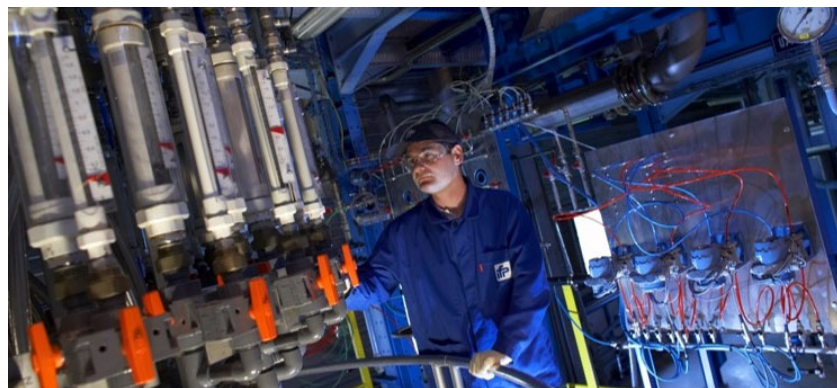
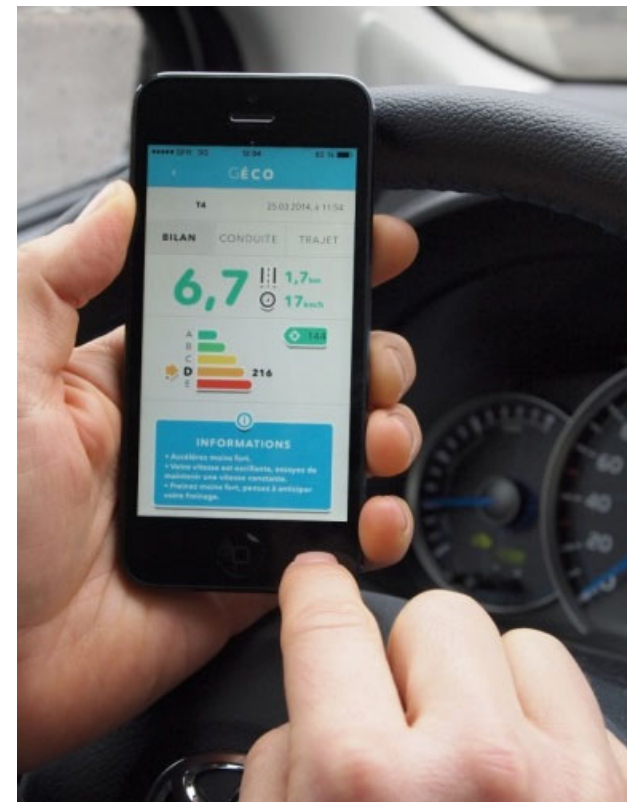




E-FUELS ET E-BIOFUELS, UNE OPPORTUNITÉ DE VALORISER LE CO2 ... MAIS À QUELLES CONDITIONS ?

Colloque CO2 : DECHET OU MATIERE PREMIERE D'AVENIR ?
Maison de la Chimie – 16 NOVEMBRE 2020

