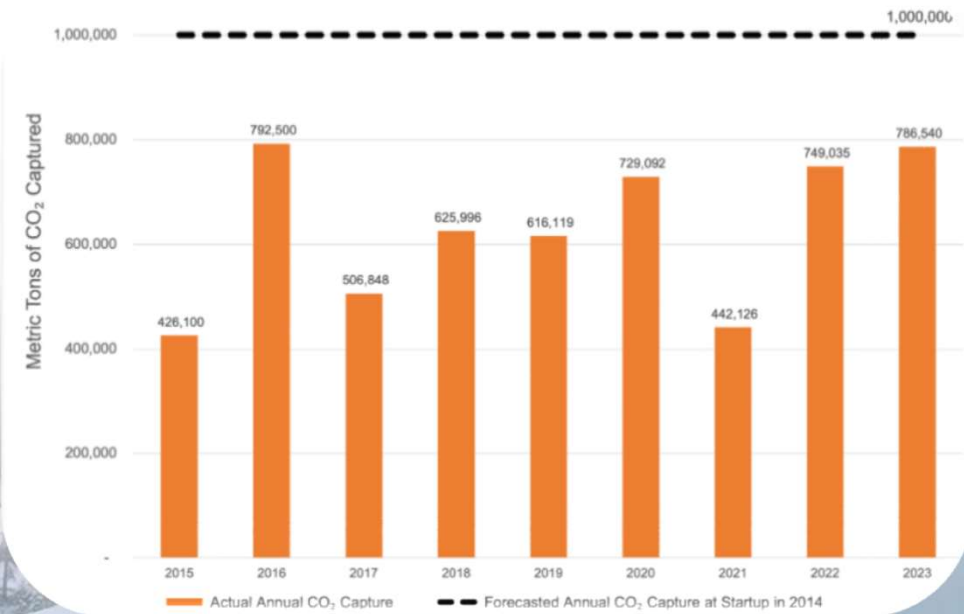


Boissons gazeuses



Le captage de CO₂, ça existe ?

Boundary Dam Carbon Capture Project



Sources: [SaskPower monthly and quarterly Boundary Dam 3 Status Updates](#)

- Canada
- Sask Power
- Mise en service en 2014
- Capacité : 1000 kt/an
- Stocké en cavité souterraine (CCS)

An aerial photograph of a hydrogen production facility. The facility features several large, white, rectangular electrolyzer stacks arranged in rows. In the foreground, there are three green, rectangular storage tanks. The facility is surrounded by a paved area with white directional arrows and a metal fence. The background is filled with lush green trees. The image is framed by dark blue geometric shapes on the left and right sides.

Production d'hydrogène par électrolyse

03

Les origines de l'électrolyse

Vemork (Norvège)

