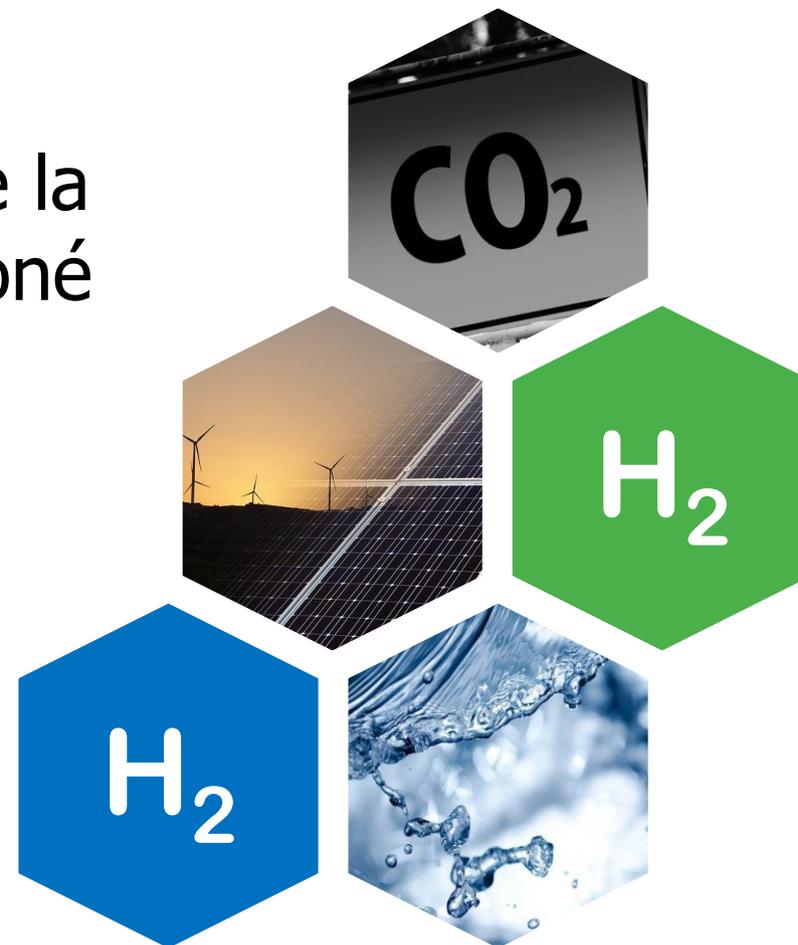




Schwartz and Co
Strategy Consulting

État des lieux et perspectives de la production d'hydrogène décarboné en Europe

Document public - 6 janvier 2021





Sommaire



Introduction

Chiffres clés de la production

Aperçu des projets en développement

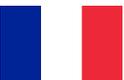
Perspectives et objectifs à moyen terme

Notre vision

Introduction

Cette publication vise à analyser la situation actuelle du marché de la production d'hydrogène décarboné en Europe et ses perspectives de croissance au regard des différents plans d'investissement annoncés

Enveloppes d'investissement destinées au développement de l'hydrogène

Zone/Pays	2020-2030
	94 à 118 Md€
	7 Md€
	9 Md€
	9 Md€

Contexte

- La Commission européenne et plusieurs pays européens ont détaillé courant 2020 des **plans destinés au développement de l'hydrogène décarboné**, s'accompagnant de **montants d'investissements significatifs**
- A titre d'exemple, en France, le montant total d'investissement prévu dans le plan hydrogène entre 2020 et 2030 est **du même ordre que le total des charges de services publics de l'énergie de l'année 2020***, ou encore le montant annuel moyen prévu est **supérieur à trois fois le montant annuel moyen du Fonds Chaleur** sur la période 2009-2016**
- Comment **se justifie** de tels investissements ? Quel est le **potentiel de développement** des différentes technologies ? Les **objectifs fixés dans ces plans sont-ils réalistes** ?

Objectif

- Ce document dresse le panorama de la situation actuelle de la production d'hydrogène décarboné en Europe, des principaux projets en développement et propose une vision des perspectives de croissance de cette filière dans les prochaines années



Sommaire

Introduction



Chiffres clés de la production

Capacités de production

Coûts de production

Aperçu des projets en développement

Perspectives et objectifs à moyen terme

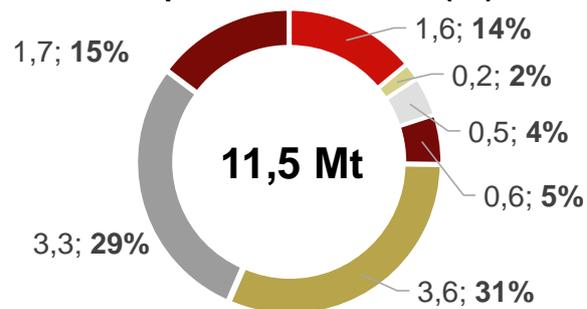
Notre vision

Chiffres clés de la production

Méthodes de production

La production d'hydrogène en Europe s'établit à 11,5 Mt en 2018 et est largement dominée par la part destinée à être utilisée directement sur le site de production

Production d'hydrogène en Europe par méthode de production en 2018 (Mt)



- Co-produit - production de coke
- Co-produit - production de chlore alcalin
- Co-produit - production d'éthylène et de styrène
- Production directe avec consommation sur site - raffinerie
- Production directe avec consommation sur site - ammoniac
- Production directe avec consommation sur site - méthanol et autres industries chimiques
- Production directe destinée à être livrée/consommée hors site

Source : Analyse Schwartz and Co sur la base de données de Clean Hydrogen Monitor 2020

Méthodes de production

- Deux méthodes de production d'hydrogène existent : « la production directe » qui consiste à former de l'hydrogène comme principal produit et la « co-production » qui consiste à émettre de l'hydrogène comme sous-produit
- La production d'hydrogène en 2018 s'établit à **11,5 Mt en Europe** (70 Mt au niveau mondial) et est largement **dominée par la production directe qui est consommée sur site** (65 % de la production totale)
- La production d'hydrogène pour un usage commercial s'élève à **1,7 Mt**, soit 15 % de la production totale. Cette part est dominée à 87 % par 4 acteurs : 
- Enfin, 20 % de l'hydrogène est co-produit lors de réactions chimiques de production de coke, d'éthylène, de styrène ou de chlore alcalin

Chiffres clés de la production

Technologies de production (1/2)

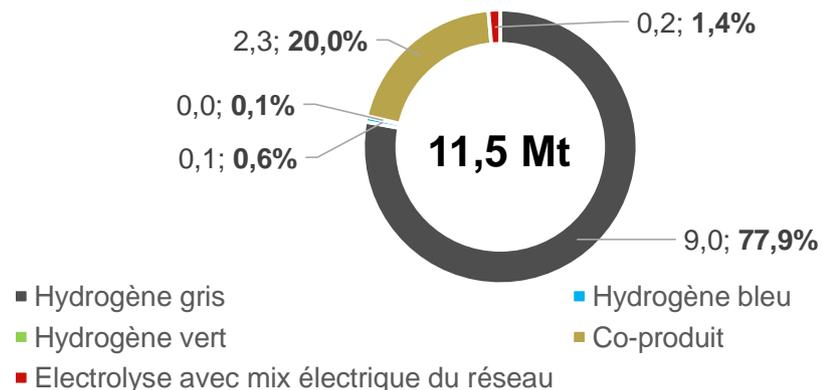
L'hydrogène produit actuellement en Europe est à plus de 78 % de l'hydrogène gris (97 % en excluant l'hydrogène co-produit). La production d'hydrogène faiblement carboné représente moins de 1 %.

