

# 2075 : Enfin la neutralité carbone

---

## Le rôle de la technologie

Antoine Rouxhet – 4 avril 2025

2075, neutralité carbone atteinte : voici à quoi ressemble notre société selon ChatGPT



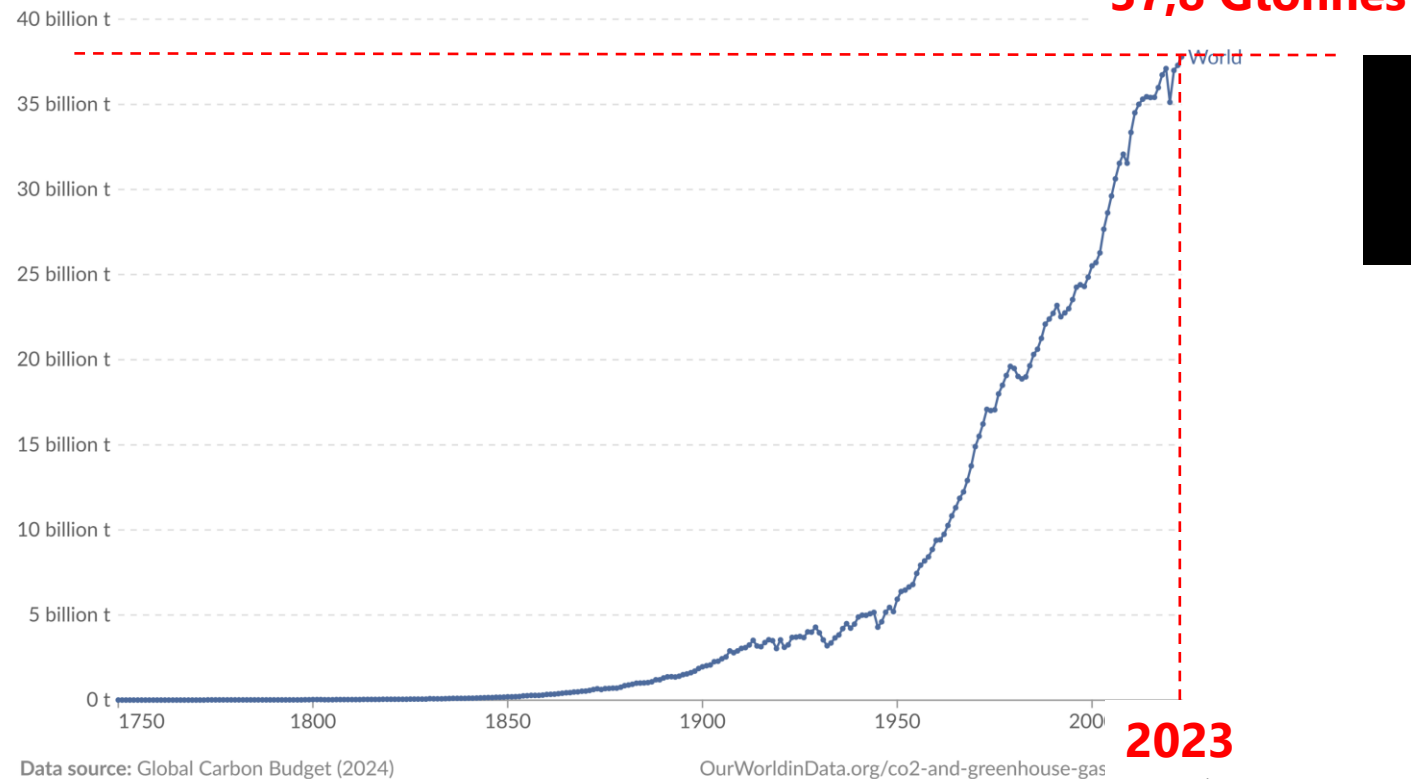
2075, neutralité carbone atteinte : voici à quoi ressemble notre société...



# La source du problème : les émissions annuelles de CO<sub>2</sub>

## Annual CO<sub>2</sub> emissions

Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions from fossil fuels and industry<sup>1</sup>. Land-use change is not included.



**2023** : 83,4 Mtonnes de CO<sub>2</sub>  
~**2,2%** des émissions mondiales

~**20 kg/jour/hab.**



**1. Fossil emissions:** Fossil emissions measure the quantity of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emitted from the burning of fossil fuels, and directly from industrial processes such as cement and steel production. Fossil CO<sub>2</sub> includes emissions from coal, oil, gas, flaring, cement, steel, and other industrial processes. Fossil emissions do not include land use change, deforestation, soils, or vegetation.

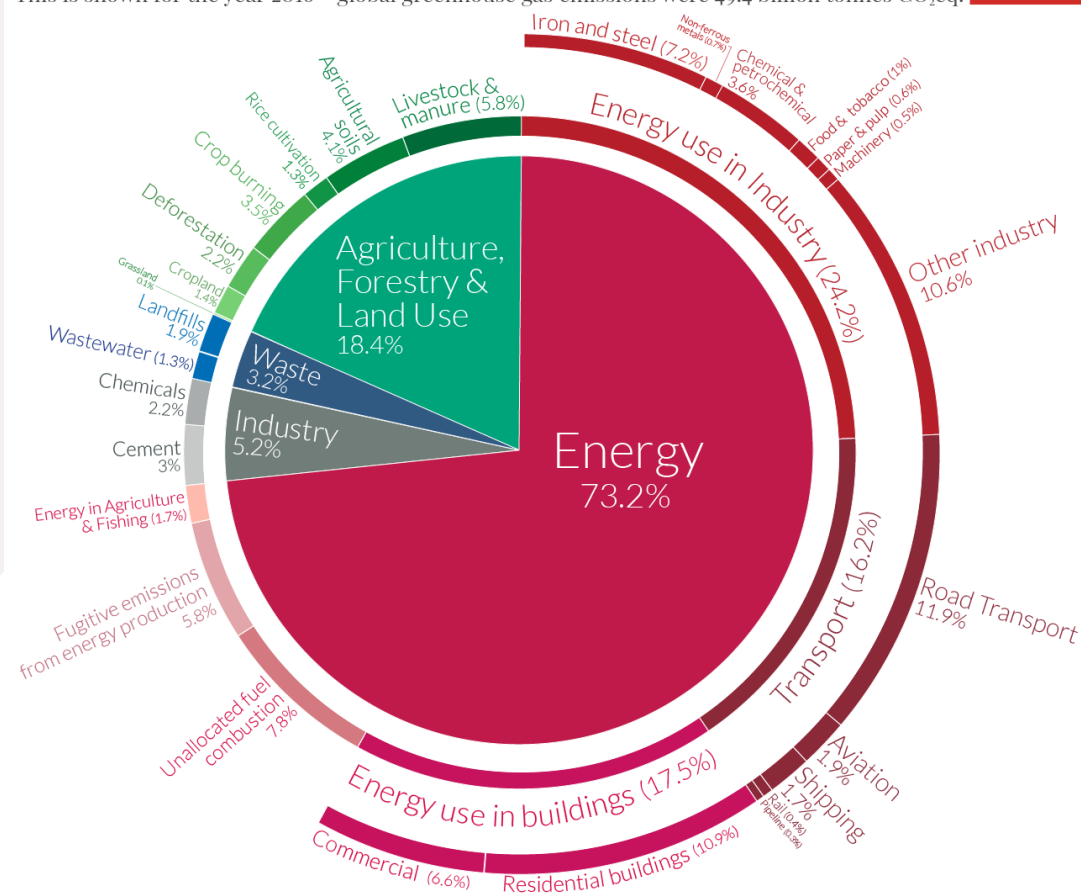
**Source :** <https://ourworldindata.org/co2-emissions>

