



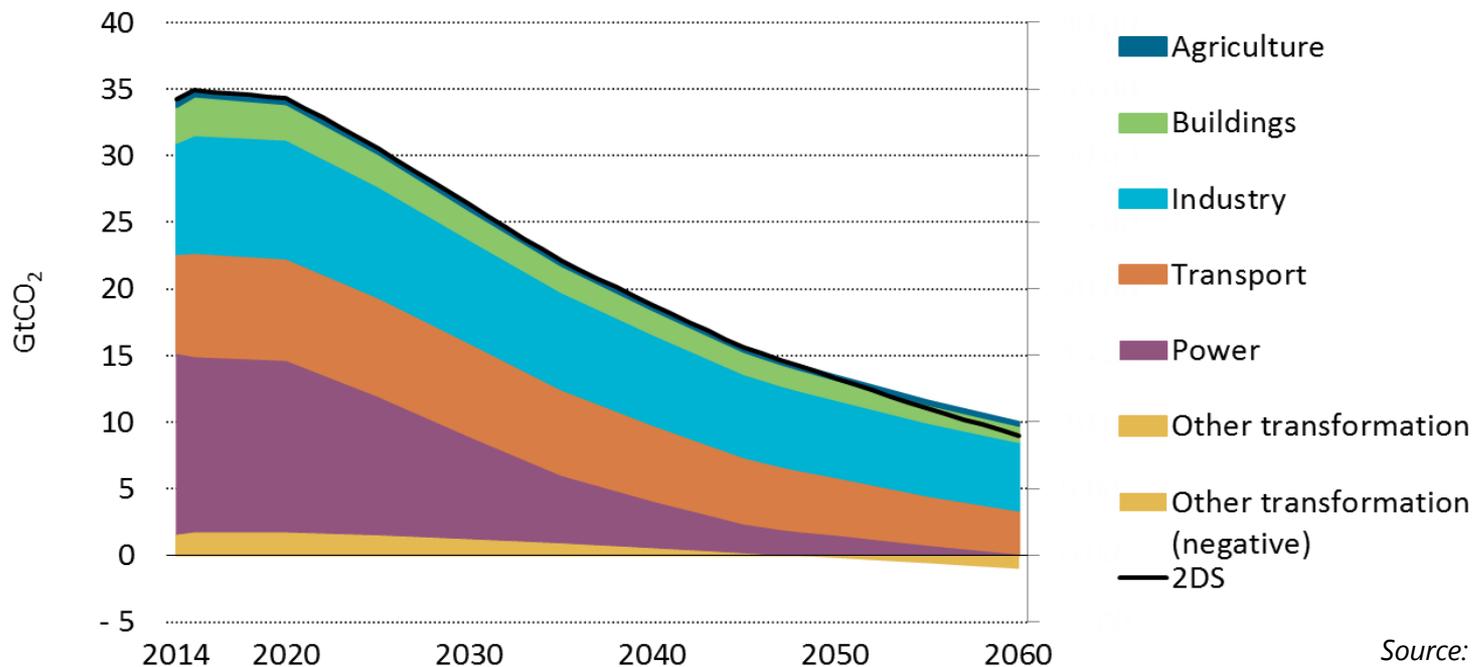
Les énergies renouvelables pour l'industrie

Cédric Philibert, Renewable Energy Division, International Energy Agency

Subir ou innover? 13 mars 2018, Paris



Emissions de CO₂ dans le Scénario 2 Degrés

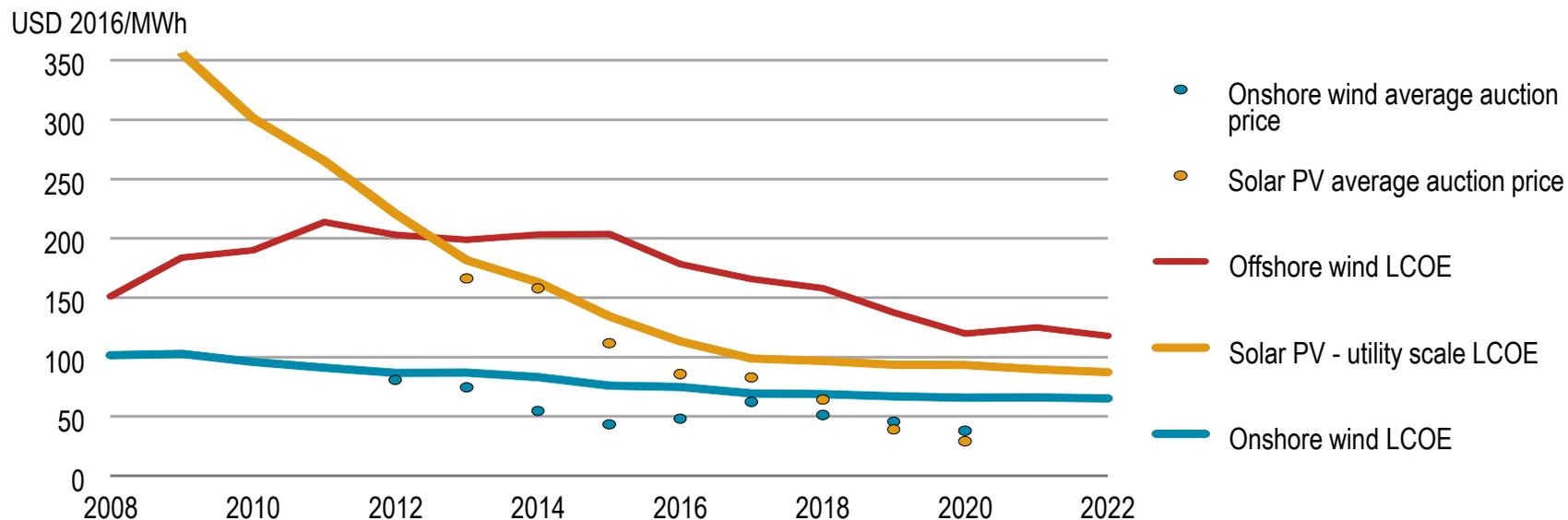


Source: ETP 2017

Le ciment, le fer et l'acier, et les produits chimiques, sont responsables de l'essentiel des émissions restantes en 2050.