Technologies de production

Selon la technologie de production (hors co-produit), l'hydrogène peut être classé en trois catégories :

- à partir de gaz naturel ou de charbon (par vaporeformage), on parle alors d'« **hydrogène gris** »
- à partir de gaz naturel et de charbon (par vaporeformage) avec un couplage à un système de captage et stockage de CO₂ (Carbon Capture, Use and Storage - CCUS), on parle dans ce cas d'« **hydrogène bleu** »
- à partir de l'électrolyse de l'eau, en utilisant de l'électricité issue de sources renouvelables, on parle alors d'« **hydrogène vert** ». Lorsque l'électricité utilisée est issue du réseau, celui-ci n'est a priori pas considéré comme de « l'hydrogène vert »

Production d'hydrogène en Europe par technologie de production en 2018 (Mt)



Source : Analyse Schwartz and Co sur la base de données de Clean Hydrogen Monitor 2020

Etat des lieux en Europe

- L'hydrogène produit en Europe est à plus de **78 %** de l'hydrogène gris (**97 %** en excluant l'hydrogène co-produit)
- La production d'hydrogène faiblement carboné représente au total **moins de 1 %** de la production totale (respectivement **0,6 % pour l'hydrogène bleu et 0,1 % pour l'hydrogène vert**)
- La production d'hydrogène à partir d'électrolyse utilisant le mix électrique du réseau a majoritairement lieu en Allemagne*

* L'Allemagne concentre 55 % de la capacité de production d'hydrogène à partir d'électrolyse de l'eau, Clean Hydrogen Monitor 2020

Chiffres clés de la production

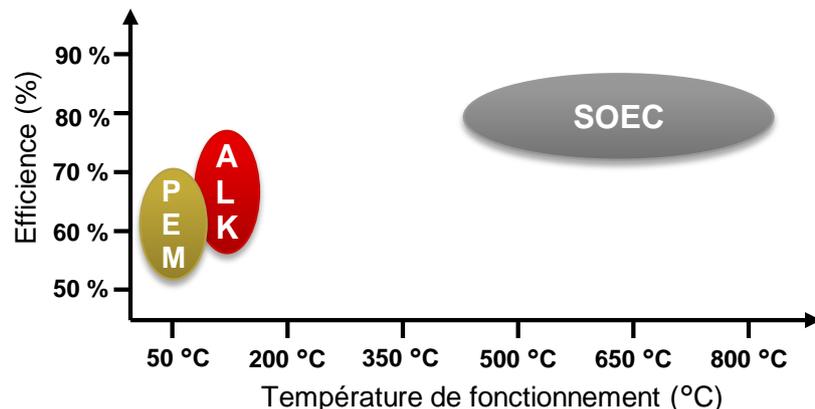
Technologies de production (2/2)

L'électrolyse de l'eau peut être réalisée principalement par trois techniques (alcaline, acide ou à haute température). Le captage du CO₂ est également effectué principalement par trois méthodes.



Electrolyse de l'eau

- L'électrolyse de l'eau consiste à séparer une molécule d'eau en hydrogène et en oxygène et nécessite de l'électricité
- Trois principaux types d'électrolyseurs sont utilisés et possèdent des caractéristiques propres :
 - **ALK** : l'électrolyse alcaline
 - **PEM** : l'électrolyse acide
 - **SOEC** : l'électrolyse à haute température



Captage du CO₂

- Le captage du CO₂ lors de la production d'hydrogène gris peut être effectuée par trois méthodes :
 - **La décarbonation** : élimination du CO₂ par une méthode amine (création des composés chimiques MDEA ou MDA) ou par une méthode carbonate chaud
 - **Le procédé PSA** : adsorption des composés les plus lourds, dont le CO₂, sur des lits de tamis moléculaires suivant le procédé PSA (pressure swing adsorption) qui utilise l'adsorption sélective des gaz sous pression
 - **Les membranes séparatives** : séparation du CO₂ du flux de gaz de synthèse à l'aide de membranes séparatives. Ces membranes microporeuses se comportent comme des barrières de quelques centaines de nanomètres à quelques millimètres d'épaisseur qui, sous l'effet d'une force de transfert, vont permettre ou non le passage de certains composants
 - **Le procédé CRYOCAP** : utilisation de la purification cryogénique pour séparer le CO₂ des gaz d'échappement.

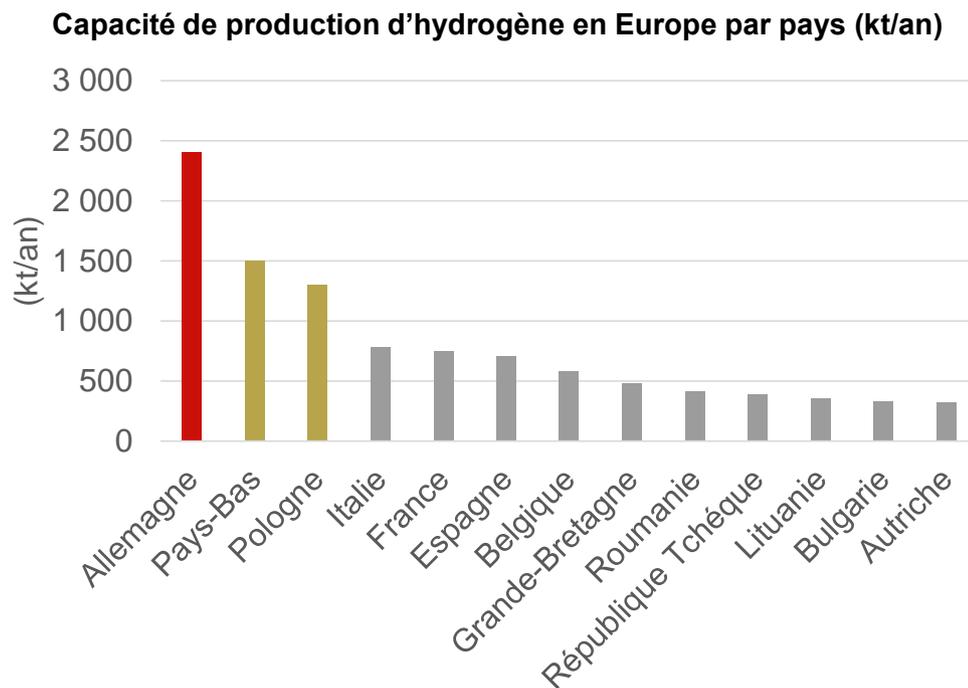


Chiffres clés de la production

Répartition entre les pays membres

L'Allemagne est le principal producteur d'hydrogène en Europe. Les Pays-Bas et la Pologne complètent le podium qui possède quasiment la moitié de la capacité totale.