Aujourd'hui



Barrage hydraulique

En 1927



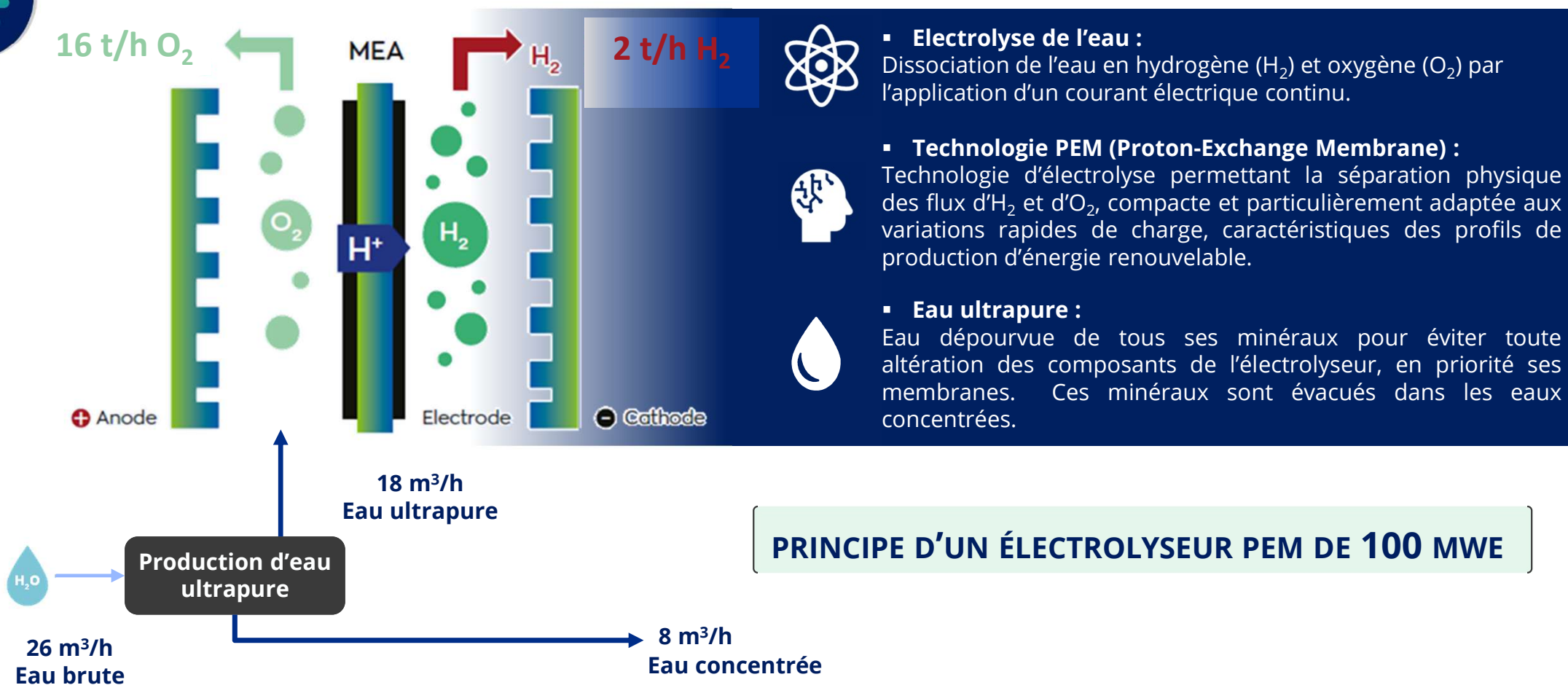
120 MW d'électrolyse
(engrais & eau lourde)

- Absence de développement ? Pas une raison technologique mais ... **économique** (compétition avec le gaz naturel)



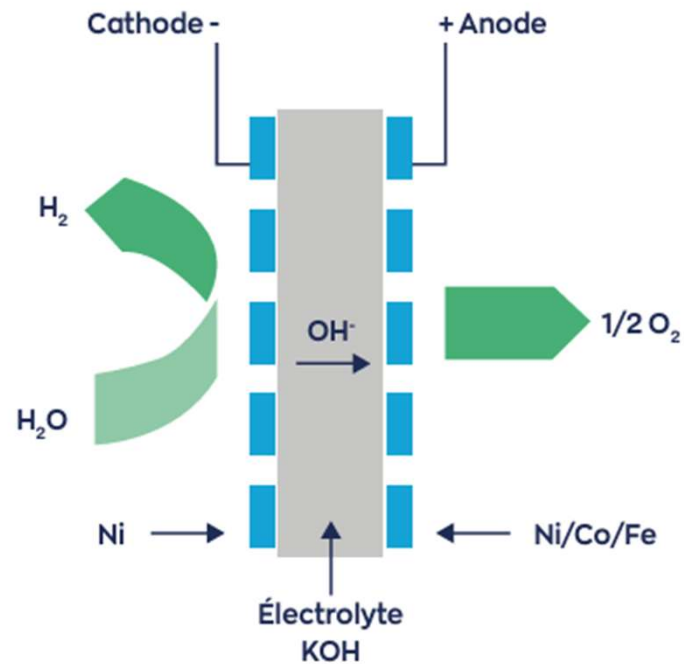
- Découverte et compréhension du principe théorique de l'électrolyse: **1800** ! (Carlisle & Nicholson)
- **1900 → 1940**, l'électrolyse (**alcaline**) était la solution privilégiée pour la production d'hydrogène à échelle industrielle

