

# Stockage chimique de l'hydrogène sous forme liquide par LOHC

Jean-Christophe GABELLE, PhD



## QUI SOMMES-NOUS ?

Un organisme  
public de R&I

Un centre  
de formation

Un groupe  
industriel

Un champ d'action international dans les domaines  
de l'environnement, de l'énergie et du transport



**1 635**  
personnes



**1 190**  
chercheurs

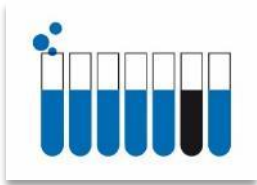
**120,5 M€**  
de dotation budgétaire  
en 2020



**146,5 M€**  
de ressources propres  
en 2020



## NOTRE RECHERCHE EN CHIFFRES



**10 205** brevets vivants  
**175** premiers dépôts  
de brevets en 2020



**> 50** métiers,  
du géologue au motoriste



**13<sup>e</sup>** déposant  
de brevets en France  
(Inpi 2020)

**3<sup>e</sup>** parmi les centres de  
recherche publique



**> 200**  
articles/an dans  
des revues scientifiques  
internationales



**135**  
thésards et  
postdoctorants

# FILIALES ET PARTICIPATIONS (\*)

LE GROUPE IFPEN : **952 M€** DE CA 2020 - **4 500** PERSONNES

## Transition énergétique



## Conseil et logiciels en géosciences



## Energies alternatives et renouvelables, raffinage, pétrochimie, gaz, eau



## Formation

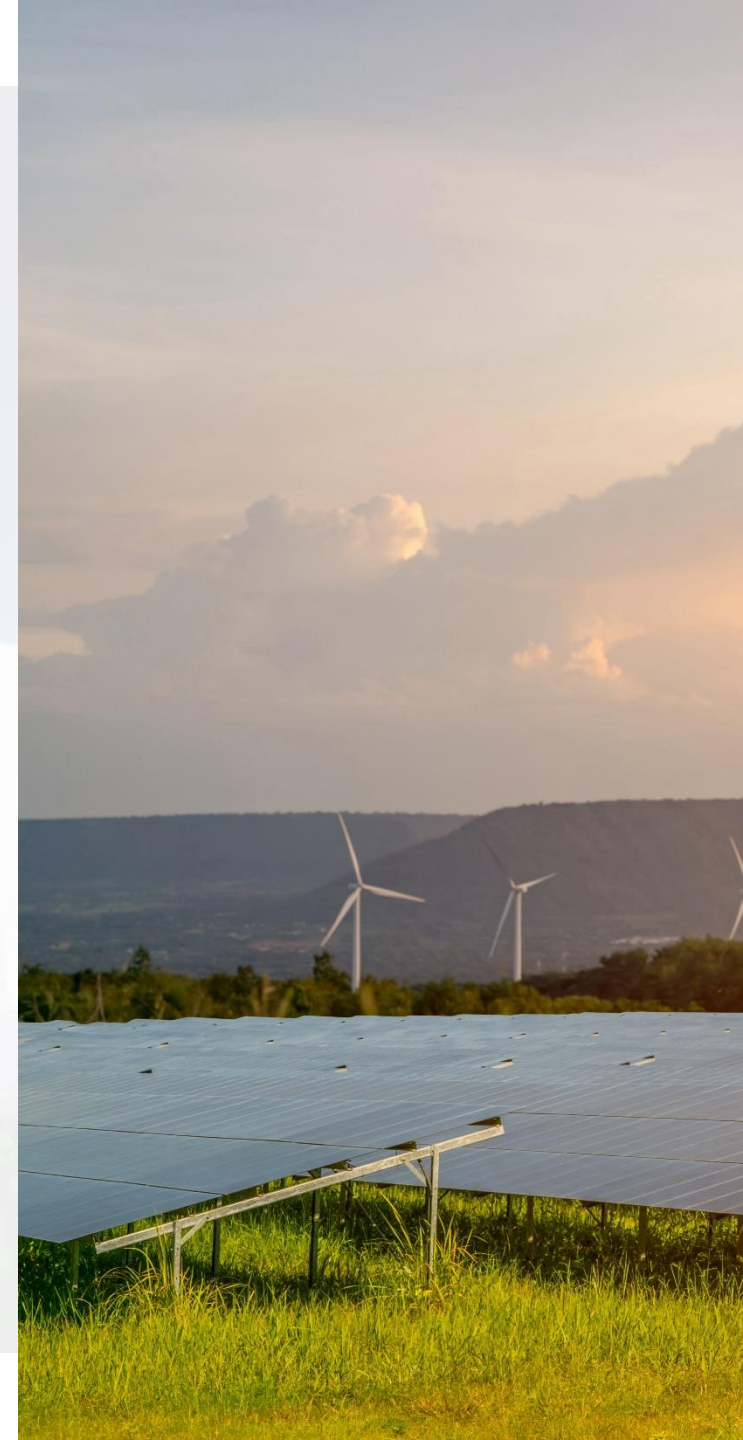


\* Au 14 avril 2021

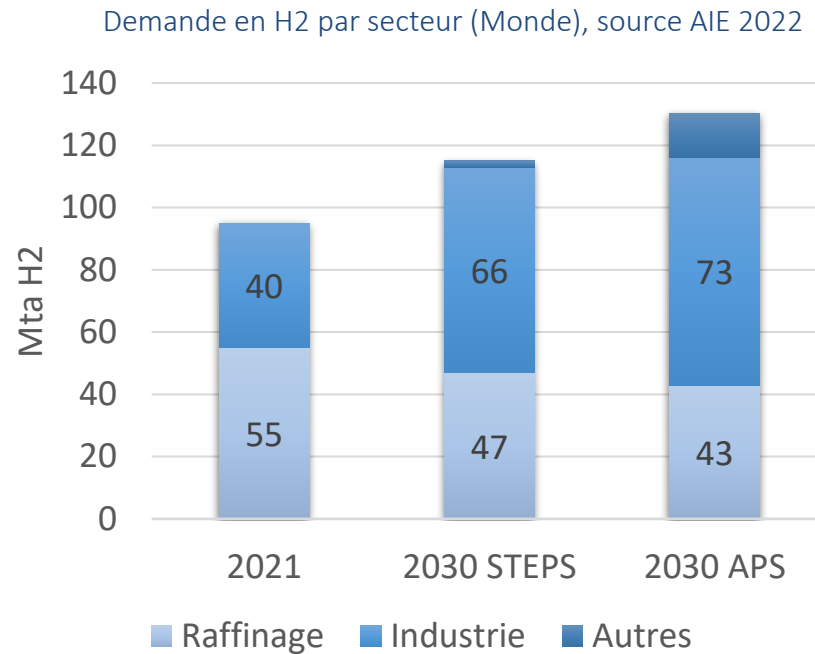


# L'HYDROGÈNE : UNE SOLUTION POUR DÉCARBONER ?

- Objectif « Net zéro » d'ici à 2050 acté par l'UE en 2020 + REPowerEU en 2022 (20 Mt /an en EU en 2030)
- Un double objectif :
  - Diminuer les émissions de CO2
  - Améliorer la sécurité énergétique (dépendance au fossile)
- Une solution pour décarboner les secteurs difficiles à électrifier :
  - Industrie (secteur prioritaire pour 2030)
  - Transport
  - Stockage
  - Utilisation en mélange dans le réseau