Principaux pays producteurs



Source : Clean Hydrogen Monitor 2020

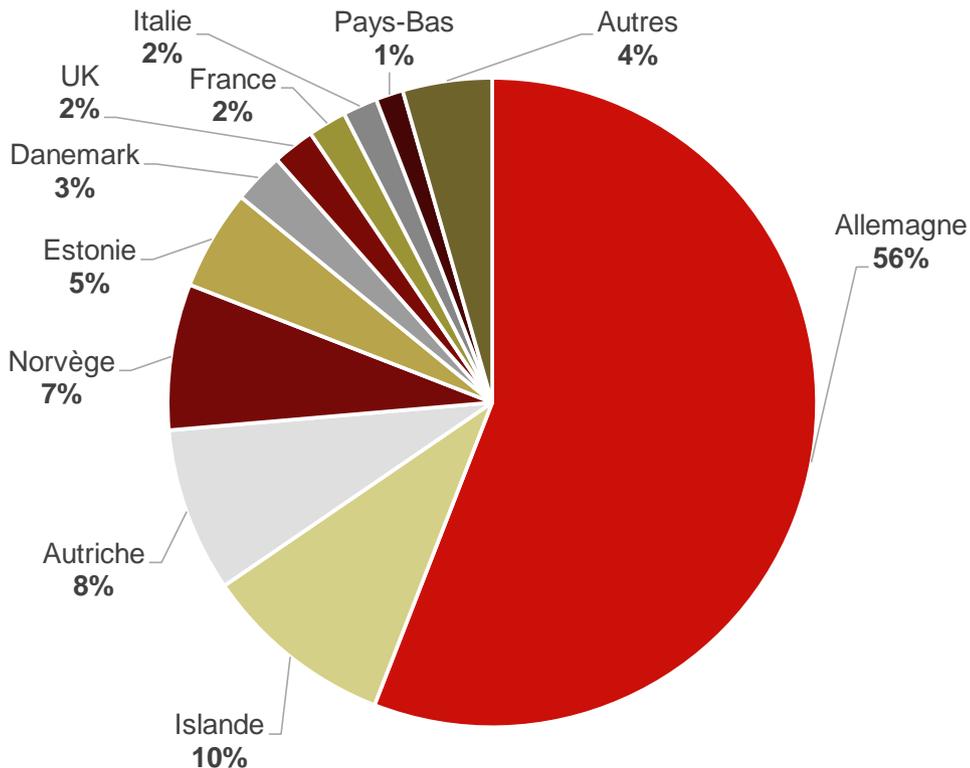
- L'Allemagne est le principal producteur d'hydrogène en Europe (avec près de 2,5 Mt/an), et ce quel que soit le type de production
- Les Pays-Bas et la Pologne complètent le trio (46 % de la production à eux trois) avec respectivement 1,5 Mt/an et 1,3 Mt/an. Notons que la Pologne possède un volume de capacité de production à usage commercial négligeable, contrairement à ces voisins.
- Enfin, l'Italie, la France, la Belgique et l'Espagne produisent des volumes d'hydrogène notables avec une moyenne de 0,7 Mt/an

Chiffres clés de la production

Focus sur les capacités d'hydrogène vert en fonctionnement

A fin 2018, une capacité de production d'hydrogène vert de 58 MW était en fonctionnement en Europe, dont plus de la moitié en Allemagne

Capacité de production d'hydrogène vert en Europe par pays (MW)



Source : Clean Hydrogen Monitor 2020

Etat des lieux

- A fin 2018, **70 projets** de production d'hydrogène vert étaient en fonctionnement en Europe pour une puissance cumulée de **58 MW**. La croissance observée sur les dernières années est de **+ 50 % par an**.
- Ces capacités sont pour la plus plupart des démonstrateurs
- Ces installations sont concentrées principalement en **Allemagne**, qui compte près de la moitié des unités, pour une puissance cumulée d'environ **32 MW**
- L'hydrogène produit par ses installations est utilisé en particulier comme carburant pour les véhicules électriques ou pour le stockage stationnaire d'électricité

Chiffres clés de la production

Focus sur les capacités d'hydrogène bleu en fonctionnement

A ce jour, nous identifions seulement deux installations industrielles de production d'hydrogène bleu en fonctionnement en Europe. Toutes les deux sont utilisées pour produire de l'hydrogène sur site, alimentant des raffineries.

Raffinerie Exxon à Port Jérôme (France)

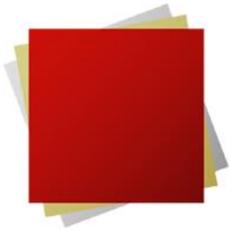


Air liquide produit de l'hydrogène bleu pour le compte d'une raffinerie d'Exxon. L'installation a une capacité d'environ **4500 kg/h d'hydrogène et utilise la technologie CRYOCAP**. L'utilisation de cette technologie capture plus de 97 % du CO₂ et augmente également la production d'hydrogène de 10 à 15 %. Le CO₂ capté et liquéfié est livré à l'industrie locale des boissons. L'installation est capable de capter jusqu'à **3 000 tonnes de CO₂ par jour**, mais actuellement, seulement 55 % environ de la capacité de captage du CO₂ est utilisée en raison d'une demande insuffisante de CO₂.

Raffinerie Shell à Rotterdam (Pays-Bas)



La raffinerie Shell à Rotterdam produit de l'hydrogène bleu qui est ensuite valorisé en tant que produit commercial par la société Linde (via sa filiale OCAP). **OCAP**, société créée en 2003 fournit du CO₂ aux serres entre Rotterdam et Amsterdam. L'atmosphère enrichie en CO₂ dans les serres favorise la croissance des plantes. Au total, environ **400 000 tonnes de CO₂** sont livrées à plus de 580 serres via un pipeline de transport de 97 kilomètres de long et un réseau de distribution d'environ 200 kilomètres de long.



Sommaire

Introduction



Chiffres clés de la production

Capacités de production

Coûts de production

Aperçu des projets en développement

Perspectives et objectifs à moyen terme

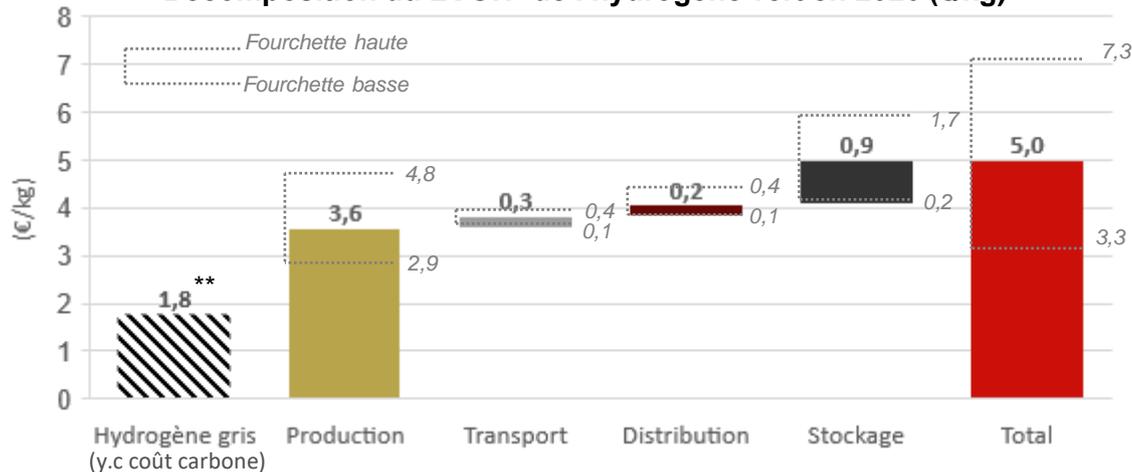
Notre vision

Chiffres clés de la production

Coût de production de l'hydrogène vert

Aujourd'hui, le coût de production de l'hydrogène vert (hors logistique) est estimé en Europe à environ 3,6 €/kg (avec une fourchette comprise entre 2,9 et 4,8 €/kg), soit le double du coût de production de l'hydrogène gris

Décomposition du LCOH* de l'hydrogène vert en 2020 (€/kg)



