

سوناطراك



sonatrach

SONATRACH / Institut Algérien du Pétrole
1^{ère} Conférence Internationale sur la Technologie de la Catalyse dans
l'Industrie Pétrolière et Gazière - 1^{ère} CITCIPG



La valorisation du CO₂

Entre challenges et opportunités...

Grégoire LEONARD
Chemical Engineering
Université de Liège, Belgique

- Introduction: la transition énergétique en chiffres
- La capture du CO₂: le filet à papillons ?
- Le CO₂ : déchet ou ressource ?
- Conclusion et perspectives

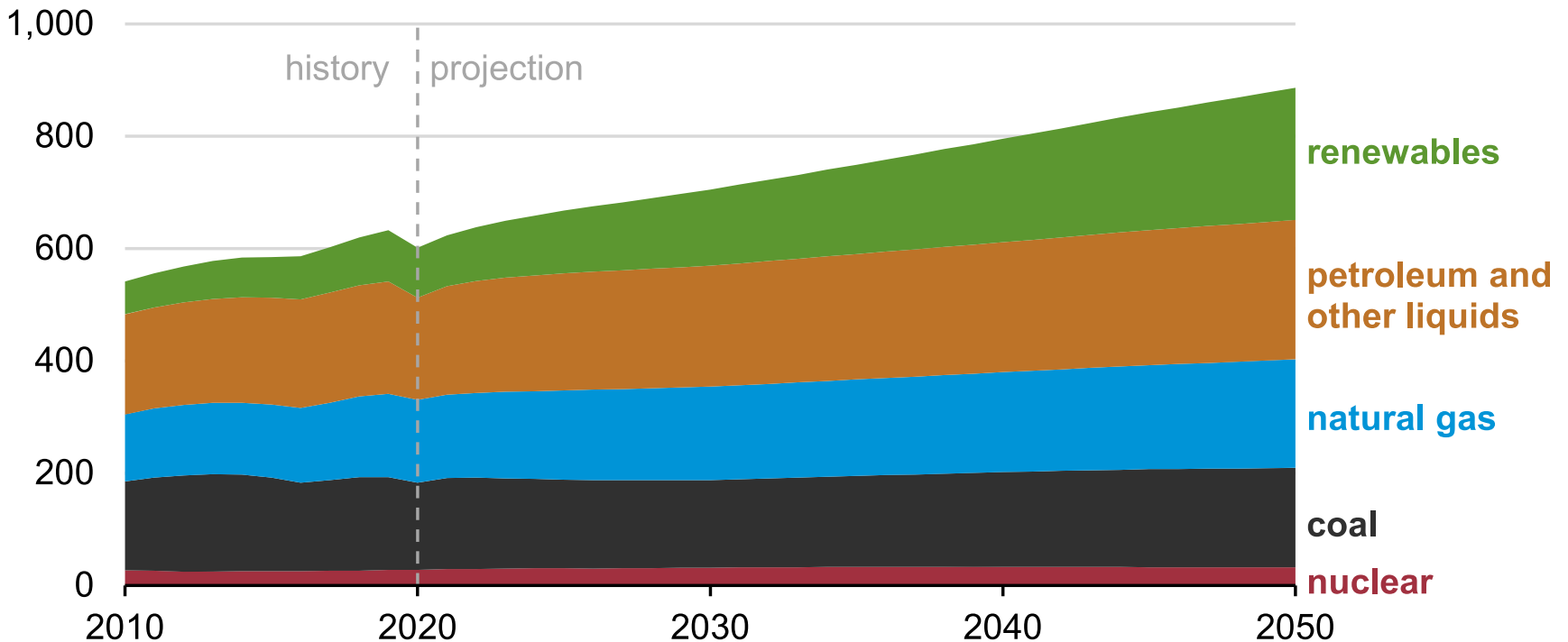


Mais elle doit faire face à des défis en contradiction:

- Réduire les émissions...
- ... tout en augmentant la production!

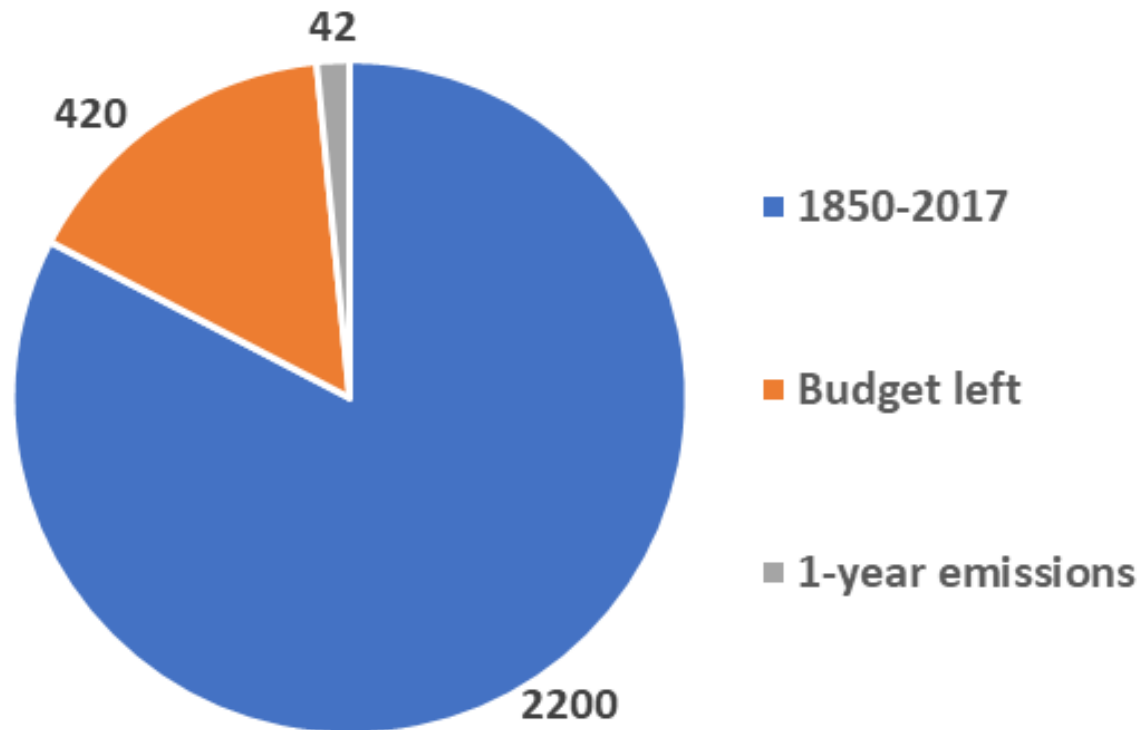
Répondre à la demande énergétique croissante est déjà un énorme défi en soi!

Global primary energy consumption by energy source (2010–2050)
quadrillion British thermal units



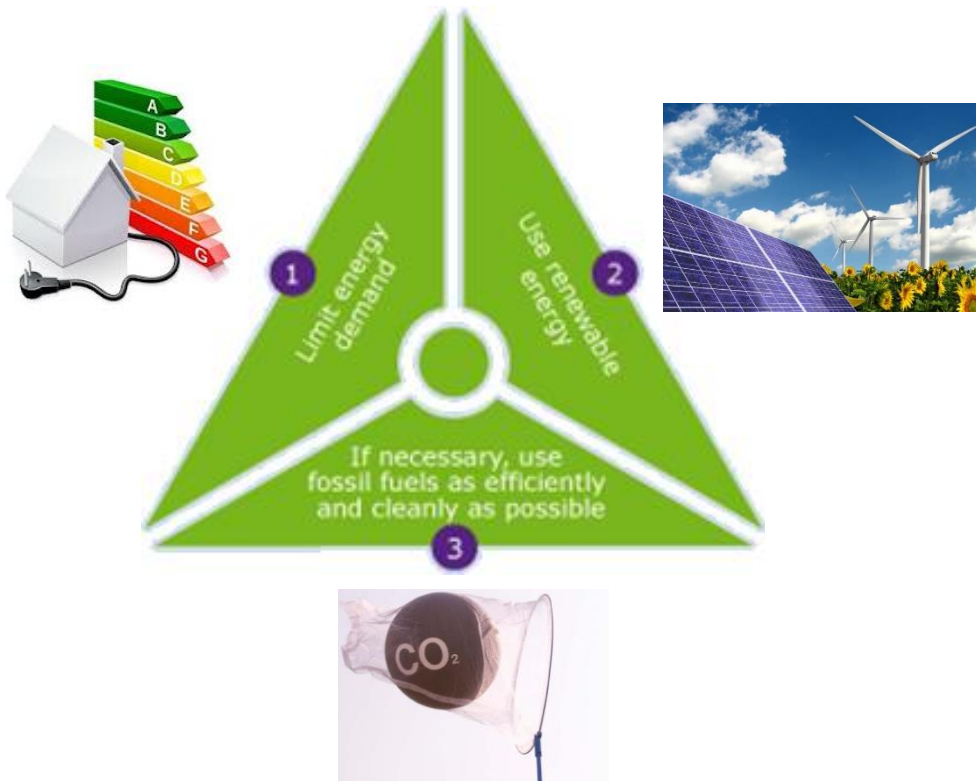
Surtout si cette énergie doit être « décarbonée »...

Budget CO₂ d'ici 2050 pour 66% de chances de rester sous 2°C



Note: Valeurs in Gt CO₂ eq

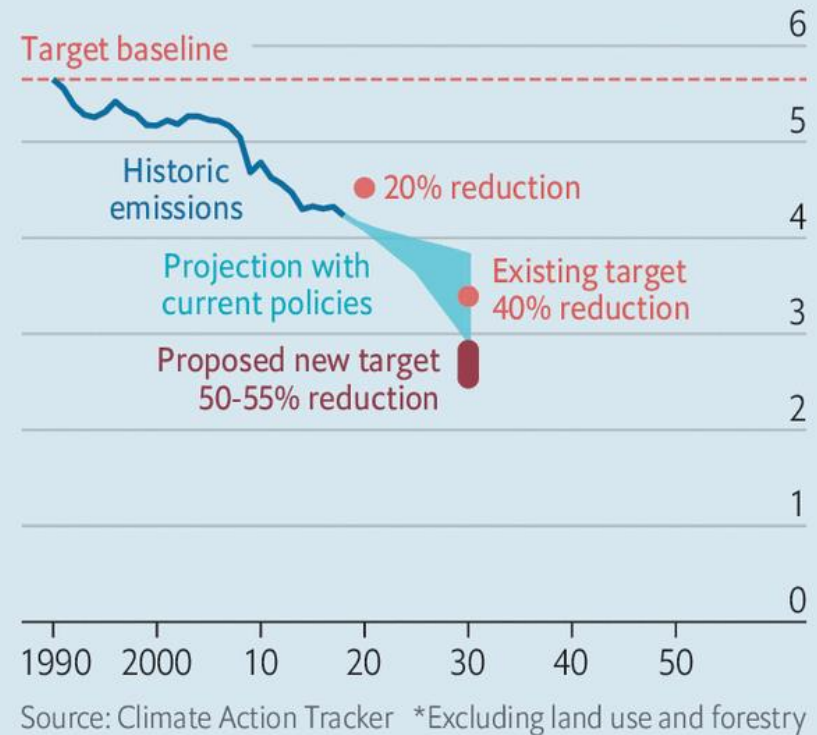
- Neutralité Carbone en 2050
- - 55% CO₂ pour 2030
- + Capture de CO₂ nécessaire !



Cooling it

EU, progress on greenhouse gas targets

Emissions, gigatonnes of CO₂ equivalent per year*



The Economist



LA CAPTURE DU CO₂ : UN FILET À PAPILLONS?

