

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

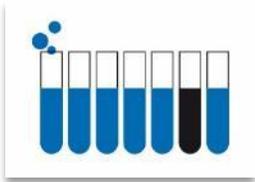
120,5 M€
de dotation budgétaire
en 2020



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^e déposant
de brevets en France
(Inpi 2020)

3^e 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



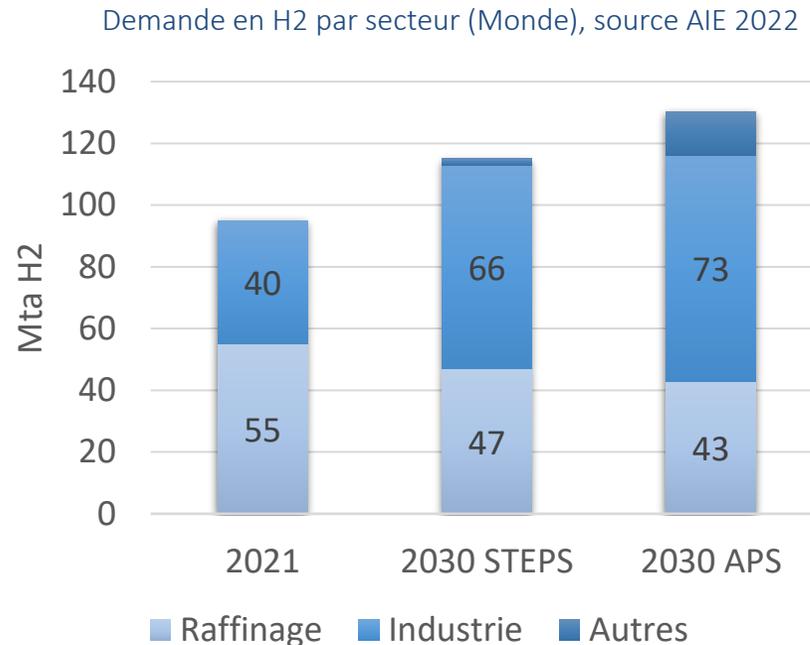
* Au 14 avril 2021

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