Activité	Principales hypothèses de sensibilités	
	Bas de la fourchette	Haut de la fourchette
Production	Sensibilité sur les coûts d'investissement, la durée de vie et l'efficacité	
Transport	Mise à niveau d'infrastructure existante	Nouvelle infrastructure spécifique
Distribution		
Stockage	Cavités saline	Cavités rocheuse ou ancienne champs gazier

Source : Analyse Schwartz and Co

Analyse et commentaire

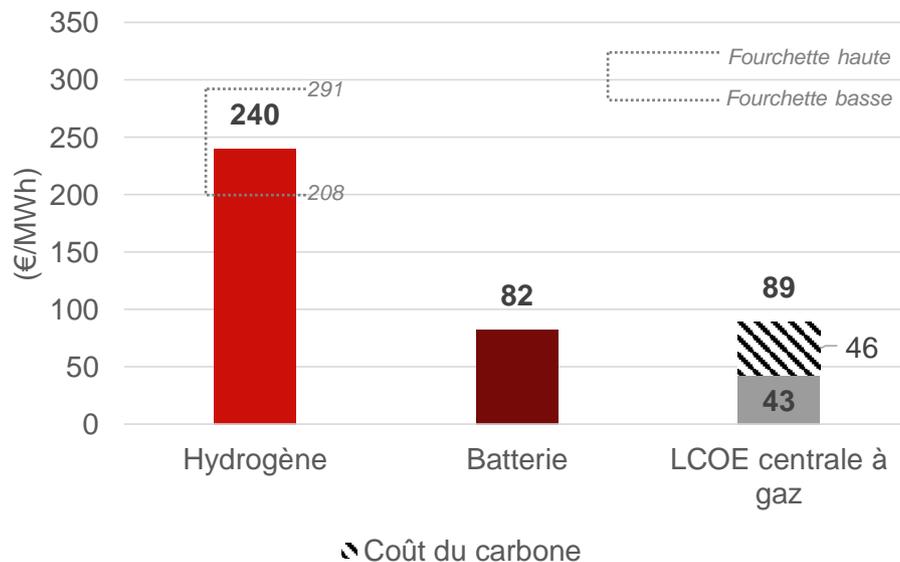
- Les coûts de production de l'hydrogène vert s'établissent en moyenne en Europe à environ **3,6 €/kg en 2020**. La fourchette sur les coûts d'investissements entraîne une fourchette des coûts de production entre **2,9 et 4,8 €/kg**.
- A titre de comparaison, les coûts de production de l'hydrogène gris (en prenant en compte le prix du CO₂) s'élèvent à environ **1,8 €/kg**
- Il est à noter que l'hydrogène gris est actuellement produit **majoritairement sur site** et ne nécessite pas de coûts significatifs de transport, de distribution et de stockage. A l'inverse, les modèles les plus efficaces de déploiement de l'hydrogène vert prévoient des **installations mutualisées** nécessitant des infrastructures de distribution, transport et stockage, soit un surcoût de l'ordre de **1,4 €/kg**

Chiffres clés de la production

L'hydrogène vert pour le stockage de l'électricité

Sur la base des coûts de production actuels de l'hydrogène vert, cette filière est loin d'être une solution économiquement viable pour le stockage de l'électricité

Coûts de stockage de l'électricité et de sa réinjection sur le réseau d'électricité en utilisant une pile à combustible et comparaison au LCOE d'une centrale CCGT



Source : Analyse Schwartz and Co ; coût de l'électricité à 50 €/MWh et coût du gaz naturel à 22€/MWh

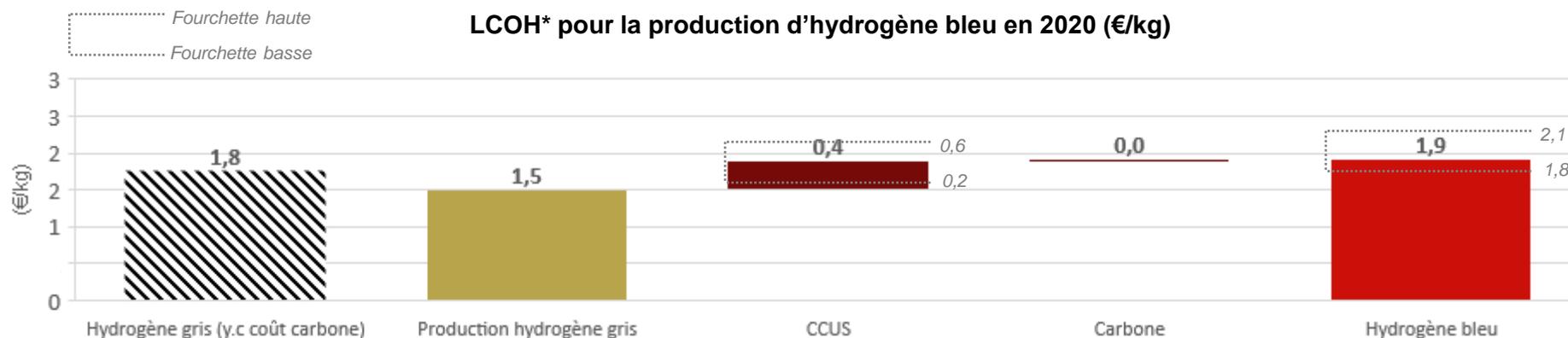
Analyse et commentaire

- Le stockage d'électricité par production et stockage d'hydrogène a un coût significativement plus élevé que les solutions technologiques alternatives : **240 €/MWh** pour l'hydrogène contre **82 €/MWh** pour les batteries et un LCOE d'une centrale à gaz à **89 €/MWh** (dont 46 €/MWh de coût du carbone, basé sur un coût moyen de la tonne de 115 € sur la durée de vie de 30 ans : 30 €/tonne en 2020 et 200 €/tonne en 2050)
- Nous avons notamment pris en compte dans les analyses les paramètres suivants : efficacité de chaque technologie, coût de l'énergie perdue lors des processus de stockage, actualisation des coûts sur la durée de vie de l'équipement, dégradation des performances de l'équipement au fil du temps.

Chiffres clés de la production

Coût de production de l'hydrogène bleu

En Europe, le coût de production de l'hydrogène bleu s'établit aujourd'hui à environ 1,9 €/kg (avec une fourchette comprise entre 1,8 et 2,1 €/kg), soit un niveau proche du coût de l'hydrogène gris après valorisation du CO₂ émis



Analyse et commentaire

Source : Analyse Schwartz and Co

- En Europe, le coût de production de l'hydrogène bleu s'établit en moyenne à environ **1,9 €/kg** avec une fourchette comprise entre **1,8 €/kg et 2,1 €/kg**, la variation étant principalement liée aux technologies de capture et de stockage du CO₂
- En considérant un prix de la **tonne de CO₂ à 30 €**, la borne basse de la fourchette de coût de production de **l'hydrogène bleu est compétitive avec le coût de production de l'hydrogène gris**
- La production d'hydrogène bleu peut se faire directement sur les sites de production d'hydrogène gris, par l'ajout de solutions de capture et de stockage de CO₂. Ainsi, **pour la production d'hydrogène sur site, les coûts de distribution, de transport et de stockage peuvent être négligés.**