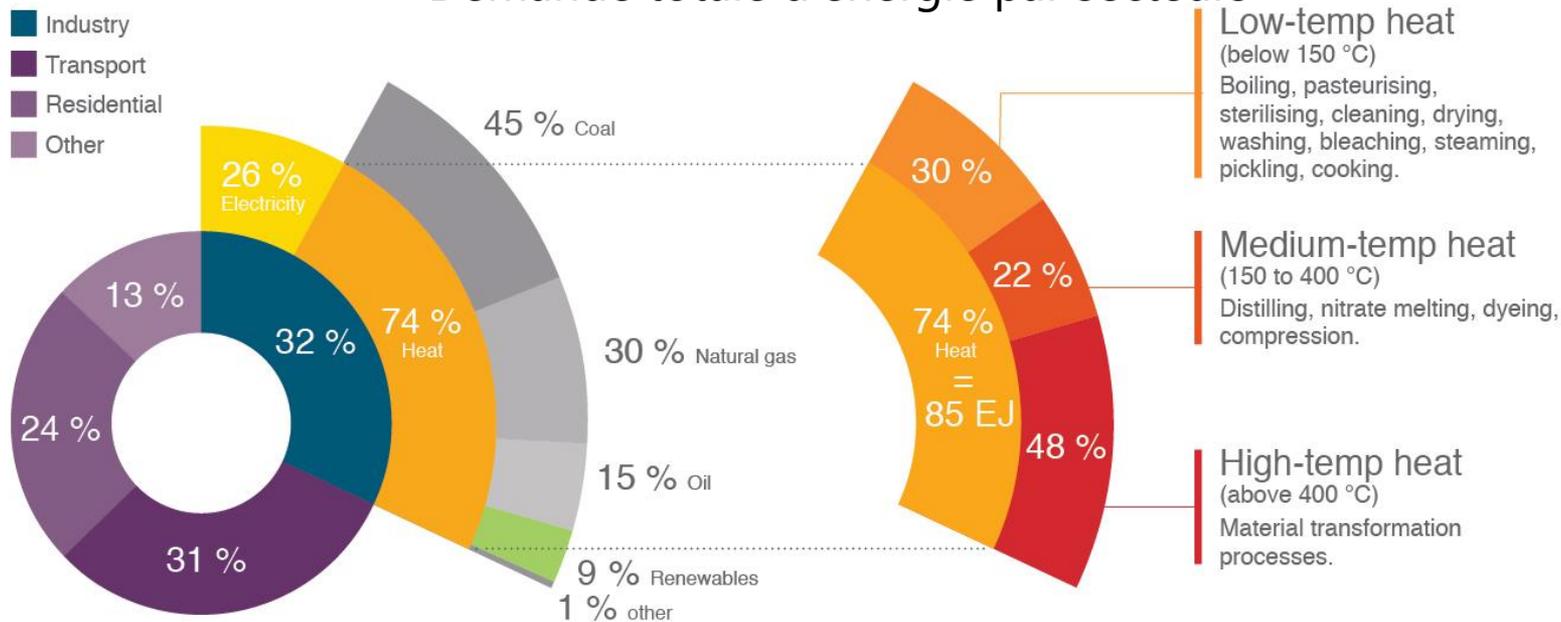
La compétition fait baisser les coûts de l'éolien et du solaire

Coûts moyens actualisés de l'éolien et du solaire PV et résultats d'enchères par date de mise en service



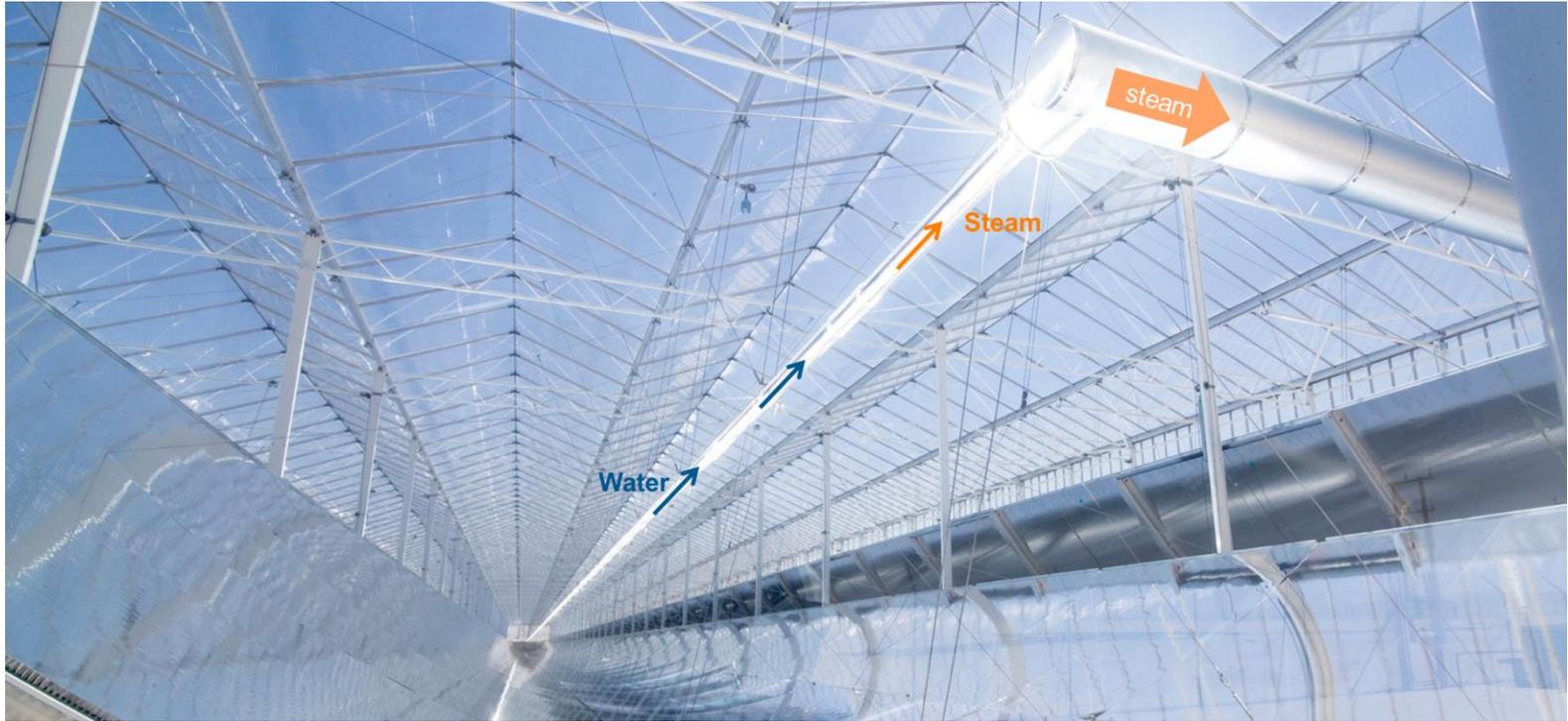
**Les coûts de l'éolien et du solaire ont beaucoup diminué, et ce n'est pas fini.
L'intégration nécessite des interconnexions, des centrales flexibles, le management de la demande et du stockage**