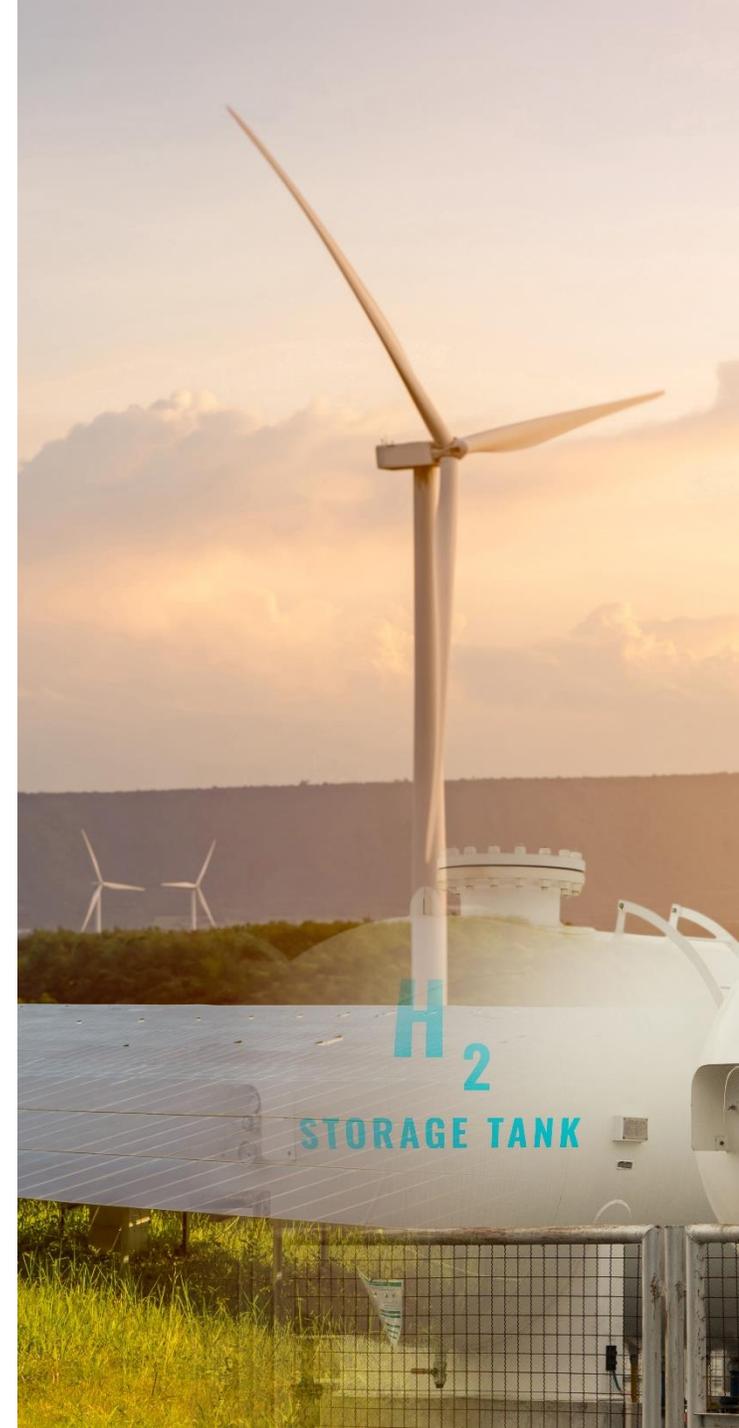


DEMANDE EN HYDROGÈNE (PRÉVISIONS AIE)



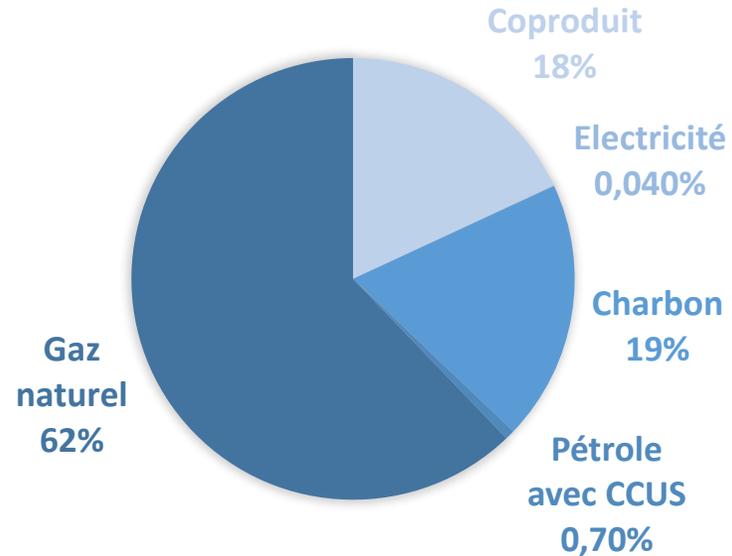
STEPS = Stated Policies Scenario; APS = Announced Pledges Scenario. *Autres* = transport, construction, production d'électricité, carburants, en mélange

- 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'H₂ 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)