Sommaire

Introduction

Chiffres clés de la production



Aperçu des projets en développement

Perspectives et objectifs à moyen terme

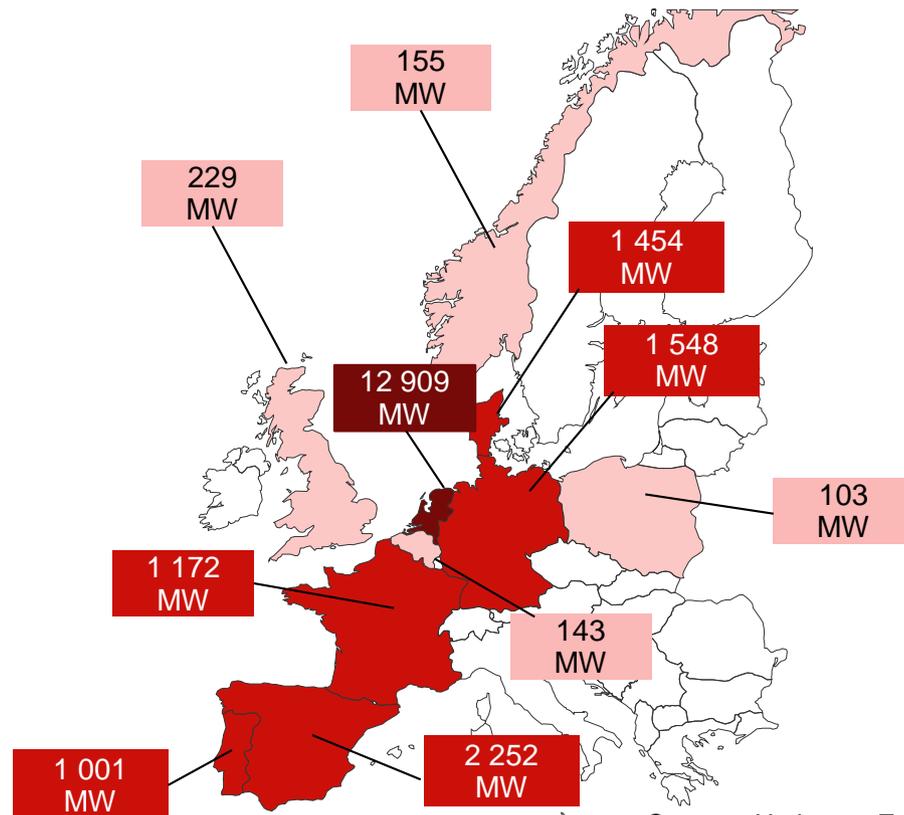
Notre vision

Aperçu des projets en développement

Hydrogène vert : vue d'ensemble

En Europe, le portefeuille de projets de production d'hydrogène vert en développement à ce jour, avec une mise en service prévue entre 2020 et 2040, est de près de 22 GW

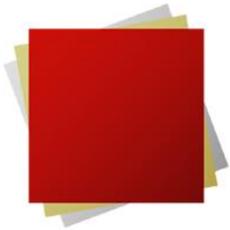
Portefeuille de projets de production d'hydrogène vert annoncés avec une mise en service entre 2020 et 2040



Source : Hydrogen Europe

Projets en développement

- En Europe, le portefeuille de projets de production d'hydrogène vert en développement à ce jour, avec une mise en service prévue entre 2020 et 2040, est de près de **22 GW**
- Les **Pays-Bas** sont le pays qui recense le plus de projets annoncés pour une mise en service prévue entre 2020 et 2040 avec un **total de 12,9 GW**, soit plus de la moitié de la capacité totale de la zone
- **L'Espagne, l'Allemagne, le Danemark, la France et le Portugal** complètent la marche avec un total de près de **7,5 GW** de capacités annoncées.



Aperçu des projets en développement

Hydrogène vert : exemples

Trois projets annoncés avec une mise en service d'ici 2023 et visant une capacité de plus de 100 MW ont été identifiés en France, en Allemagne et au Danemark



Deux projets, avec une mise en service prévue en **2023**, d'une puissance unitaire de **200 MW** sont actuellement portés par H2V : H2V Normandy, à Port-Jérôme-sur-Seine, vise les besoins de raffineurs et fabricants d'engrais de la région havraise et H2V 59, à Dunkerque, cible l'introduction d'hydrogène dans le réseau de gaz naturel. Le premier serait alimenté par de l'électricité renouvelable issue de multiples sources, alors que le projet de Dunkerque devrait utiliser l'électricité du futur parc éolien offshore.



Le projet Hybridge consiste en la construction d'une usine de production d'hydrogène vert de **100 MW** dans le sud de la région d'Emsland. Ce projet s'accompagne de la conversion d'une conduite de gaz naturel existante pour un transport d'hydrogène pur. Ce projet est porté par Amprion et Open Grid Europe. Le coût du projet est estimé à **150 millions d'euros pour une mise en service en 2023**.



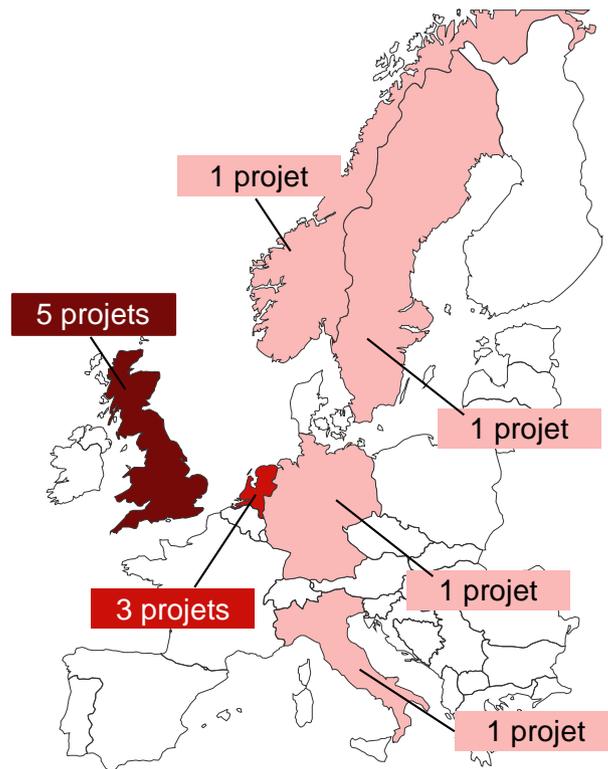
Le projet de l'entreprise Everfuel consiste à construire une usine de production d'hydrogène vert sur le site de la raffinerie de Frederica Harbour appartenant à Shell. Ce projet vise à terme une capacité de production de **1 GW**, mais devrait débuter par une première tranche de **20 MW** qui devrait être **mise en service en 2022**. L'électricité renouvelable utilisée serait d'origine éolienne.