Demande totale d'énergie par secteurs



Source: Solrico, 2017

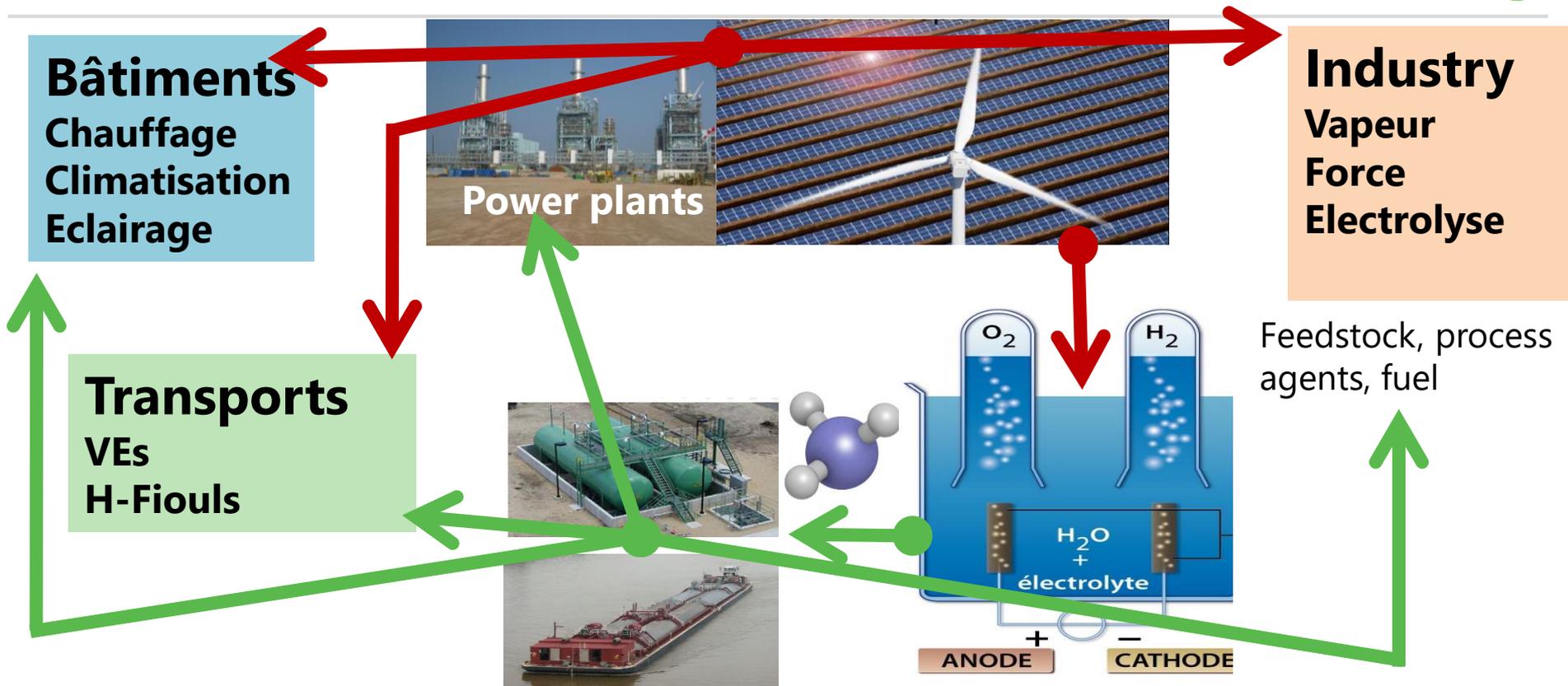
La chaleur représente les $\frac{3}{4}$ de la demande d'énergie de l'industrie mondiale, la moitié est à basse ou moyenne température, plus facile d'accès pour la chaleur renouvelables



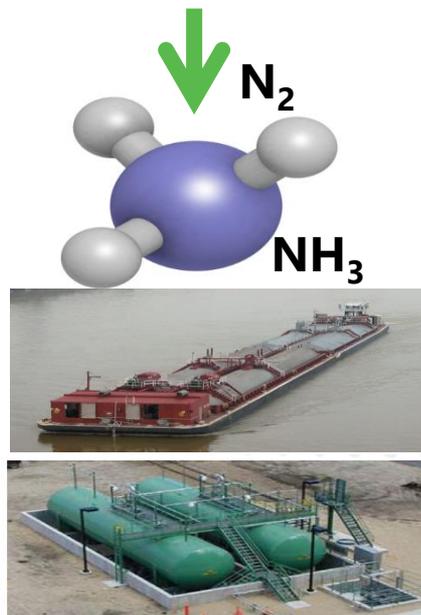
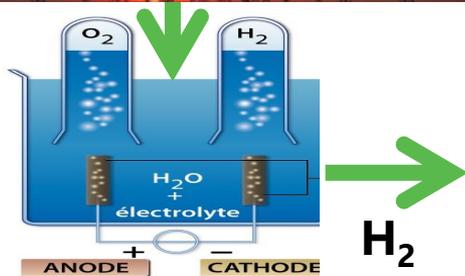
Source: Glasspoint, 2017