- Technologie exploitée depuis plus de 50 ans pour séparer le CO₂ de gaz industriels



Inde, 2006, production d'ammoniac
Echelle: 2x450 tonnes par jour CO₂



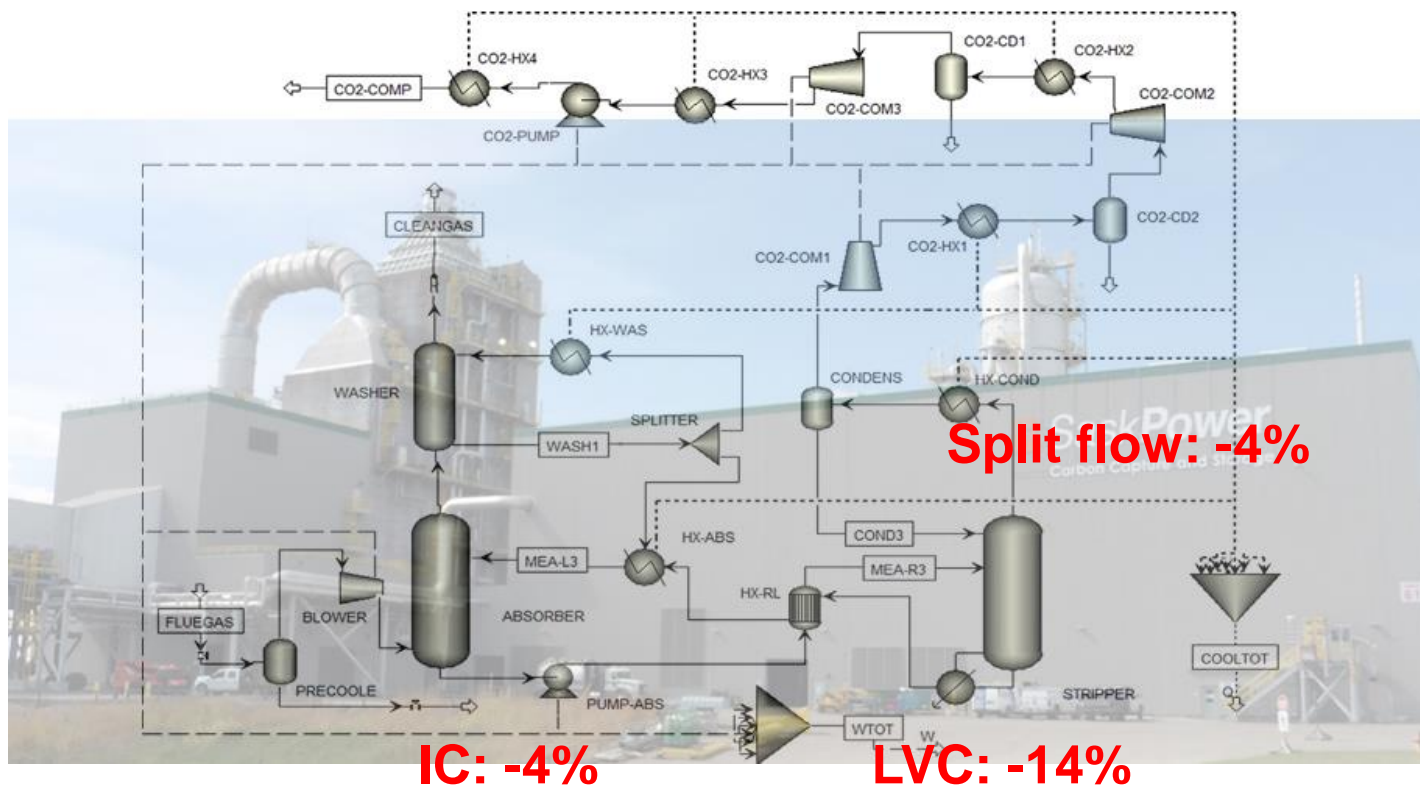
Algérie, 2017. Adoucissement du gaz naturel
Echelle: 1400-2800 tonnes par jour CO₂

- En 2016: ~ 250 Mtpa (dont 15% CCS, 50% engrais)

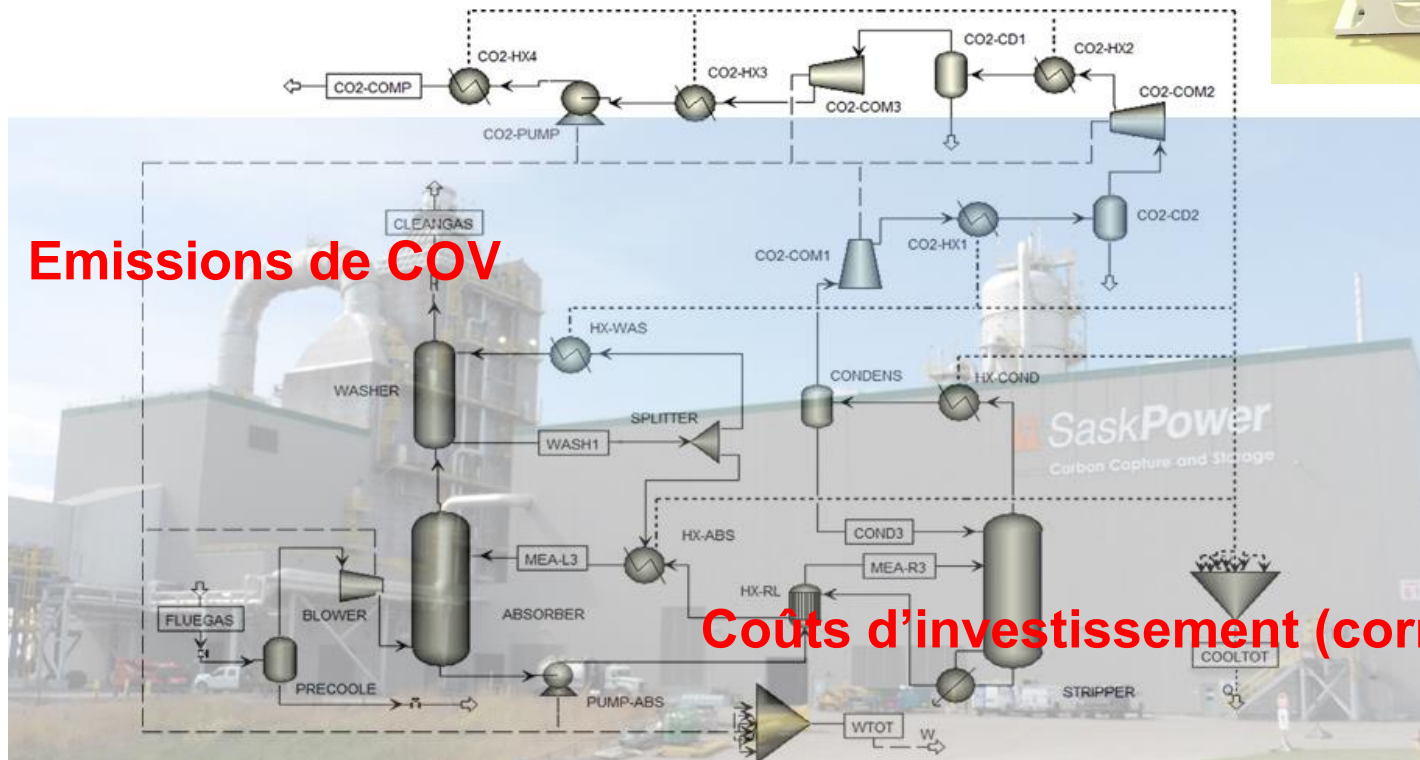
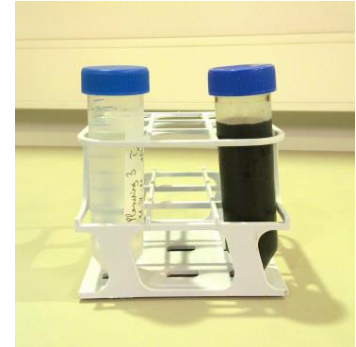
- Echelle commerciale atteinte récemment
 - Saskatchewan, Canada (2014)
 - Centrale charbon 160 MWe
 - 2700 tCO₂/j => 180 Nm³ gaz traité/s ; Solvant: 550 L/s
 - Petra Nova, Texas (2017)
 - Centrale charbon 240 MWe, 4400 tCO₂/j, 1 milliard US\$



- Recherches à l'ULiège
 - Modélisation et optimisation énergétique des systèmes



- Recherches à l'ULiège
 - Stabilité des solvants chimiques



Emissions de COV

Coûts d'investissement (corrosion)

Coûts opératoires: viscosité, propriétés modifiées...

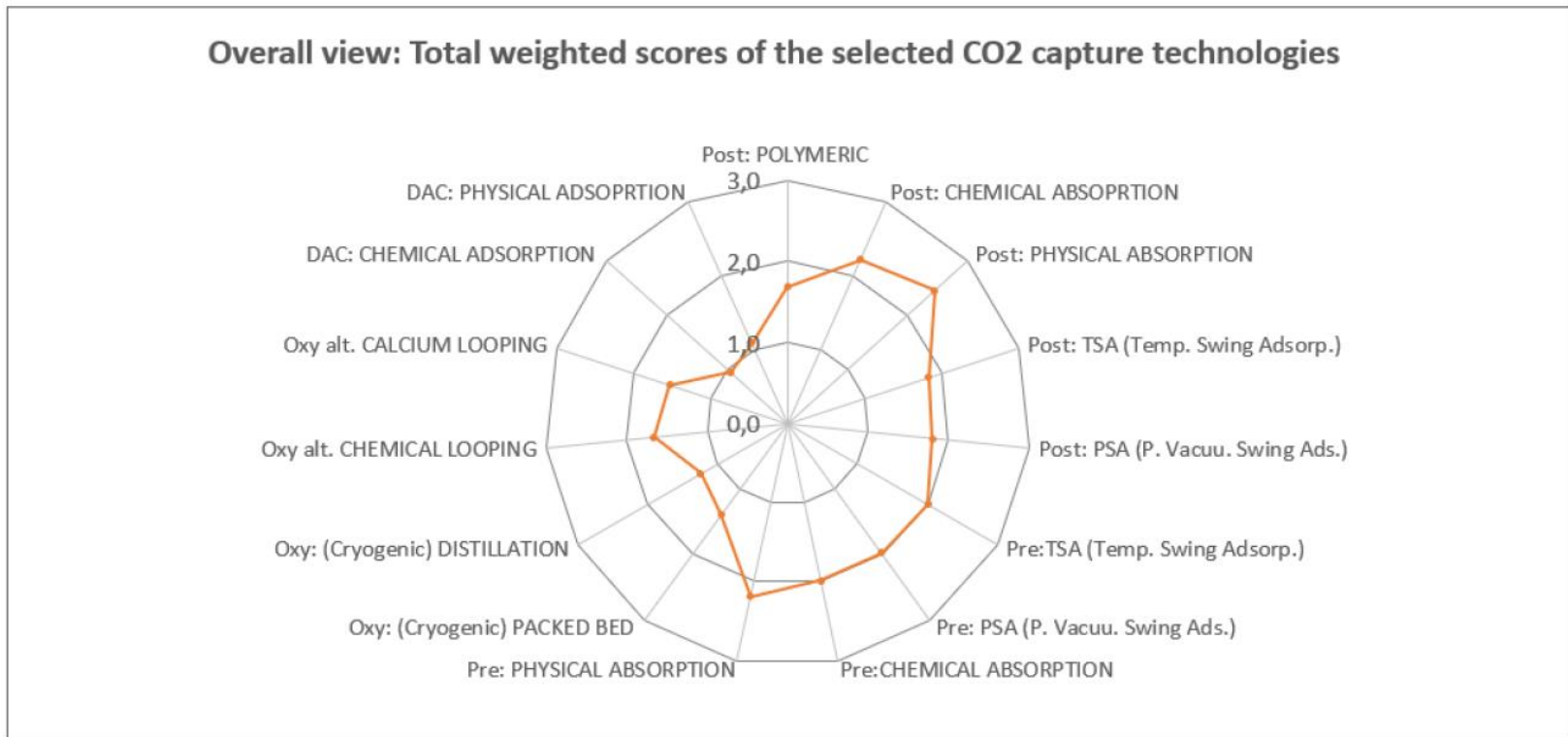
- Outil d'aide à la décision pour choix de la technologie optimale de capture de CO₂