Aperçu des projets en développement

Hydrogène bleu : vue d'ensemble

En Europe, 12 projets d'une capacité importante de production d'hydrogène bleu (> 1 GW) sont actuellement en développement, avec une concentration au Royaume-Uni

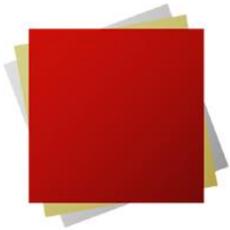
Capacités de production d'hydrogène bleu annoncées avec une mise en service entre 2020 et 2040



Source : Hydrogen Europe

Projets en développement

- En Europe, **12 projets d'une capacité importante de production d'hydrogène bleu (> 1 GW)** sont actuellement en développement, dont 5 au Royaume-Uni et 3 aux Pays-Bas
- Ces projets s'accompagnent pour la plupart de la **transformation du paysage énergétique de toute la zone environnante à ces projets**, impliquant l'émergence de nouveaux usages et d'infrastructures de transport et de distribution
- Les projets de développement de capacité de production d'hydrogène bleu de plus petite taille (notamment la conversion de capacité de production d'hydrogène gris sur un site industriel) ne font pas systématiquement l'objet d'annonce publique



Aperçu des projets en développement

Hydrogène bleu : exemples

Le projet H21 au Royaume-Uni est le projet de production d'hydrogène bleu le plus ambitieux actuellement en développement dans le monde avec une capacité cible de 12,5 GW



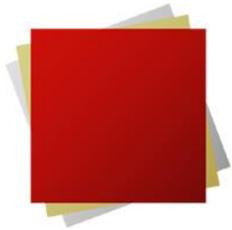
Le projet H21 au Royaume-Uni est le projet de production d'hydrogène bleu le plus ambitieux actuellement en développement dans le monde avec une capacité cible de **12,5 GW**. Ce projet a pour but de démontrer la faisabilité technique et économique de la conversion du réseau de gaz naturel actuel du Royaume-Uni à un réseau à **100 % d'hydrogène bleu**. Une première estimation du budget total nécessaire à la conversion du réseau de gaz naturel existant du Royaume-Uni en réseau à hydrogène bleu s'élève à **22,7 Md£**.



Le projet Porthos est un projet de capture et de valorisation des émissions de CO₂ à grande échelle dans la zone portuaire de Rotterdam. Ce projet a pour but d'équiper des installations existantes émettrices de CO₂, dont en particulier des usines de production d'hydrogène gris par des solutions de capture du carbone. Début octobre 2020, l'Union européenne a proposé de financer ce projet à hauteur de **102 millions d'euros (pour un coût total estimé de 450 à 500 millions d'euros)**.



Le projet H-Vision vise à produire de l'hydrogène bleu à Rotterdam d'ici 2025, avec une augmentation de la capacité à 2030. L'objectif est de développer une nouvelle infrastructure de production d'hydrogène à partir de gaz naturel, couplé à une solution de capture du carbone d'une puissance de **3 200 MW** (environ 20 % de la demande énergétique de l'industrie dans la zone portuaire). Ce projet permettrait de réduire les émissions de CO₂ d'environ **2,2 millions de tonnes d'ici 2026 et 4,3 millions de tonnes d'ici 2031**.



Sommaire

Introduction

Chiffres clés de la production

Aperçu des projets en développement



Perspectives et objectifs à moyen terme

Capacités de production

Coûts de production

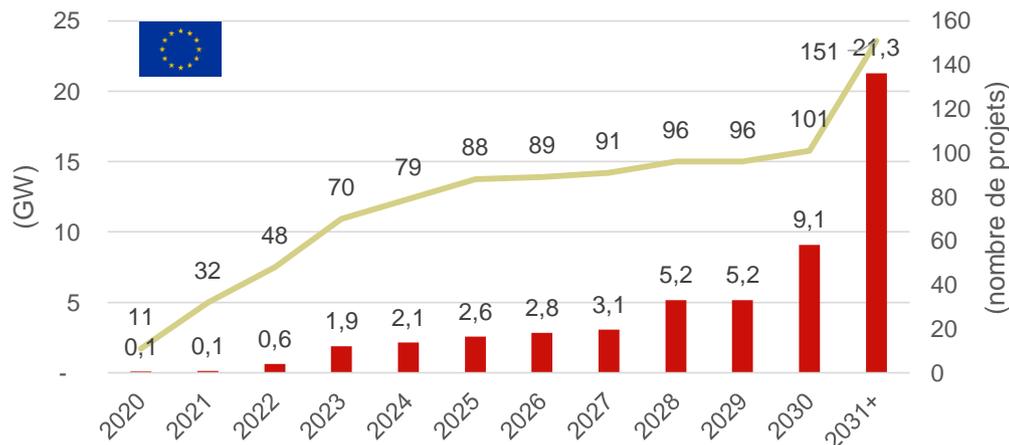
Notre vision

Perspectives et objectifs à moyen terme

Europe

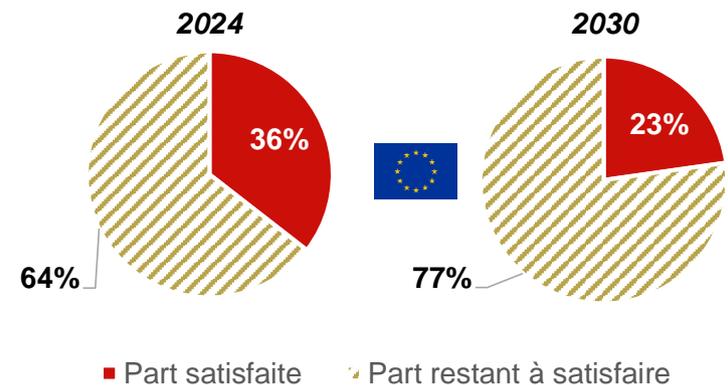
La Commission européenne fixe un objectif de 6 GW de capacité de production d'hydrogène vert sur son territoire en 2024 et de 40 GW en 2030, mais ne fixe pas d'objectif pour le développement de l'hydrogène bleu

Pipeline de projets de production d'hydrogène vert en phase de développement par année prévisionnelle de mise en service



Source : Analyse Schwartz and Co sur la base de données de Hydrogen Europe

Pipeline de projets actuellement en développement vis-à-vis des objectifs européens