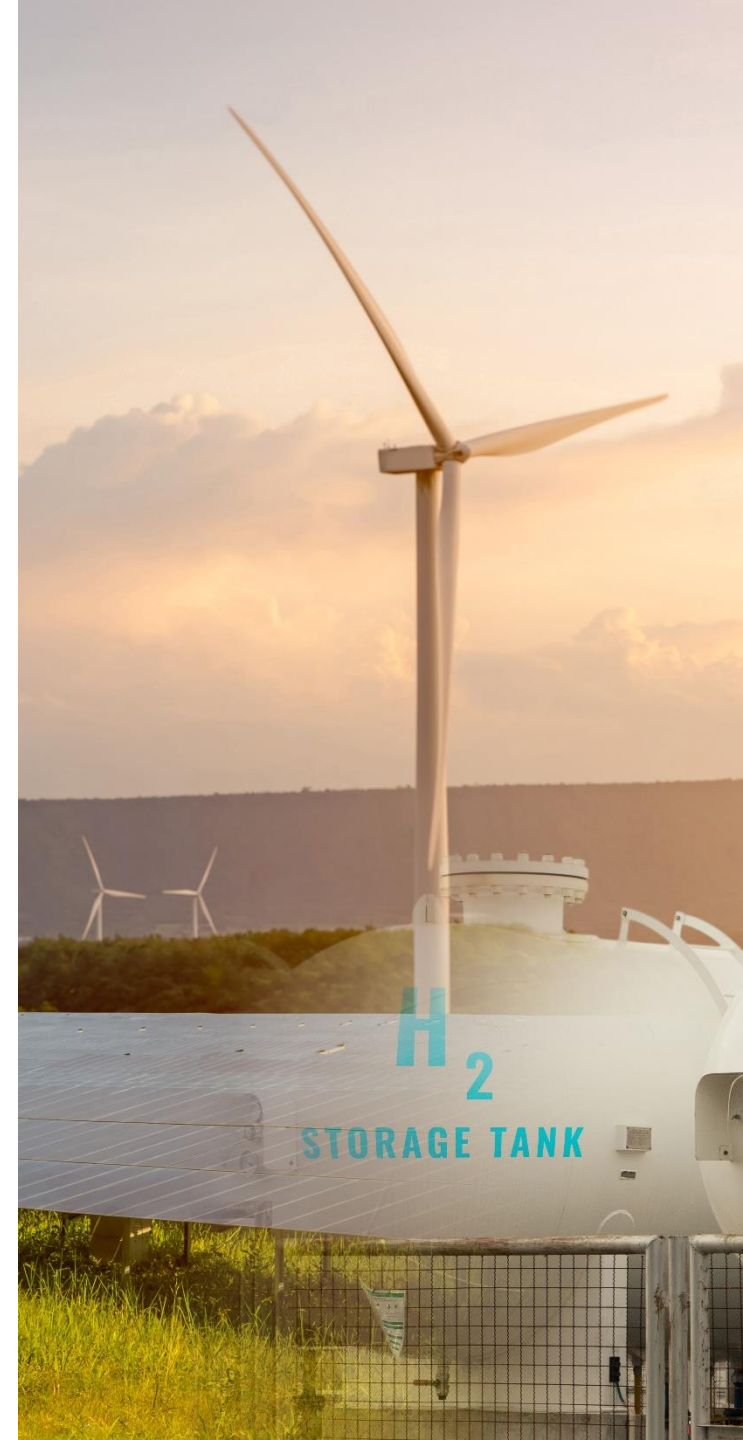


# DEMANDE EN HYDROGÈNE (PRÉVISIONS AIE)



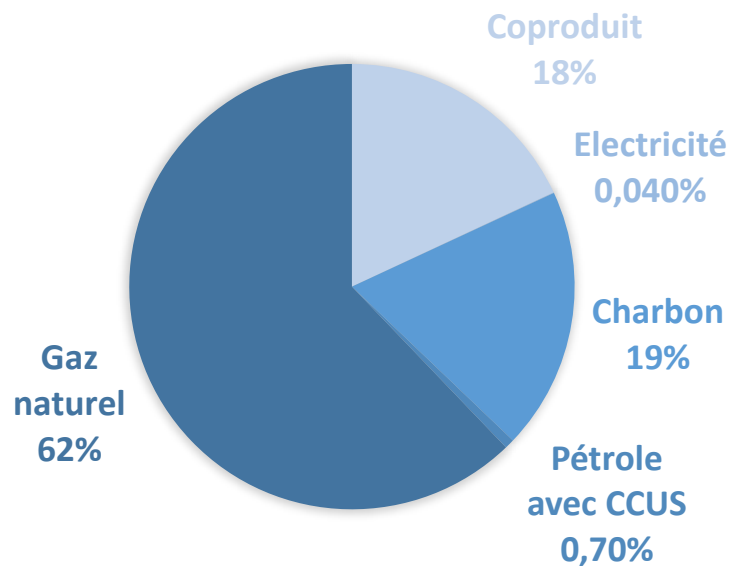
STEPS = Stated Policies Scenario; APS = Announced Pledges Scenario. *Autres* = transport, construction, production d'électricité, carburants, en mélange

- Forte croissance en 10 ans selon les scénarios : entre 115 Mt (STEPS) et 130 Mt (APS)