*Please select combustion methods/technology options you wish to display

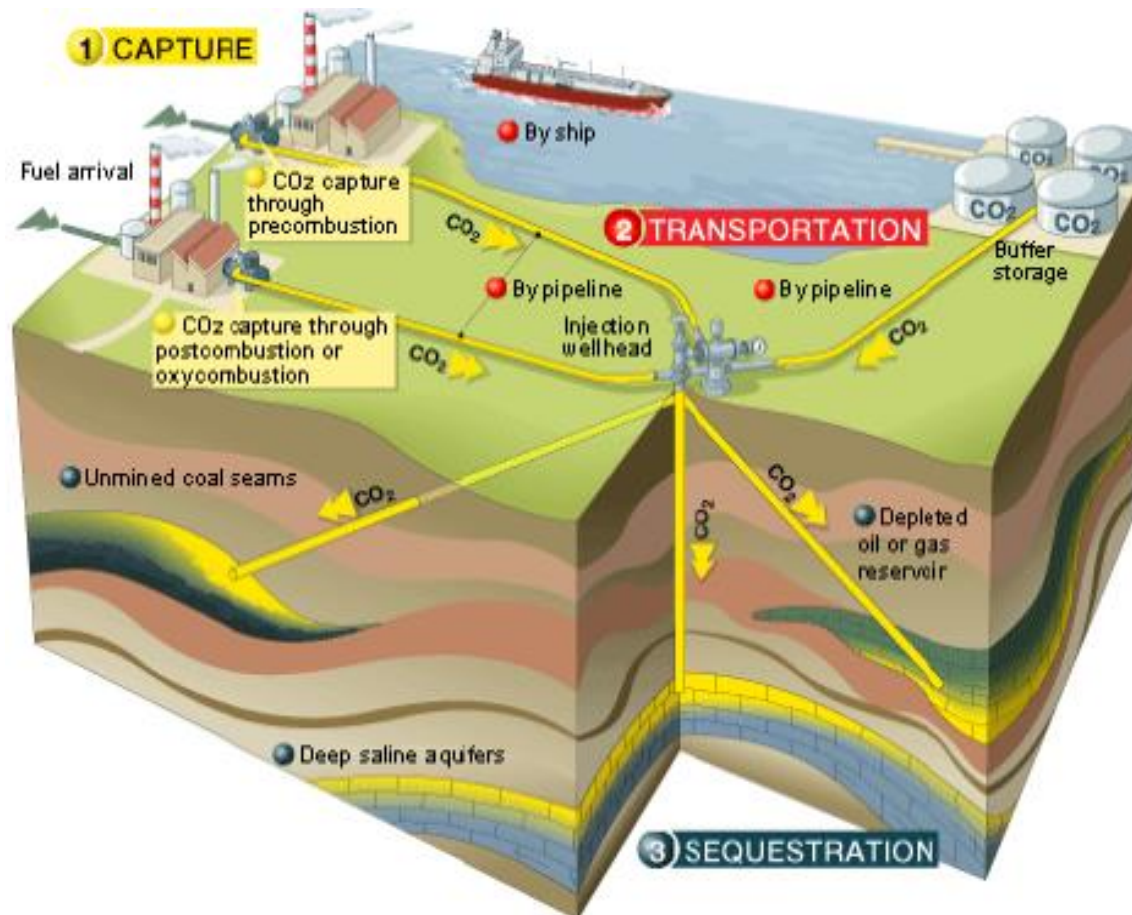
Post-combustion Pre-combustion Oxy-combustion DAC

*Please select a chart type to display

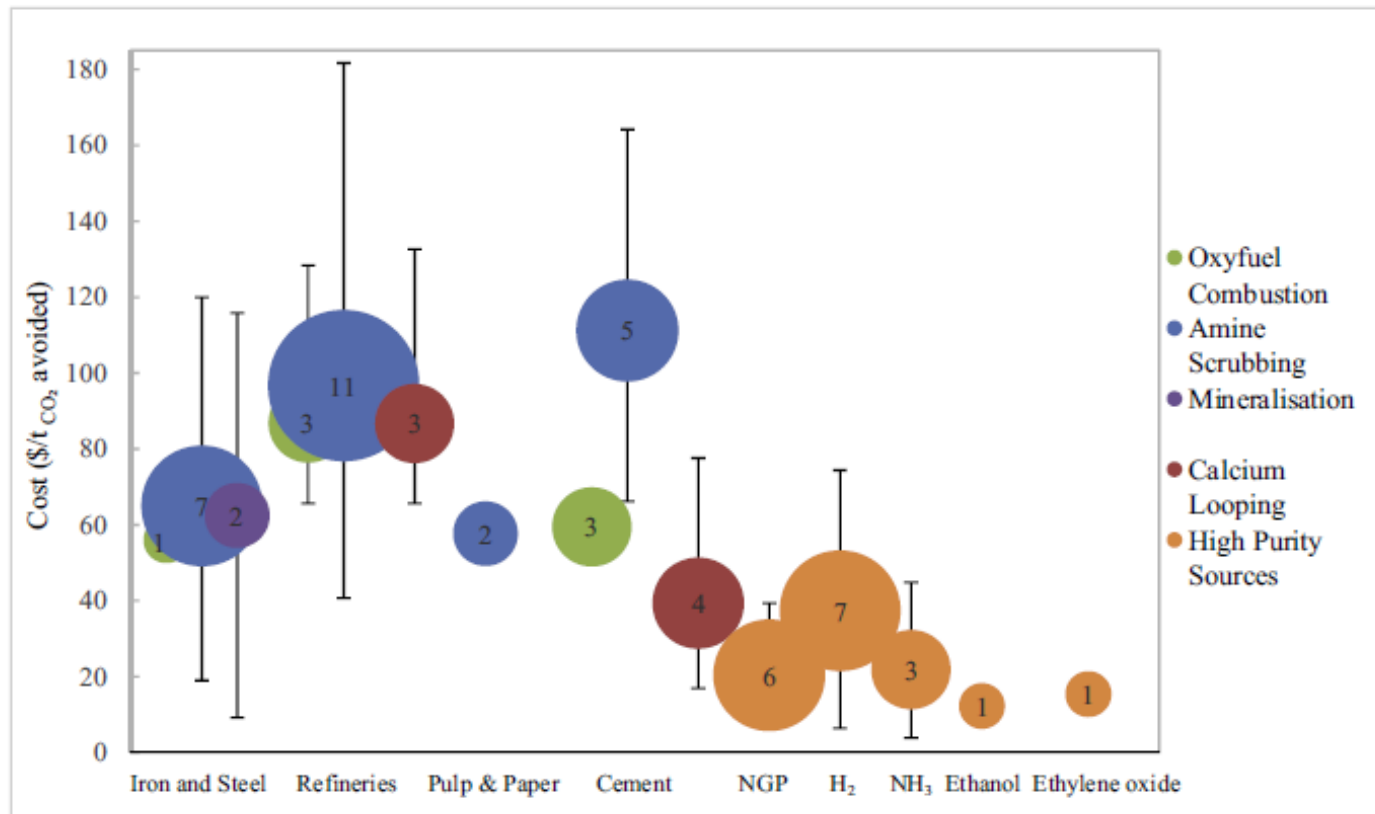
Bar graph Radar chart



Capture – Transport – Ré-utilisation – Stockage



- Dans l'industrie
 - => 40 €/t est la gamme visée



Leeson et al, 2017, DOI: 10.1016/j.ijggc.2017.03.020

- Février 2022: jusqu'à 97 €/t!

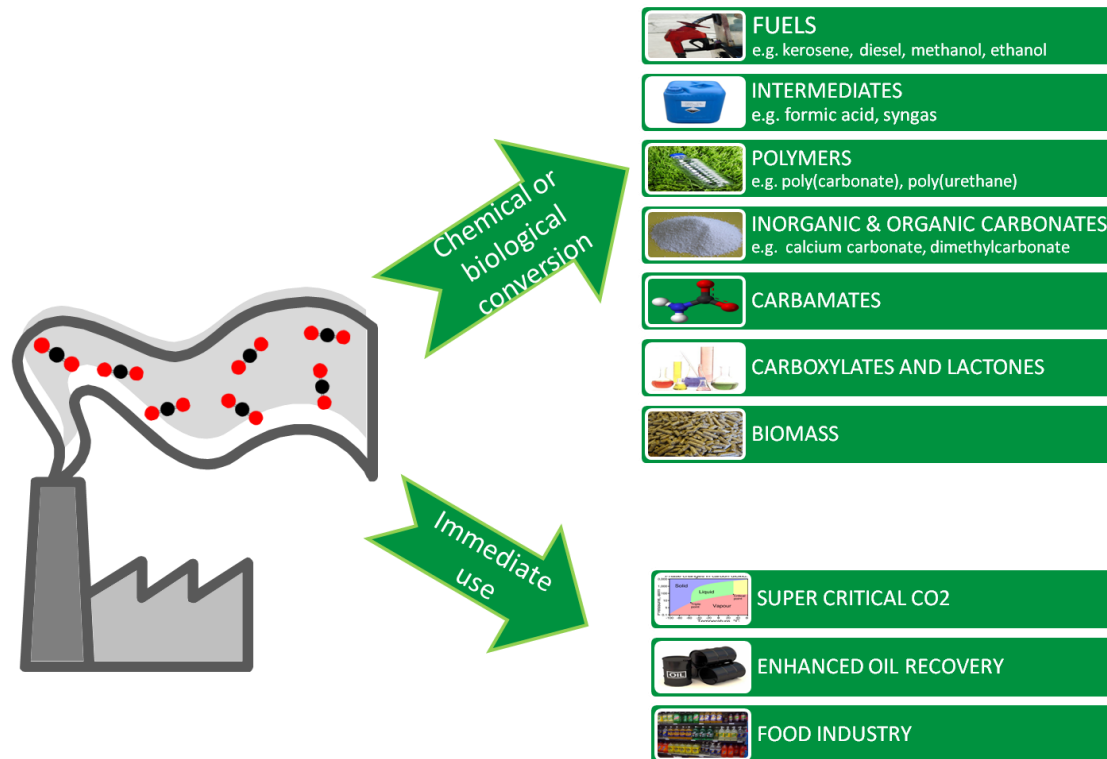


<https://ember-climate.org/data/carbon-price-viewer/>

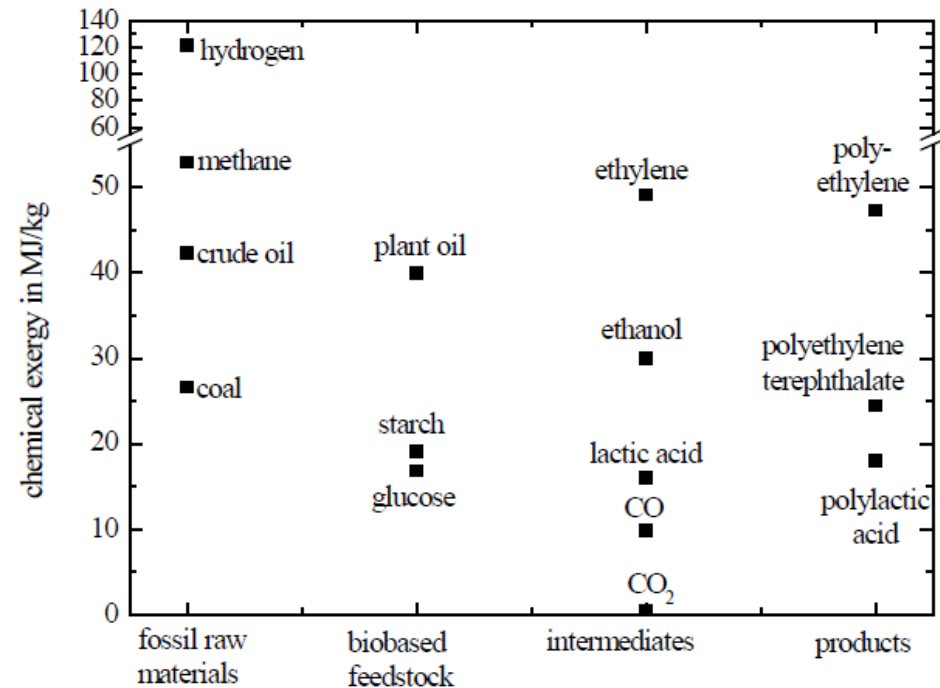


LE CO_2 : DECHET OU RESOURCE ?