# La source du problème : pourquoi tant d'émissions ?

## Global greenhouse gas emissions by sector

This is shown for the year 2016 – global greenhouse gas emissions were 49.4 billion tonnes CO<sub>2</sub>eq.

Our World  
in Data



OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

Source: Climate Watch, the World Resources Institute (2020).

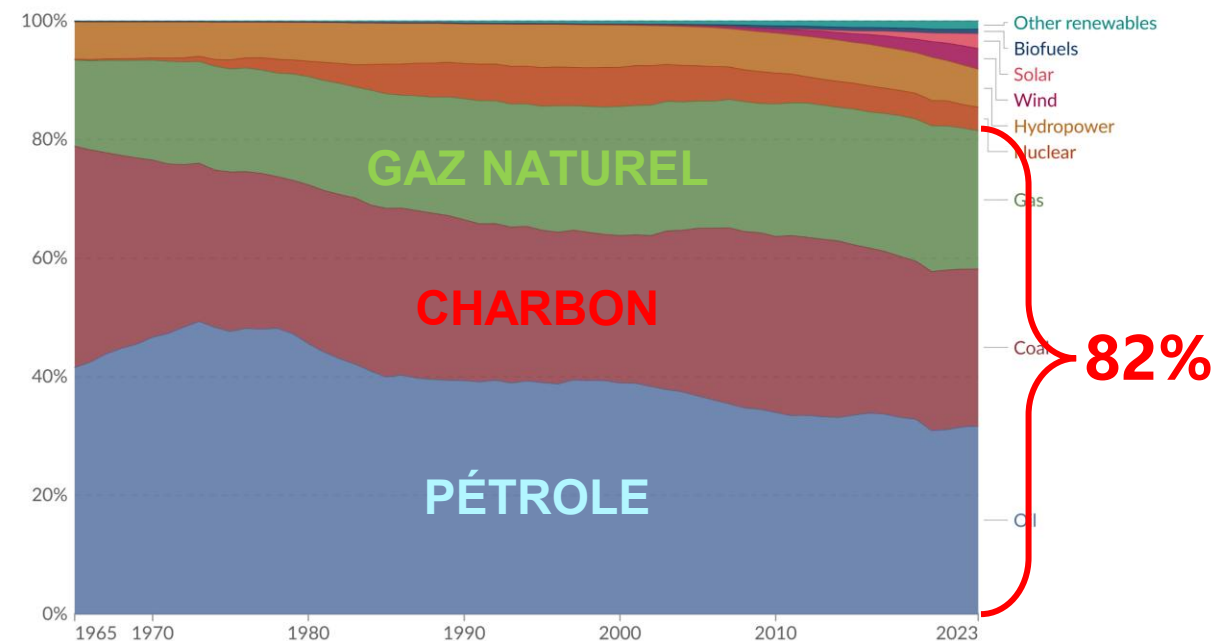
Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie (2020).

Source : <https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector>

## Energy consumption by source, World

Measured in terms of primary energy<sup>1</sup> using the substitution method<sup>2</sup>.

Our World  
in Data



Data source: Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024)

Note: "Other renewables" include geothermal, biomass, and waste energy.

OurWorldinData.org/energy | CC BY

Source : <https://ourworldindata.org/grapher/energy-consumption-by-source-and-country>