- Avec 25% pour de nouveaux usages et avec de l'H<sub>2</sub> bas C (transport, construction, production d'Énergie, e-fuels, utilisation en mélange)
- Mais de nombreux défis existent (Production, Infrastructure & transport)



# PRODUCTION D'HYDROGÈNE (AUJOURD'HUI)

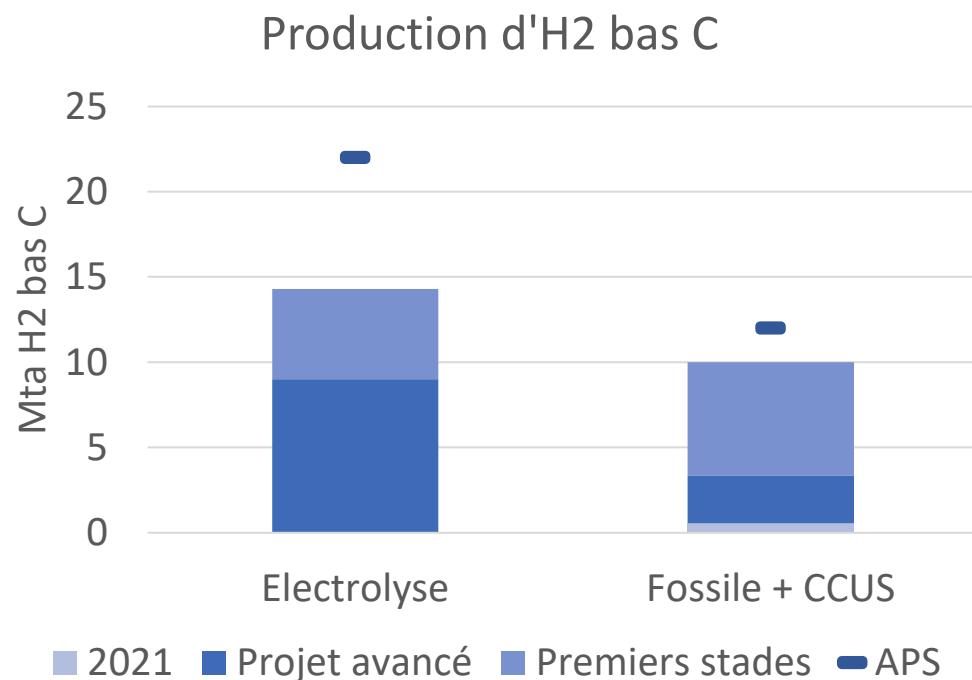
Mix de production d'H<sub>2</sub> en 2021 (Monde), source AIE 2022