François Kalaydjian, Jean-Pierre Burzynski
IFP Energies Nouvelles



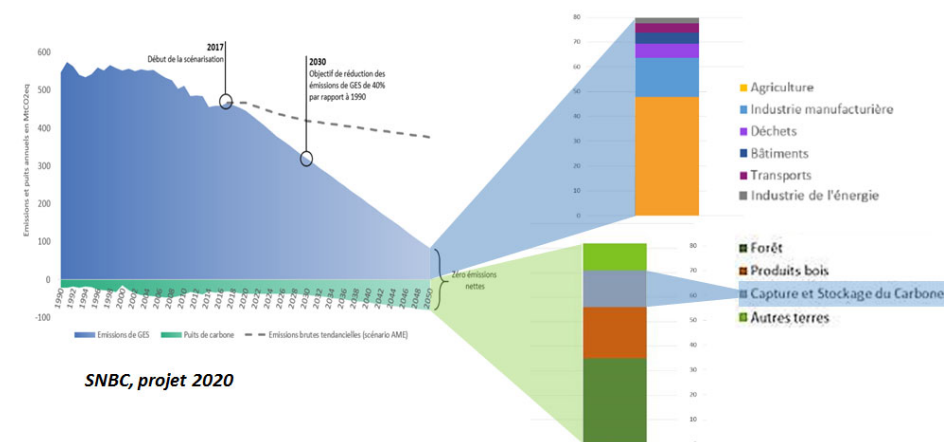
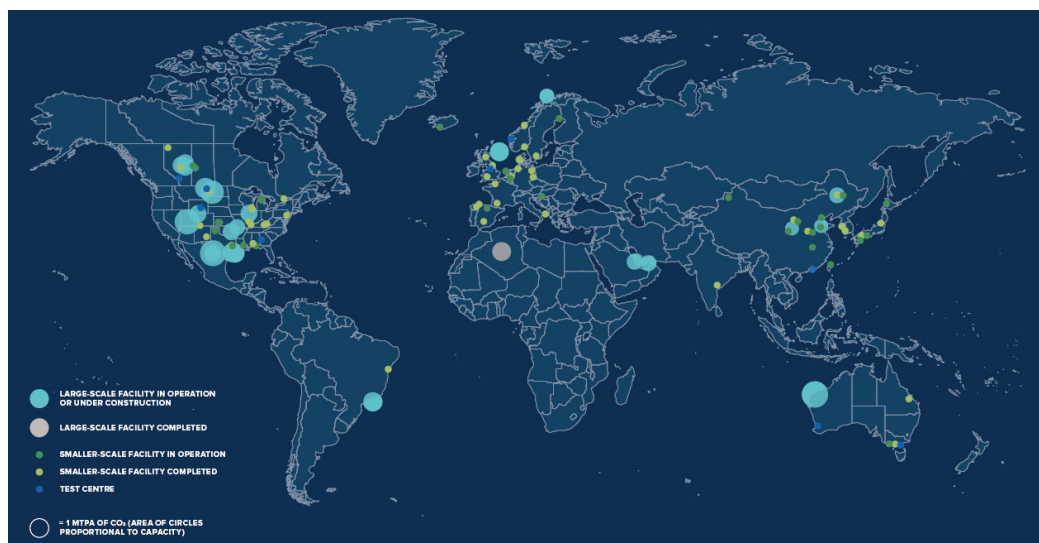
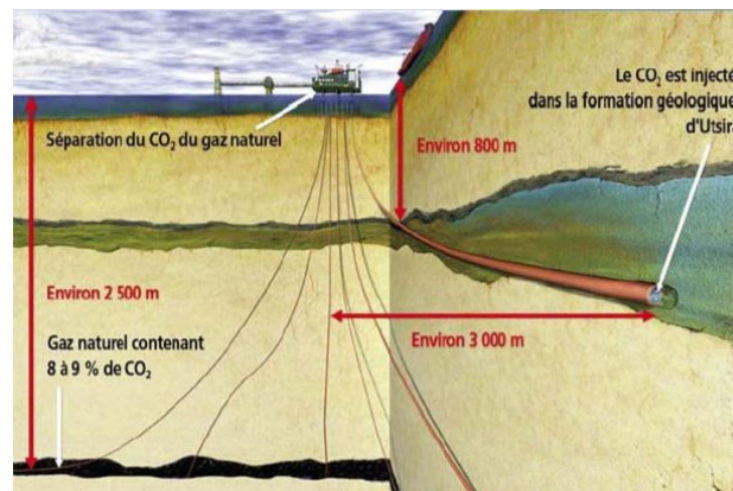
LE CCS, UNE TECHNOLOGIE ÉPROUVÉE, INDISPENSABLE À L'ATTEINTE DE LA NEUTRALITÉ CARBONE

● Une technologie prouvée

- Sleipner : 1MtCO₂/an depuis 1996
- 260 Mt CO₂ anthropogénique déjà captées et stockées
- Capacité des projets en cours ou en construction ~40MtCO₂/an
- En 2019, plus de 25MtCO₂ ont été captées et stockées

● Neutralité carbone et enjeu du CCS

- IEA (SDS) : 9% de la réduction des émissions de CO₂
- Enjeu du CCS pour la France : 15MtCO₂/an en 2050