## Une idée de solution en 3 temps

①

**ÉVITER**



Réduire la  
demande globale

②

**SUBSTITUER**



Remplacer les  
énergies fossile par  
des énergies bas  
carbone

③

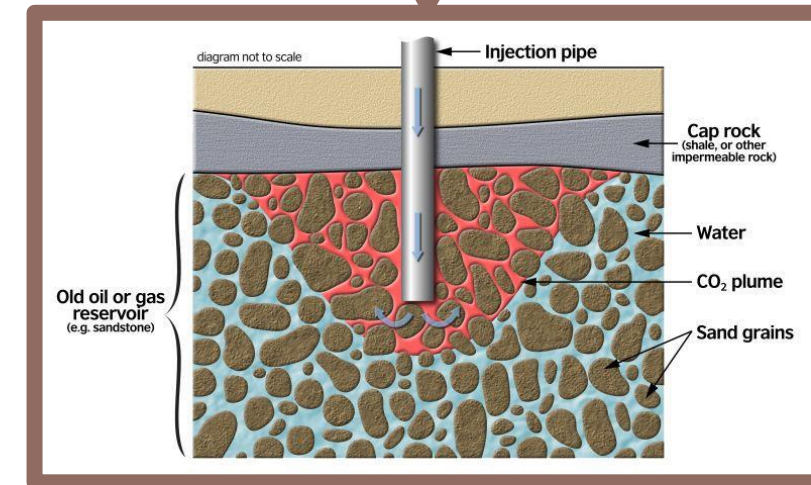
**AMÉLIORER**



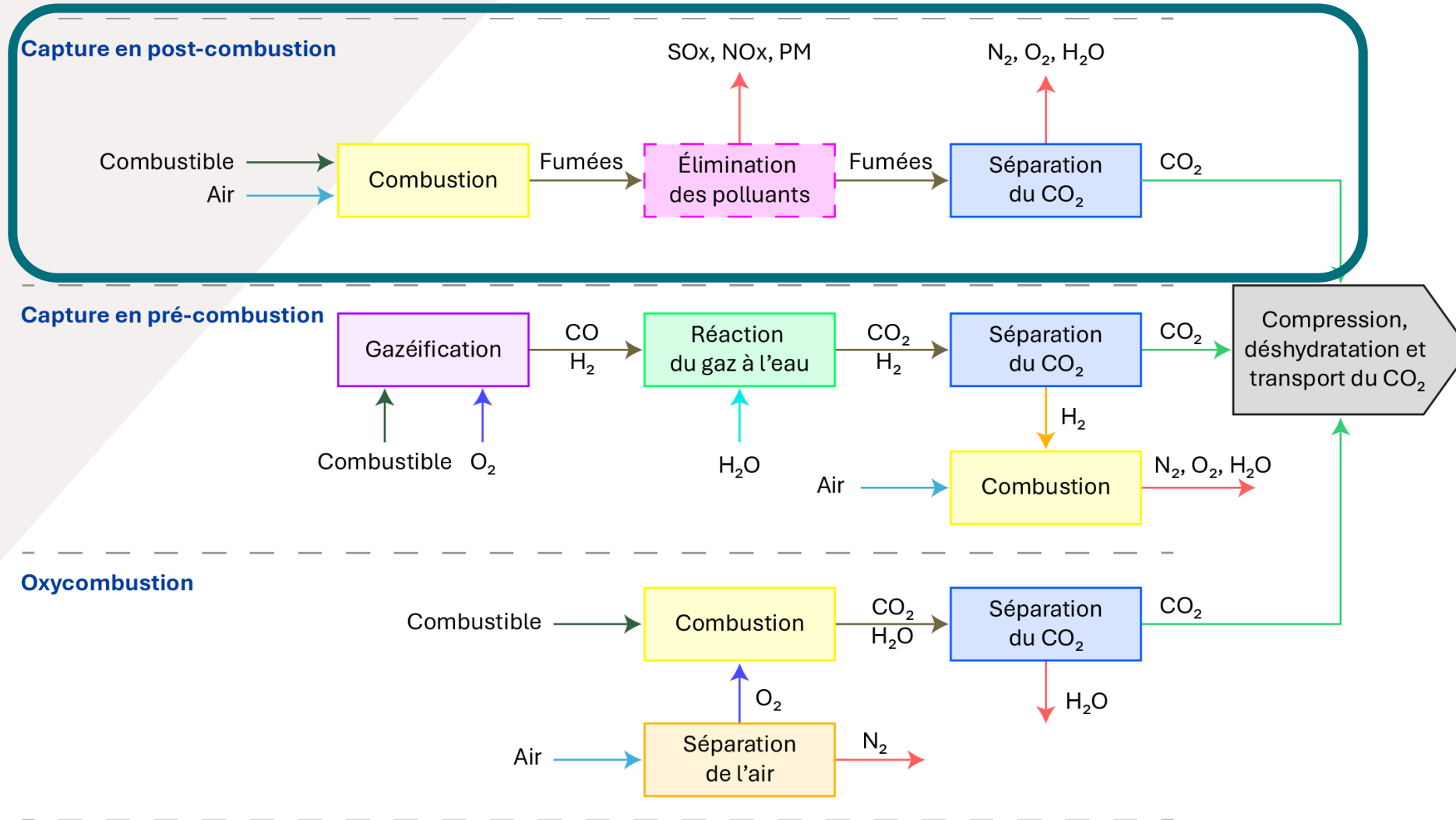
CCUS

# Le concept de CCUS

**CCUS** = Carbon Capture, Utilisation and Storage



# La capture du CO<sub>2</sub> : les différentes configurations possibles



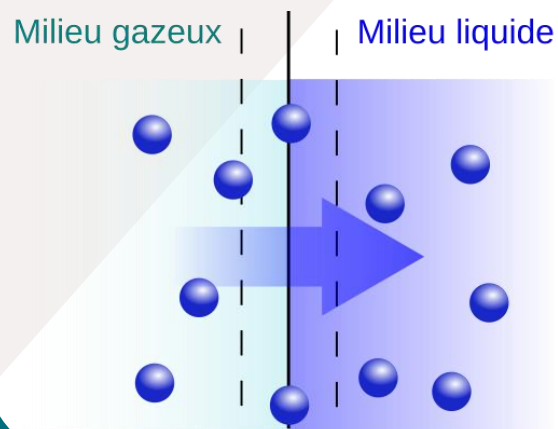
+ émissions venant  
directement des procédés