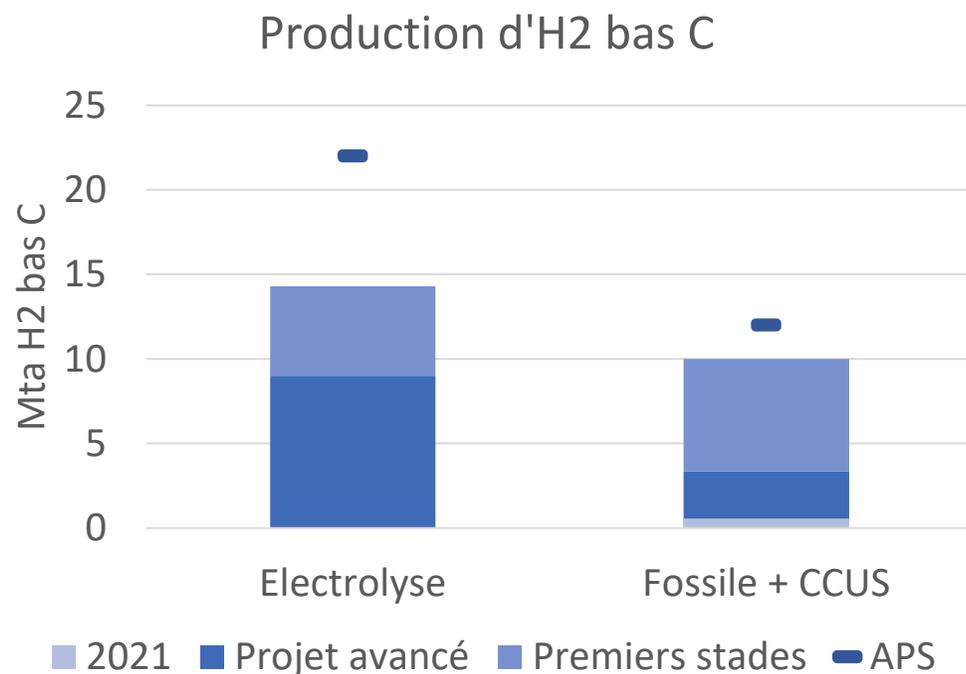
Mix de production d'H₂ en 2021 (Monde), source AIE 2022



- Un mix très carboné (99% fossile)
- 95 Mt par an associée à 900 Mt de CO₂
- 1 Mt d'H₂ bas C :
 - Principalement via des technologies CCUS
 - Seulement 35 kt via électrolyseur



PRODUCTION D'HYDROGÈNE BAS C

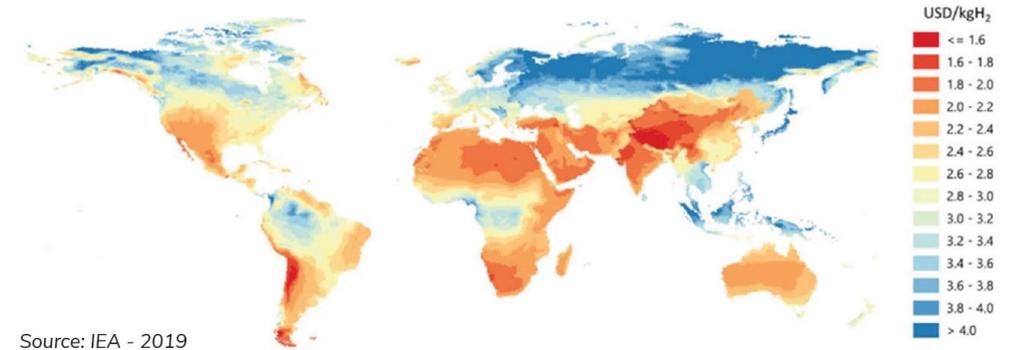


Perspectives de production mondiale d'hydrogène à faibles émissions de CO2 à l'horizon 2030, Source AIE 2022

- 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)



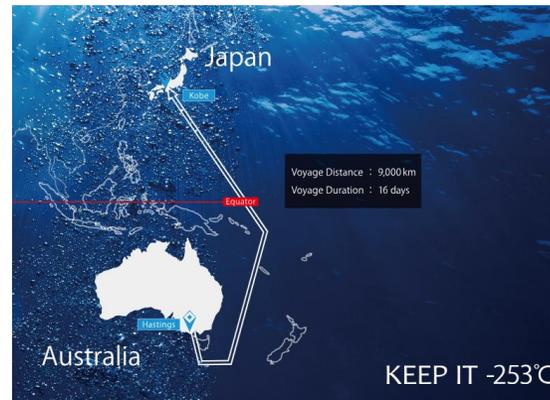
LES SOLUTIONS POUR LE TRANSPORT LONGUE DISTANCE (> 3000 KM)