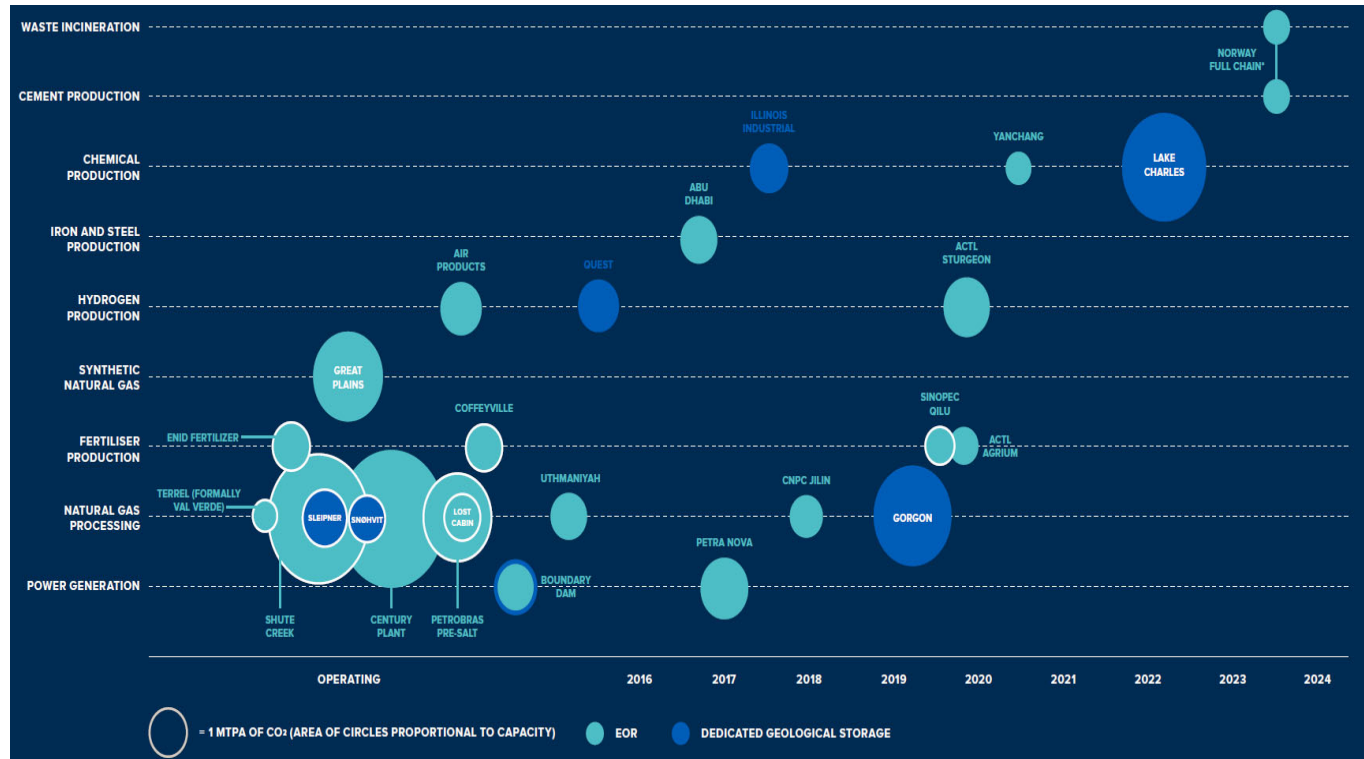
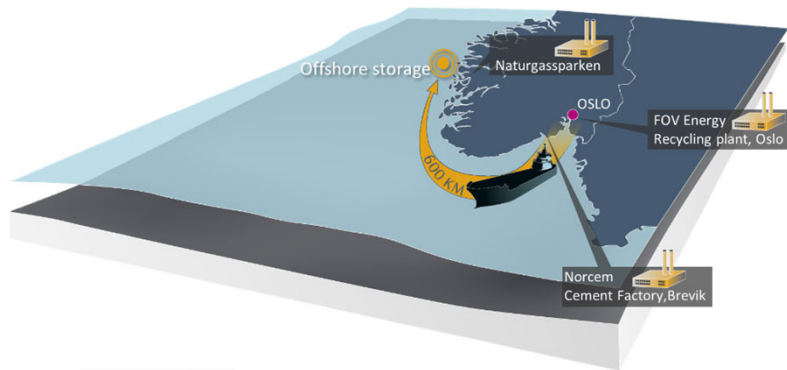


SNBC, projet 2020

LE CCS, L'ENJEU DE LA DÉCARBONATION DE L'INDUSTRIE

● Northern Lights, opérationnel en 2024

- Décarbonation de l'industrie européenne (raffinerie, ciment)
- Transport de CO₂ par bateau
- Stockage offshore
- 1^{ère} phase : 1.5 MtCO₂/an
- 2^{ème} phase : 5 MtCO₂/an



DU CCS AU CCUS, ÉVALUATION PAR ANALYSE DE CYCLE DE VIE (ACV)

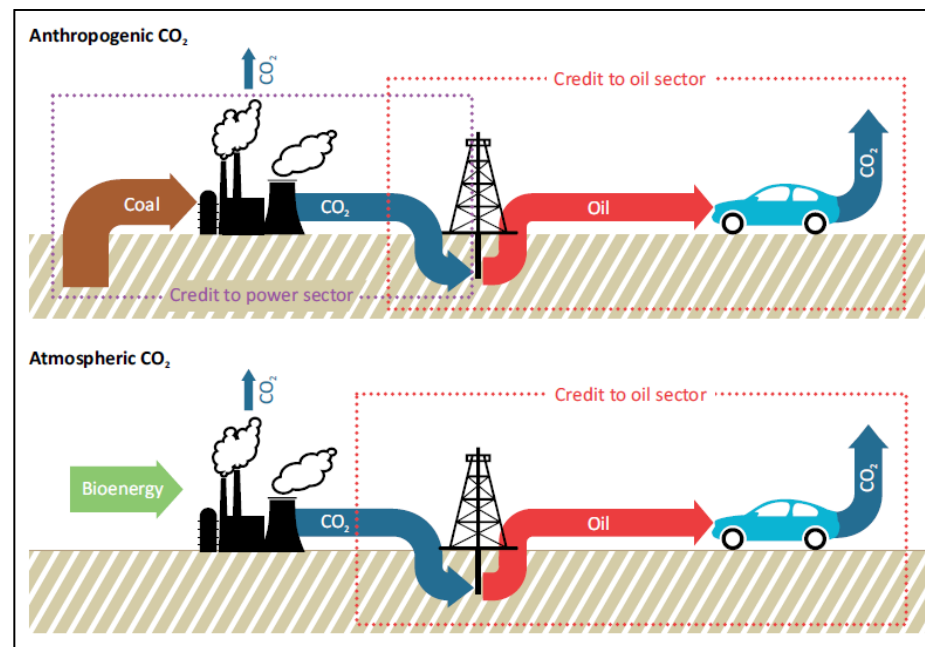
● Coût du CCS, variable selon les applications : 25 → 190 €/tCO₂