- Le carbone est à la base de la pétrochimie
 - => Immense potentiel d'applications : 4 - 20 Gtpa CO₂

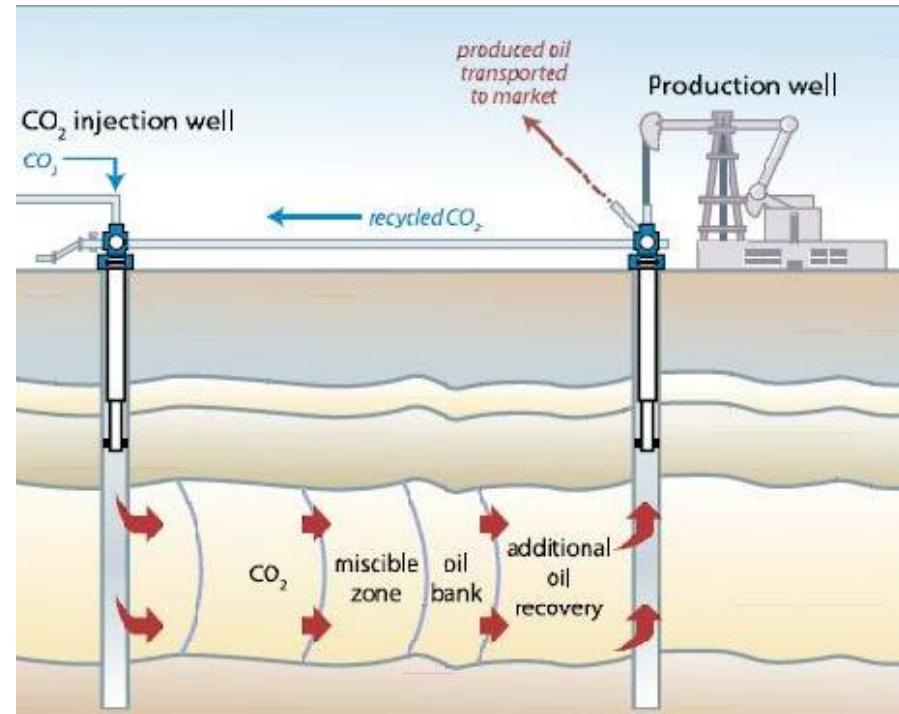


- Utilisation directe, sans transformation
- Transformation biologique
- Transformation chimique
 - Sans énergie
 - Carbonatation
 - Avec énergie



=> A part les carbonates, toute utilisation nécessite de l'énergie! Celle-ci doit être renouvelable ou bas carbone!

Utilisation industrielle directe du CO₂



- Photosynthèse
 - Microalgues
 - Culture sous serre



- Limitations :
 - ❑ Surface pour les cultures (+- 120 t CO₂/ha.an)
 - ❑ Energie nécessaire pour traitements en aval

- **Projet Mineral Loop (Greenwin Région Wallonne)**
 - Carbonatation de déchets minéraux
 - Design d'unité pilote industrielle de carbonatation
 - Limitations diffusionnelles

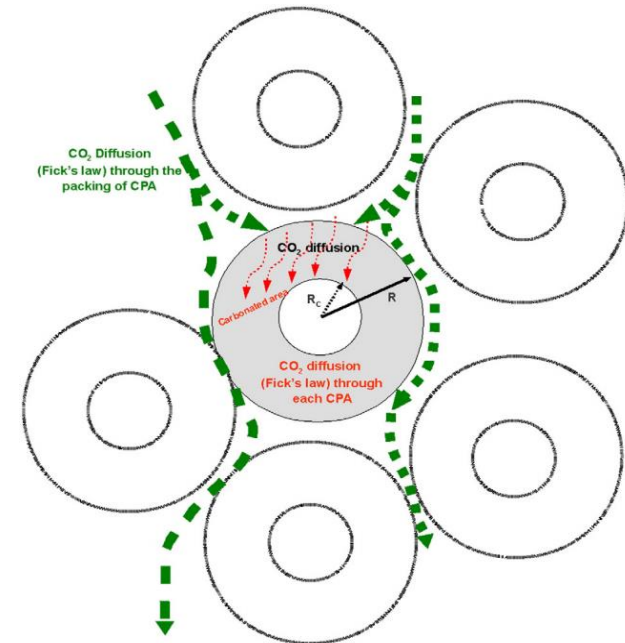
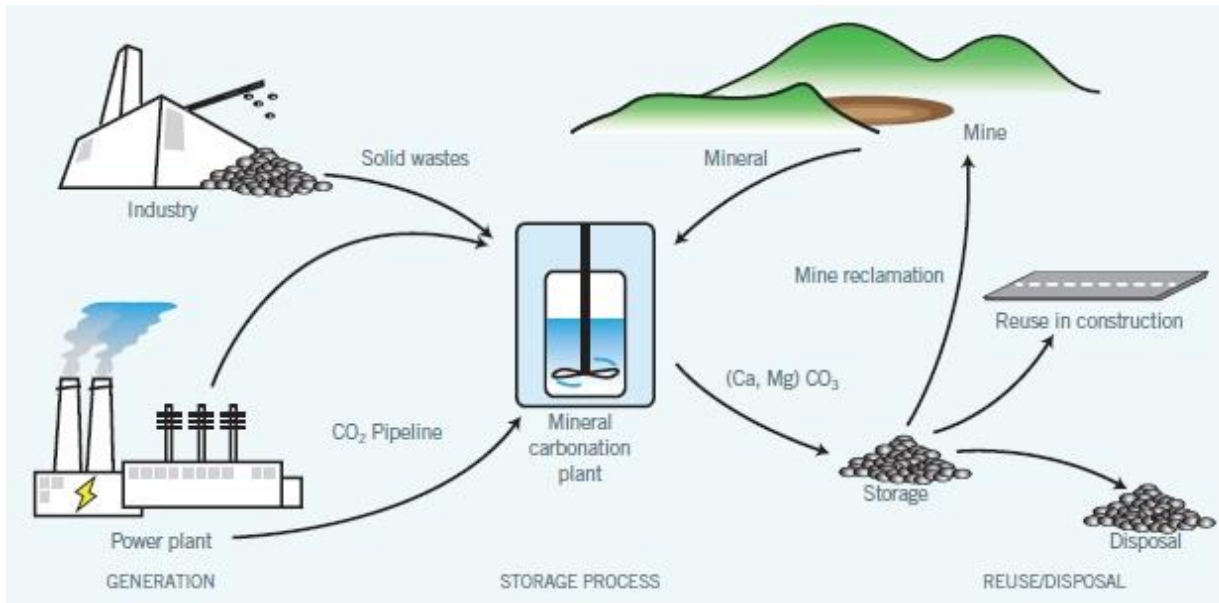
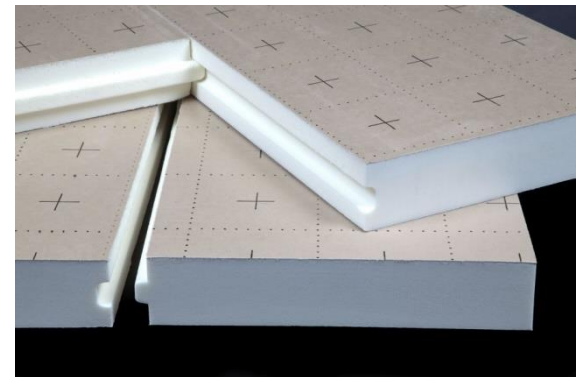


Fig. 11. Illustration of CO₂ diffusion through a bed of CPP and carbonation of each CPP.

Valorisation chimique: Synthèse organique

- Pétrochimie utilise environ 6% des ressources fossiles
- Haute valeur ajoutée possible
- Énergie nécessaire aux synthèses constitue un frein



■ Urée

- $2 \text{NH}_3 + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{H}_2\text{N-COONH}_4$
- $\text{H}_2\text{N-COONH}_4 \leftrightarrow (\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{H}_2\text{O}$
- 120-170 MtCO₂/an
- Actuellement la plus grande utilisation de CO₂