Fonctionnement d'un électrolyseur



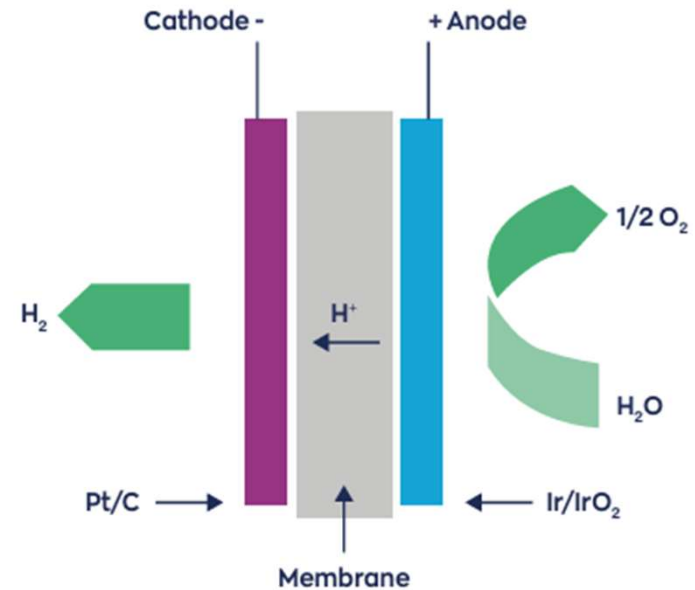
2 technologies envisagées pour l'industrie à moyen terme

Alcaline



PEM

(Membrane échangeuse de proton)



Une filière qui se structure

- 2 technologies envisagées pour l'industrie à moyen terme

Alcaline



 **Références**

Plus grande référence en opération: **260 MW**

PEM

(Membrane échangeuse de proton)



 **Flexibilité**

Plus grande référence en opération: **40 MW**

- 2 autres technologies en cours d'industrialisation (SOEC & AEM)

An aerial photograph of an industrial facility, likely a methanol production plant. The image shows several large, cylindrical storage tanks on the left, connected by a network of pipes and walkways. A long, rectangular building with a corrugated metal roof is on the right. The facility is situated near a body of water, with a rocky shoreline visible at the bottom. The image is framed by dark blue geometric shapes on the left and right sides, with green horizontal bars on the far left.

Production du e-méthanol

04

Qu'est ce que le méthanol ?

- Le plus simple des **alcools**, un seul atome de carbone (CH_3OH)
- **Liquide** incolore à température ambiante & pression atmosphérique
- Une molécule « plateforme » valorisée en tant que



Intrant matière



Contenu énergétique



MTBE

Biodiesels

- Peut être synthétisée à partir de CO_2 & d'électricité décarbonée → **e-méthanol**

Le e-méthanol, ça existe ?

1^{ère} Référence Industrielle: l'usine George Olah



- Islande
- Carbon Recycling International
- Mise en service en 2012
- H₂ électrolytique
- 4 000 tonnes/an e-MeOH
- Usage : mobilité

Le e-méthanol, quels développements ?

Producteurs



- Kassø (Danemark)
- Développeur : European Energy
- Mise en service : 2024
- Production: 42 000 t/an e-MeOH
- Maritime, chimie et pharmacie