- La filière nécessite donc soit un soutien public, soit une externalité positive (utilisation du CO₂ en EOR par exemple) pour trouver un équilibre économique

	Centrale charbon supercritique	Cycle combiné gaz naturel	Sidérurgie	Cimenterie	Traitement gaz naturel	Engrais (ammoniac)	Biomass to Ethanol
Coûts CO ₂ évités US/ ton CO ₂							
Europe	70-121	92-138	72-113	130-188	25-27	29-33	25-27
USA	74	89	77	124	22	25	21
Surcoûts liés au CCS	US\$/MWh	US\$/MWh	US\$/ ton acier	US\$/ton cim- ent	US\$/GJ	US\$/ton engrais	US\$/litre
USA	60 à 70%	57%	30-41%	68%	2%	3-4%	4-5%

Coûts complets du CCS en US\$ / tonne de CO₂ évité et surcoût sur le produit (MWh électrique, tonne d'acier, tonne de ciment...) lié à la mise en place d'une chaîne CCS. D'après Irlam, 2017.

L'étude suppose un transport du CO₂ par gazoduc sur 100 km, et un stockage onshore dans une formation géologique profonde (1700 m) et de perméabilité moyenne (120 mD) (contexte américain Mid-West). Les coûts de transport et de stockage considérés sont compris entre 7 et 12 US \$ / tonne de CO₂ pour les technologies de production d'électricité, et de 11 US \$ / tonne de CO₂ pour les cas industriels.

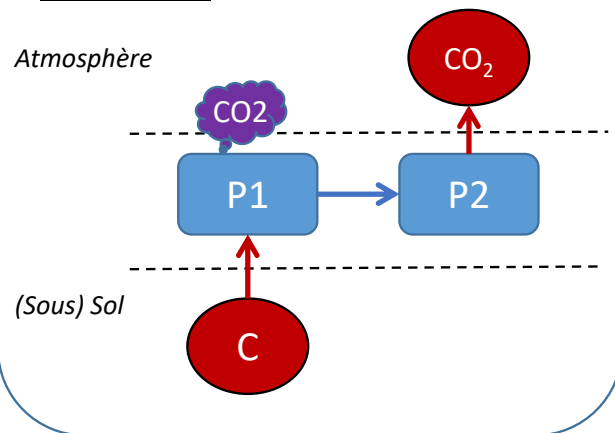


IEA WEO 2019

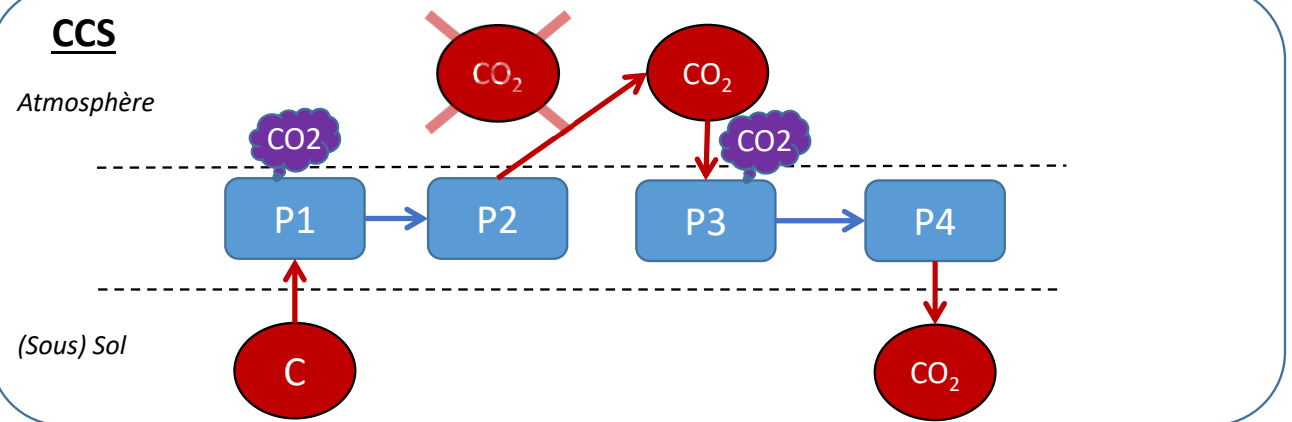
ENJEUX DE L'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE DU CCUS