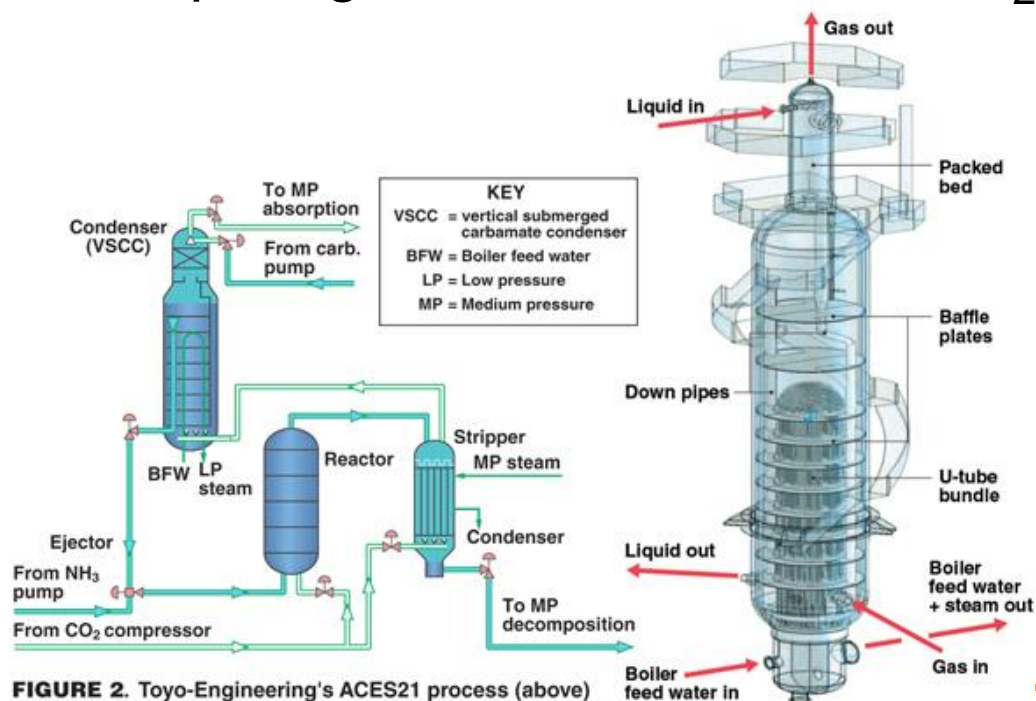
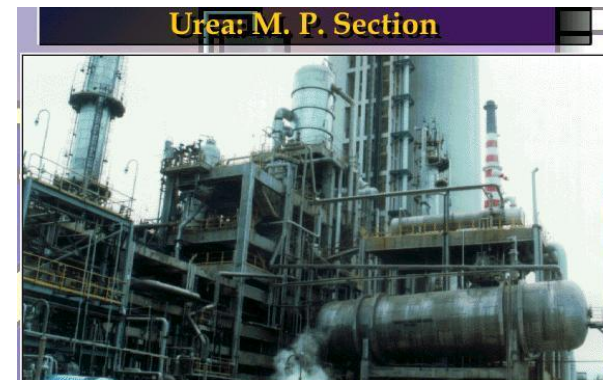
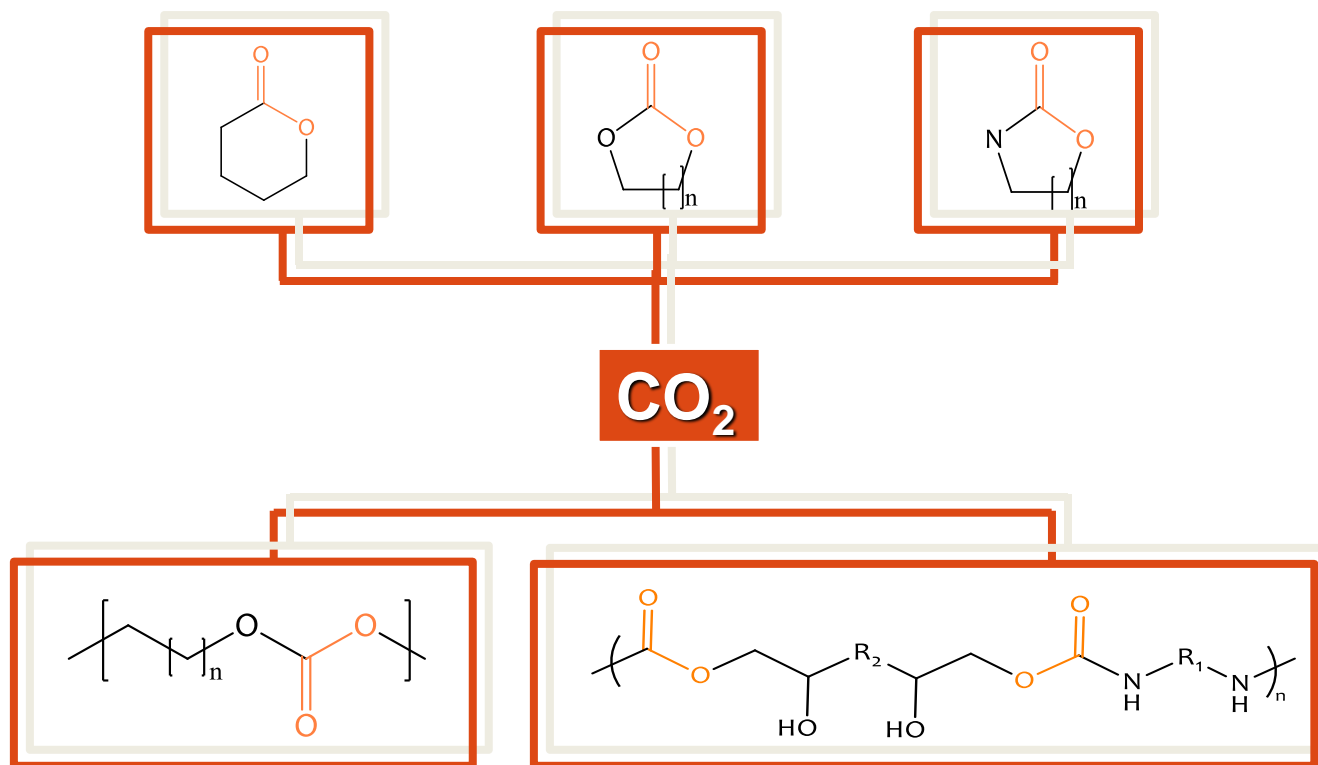
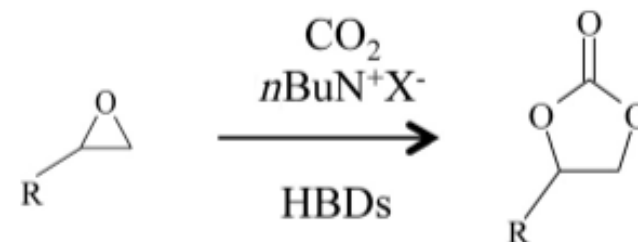
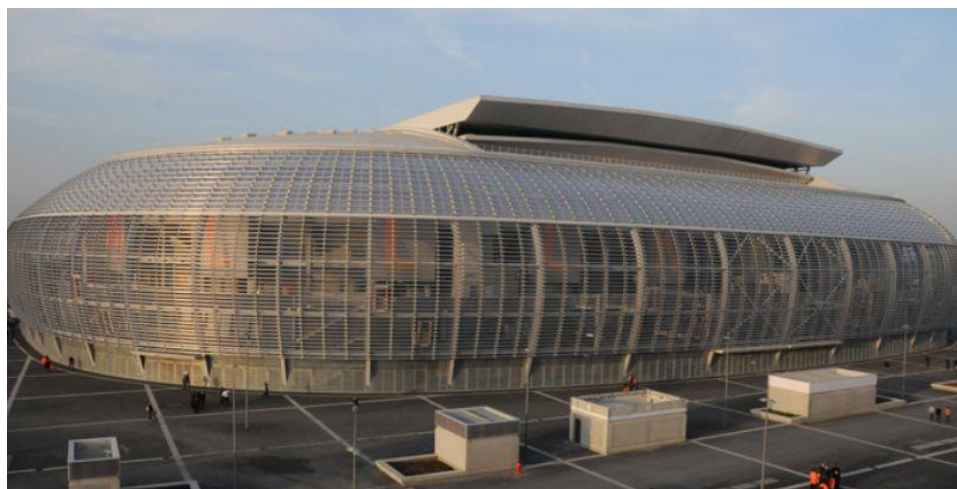
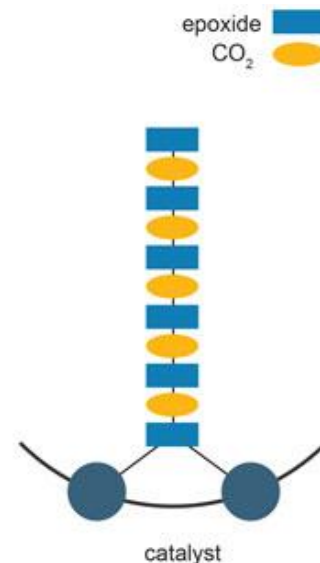
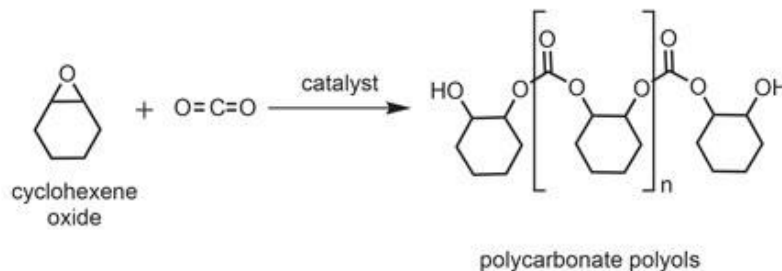
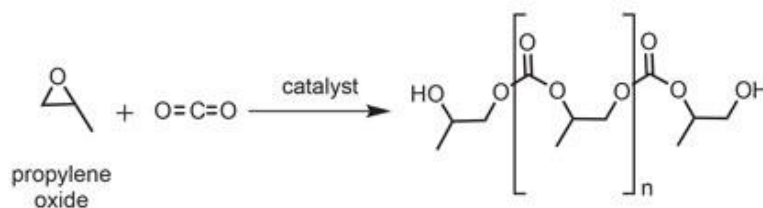


FIGURE 2. Toyo-Engineering's ACES21 process (above) for making urea integrates two condensers and a scrubber into a single condenser (right), which has a vertical, submerged carbamate-condensing section

■ Monomères et polymères

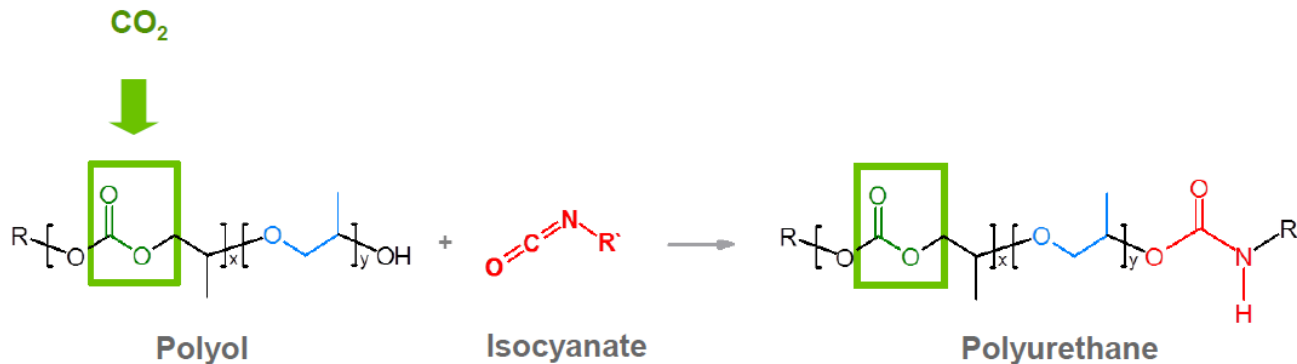


- Polycarbonates
 - CO₂ + époxydes



■ Polyurethanes

- 18 Mtpa, avec 20% CO₂ dans le polymère
- Polyols + Isocyanate
=> Dream material

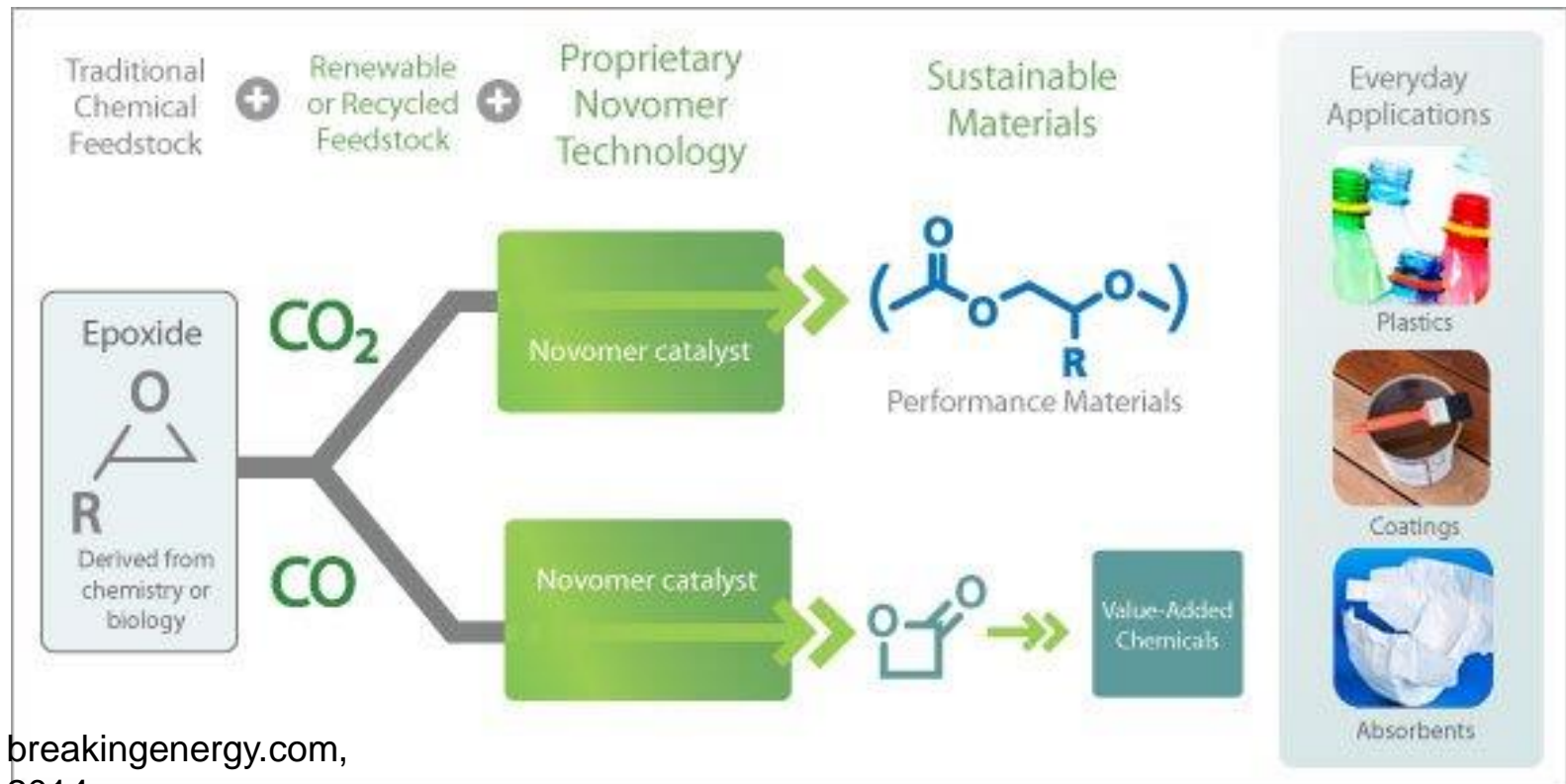


– Non-isocyanates Polyurethanes (NIPU)

- Bio + CO₂ sourced polymers
- Utilisation de CO₂ pour l'ouverture de cycle, mais aussi le moussage de matériaux isolants