La technologie des capteurs paraboliques sous serre réduit les coûts de la chaleur solaire, rendant possibles de nouveaux usages tels que la récupération assistée du pétrole à Oman

L'électricité renouvelable peut remplacer les fossiles



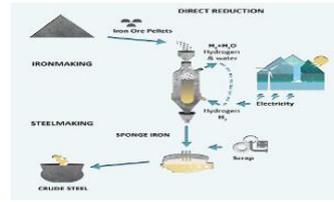
Au-delà des usages présents, l'électricité renouvelable peut remplacer les combustibles fossiles en usages directs dans les bâtiments, l'industrie et les transports, directement ou via l'électrochimie



**Matière
première
fertilisants**



**Agent
réducteur
sidérurgie**



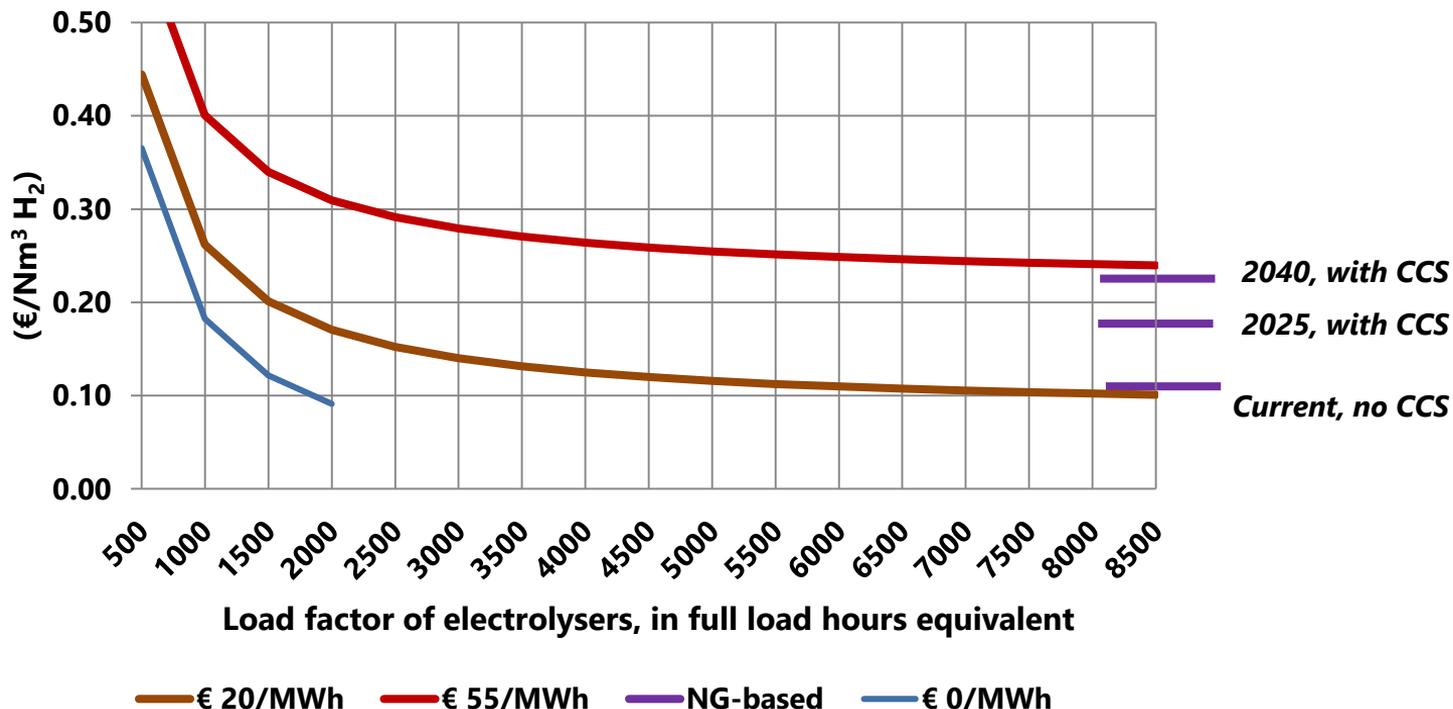
Fuel



L'ammoniac peut être employé de diverses façons dans l'industrie: matière première, agent réducteur, et combustible