Ressources fossiles

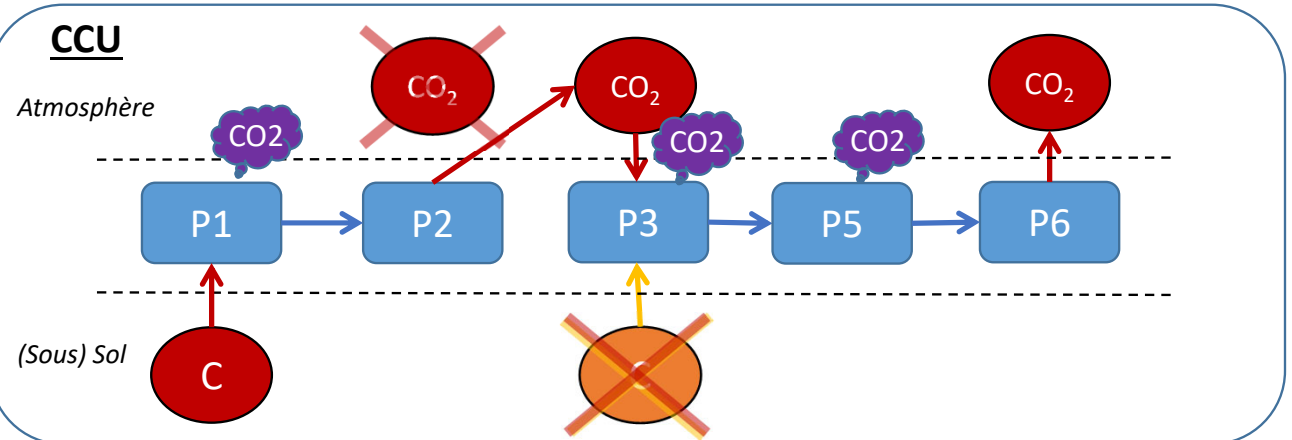
Emissions



CCS

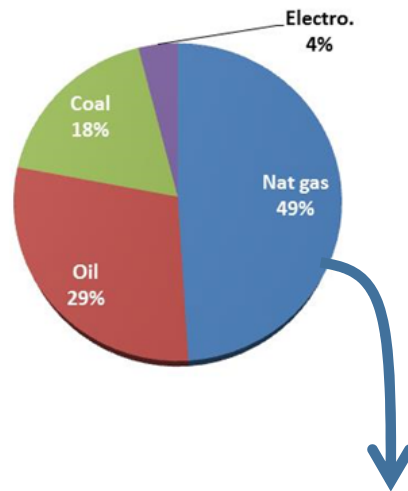


CCU

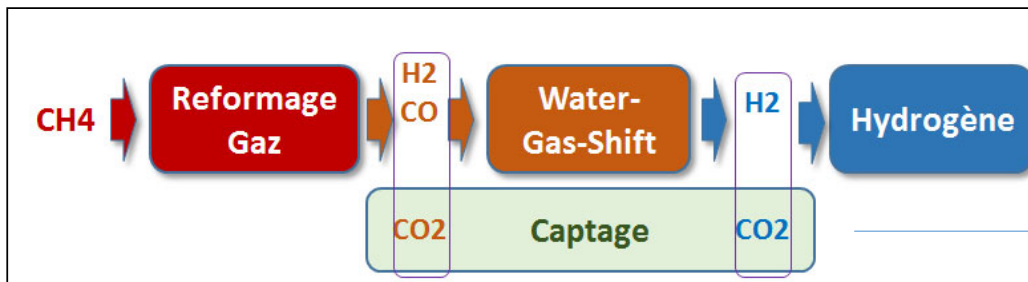
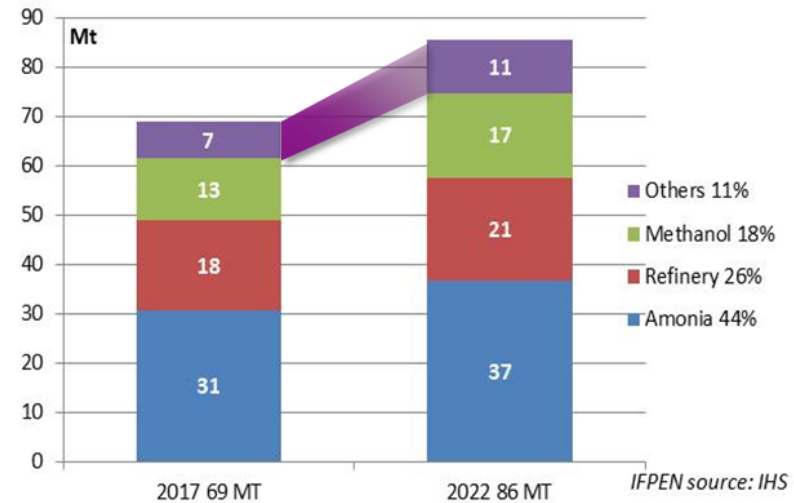