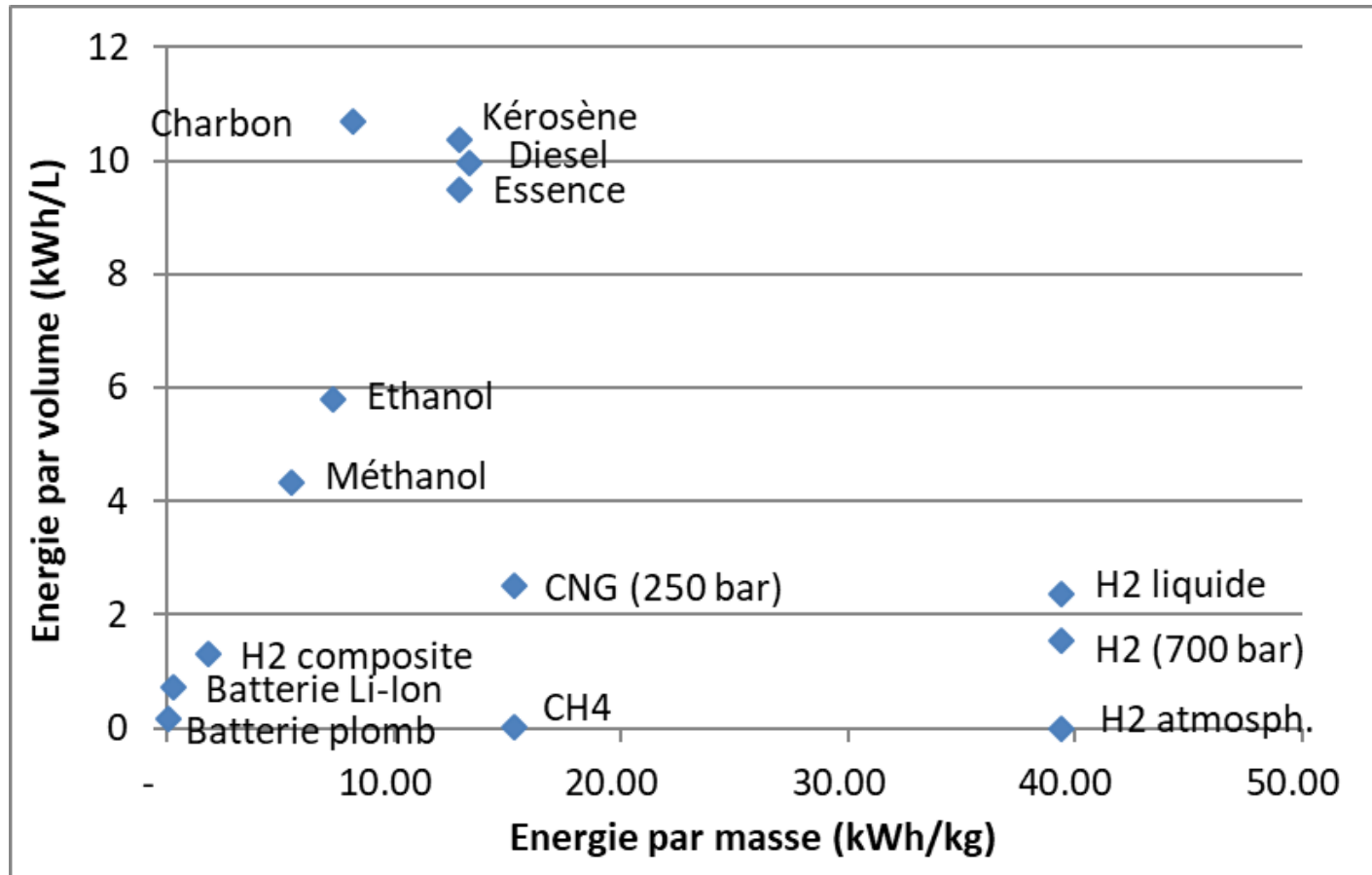
■ Autres polyols...

- Jusqu'à 40 % en poids de CO₂ dans le plastique final

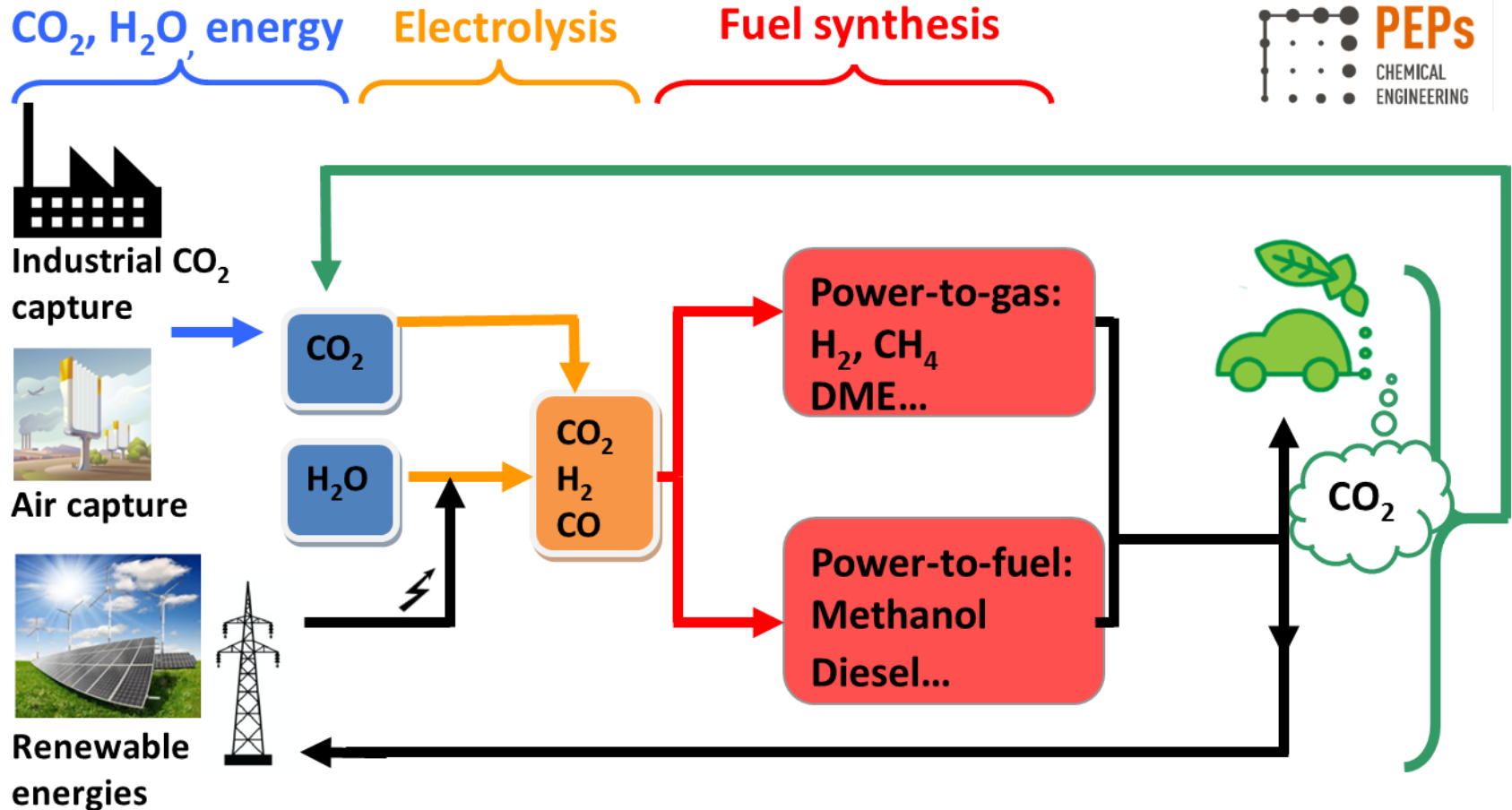


breakingenergy.com,
2014

- L'avantage: une densité énergétique fantastique!
=> Stockage intersaisonnier possible



■ Power-to-X



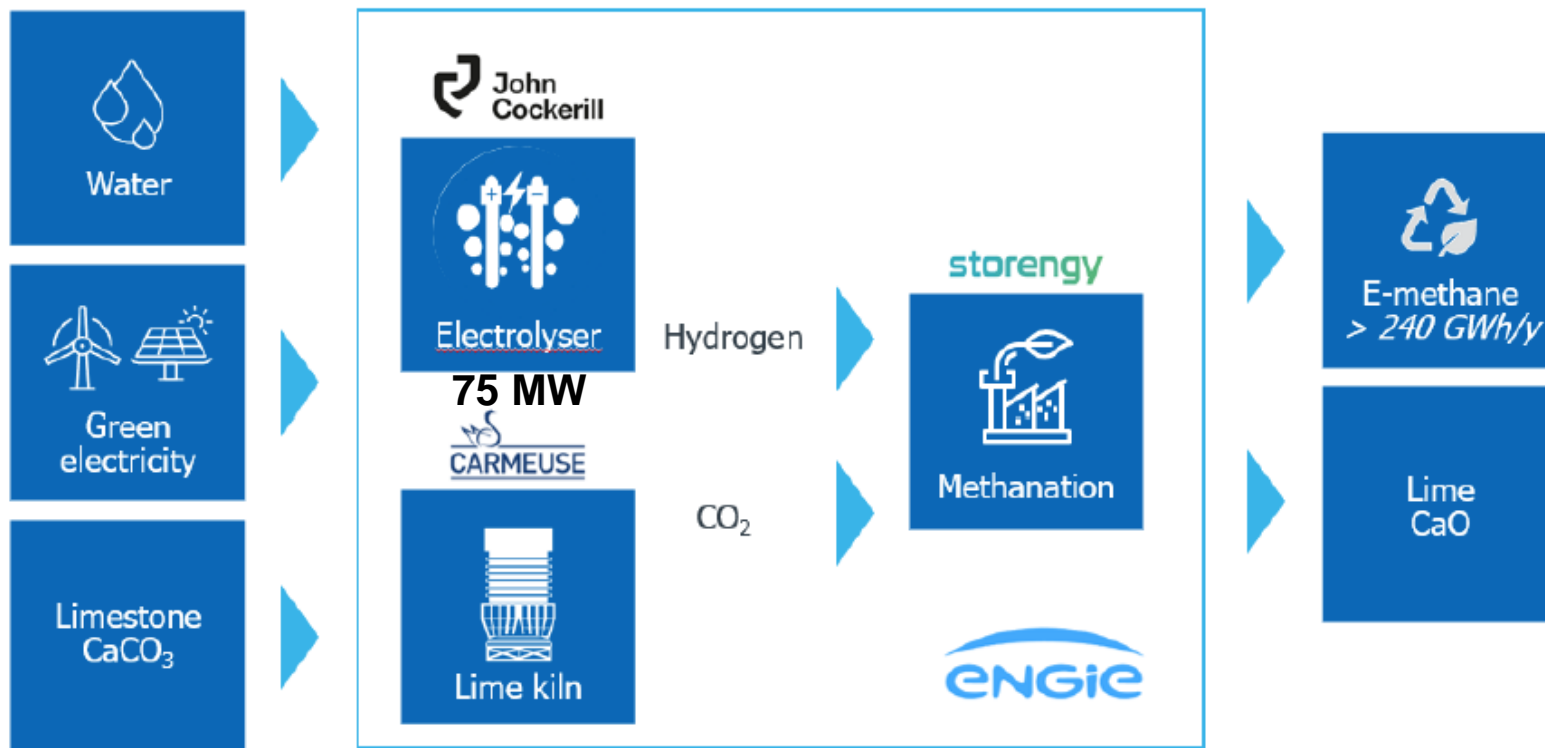
=> Un système énergétique durable ET carboné est possible !

- Methane
 - $\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$
 - Sabatier reaction
 - $\Delta H^\circ = -165 \text{ kJ/mol}$

- Applications commerciales:
 - Methanation pour synthèse d'ammoniac
 - Gazéification de charbon en gaz naturel, Great Plain synfuel plant
 - Jupiter1000 in Marseille (Fos-sur-mer)
 - Power-to-gas in Germany
 - E.g. Audi e-gas plant, 54% efficiency (without heat reuse)...