- Un mix très carboné (99% fossile)
- 95 Mt par an associée à 900 Mt de CO<sub>2</sub>
- 1 Mt d'H<sub>2</sub> bas C :
  - Principalement via des technologies CCUS
  - Seulement 35 kt via électrolyseur



# PRODUCTION D'HYDROGÈNE BAS C



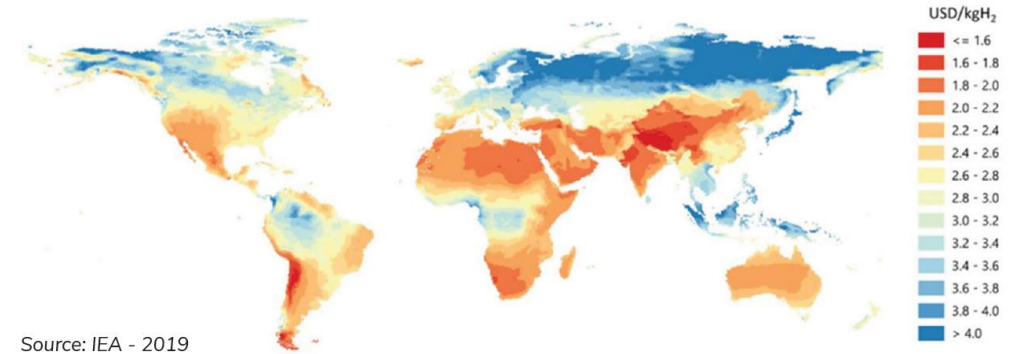
Perspectives de production mondiale d'hydrogène à faibles émissions de CO2 à l'horizon 2030, Source AIE 2022

- De nombreux projets de production d'H2 bas C pour 2030 :
  - 14 Mt d'H2 via électrolyse
  - 10 Mt fossile + CCUS
- Dont :
  - 68 % en projets avancés,
  - 32 % en études
- Loin des prévisions APS pour la partie électrolyseur (EU, Australie, AS)
- 8 Mt d'H2 bas C en EU pour 2030
- Nécessité d'en importer une grande partie (environ 10 Mta)



# REPENSER LES INFRASTRUCTURES

- Connecter les zones de production d'H2 bas C avec les zones de consommation d'H2
  - Faible densité énergétique (1/3 comparé à du GN à même P et T)
  - $T_{eb} = -253^{\circ}\text{C} / -162^{\circ}\text{C}$  pour du GN
- Des options complémentaires :
  - Routier (faibles volumes/distances)
  - Pipeline si possible (2500-3000 km)
  - Maritime (longues distances) avec besoin de conversion (> 3000 km)



# LES SOLUTIONS POUR LE TRANSPORT LONGUE DISTANCE (> 3000 KM)

LH<sub>2</sub>

## HYDROGÈNE LIQUÉFIÉ



AirLiquide 30tpj (Nevada)



Projet HESC Australie - JP  
Suiso Frontier (75t LH<sub>2</sub>)



Stockage 3200m<sup>3</sup> (230t)



Stockage à 4700 m<sup>3</sup>

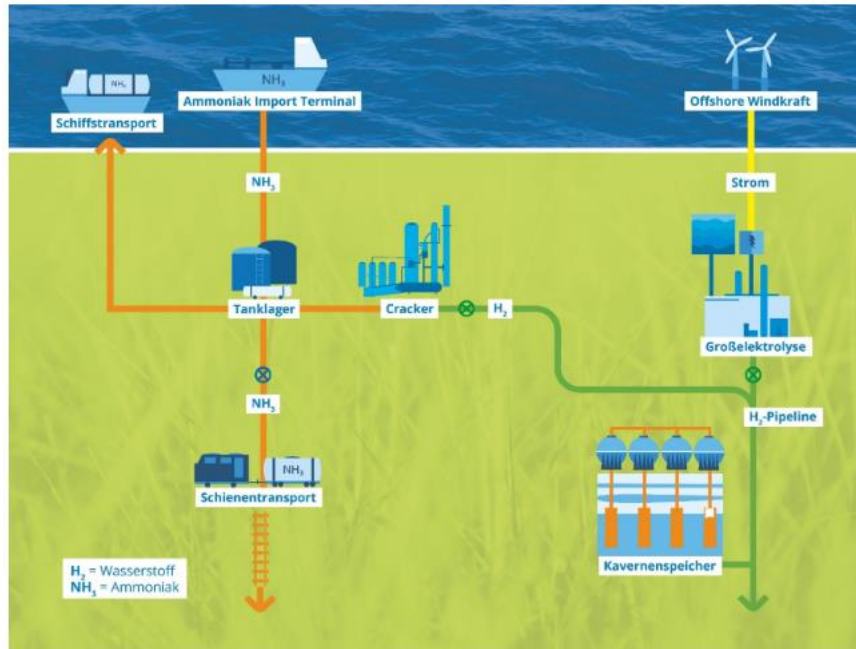
<https://www.airliquide.com/fr/groupe/activites/hydrogene>