Consommateurs

Importantes commandes de porte-conteneurs*, horizon 2024 - 2026



MAERSK

19 navires

24 navires

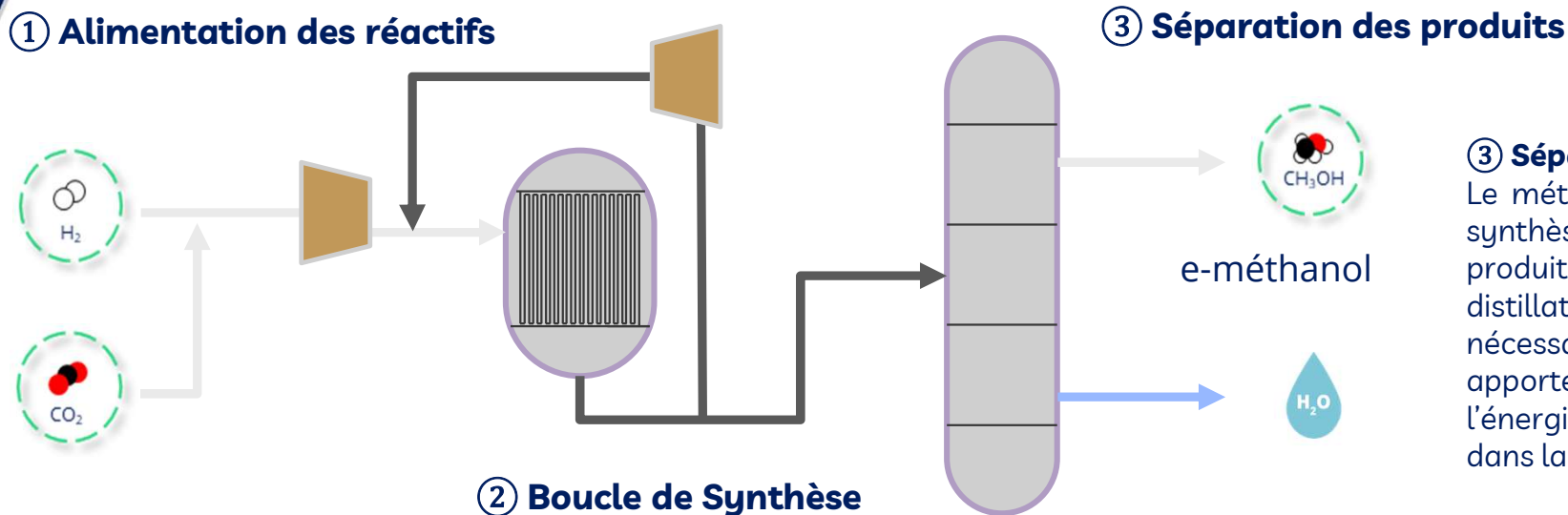


24 navires

(*) jusqu'à 400 tonnes/jour (24 000 EVP)

La Synthèse de e-méthanol

① Alimentation des réactifs



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.