Plan de la Commission européenne

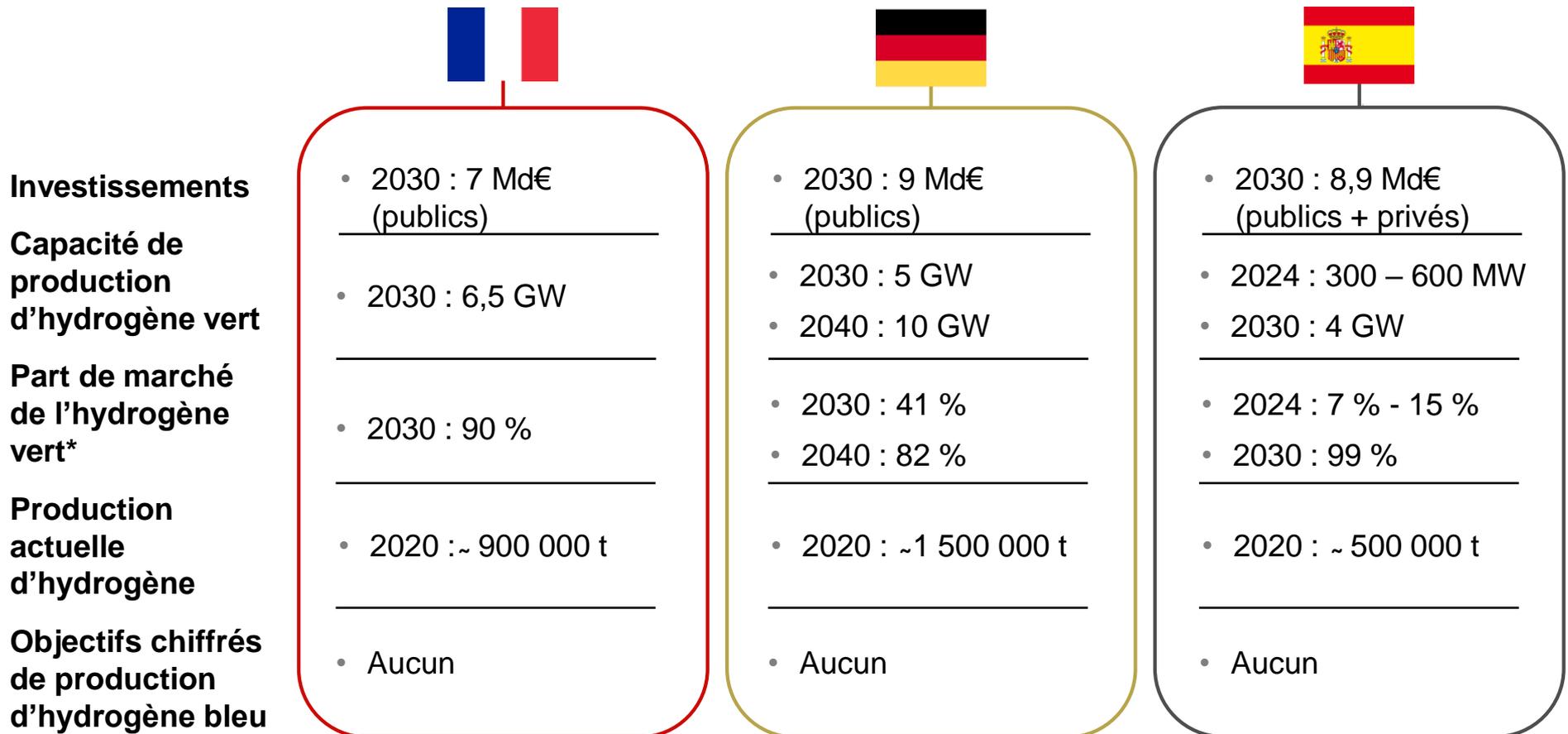
- La Commission européenne a présenté en juillet 2020, un plan de développement de l'hydrogène à l'horizon 2030
- Ce plan fixe le développement prioritaire de l'hydrogène vert, par rapport à l'hydrogène bleu avec des objectifs chiffrés :
 - 2024 : à minima **6 GW de capacité de production d'hydrogène vert** installée en Europe
 - 2030 : à minima **40 GW de capacité de production d'hydrogène vert installée en Europe** et 40 GW de capacité de production d'hydrogène vert installée aux abords de l'Europe, dédiées à l'exportation vers l'Europe
- Les capacités de production d'hydrogène bleu sont également incitées à se développer, mais **aucun objectif chiffré n'est présenté**



Perspectives et objectifs à moyen terme

France, Allemagne et Espagne

Plusieurs pays européens ont adopté en 2020 un plan de développement de l'hydrogène décarboné. La capacité cible de production d'hydrogène vert en 2030 est fixée à 6,5 GW en France, 5 GW en Allemagne et 4 GW en Espagne.





Sommaire

Introduction

Chiffres clés de la production

Aperçu des projets en développement



Perspectives et objectifs à moyen terme

Capacités de production

Coûts de production

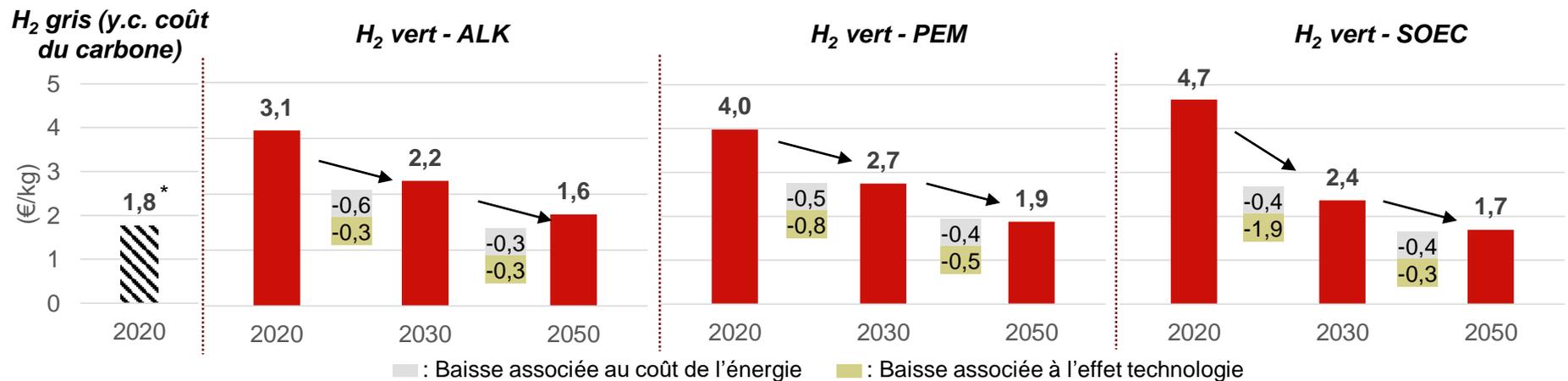
Notre vision

Perspectives de baisse des coûts de production

Hydrogène vert

Sans évolution significative du coût du CO₂, la baisse des coûts du PV et de l'éolien et la baisse des coûts des électrolyseurs ne permettraient de rendre l'hydrogène vert compétitif par rapport à l'hydrogène gris qu'à l'horizon 2050

LCOH de la production d'hydrogène vert en fonction de la technologie et de l'année de mise en service



Source : Analyse Schwartz and Co

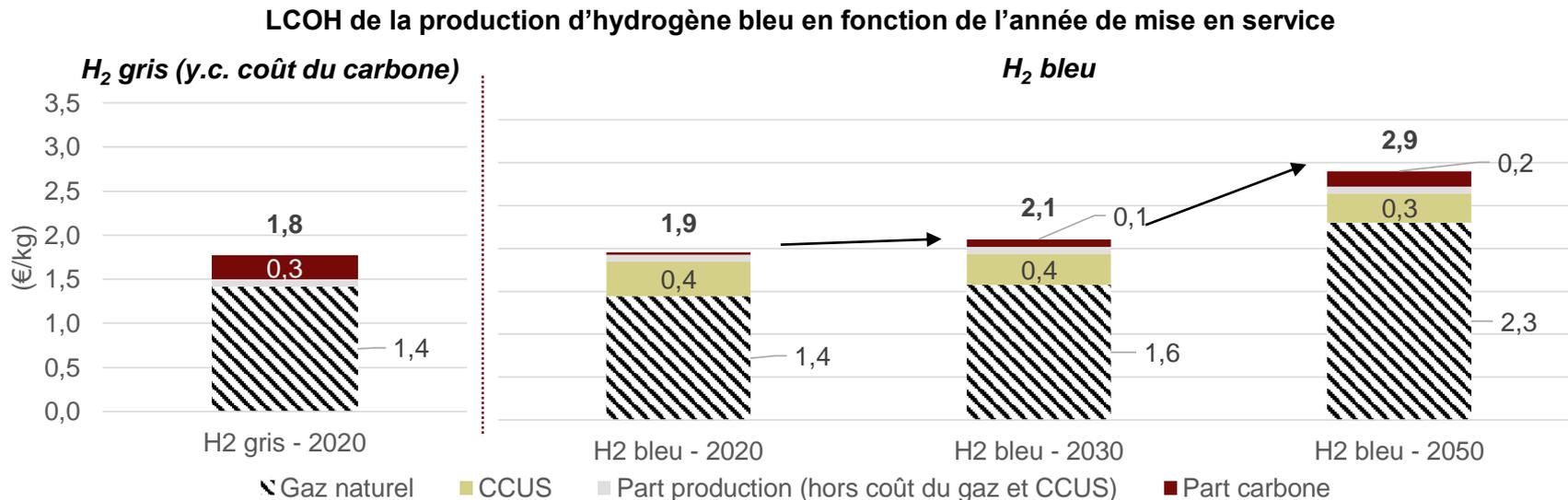
Explications

- Le LCOH de production de l'hydrogène vert est dépendant de **la technologie utilisée, de l'année de mise en service de l'installation et du prix de l'électricité renouvelable**
- Nous avons estimé la baisse du LCOH de production de l'hydrogène vert en considérant des installations industrielles d'une puissance de 100 MW, fonctionnant 4 500 heures par an, avec un approvisionnement en électricité renouvelable via un contrat PPA
- La baisse du LCOH de production de l'hydrogène vert est due, dans **des proportions relativement similaires, à la baisse du coût de l'électricité renouvelable et à la maturité des technologies** (baisse des coûts d'investissements, augmentation de la durée de vie du stack et augmentation de l'efficacité), à l'exception de la baisse prévue entre 2020 et 2030 pour la technologie SOEC