<https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/kennedy/kennedy-plays-critical-role-in-large-scale-liquid-hydrogen-tank-development/>

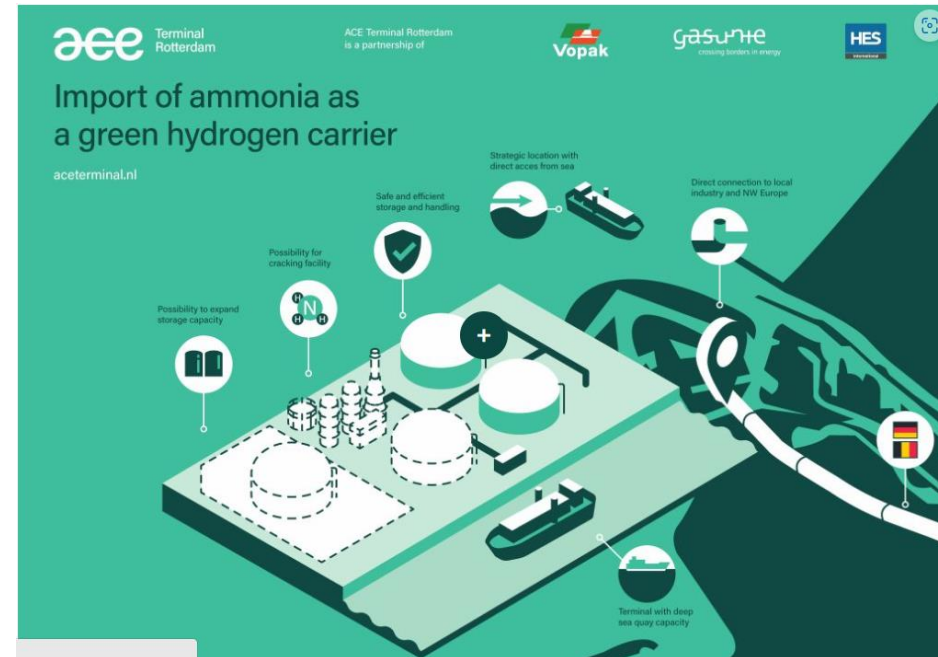
# LES SOLUTIONS POUR LE TRANSPORT LONGUE DISTANCE (> 3000 KM)



AMMONIAC



Projet Uniper (Green Wilhelmshaven)



ACE terminal (Green Wilhelmshaven)