LH₂

HYDROGÈNE LIQUÉFIÉ



AirLiquide 30tpj (Nevada)



Projet HESC Australie - JP
Suiso Frontier (75t LH₂)



Stockage 3200m³ (230t)

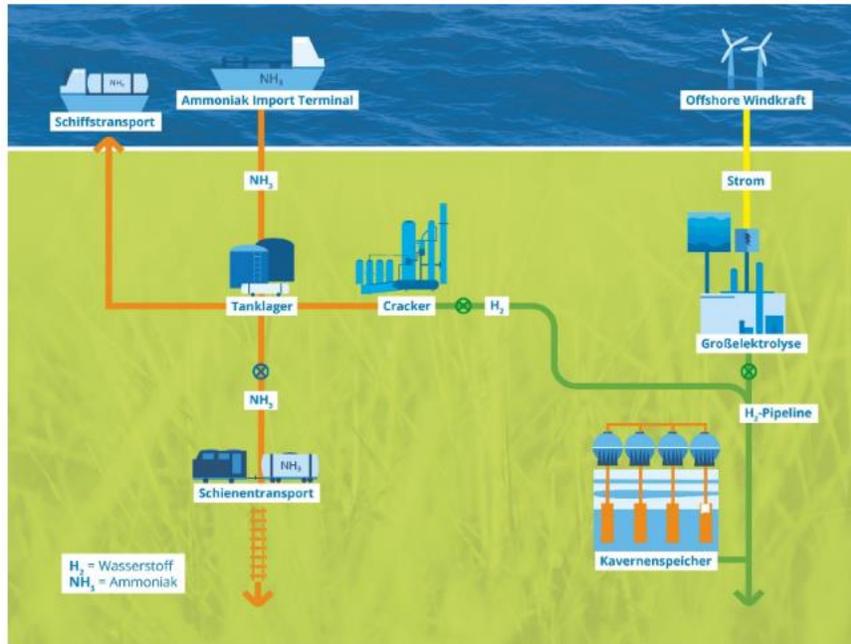


Stockage à 4700 m³

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



AMMONIAC



Projet Uniper (Green Wilhelmshaven)



ACE terminal (Green Wilhelmshaven)