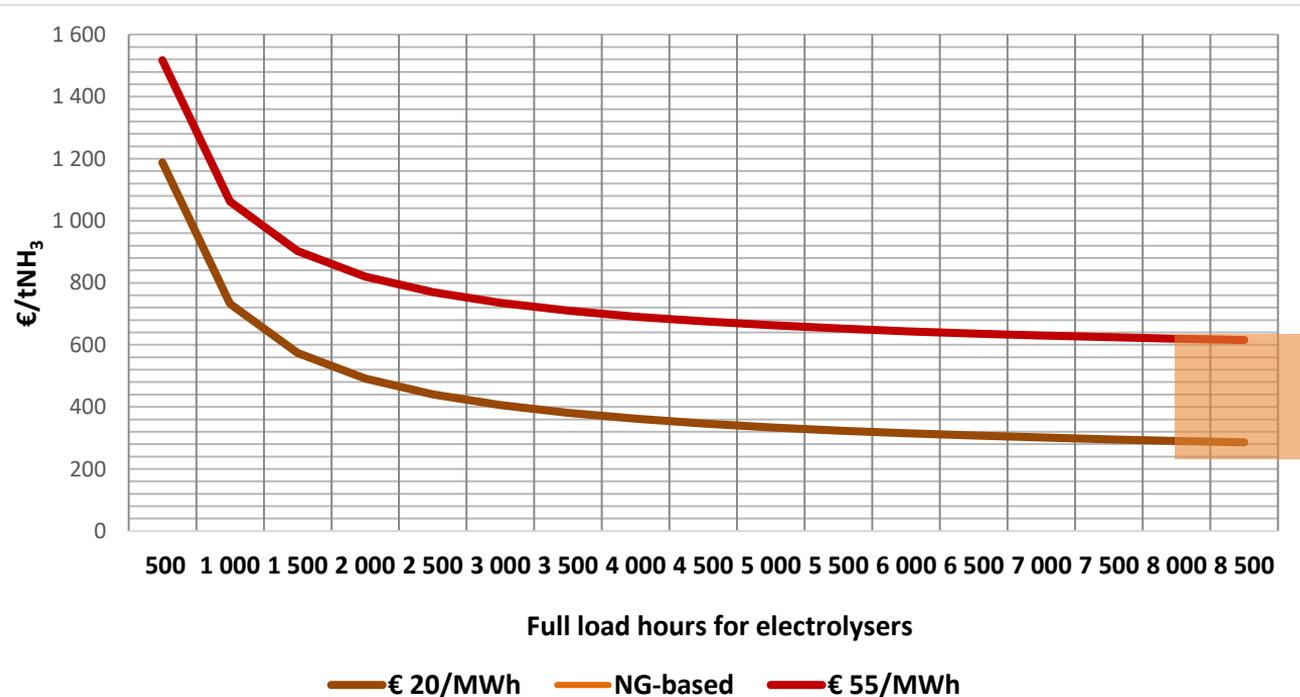
L'électrolyse de l'eau n'est plus une source d'hydrogène hors de prix

Hypothèses:
Capex
electrolyseurs
€ 366/kW
+ 30% install.
+20% Opex;
durée 30 a;
CMPC 7%;
efficacité 70%



Avec un facteur de charge élevé, le prix de l'électricité domine celui de l'hydrogène. Avec des "surplus" d'électricité, le coût de l'hydrogène augmente rapidement quand le facteur de charge diminue.

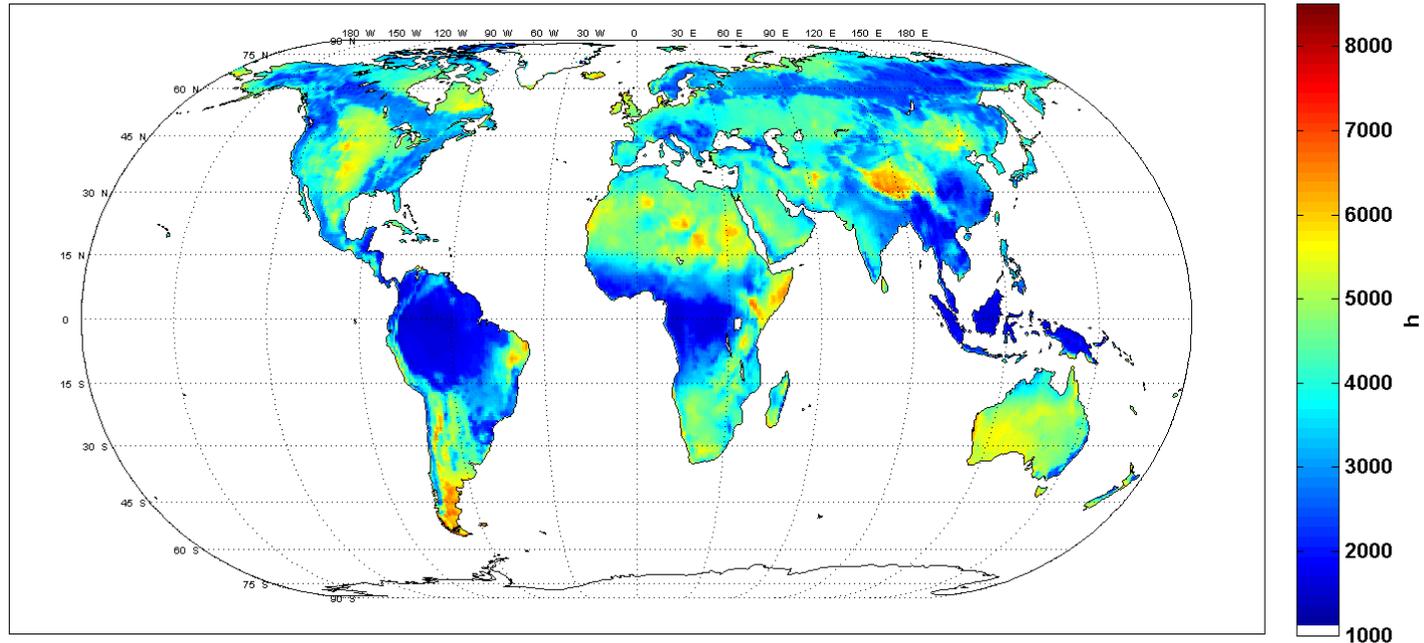
Coûts de l'ammoniac en fonction du facteur de charge



Hypothèses additionnelles:
Capex usine 500.000 t/y NH₃ € 320 million,
Opex € 14 to 37/tNH₃ (hors electricity).