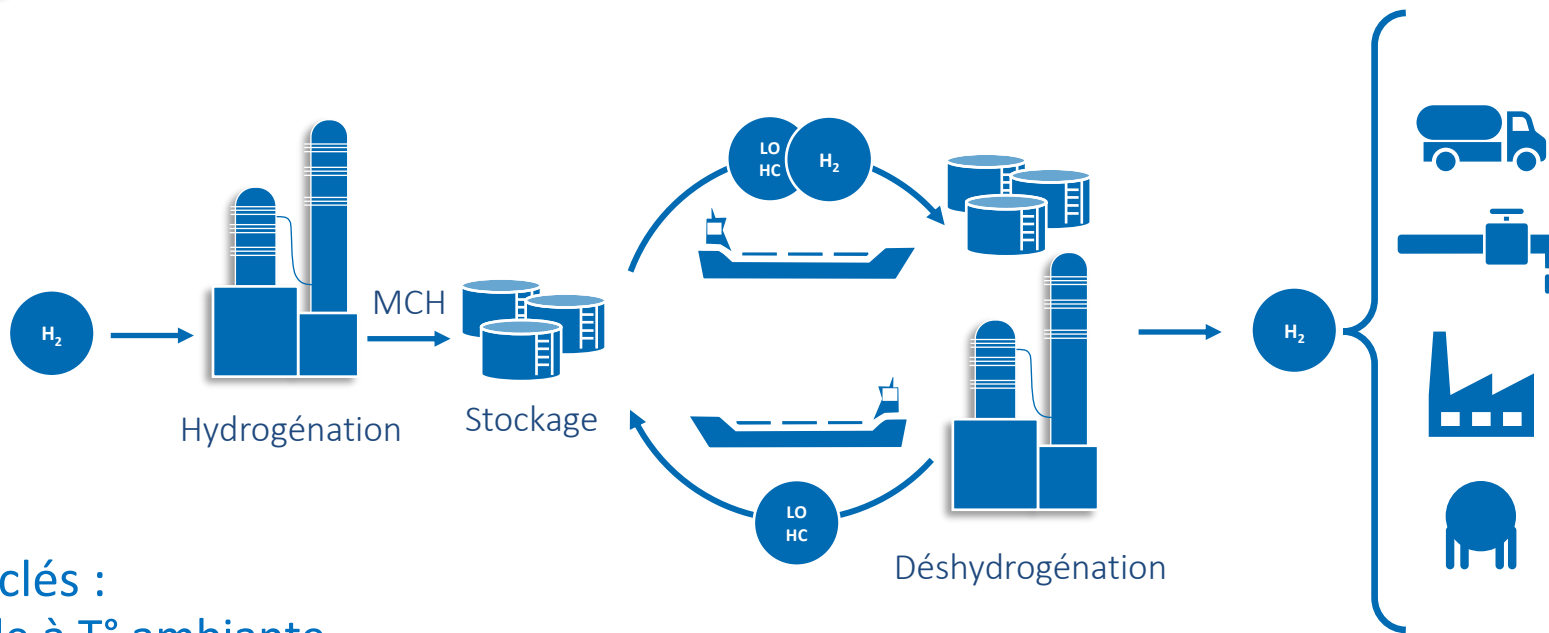
<https://www.aceterminal.nl/en>

<https://www.uniper.energy/solutions/energy-transformation-hubs/energy-transformation-hub-northwest/green-wilhelmshaven>

# LES SOLUTIONS POUR LE TRANSPORT LONGUE DISTANCE (> 3000 KM)

LOHC

## LIQUIDES ORGANIQUES PORTEUR D'HYDROGÈNE (MHC-TOL)



### ● Éléments clés :

- Liquide à  $T^\circ$  ambiante
- Facile à manipuler
- Utilisation d'infrastructure de transport et de stockage existante (bateaux, stockage)
- Risque faible