CCS, GAZ NATUREL ET HYDROGÈNE DÉCARBONÉ

Production mondiale H2



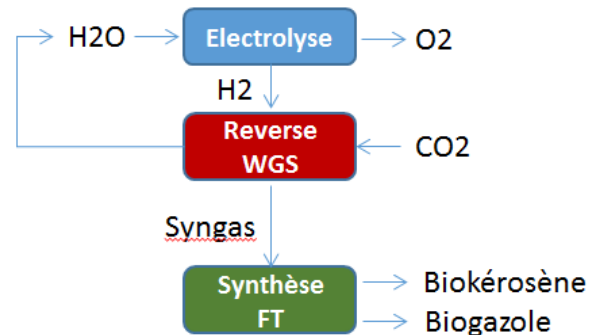
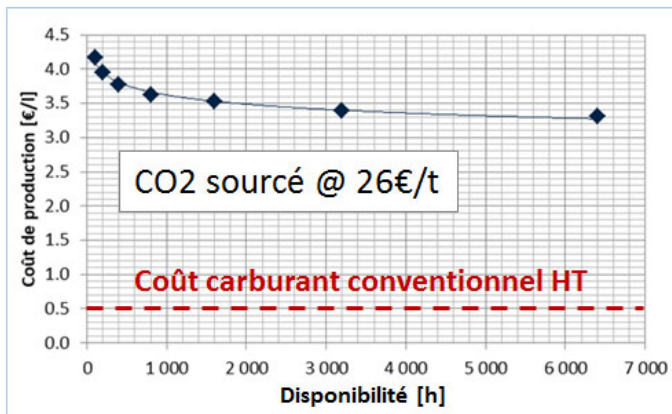
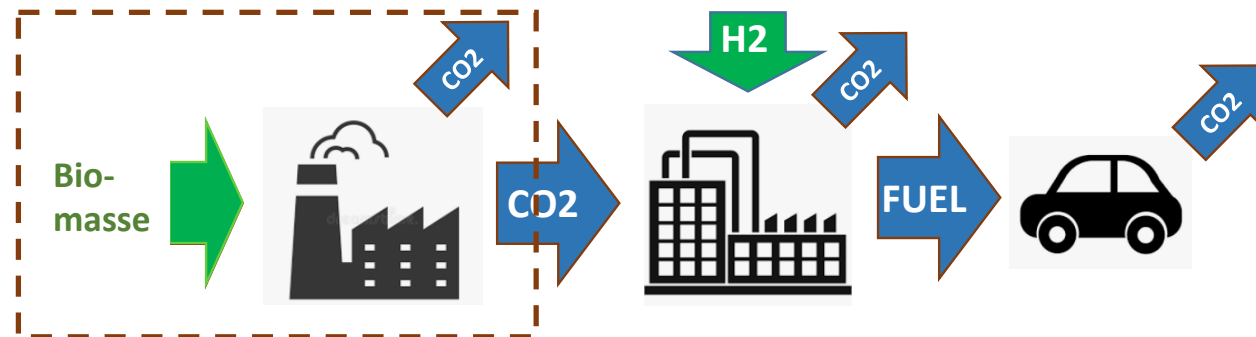
**~70 Mt : Consommation mondiale H2 en 2017
i.e. 200 Mtep, 2% of demande d'énergie primaire**



Coût de production H2 [€/kg]

- Prix du gaz
- Coût de la conversion (reformage + WGS)
- Coût de captage CO2

ANALYSE TECHNICO-ÉCONOMIQUE E-FUEL



Hypothèses

- Cas de référence
 - H2 @ 5100 €/t
 - CO2 fossile valeur ETS @ 26 €/t
 - CAPEX électrolyseur : 1000 €/kW
 - Electricité : 50 €/MWh

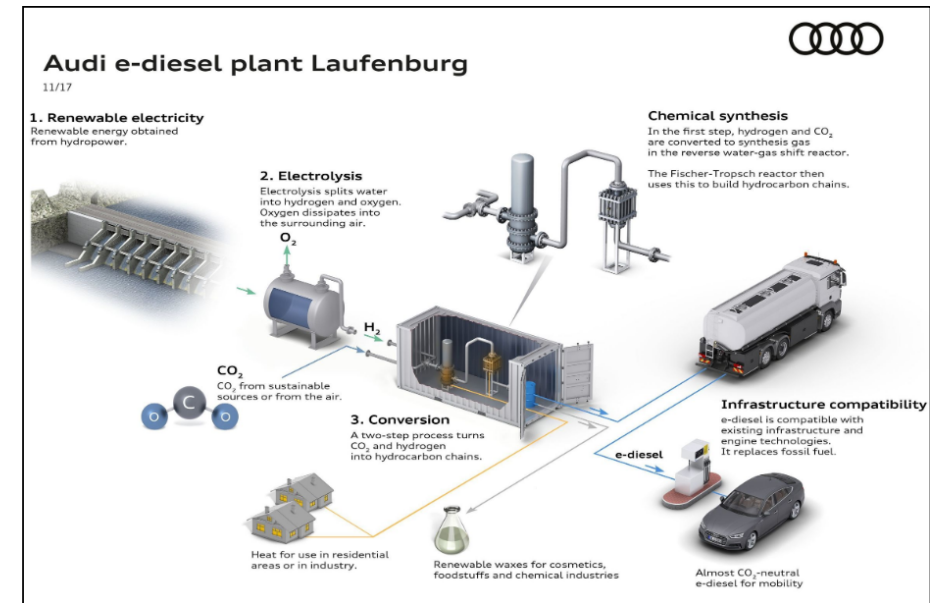
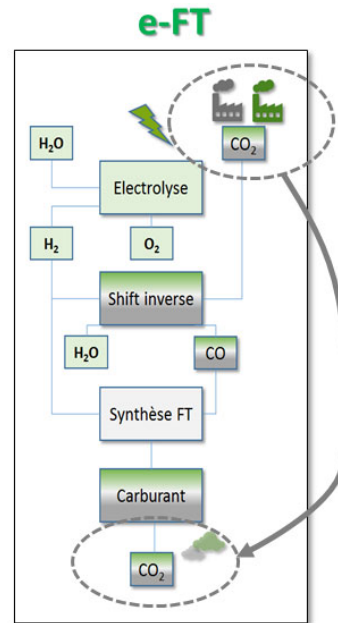
Conclusions