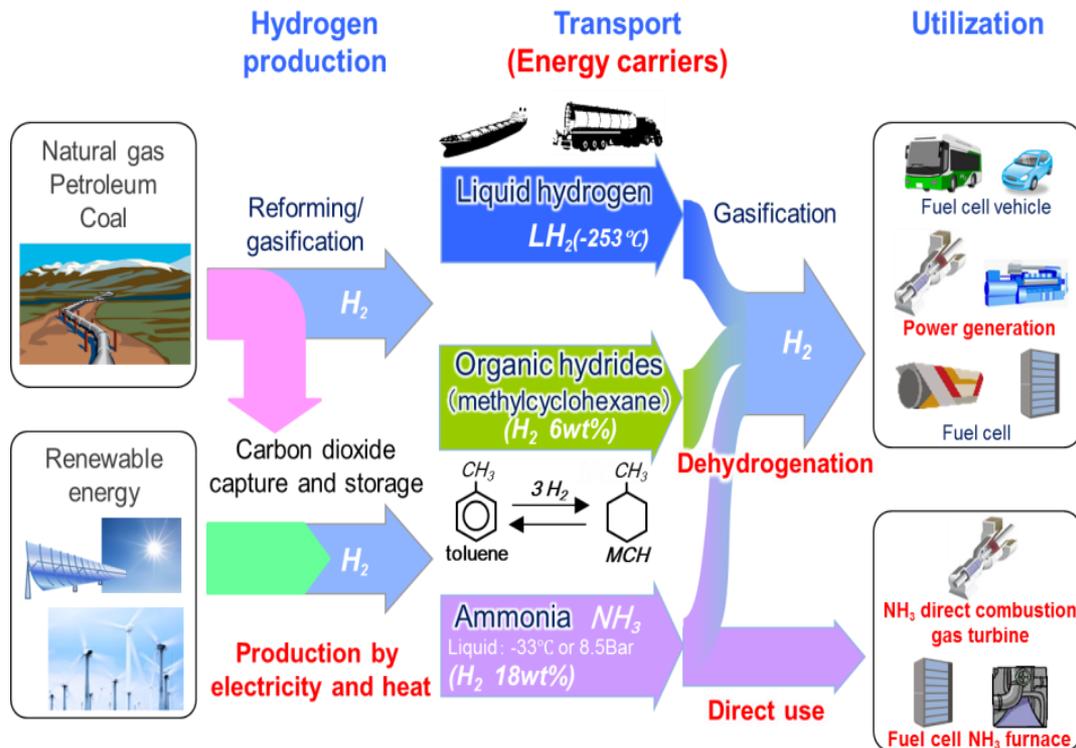
A € 20/MWh avec des facteurs de charge élevés, l'électricité éolienne et solaire dans les zones d'excellentes ressources peuvent produire de l'ammoniac à des coûts compétitifs.

Facteur de charge d'un mix d'éolien et de solaire solar and wind diminué des redondances



Source: Fasihi & Breyer, 2017

Les facteurs de charge d'éolien et de solaire combiné dépasse 50% dans de vastes zones, souvent éloignées des centres de consommation, pouvant fournir de grandes quantités d'électricité à moins de 3 centimes le kWh



Source: Japan's Energy Carriers Program, 2017

L'ammoniac est riche en hydrogène, facile à stocker et transporter, et pourrait s'avérer le plus versatile vecteur des énergies renouvelables

L'ammoniac est aussi un combustible

- Utilisable dans les moteurs, turbines, piles à combustibles, directement ou craqué
- L'industrie l'utilise depuis un siècle sans accident majeur
- Usages stationnaires dans l'industrie et la production d'électricité
- Un combustible de choix pour les navires,
- L'efficacité P to P meilleure que celle des autres combustibles synthétiques pour le stockage à long terme
 - Les stations de transfert d'énergie par pompage et les batteries sont plus efficaces pour les stockages de court terme

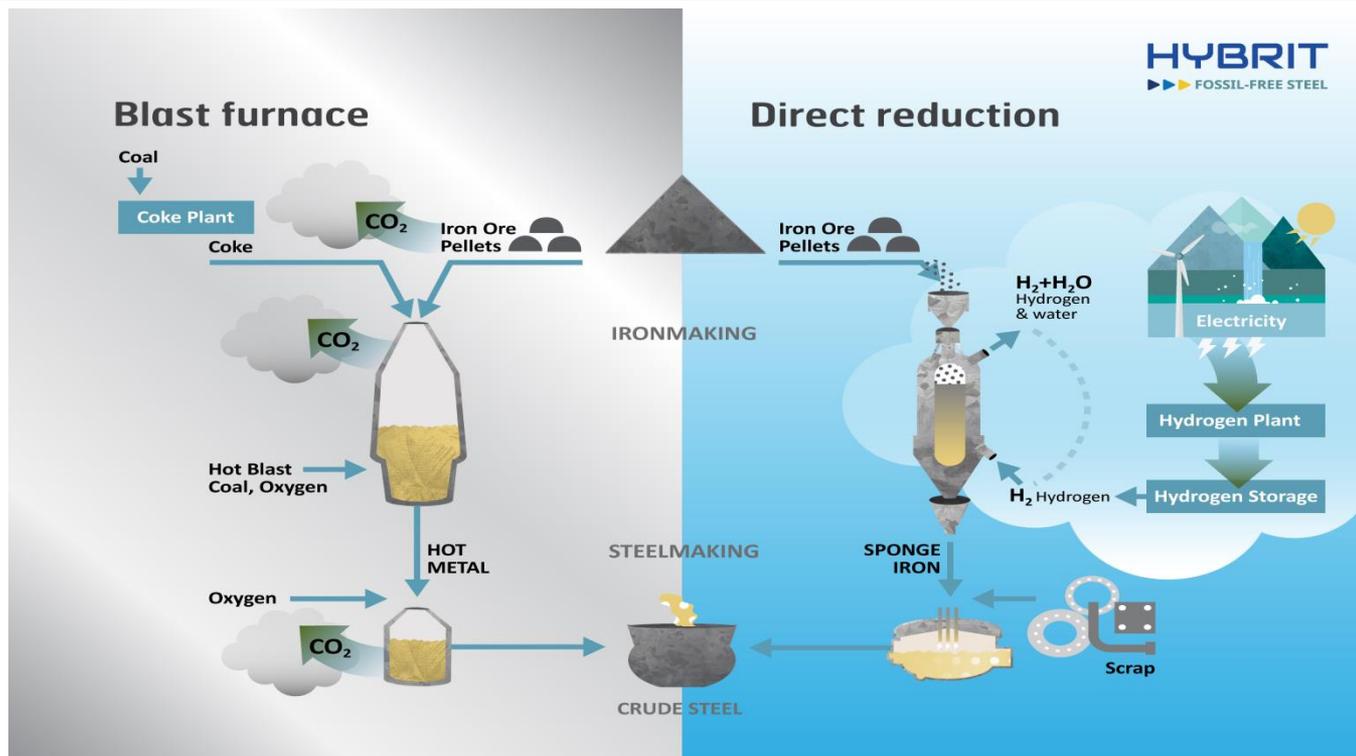
Power to power efficiency

Fuel	PtP efficiency CO ₂ from air	PtP efficiency CO ₂ from fumes
CH ₄	27%	31%
MeOH	27%	32%
DME	23%	28%
NH ₃	35%	
NH ₃ PEM	29%	
NH ₃ SOEC	39%	