**Ex :** calcination de la chaux  
dans la production de  
ciment

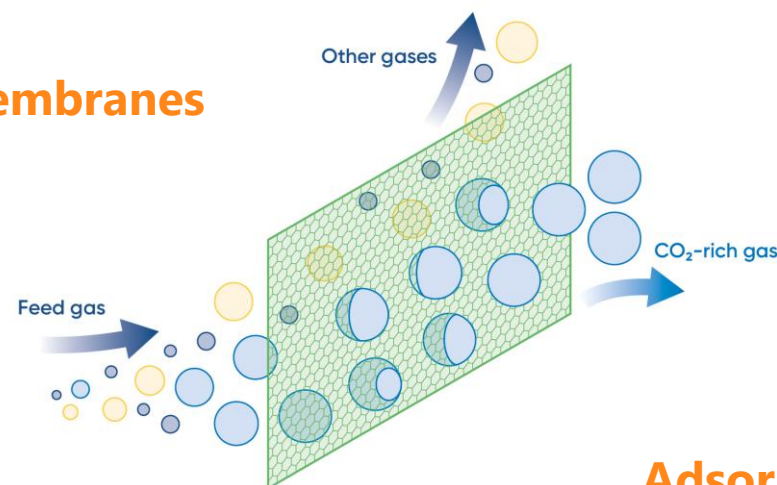


# La capture du CO<sub>2</sub> : un procédé de séparation physico-chimique

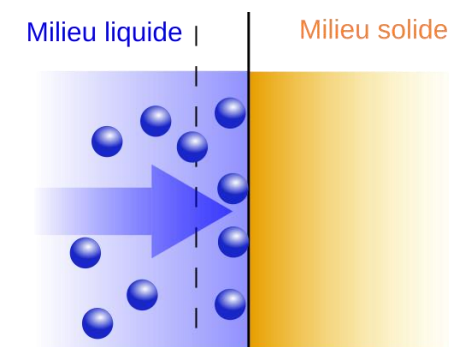
## Absorption chimique



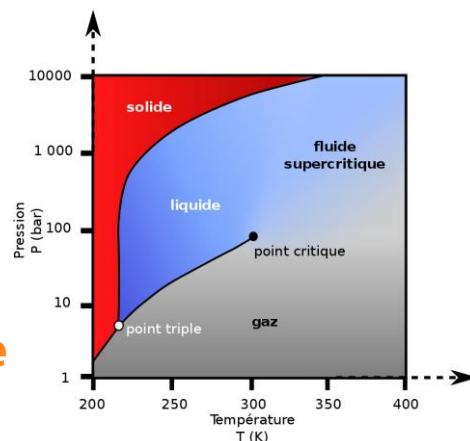
## Membranes



## Adsorption

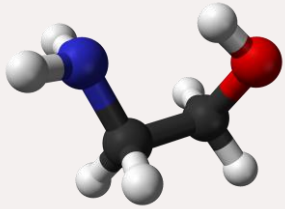


## Séparation cryogénique

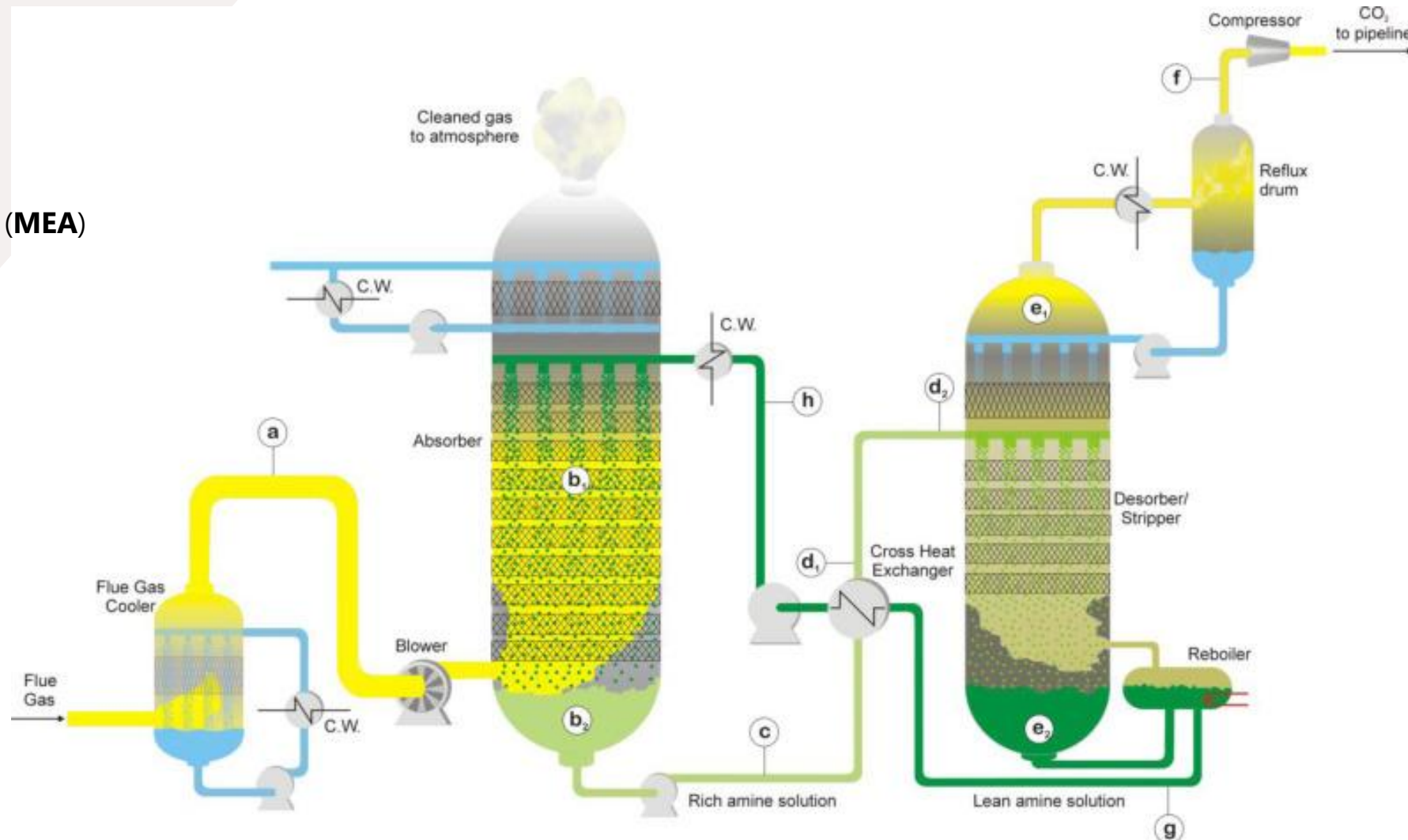


**Mais aussi** : calcium looping, absorption physique, bio-fixation...

## La capture du CO<sub>2</sub> : capture en post-combustion par absorption chimique

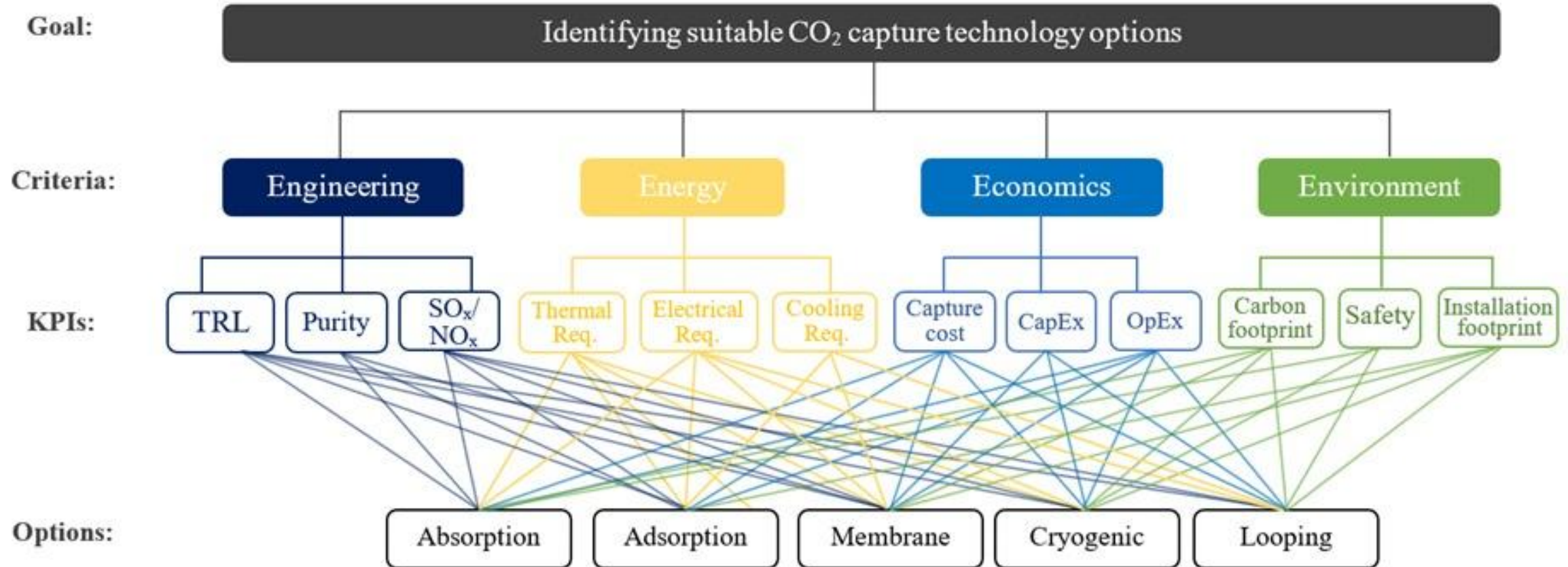


Monoéthanolamine (**MEA**)



# La capture du CO<sub>2</sub> : comment sélectionner la meilleure technologie ?

## Développement d'un outil d'aide à la décision



# La capture du CO<sub>2</sub> : quelles motivations pour les industries ?

EUA Futures  
05/02/2025  
**€82.08**  
Dec 25  
[Source](#)



# La capture du CO<sub>2</sub> : où en est-on en 2025 ?

| Boundary Dam                            | Petra Nova                              |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| Saskatchewan, Canada                    | Texas, États-Unis                       |