**Stockage & transport**

**Compacité**

**T° phase liquide**

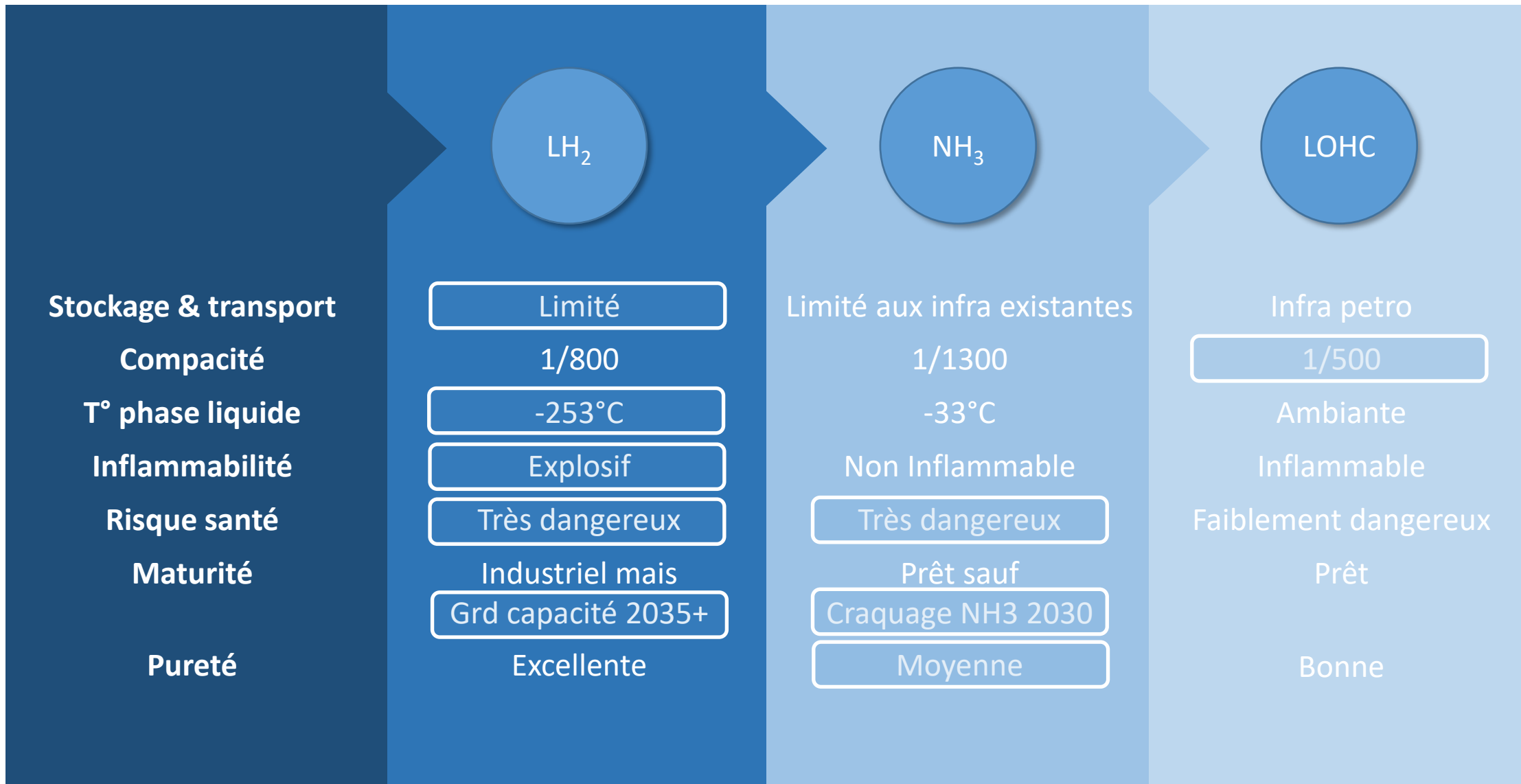
**Inflammabilité**

**Risque santé**

**Maturité**

**Pureté**





# COMPARAISON DES COÛTS DE PRODUCTION D'H2 VIA GN + TRANSPORT LONGUE DISTANCE

CAS ÉTUDE : QATAR → ANGLETERRE (11300 KM) À PARTIR DE GN + CCUS

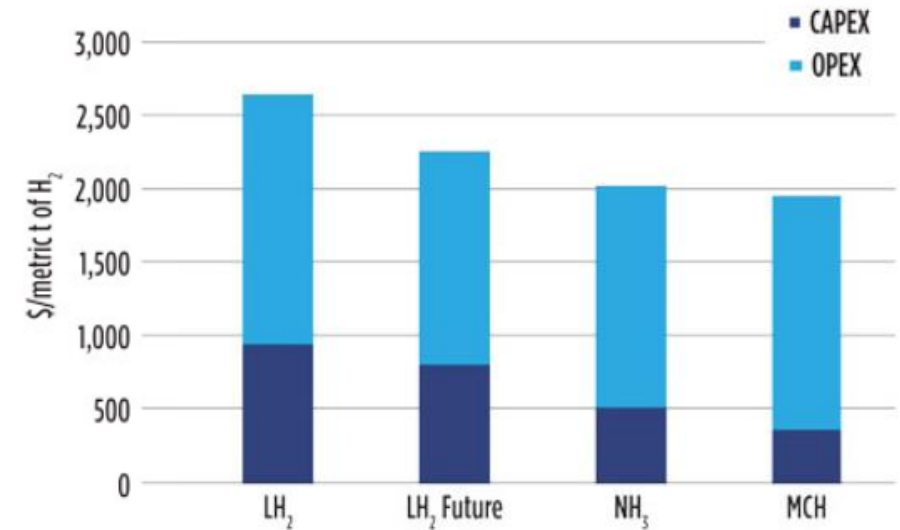
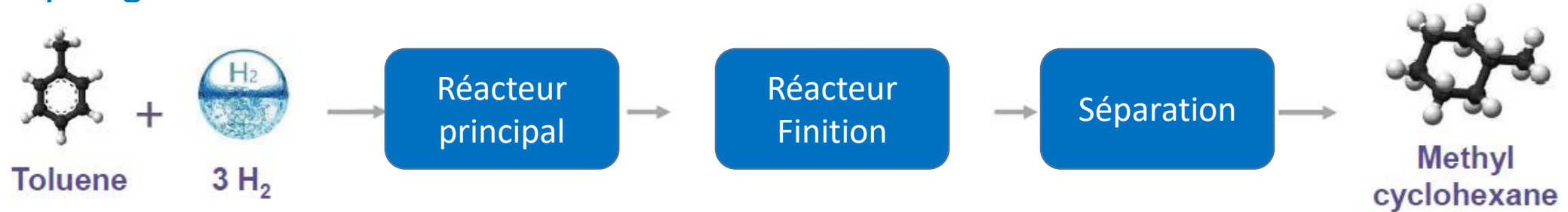


Fig. 1. Transport route for LNG produced at Ras Laffan, Qatar to regasification at Milford Haven, Wales, UK.