Sources: Grinberg Dana et al, 2017

L'ammoniac peut être utilisé comme un combustible sans carbone pour de multiples usages

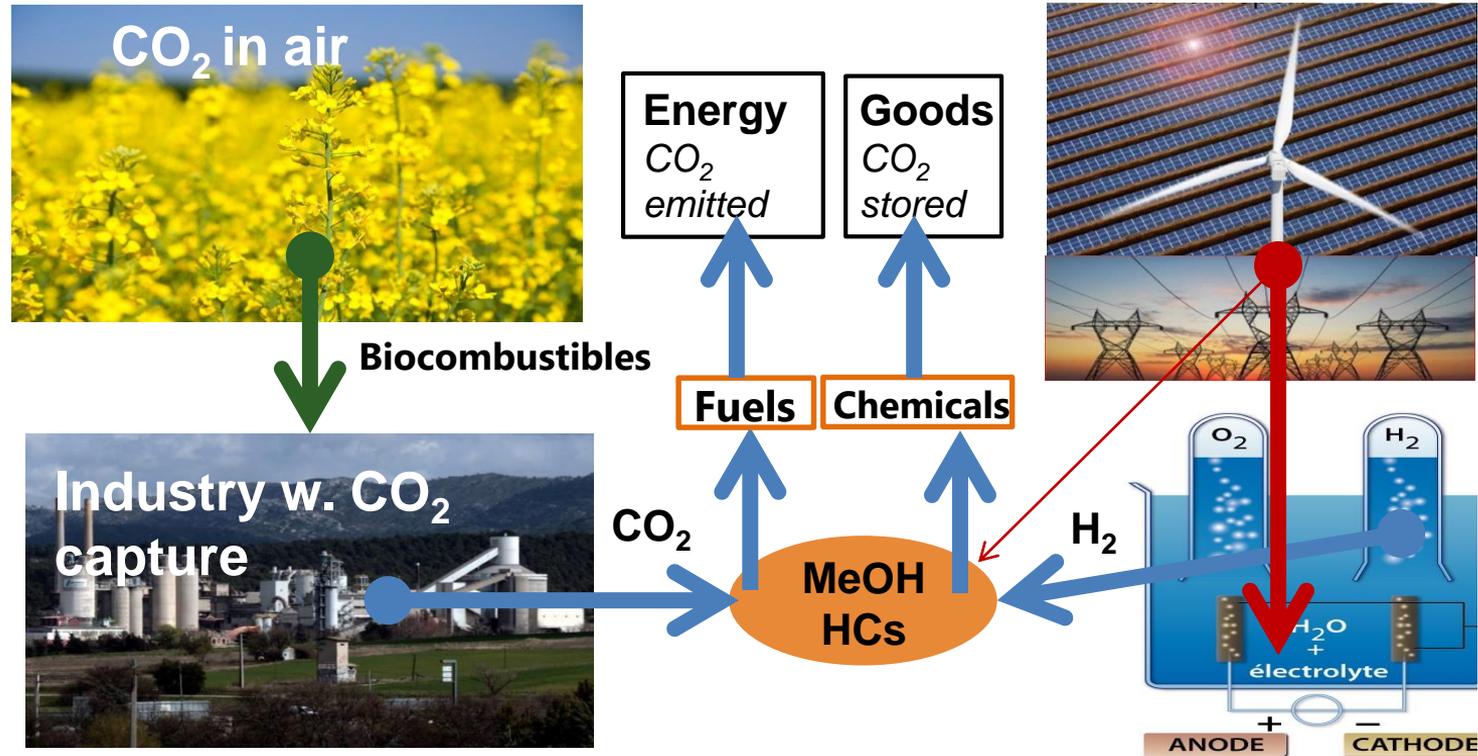
L'électricité renouvelable pour faire de l'acier sans émissions



Sources: Hybrit Projekt, 2017

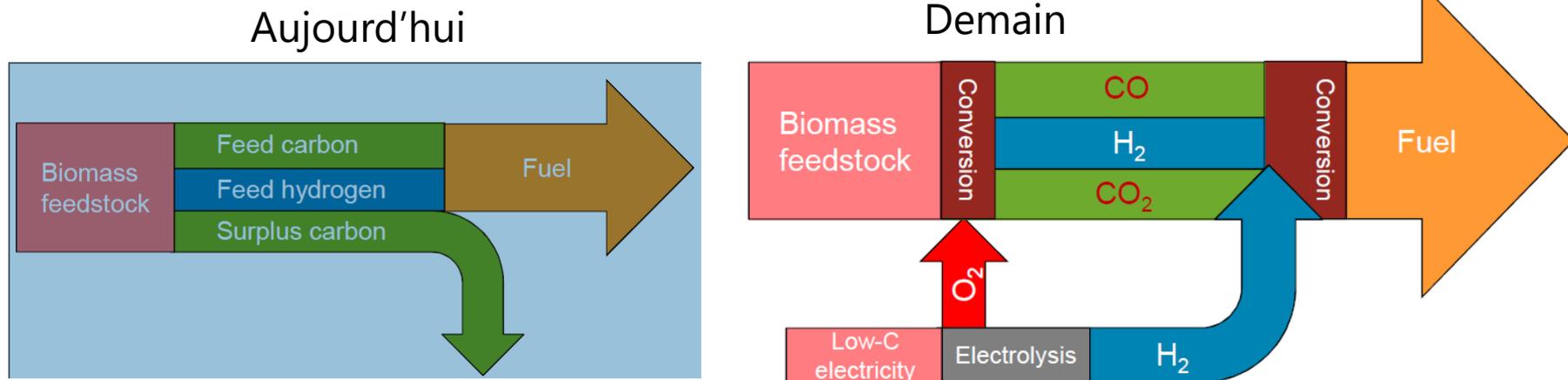
Le remplacement du gaz naturel par de l'hydrogène basé sur les renouvelables pour la réduction directe du fer peut être progressif et conduire à une sidérurgie sans émissions de CO₂; l'électrolyse est une autre option