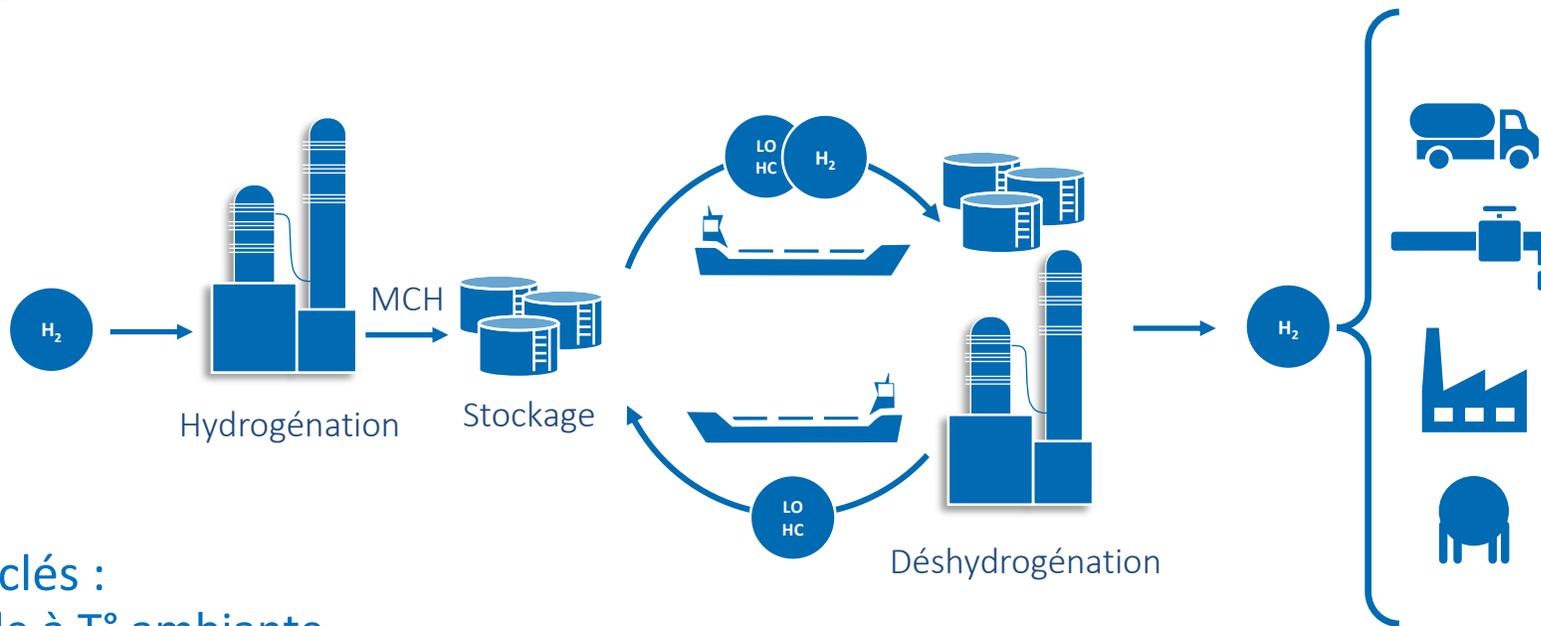
<https://www.aceterminal.nl/en>

<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° ambiante
- Facile à manipuler
- Utilisation d'infrastructure de transport et de stockage existante (bateaux, stockage)
- Risque faible