- Coût de production d'un e-fuel > 3€/l HT
Carburant fossile : 0,6€/l HT
- L'accès gratuit à l'électricité abaisse le coût de production à 2 €/l HT
- L'électricité doit être fournie par une ferme dédiée
- Le CO2 doit être neutre
 - → capté sur un procédé biomasse

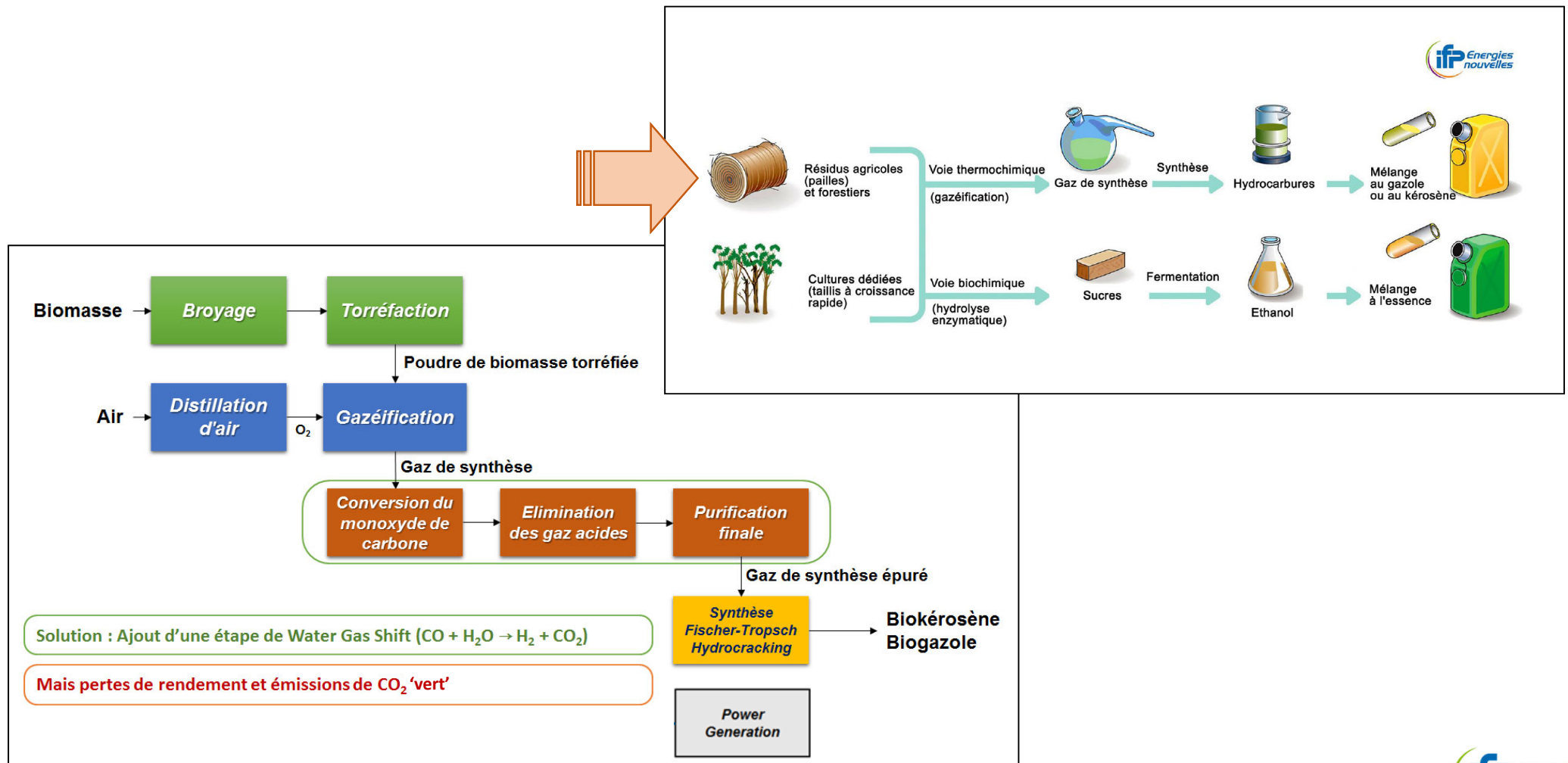
DÉCARBONER LE TRANSPORT PAR LES E-FUELS

● Conditions de succès pour synthétiser des e-fuels bas carbone

- H₂ décarboné
- CO₂ capté de l'atmosphère (directement ou via la biomasse)
- Compatibilité avec les motorisations actuelles
- Performances technico-économiques : prix de l'électricité, coût de production de l'hydrogène