L'hydrogène des renouvelables peut être combinée avec du CO₂ recyclé



Fabriquer le méthanol avec l'hydrogène et du CO₂ recyclé réduirait considérablement les émissions sur l'ensemble du cycle et conduirait à terme à des émissions négatives si le carbone est prélevé dans l'air

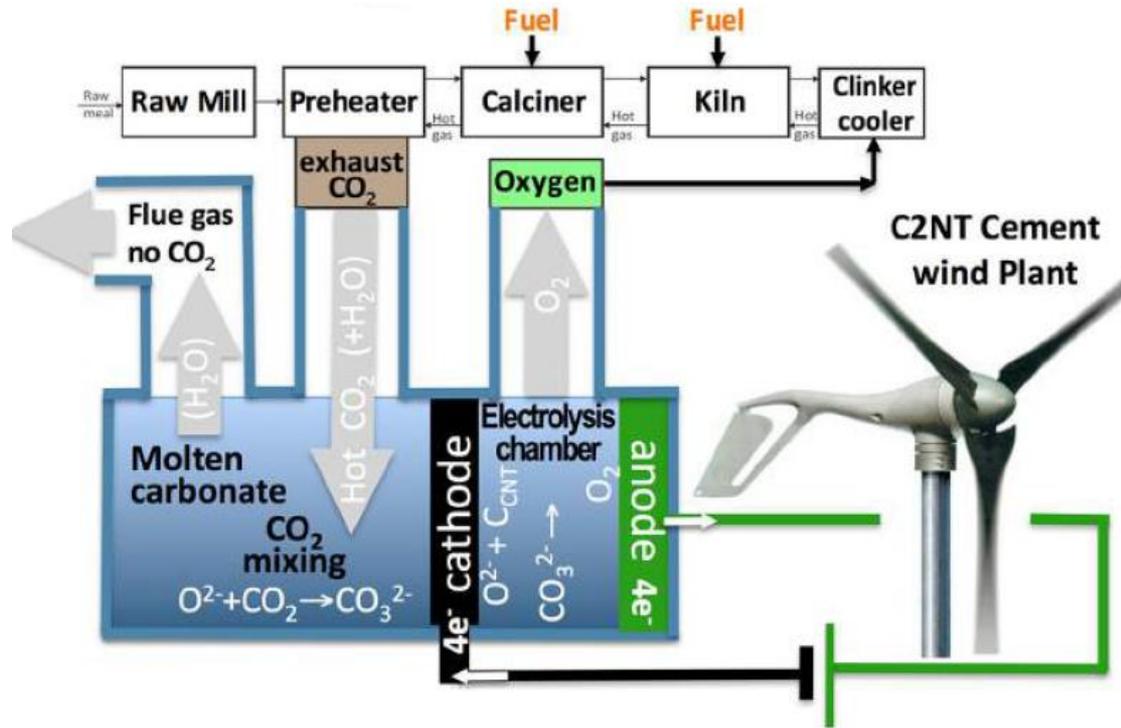
Démultiplier la production de biocarburants



Source: Hannula, 2016

Utiliser l'hydrogène et l'oxygène produit par électrolyse de l'eau peut augmenter le potentiel de la biomasse en convertissant le CO₂ en biocarburants.

Schéma conceptuel de co-production de ciment et de nanotubes de carbone



Source: Stuart Licht, Journal of CO₂ utilization, 2017

Encore au laboratoire, l'électrolyse de carbonates fondus pourrait être couplée avec une cimenterie oxygénée et produire des nanotubes de carbone à haute valeur ajoutée plutôt que du CO₂

- Dé-risquer les investissements est déterminant
- Un prix du carbone favoriserait l'action
- Risques de fuites de carbone pour les commodités sujettes à échanges
 - Des accords sectoriels?
 - Des ajustements de taxes aux frontières? Des standards?
 - Re-examiner les “fuites de carbone” et définir des stratégies gagnant-gagnantes pour favoriser le déploiement des renouvelables dans les zones les plus favorables
- L'approvisionnement en matériaux verts pour démarrer le déploiement
 - Privé par les compagnies qui vendent au public, public pour les infrastructures

Une nouvelle ère de coopération internationale pour lancer la décarbonisation de l'industrie mondiale

A venir: le rôle de l'éolien maritime dans l'Europe du Nord

- Le potentiel éolien maritime dans les eaux Européennes est de 2600 – 6000 TWh entre 50 et 65 €/MWh (*WindEurope*)
 - = 80% à 180% de la demande d'électricité de l'UE en 2030
- Usages supplémentaires possibles:
 - Sidérurgie: électrolyse, réduction directe par H₂
 - Electrification partielle des cimenteries?
 - Chimie – 1900-4900 TWh (Dechema)
 - CCU or biomass pour fournir le carbone
 - Centrales thermiques d'équilibrage (~800 TWh)
 - Chauffage et transports: beaucoup d'autres TWh
- Les coûts sont plus élevés que le gaz naturel avec capture du carbone, mais:
 - Moindre volatilité des prix
 - Sécurité énergétique augmentée
- Les produits transportables (ammoniac, méthanol...) pourraient venir plutôt d'Afrique du Nord