Stockage & transport

Compacité

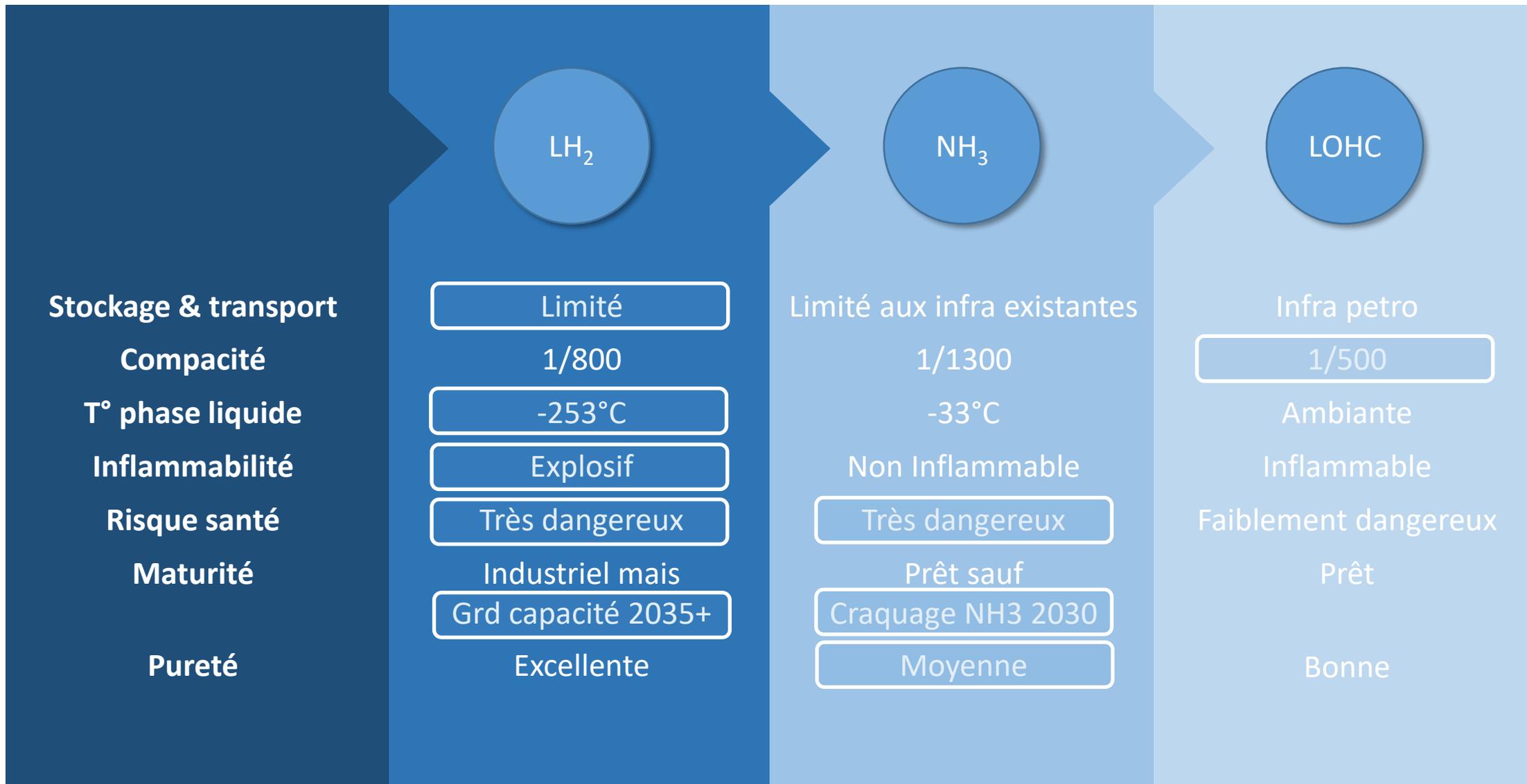
T° phase liquide

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

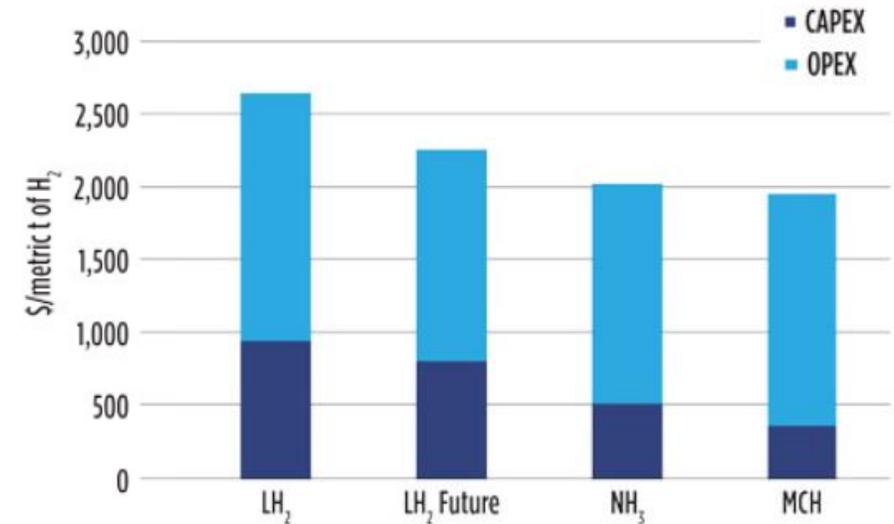


Fig. 1. Transport route for LNG produced at Ras Laffan, Qatar to regasification at Milford Haven, Wales, UK.