| Centrale électrique au charbon (110 MW) | Centrale électrique au charbon (240 MW) |
| <b>2700 tCO<sub>2</sub>/jour</b>        | <b>4400 tCO<sub>2</sub>/jour</b>        |
| Construite en 2014                      | Construite en 2017                      |
| CO <sub>2</sub> utilisé pour de l'EOR   | CO <sub>2</sub> utilisé pour de l'EOR   |



## 2 options possibles pour gérer le CO<sub>2</sub> capturé

### Séquestration du CO<sub>2</sub>

- Transport du CO<sub>2</sub> (pipeline, bateau...)
- Enfouissement du CO<sub>2</sub> dans des aquifères salins, des gisements gaziers et pétroliers épuisés

### Valorisation du CO<sub>2</sub>

- Utilisation directe du CO<sub>2</sub>, sans transformation
- Minéralisation, carbonatation
- Production de produits chimiques
- Production de carburants

## Une idée de solution en 3 temps

①

**ÉVITER**



Réduire la  
demande globale

②

**SUBSTITUER**



Remplacer les  
énergies fossile par  
des énergies bas  
carbone

③

**AMÉLIORER**



CCUS

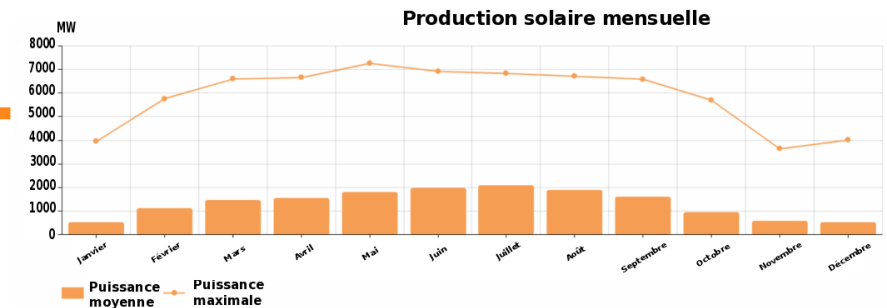
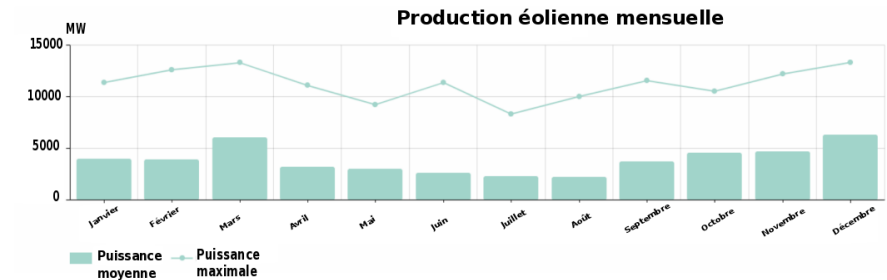
# Augmentation de la part des énergies renouvelables