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

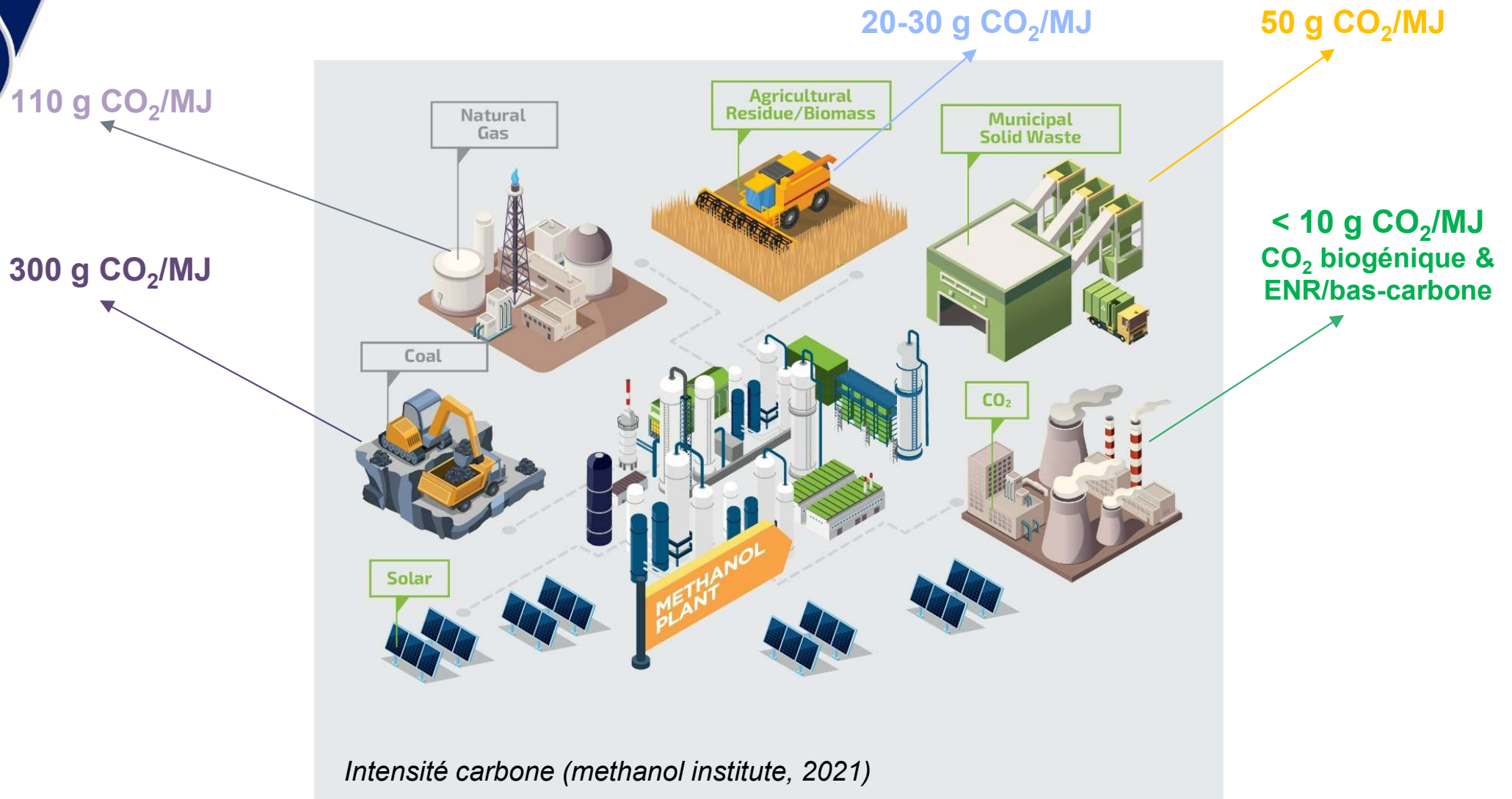
② Boucle de Synthèse

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

Intensité carbone de la production du méthanol



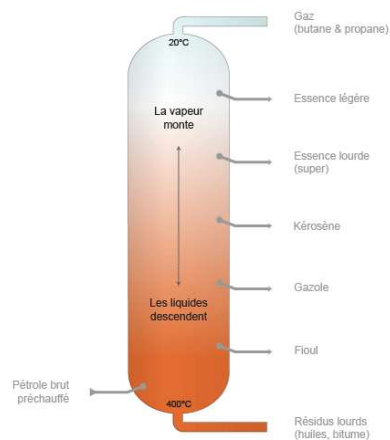
**Synthèse du e-SAF
& logistique**

05

Qu'est ce que le carburant d'avion ?

- Appelé aussi kérosène (souvent aussi Jet A1), c'est une chaîne carbonée avec 8 à 16 atomes de carbones (alkane C_nH_{2n+2})
- **Liquide** et **stable** à température ambiante & pression atmosphérique
- Embarqué dans les réservoirs des avions commerciaux, fret, militaire... répondant à des normes internationales (ASTM D1655...)

Intrant matière



Obtenu par
raffinage et
distillation
du pétrole

Contenu énergétique

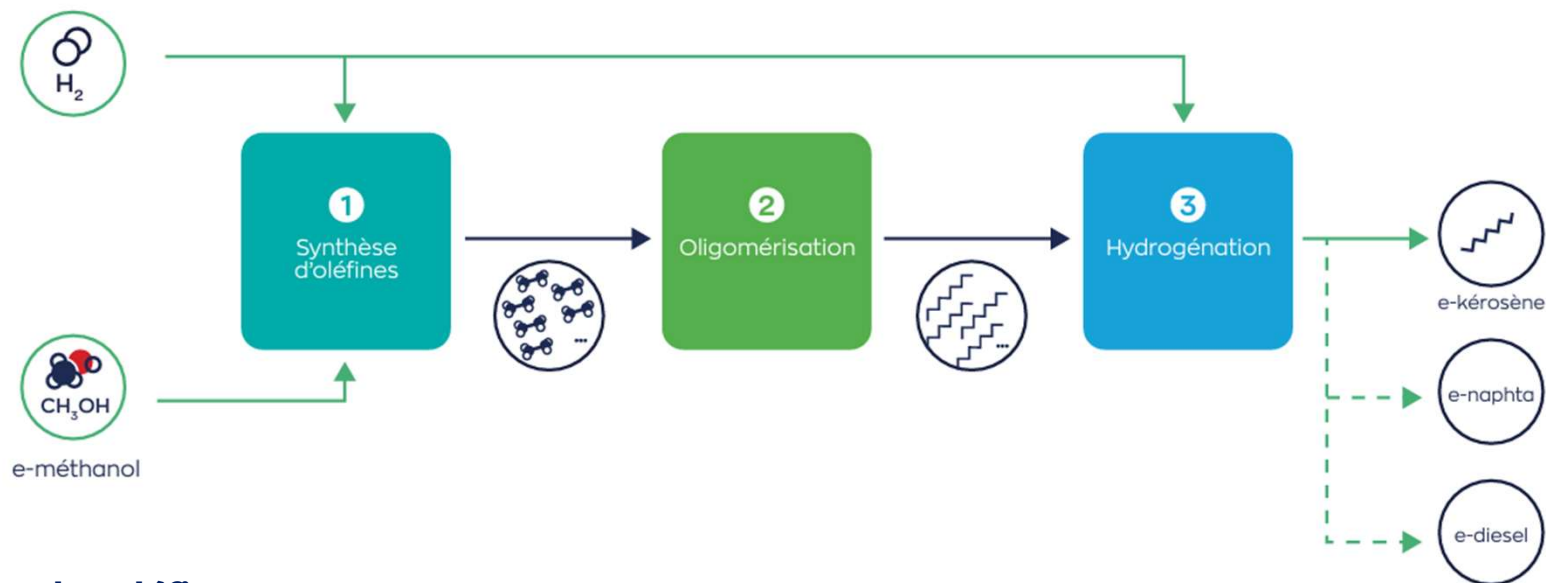
Une densité énergétique très importante de **43,15 MJ/kg**