SCHEMA DE PRODUCTION BTL (VOIE THERMOCHIMIQUE INDIRECTE)



IMPACT DE L'UTILISATION D'UN H2 ÉLECTROLYTIQUE

Hypothèses

Unité de production BTL : **2600 bpd**

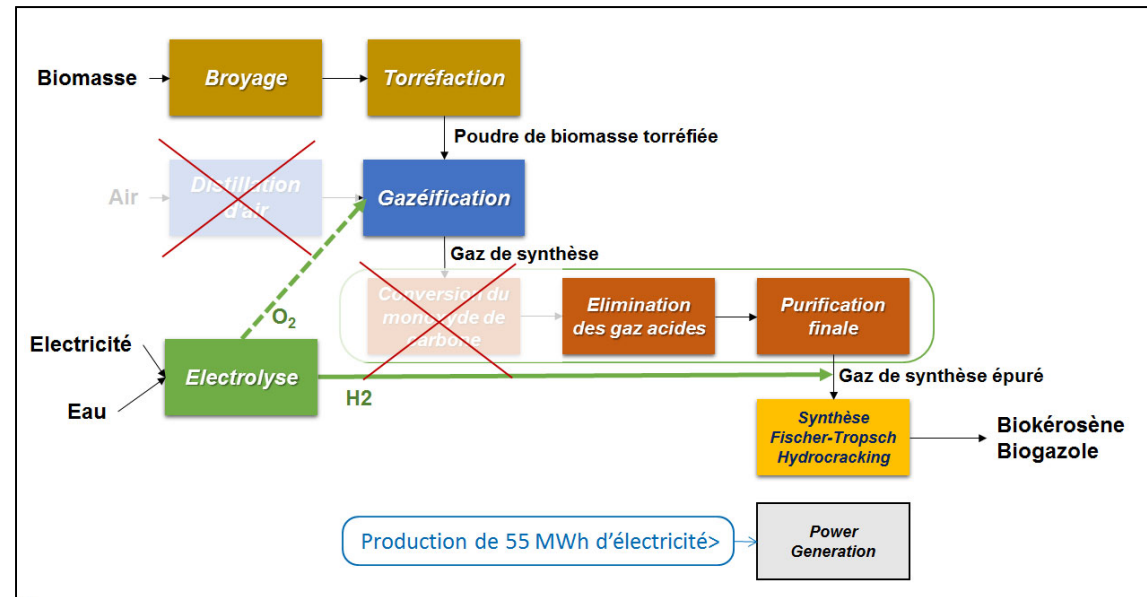
Fonctionnement sur **8000 h/an**

Prix électricité : **50€/MWh**

Electrolyseur : CAPEX : **1000€/kW**

Estimation du coût de production de H2 vert
ex-électrolyse : **5200 €/t**

Valorisation de l'excédent d'O2 à **13 €/t**



IMPACT DE L'UTILISATION D'UN H2 ÉLECTROLYTIQUE

● Bénéfices

- Suppression de la distillation d'air
- Suppression du shift à l'eau
- Production d'oxygène en excès
- Production d'électricité

● Résultats

- **400 MW** Puissance nécessaire de l'électrolyseur
- **x2** Augmentation de la production BTL avec H2 électrolytique
- **67 - 100%** Surcoût de production BTL si coût H2 @ 5,2€/Kg
- **1,6 – 2,2 €/kg** Prix H2 vert pour un coût de production e-Biofuel équivalent à celui du biocarburant avancé

CONCLUSIONS

- L'intérêt des procédés CCUS doit être évalué par ACV (impact climatique et environnemental) et par analyse technico-économique (ATE)
- Un e-fuel produit à partir d'un CO2 anthropique réémet immédiatement son CO2; il a une contribution négligeable à la réduction des émissions de CO2;
 - Vers la prise en compte de la temporalité de la séquestration du CO2 ?
- Pour décarboner le secteur des transports, les biocarburants avancés et les e-biofuels offrent des solutions attractives
- Conditions de succès pour synthétiser des e-fuels bas carbone :
 - Utiliser de l'H2 'non carboné' et un CO2 non issu de la combustion des énergies fossiles
 - L'hydrogène décarboné doit être produit à 2€/kg, une valeur qui peut être atteinte par l'utilisation de technologies CCUS
- Des synergies à mettre en place entre opérations de CCUS et production d'hydrogène décarboné

Innovating for energy

Find us on:

 www.ifpenergiesnouvelles.com

 [@IFPENinnovation](https://twitter.com/IFPENinnovation)