②

SUBSTITUER



Remplacer les  
énergies fossile par  
des énergies bas  
carbone

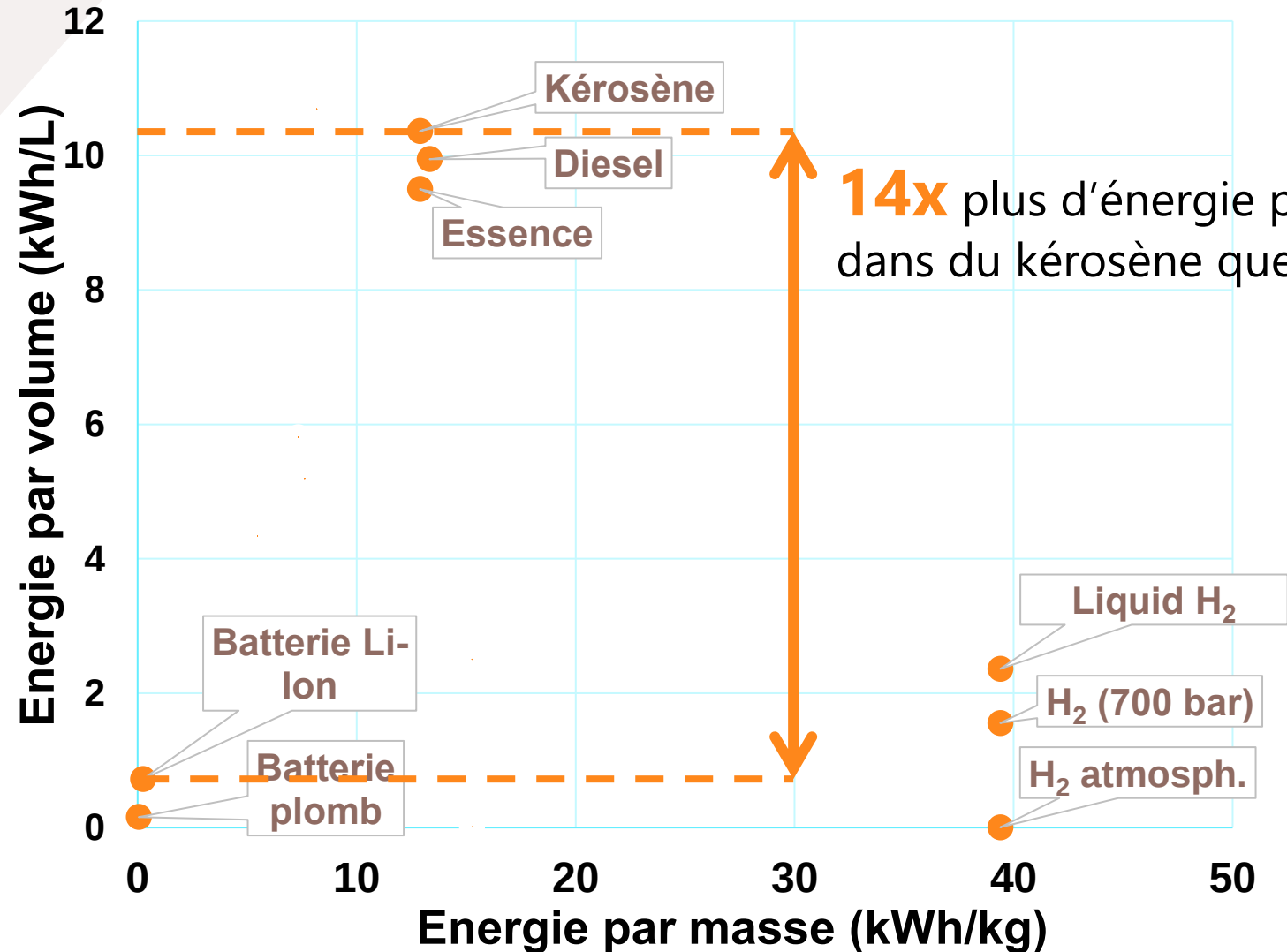


Source : <https://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/chiffres-energie-variabilite-renouvelable.xml>

**Besoin de stockage :**

- Temporel
- Spatial

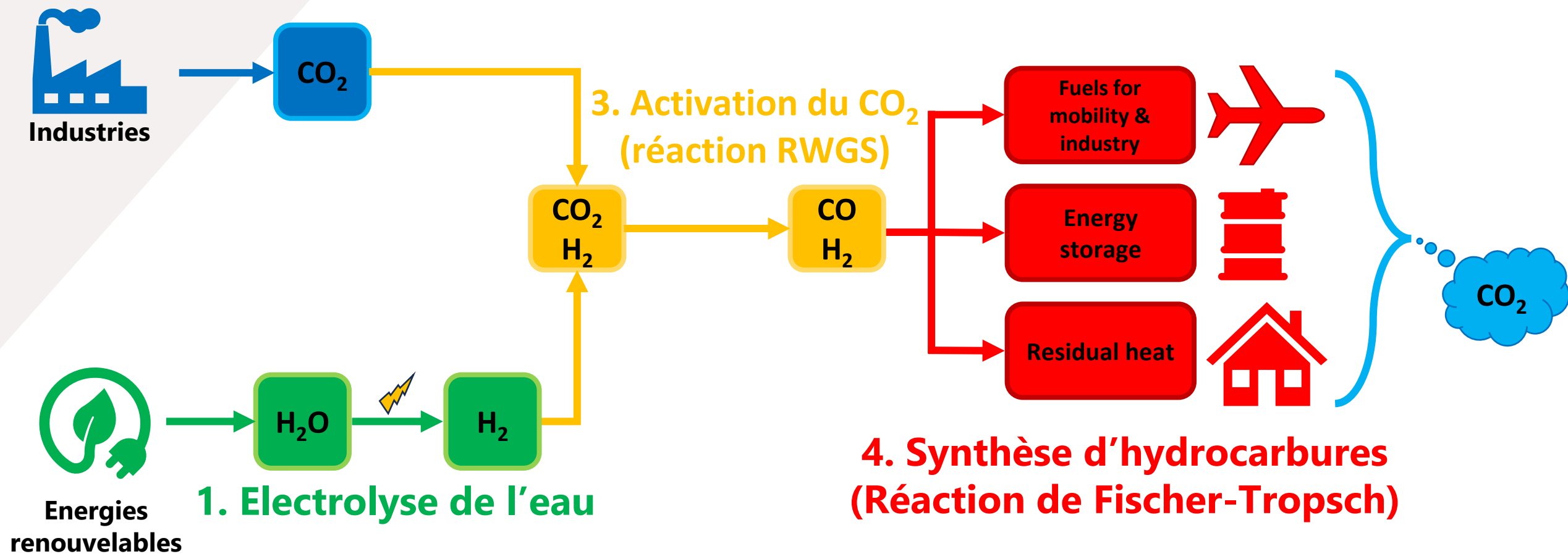
# Valorisation du CO<sub>2</sub> : une solution à un défi parallèle