Grande autonomie et adaptabilité aux conditions de vol et d'aéroports

- Peut aussi être synthétisé à partir d'huiles végétales & produits agricoles (SAF) ou d'**e-méthanol**

Synthèse de e-SAF : MTJ = Methanol to Jet



① Synthèse des oléfines

Le e-méthanol est vaporisé puis décomposé à haute température en eau et en oléfines en présence d'un catalyseur.

② Oligomérisation

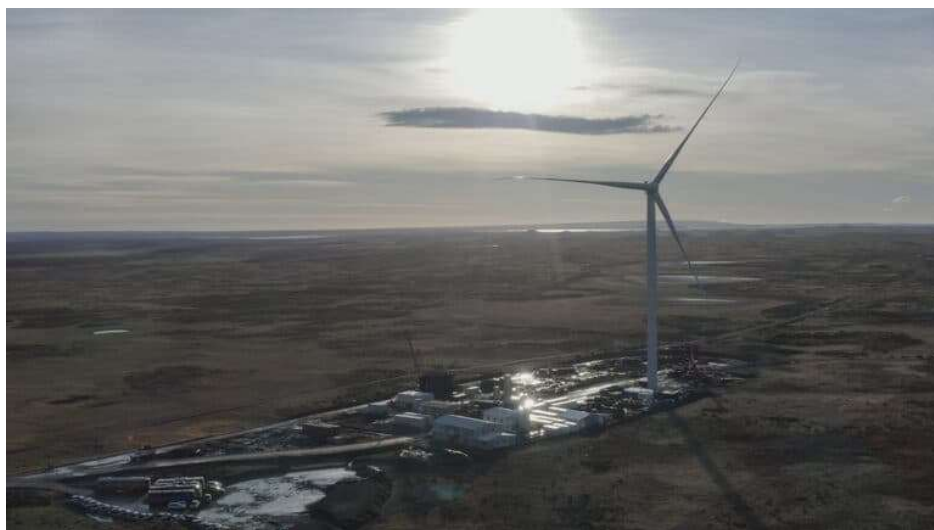
Le procédé consiste à faire réagir au cours de plusieurs étapes successives les oléfines légères en présence d'un catalyseur pour créer des chaînes carbonées de poids moléculaire plus important, similaire au kérosène conventionnel.

③ Hydrogénation

Etape finale du procédé visant à saturer par hydrogénation des chaînes carbonées avec de l'hydrogène produisant du e-kérosène (e-SAF) et des sous produits.

La synthèse de e-fuel, ça existe ?

Projet Haru-Oni



- Chili
- Procédé Methanol to Gasoline (MTG)
- Mise en service en 2022
- 130 000 litres par an

Méthanol to oléfines



- Chine
- Procédé Methanol-to-olefin
- 6 unités actuellement en service depuis 2013
- Jusqu'à 800 000 tonnes d'oléfine par an

Les réseaux pouvant transporter le e-SAF



- Mélange de e-SAF avec du kérosène dans des dépôts pétroliers existants (*blending*)
- Des réseaux existants desservent les aéroports en carburant (canalisation Le Havre-Paris, réseau OTAN européen)

LHP Le Havre - Paris

PMR - Pipeline Méditerranée/Rhône

CEPS Central European Pipeline System ou OCD Oléoducs de Défense Commune de l'OTAN (en français)

La logistique ferroviaire pour se connecter aux réseaux existants



- 81 kt/an de e-SAF transporté, soit 100% du volume prévisionnel
- Distance chemin de fer : 1170 km
- 2 rames de 15 wagons par semaine



- Impacts économiques et environnementaux réduits en remplaçant le transport routier par le transport ferroviaire



Conclusion

- Un carburant d'**intérêt, directement utilisable par l'aviation** offrant une solution pour un secteur difficile à décarboner
- Un procédé de production à **échelle industrielle utilisant des technologies matures**
- Une **chaîne logistique maîtrisée**, s'appuyant sur des infrastructures existantes



Echange



MERCI

Retrouvez-nous sur : <https://verso.energy/>



49 bis avenue Franklin D. Roosevelt
75008 PARIS