 - Production de carburant sur Mars
 - $\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$
 - CH_4 comme carburant
 - $\text{H}_2\text{O} \Rightarrow$ électrolyse pour H_2 et O_2

Valorisation chimique: e-fuels



Valorisation chimique: e-fuels

■ Methanol

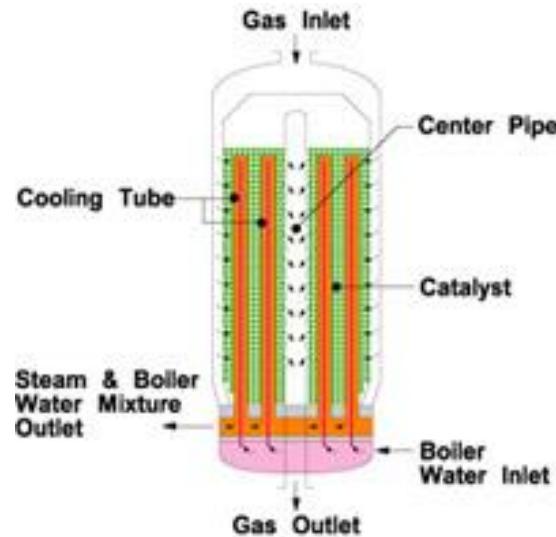
- $\text{CO} + 2 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$
- $\text{CO}_2 + 3 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$



Haldor Topsoe, > 10 000 t/d

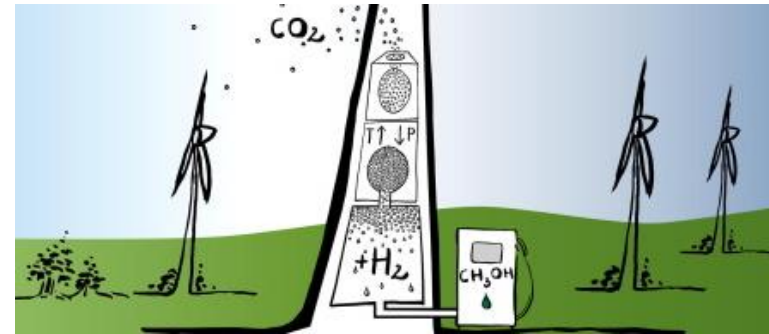


3,000 t/d methanol plant at Oman Methanol Company L.L.C., TOYO Engineering

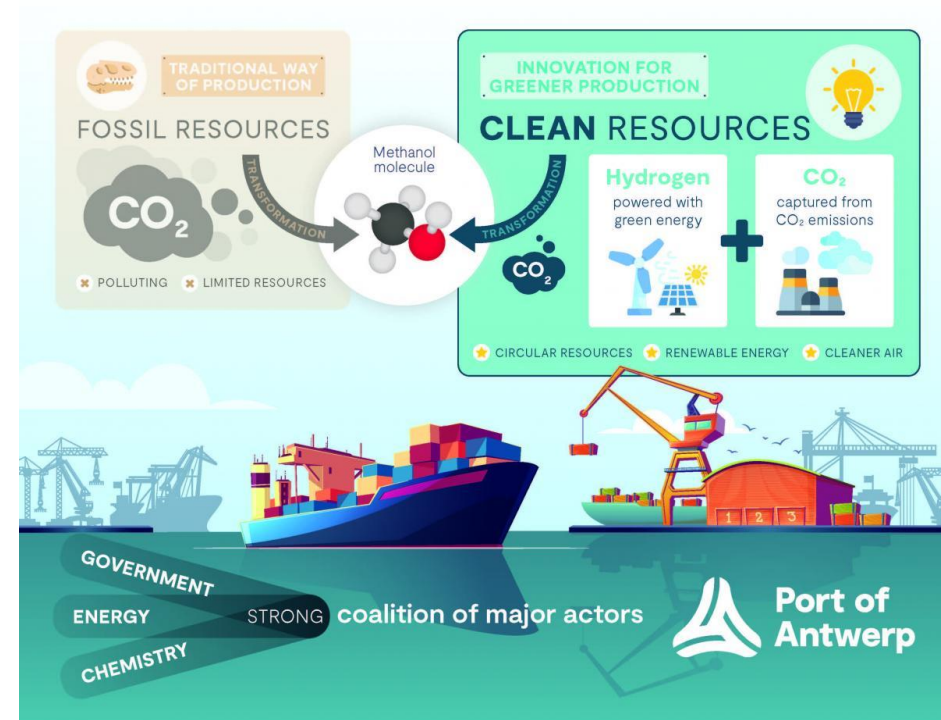


12 t/d renewable methanol - CRI

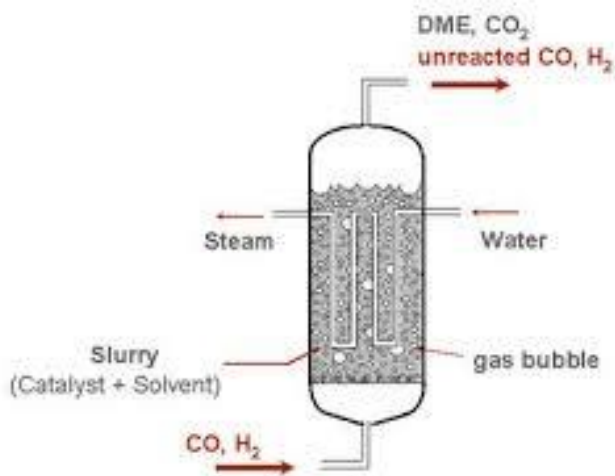
- DAC + Power-to-methanol
 - Using Direct Air capture
 - Estimated efficiency close to 50 %
 - Estimated methanol price ~ 800 €/ton



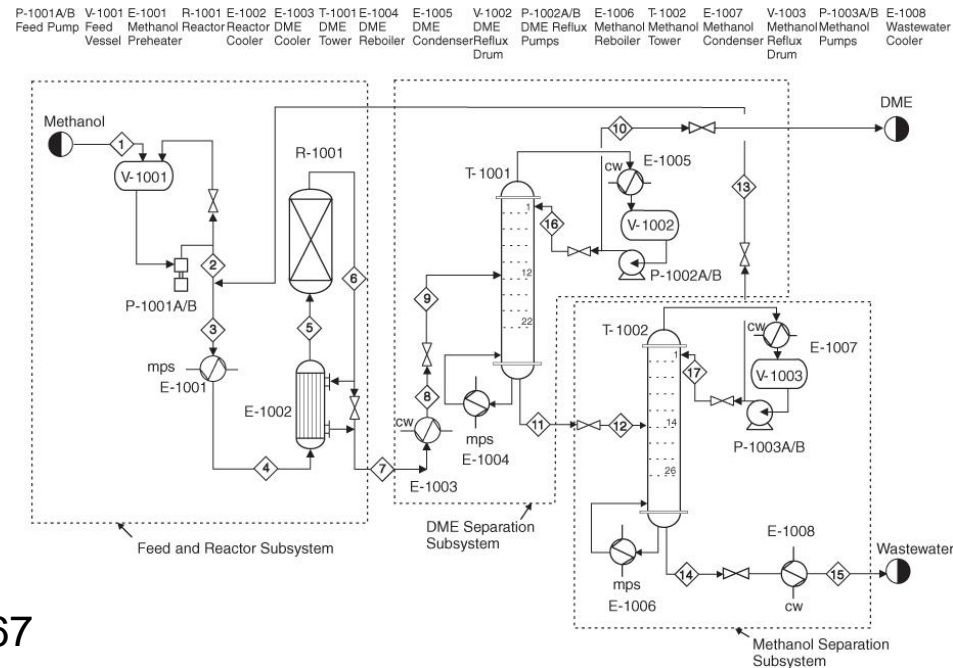
- Power-to-methanol Antwerp
 - 8000 t/a
 - CO₂ from energy plant
 - Substitute to fossil methanol for chemistry applications



- DME ($\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$)
 - Similaire au diesel, mais réservoir sous pression
 - A partir de méthanol, ou directement de CO_2



Yagi et al., 2010. DOI: 10.2202/1542-6580.2267

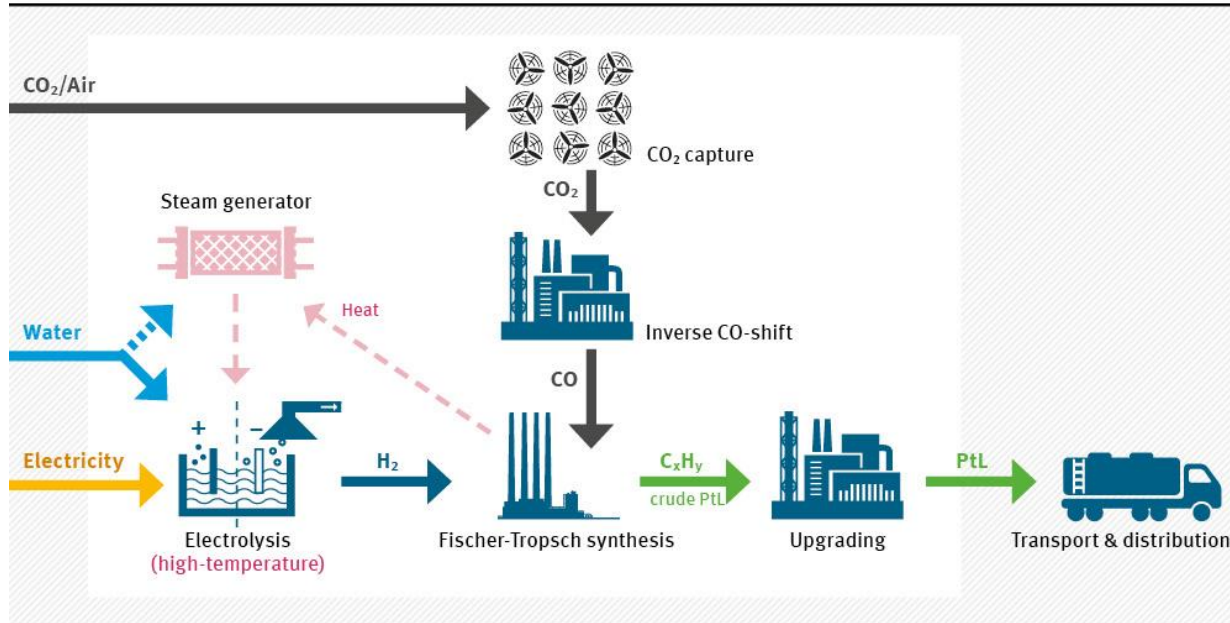


Turton et al., Prentice Hall, 2012

- Carburants Fischer-Tropsch à pd CO_2
 - Kérosène, diesel, essence synthétique
 - Sunfire: $58 \text{ m}^3/\text{a}$, Rendement $\sim 70\%$

Figure 3

PtL production via Fischer-Tropsch pathway (high-temperature electrolysis optional)



Source: LBST

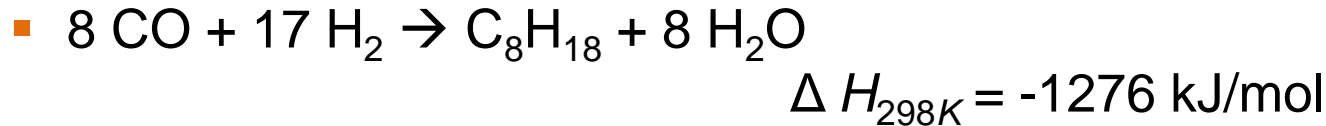
Figure 5

Sunfire PtL demonstration plant (top) using high-temperature electrolysis (middle) for the production of Fischer-Tropsch crude (bottom)

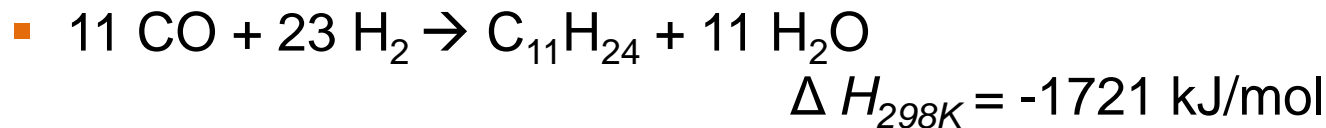


Sources: top: sunfire GmbH Dresden/CleantechMedia; sunfire GmbH Dresden/renedeutsch

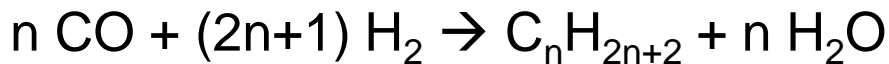
Essence:



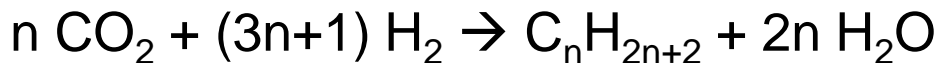
Kérosène:



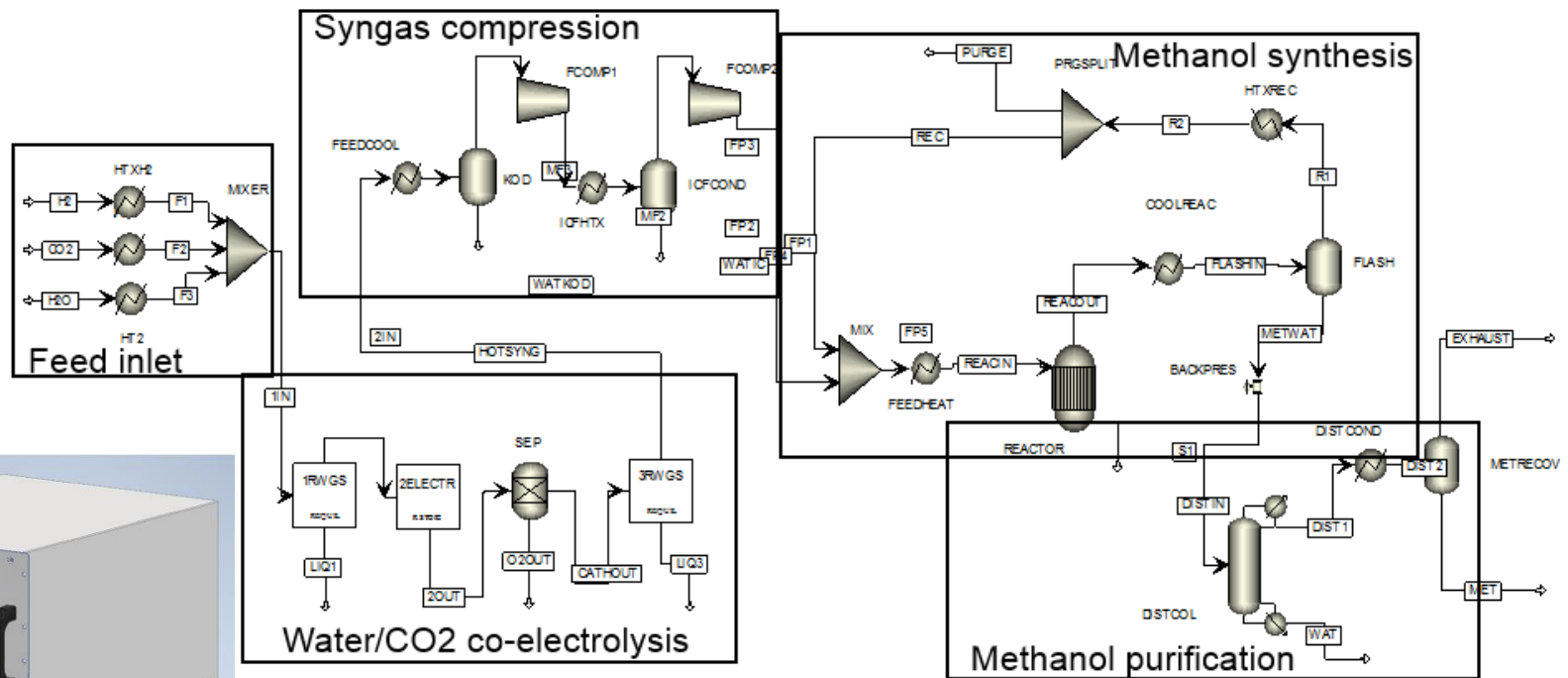
Réaction à partir de CO



Réaction à partir de CO₂

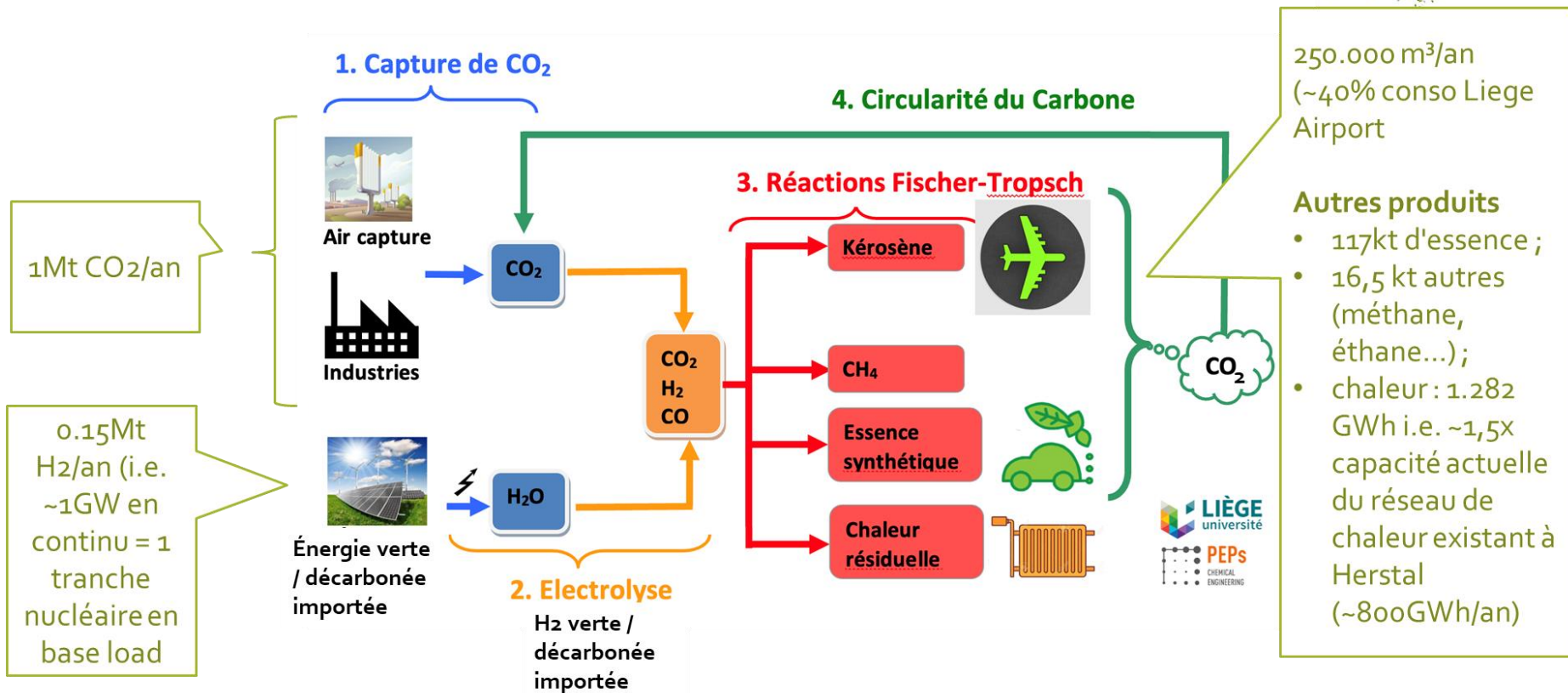


- ULiège: Design et optimisation de procédé
 - Modèles d'électrolyse, de capture de CO₂ et de synthèse de carburants

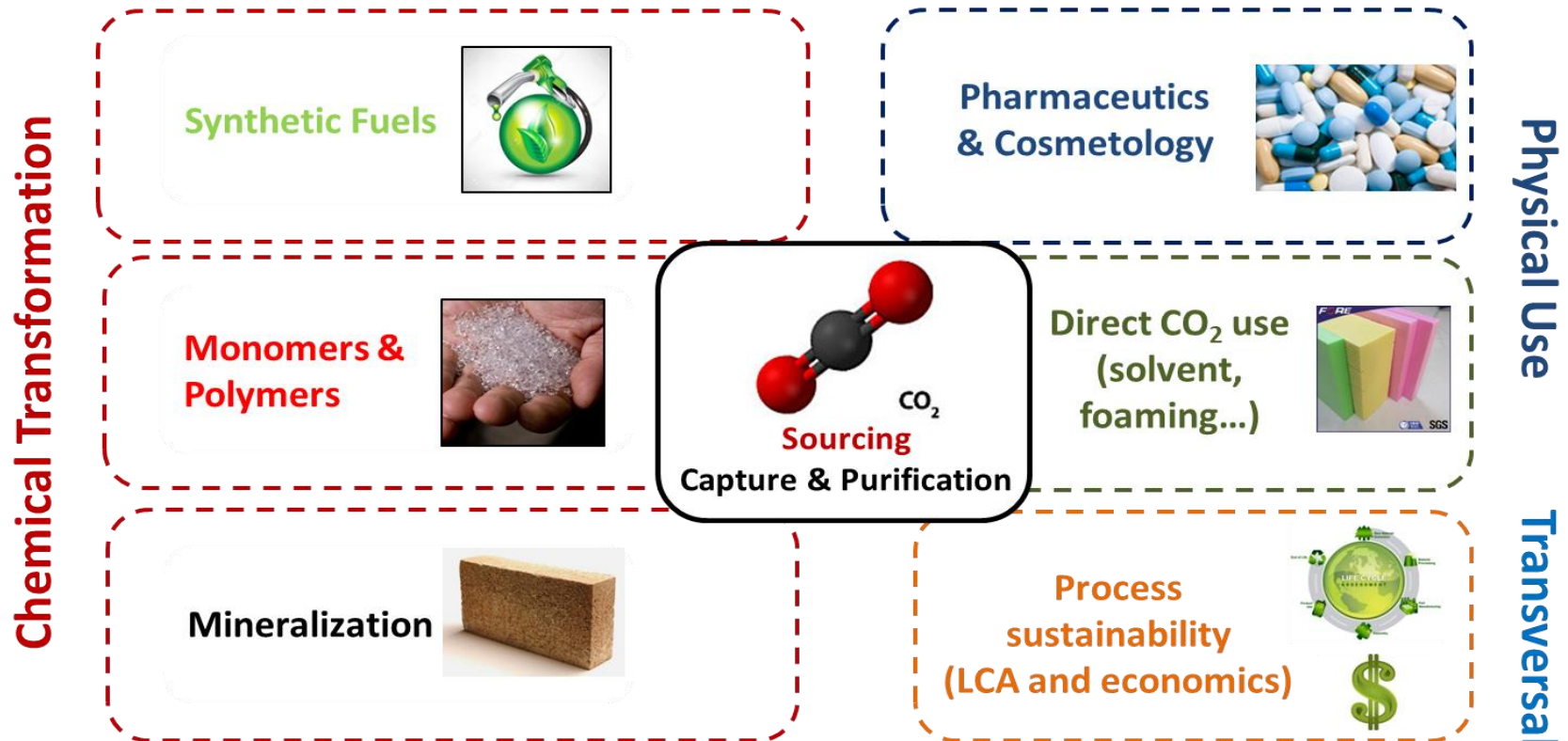


■ Kérosène neutre en carbone

Capture de CO₂ + électrolyse + synthèse Fischer-Tropsch



Federation of Researchers in Innovative Technologies for CO₂ Transformation



www.chemeng.uliege.be/FRITCO2T

- Produits CO₂-sourcés sont plus chers que les produits d'origine fossile
 - Mais les coûts évoluent!
 - Coût de la capture du CO₂ diminue, ainsi que le coût de l'énergie verte!
- Compétitivité économique ne peut être assurée que par un coût sur les émissions.
 - Pour atteindre la parité à long-terme, il faudrait un coût d'émission de ~ 120-225 \$/tCO₂.
 - Ce coût n'est peut-être pas si loin d'être atteint en Europe!
 - Et dans le reste du monde?

- Pour diminuer les émissions de $> 1 \text{ GtCO}_2$, il faut un déploiement massif
 - Méthanol: ok en couvrant tout le marché actuel ainsi que le transport par camion (heavy-duty trucks) et les plastiques
 - Produits pétroliers (essence, diesel, kerosene): ok en couvrant tout le marché actuel de l'aviation et du transport routier (heavy-duty).
 - Acide formique: même si tout le marché était CO_2 -sourcé, on n'arriverait qu'à $\sim 2 \text{ MtCO}_2$.
- Les technologies CCU doivent de plus être développées avec soin de façon à garantir des émissions de cycle de vie plus faibles que les voies alternatives!

**Merci de Votre Attention,
Et merci aux chercheurs qui ont
contribué à ces résultats!**

g.leonard@uliege.be

www.chemeng.uliege.be/FRITCO2T