**14x** plus d'énergie par unité de volume dans du kérosène que dans une batterie !!!

# Valorisation du CO<sub>2</sub> : une solution à un défi parallèle

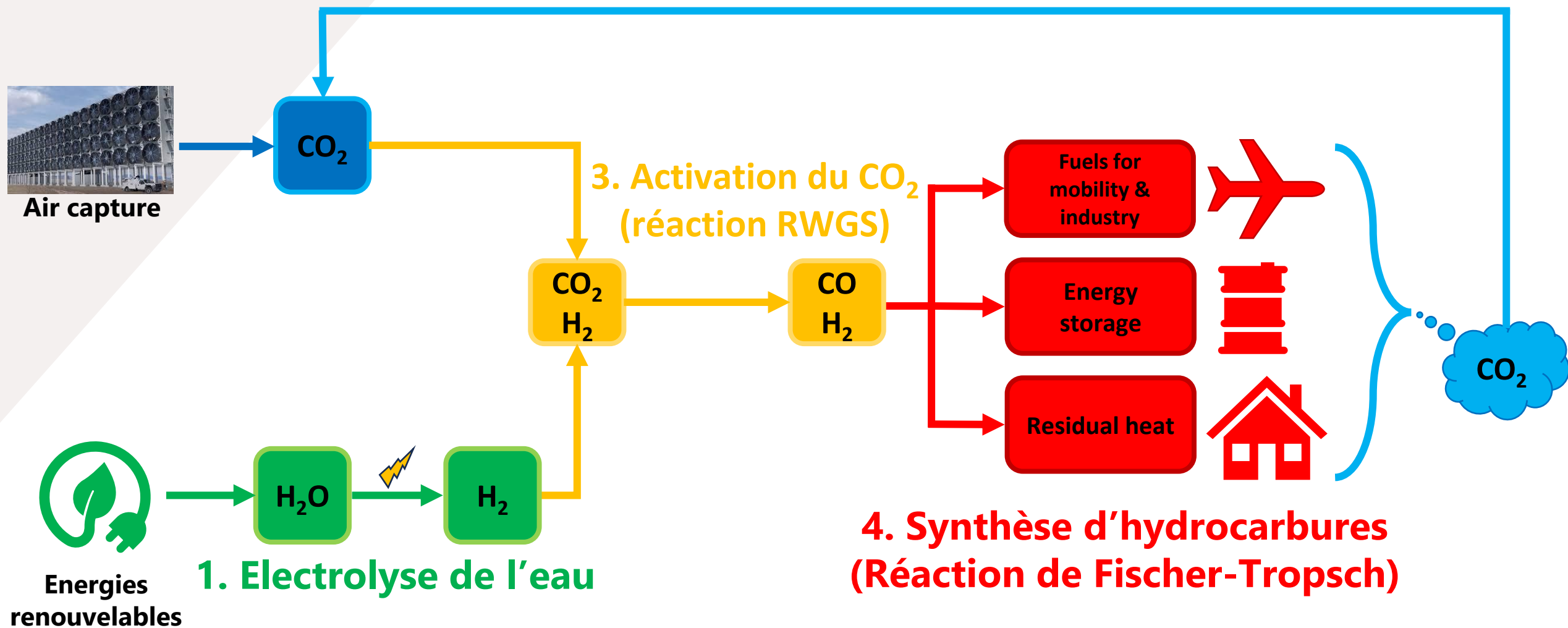
## 2. CO<sub>2</sub> capture



# Valorisation du CO<sub>2</sub> : une solution à un défi parallèle

## 2. CO<sub>2</sub> capture

## 5. Circularité du carbone



## Capture directe dans l'air (DAC)

Capture plus compliquée que pour de la capture en post-combustion :

- Concentration de l'air en  $\text{CO}_2$  ~ **400 ppm (0,04%)**
- Concentration des fumées de combustion du charbon ~ **15%**

Le  **$\text{CO}_2$**  est **375x plus dilué dans l'air** que dans les fumées de combustion



### ***Mammoth* par Climeworks**

- Lancée en 2022
- Capacité de capture de **36 000 t $\text{CO}_2$ /an**
- *Petra-Nova* = **1 606 000 t $\text{CO}_2$ /an**

## Construire des unités DAC vs. planter des arbres



**Les arbres capturent déjà le  $\text{CO}_2$  présent dans l'atmosphère (photosynthèse), alors pourquoi ne pas planter plus d'arbres ?**

## Construire des unités DAC vs. planter des arbres

Les arbres capturent déjà le CO<sub>2</sub> présent dans l'atmosphère (photosynthèse), alors pourquoi ne pas **planter plus d'arbres** ?

|                                                                              | DAC                          | ARBRES                     |
|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Capacité de capture<br>(tCO <sub>2</sub> /ha/an)                             | 280                          | 4,9                        |
| Surface pour capturer<br>36 000 tonnes de CO <sub>2</sub> (km <sup>2</sup> ) | 1,5<br>(~2 terrains de foot) | 73,5<br>(~75% de Gembloux) |