LA TECHNOLOGIE D'HYDROGÉNATION (LOHC)

● Hydrogénation du toluène



Une
technologie
mature et
économique

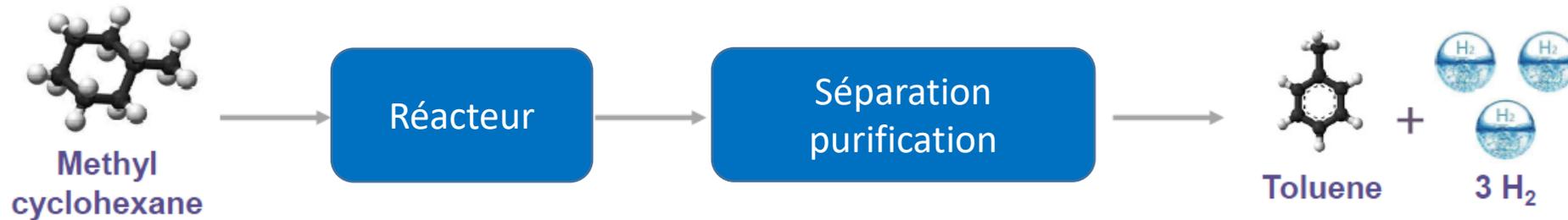
- 50 ans d'expérience
- Haute sélectivité
- 37 unités sur Benzène/Cyclohexane
- 50 % du marché mondial



Crédit : Axens

LA TECHNOLOGIE DE DÉSHYDROGÉNATION (LOHC)

● Déshydrogénation du méthyl-cyclohexane



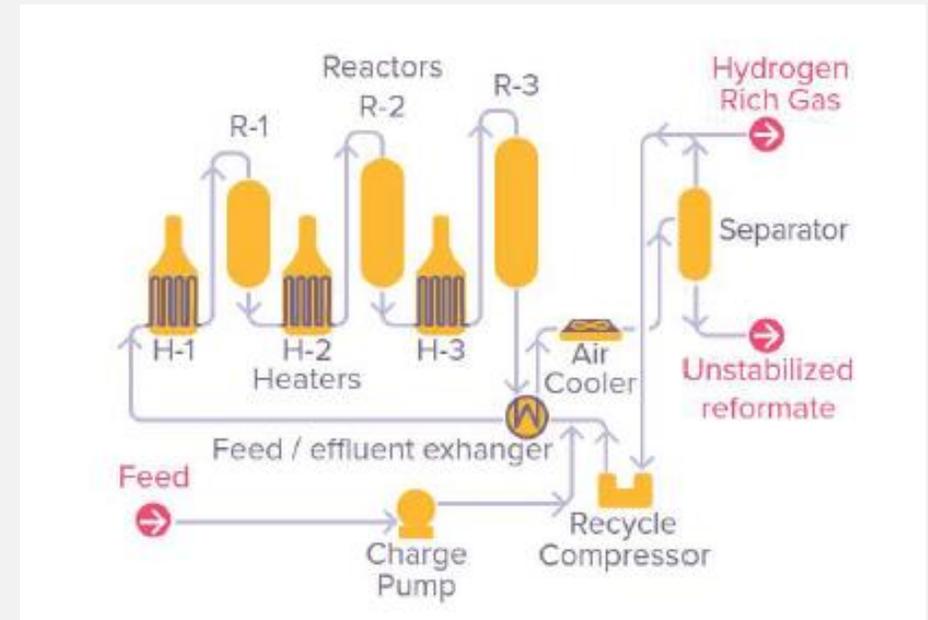
Réutilisation
des unités
existantes

- 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 CO₂:
 - Fours électriques
 - Captation du CO₂ des fumées (technologie DMX)



Crédit : Axens

PROJET EURO-QUEBEC, EN AVANCE SUR SON TEMPS

- Le projet EQHHPP, lancé en 1989. 1^{er} 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'H₂ si besoin

Innovater les énergies

Retrouvez-nous sur :

 www.ifpenergiesnouvelles.fr

 @IFPENinnovation