# LA TECHNOLOGIE D'HYDROGÉNATION (LOHC)

## ● Hydrogénation du toluène



Une  
technologie  
mature et  
économique

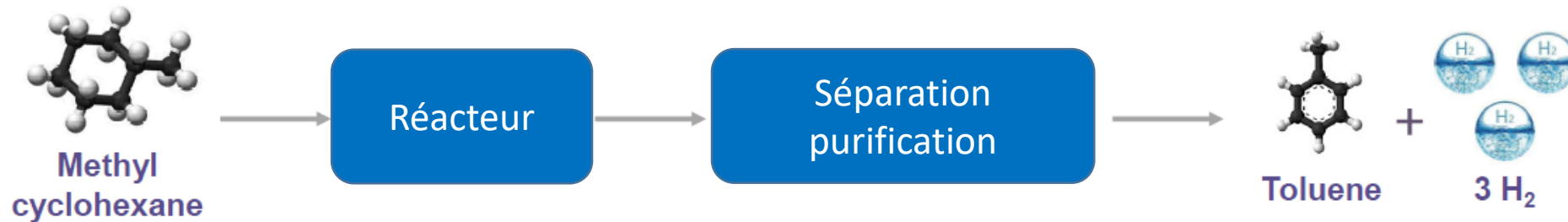
- 50 ans d'expérience
- Haute sélectivité
- 37 unités sur Benzène/Cyclohexane
- 50 % du marché mondial



Crédit : Axens

# LA TECHNOLOGIE DE DÉSHYDROGÉNATION (LOHC)

## ● Déshydrogénation du méthyl-cyclohexane



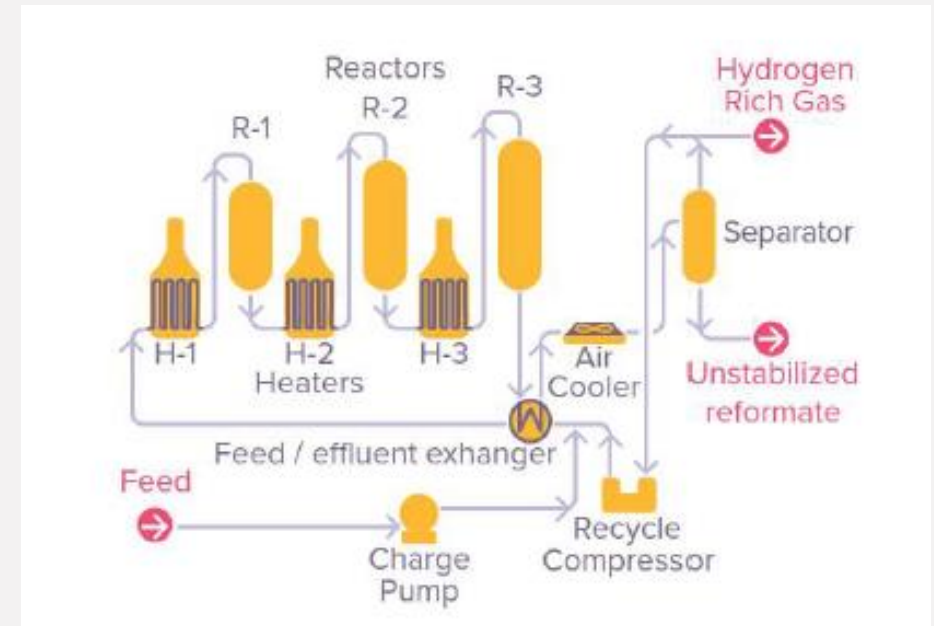
Réutilisation  
des unités  
existantes

- 50 ans d'expérience en reformage catalytique
- Réutilisation des unités de raffinage
- Investissement limité pour les nouvelles unités



Crédit : Axens

- Réutilisation des installations existantes :
  - Pas de modification des équipements
  - Equipements à ~80% de la capacité
  - Chaleur de réaction ~160% of reforming
- Des moyens de réduction de CO<sub>2</sub>:
  - Fours électriques
  - Captation du CO<sub>2</sub> des fumées (technologie DMX)



Crédit : Axens



# PROJET EURO-QUEBEC, EN AVANCE SUR SON TEMPS

- Le projet EQHHPP, lancé en 1989. 1<sup>er</sup> projet détaillé sur la faisabilité de la production, de l'application et du transport transatlantique de l'hydrogène.



Source : <https://ludwig-boelkow-stiftung.org/eqhhpp>

## CONCLUSIONS

- Forte croissance de la demande en hydrogène 2030 +
- H2 bas C pour décarboner l'industrie européenne
- Besoin d'importer des grandes quantités (10Mta) sur des longues distances
- Plusieurs technologies existantes et peuvent coexister VS les cas
- La technologie LOHC MCH est prête pour la mise en échelle
- Le MCH est facile à manipuler et compétitif vs les autres voies
- Il est possible d'utiliser des installations existantes (déshydrogénation)
- Des technologies sont disponibles pour la purification d'H<sub>2</sub> si besoin

*Innovater les énergies*

Retrouvez-nous sur :

 [www.ifpenergiesnouvelles.fr](http://www.ifpenergiesnouvelles.fr)

 @IFPENinnovation