# Notre société en 2075 !

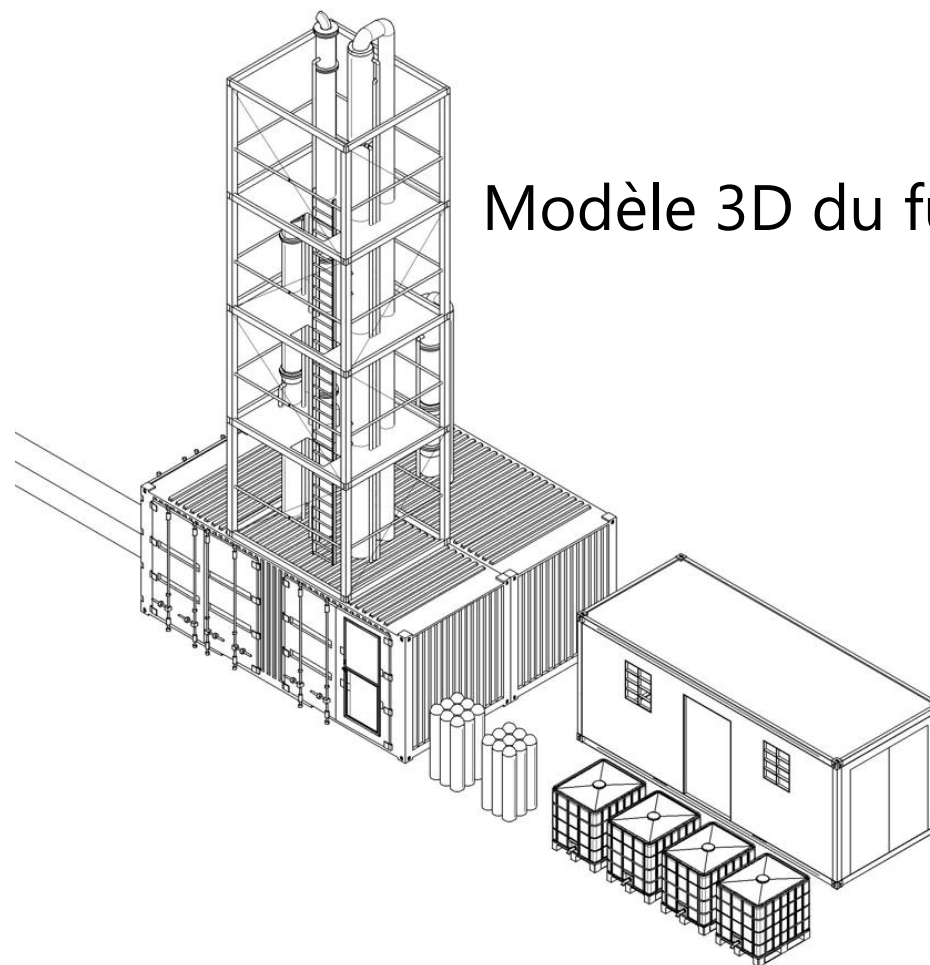


Merci pour votre attention !

## Projet de pilote de capture de CO<sub>2</sub> (capture d'1 tonne/jour)



Chaufferie centrale du Sart Tilman

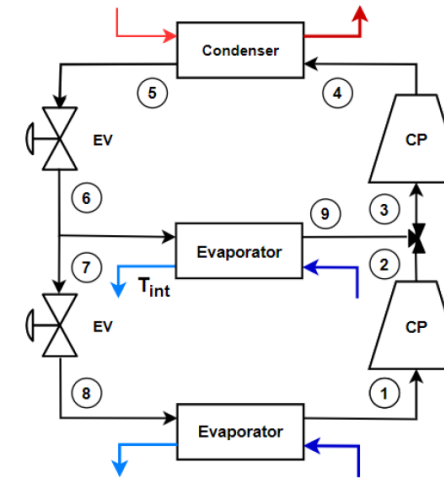


Modèle 3D du futur pilote

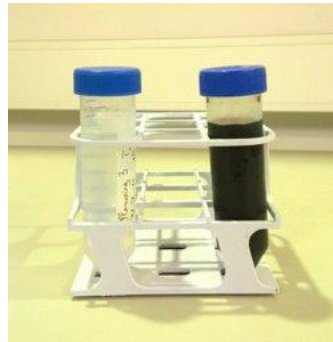
## Recherche sur le pilote de capture de CO<sub>2</sub>

- Priorités :

- Validation des modèles
- Intégration énergétique
  - Pompe à chaleur haute température

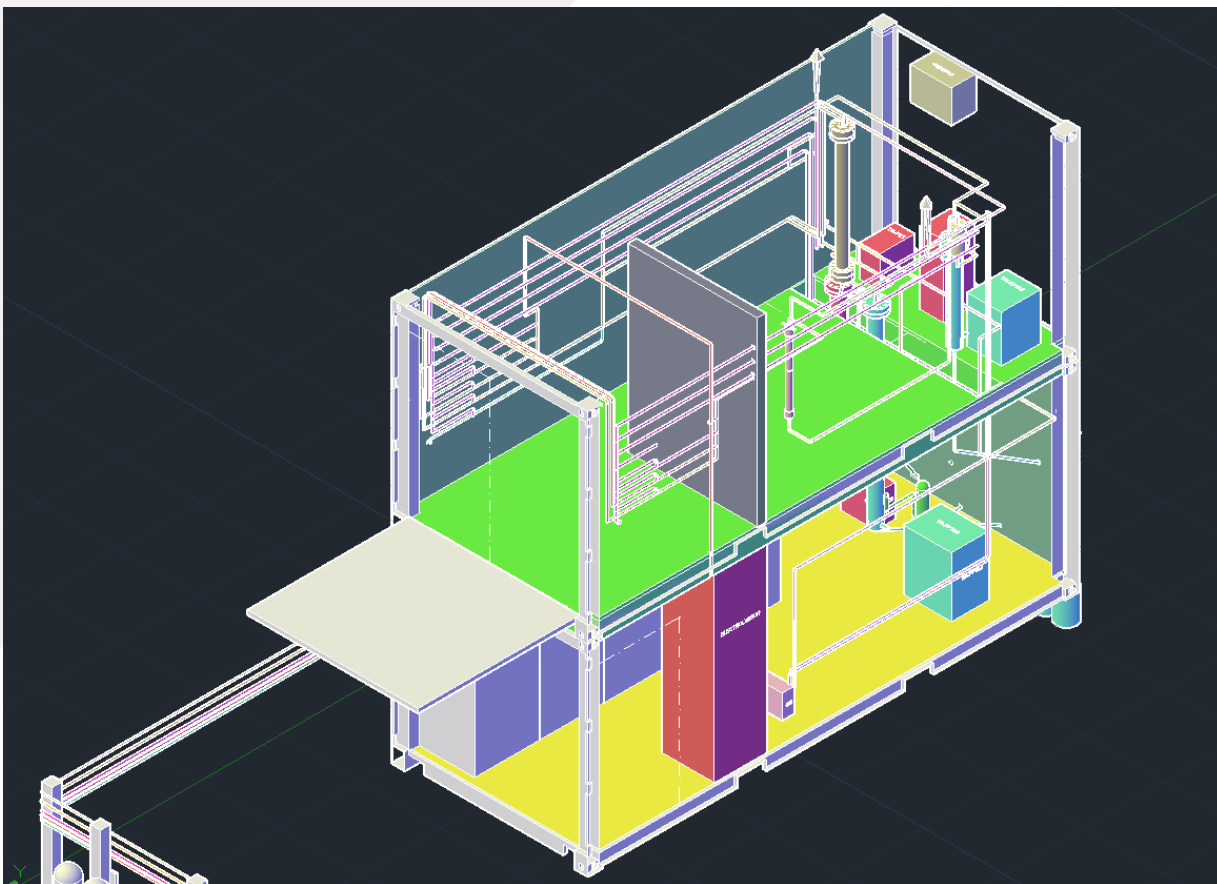


- Dégradation de solvant



- Longues campagnes expérimentales
- Influence des polluants issus de la combustion de biomasse (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>)

# Projet de pilote de conversion du CO<sub>2</sub> en kérosène



## Etude des synergies entre entreprises et établissement d'un réseau CO<sub>2</sub>