Perspectives de baisse des coûts de production

Hydrogène bleu

A moyen et long terme, le coût de production d'hydrogène bleu évoluera principalement du fait de l'évolution du prix du gaz naturel, avec une tendance à la hausse



Source : Analyse Schwartz and Co

Explications

- La composante de coût principale du LCOH de la production d'hydrogène bleu est le prix de marché du gaz naturel. Les prix du marché de gros du gaz naturel étant amenés à évoluer à la hausse à moyen et long terme, **le LCOH de la production d'hydrogène bleu devrait également augmenter.**
- Les technologies de production d'hydrogène bleu sont **des technologies matures pour lesquelles il est peu probable de constater une baisse importante** des coûts d'investissement dans les prochaines années. Bien que celle-ci devrait être d'environ **10 % entre 2020 et 2030 puis d'environ 5 % entre 2030 et 2050***, son impact sur le coût global est quasiment négligeable



Sommaire

Introduction

Chiffres clés de la production

Aperçu des projets en développement

Perspectives et objectifs à moyen terme



Notre vision



Notre vision

Enjeux et perspectives

Bien que l'hydrogène bleu présente aujourd'hui un coût plus faible, l'hydrogène vert a un potentiel de développement plus prometteur, lui permettant de devenir à l'horizon 2050 compétitif et capable de décarboner l'ensemble des usages



- L'hydrogène bleu est à ce jour la technologie décarbonée la plus mature et la plus viable économiquement avec un surcoût acceptable par rapport à l'hydrogène gris
- L'hydrogène vert a un coût actuel qui est égal quasiment au **double du coût de l'hydrogène gris**. Cette technologie est néanmoins prometteuse avec un **potentiel significatif de baisse des coûts** à moyen/long terme



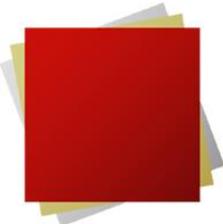
- Le développement de l'hydrogène décarboné, en particulier vert, nécessitera un **support financier important** pendant les premières phases. Cette condition pourra être satisfaite en Europe **grâce aux enveloppes prévues dans les plans annoncés**
- Ce contexte constituera **une opportunité concrète** dont les énergéticiens, parmi d'autres industriels, devront se saisir pour proposer de nouveaux services et développer leurs activités



- **Les coûts de production de l'hydrogène vert diminueront à un rythme de l'ordre de -2 % à -3,5 % par an** entre 2020 et 2050 du fait du gain de maturité technique, de l'effet d'échelle et de la baisse attendue des coûts de production d'électricité renouvelable, pour **atteindre à l'horizon 2050 des coûts compétitifs avec ceux de l'hydrogène gris**
- Les coûts de production de l'hydrogène bleu devraient au contraire augmenter sans présenter de gain compétitif significatif supplémentaire.



- L'hydrogène décarboné vert permettra à l'horizon 2050 de **décarboner tous les usages historiques** de l'hydrogène (industrie) et de **répondre à la consommation des nouveaux usages**
- Parmi les nouveaux usages, le **stockage d'électricité** nous paraît **peu prometteur**, la **mobilité** pourra toutefois représenter un **potentiel significatif**



Les auteurs



Hugo Jennequin est consultant au bureau parisien de Schwartz and Co.

Il est spécialisé dans le conseil aux acteurs du secteur de l'énergie. Il a contribué à différentes missions clés en lien avec les thématiques de la transition énergétique, en particulier le développement des énergies renouvelables et du stockage de l'électricité.

Il est ingénieur diplômé de Grenoble INP et de Grenoble Ecole de Management.



Meher Ben Marzouk est Manager, responsable France du cabinet Schwartz and Co.

Il est spécialisé dans le conseil aux acteurs du secteur de l'énergie et du transport depuis plusieurs années. Il a réalisé en particulier de nombreuses missions stratégiques dans les domaines des réseaux d'électricité et de gaz et des carburants alternatifs pour des acteurs publics et privés.

Il est ingénieur diplômé de l'Ecole Polytechnique et MINES ParisTech.

Schwartz and Co, en bref

Schwartz and Co est un cabinet international de conseil en stratégie et management fournissant des prestations à fort contenu métier dans les secteurs de l'énergie, de l'eau et des transports. Le cabinet est implanté à Paris, Luxembourg (siège groupe), Lausanne, Bruxelles et Londres et intervient dans toute l'Europe, et au-delà. Schwartz and Co a réalisé plus de 400 missions de conseil depuis sa création en 2009 et produit sur fonds propres de nombreuses publications.



Annexe

Données et hypothèses clés

Données utilisées	Sources
Coût d'investissement des électrolyseurs	Hydrogen generation in Europe: Overview of costs and key benefits, Commission européenne, juillet 2020
Coût actualisé du transport, de la distribution et du stockage de l'hydrogène vert	Hydrogen generation in Europe: Overview of costs and key benefits, Commission européenne, juillet 2020
Coût de production de l'hydrogène gris et de l'hydrogène bleu	A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe, Commission européenne, juillet 2020
Coût des technologies de stockage de l'électricité	Analyse Schwartz and Co
Autres données	IEA, IRENA, ADEME, Hydrogen Europe, Plans nationaux de développement de l'hydrogène

Hypothèses retenues	2020	2030	2050	Source
Prix du carbone (€/t)	30	100	200	Analyse Schwartz and Co
Prix de l'électricité renouvelable à travers un PPA (€/MWh)	50	40	30	Analyse Schwartz and Co
Prix du marché de gros du gaz naturel (€/MWh)	9	24	29	Analyse Schwartz and Co



Schwartz and Co

Strategy Consulting



Schwartz and Co Paris
78 avenue Raymond Poincaré
F-75116 Paris
Tel : +33 (0)1 75 43 53 40
Fax : +33 (0)1 75 43 53 49

Schwartz and Co Luxembourg
3 Place d'Armes
L-1136 Luxembourg
Tel : +352 278 60 400
Fax : +352 278 61 237

Schwartz and Co Lausanne
Rue de Bourg, 30
CH-1003 Lausanne
Tel : +41 (0)215 881 524

Schwartz and Co Bruxelles
Avenue Louise, 523
B-1050 Bruxelles
Tel : +32 2 669 07 13
Fax : +32 2 627 47 37

Schwartz and Co Londres
Formations House, 85 Great Portland
Street
London W1W 7LT
Tel : +44 (0)20 3879 4232

info@schwartz-and-co.com
www.schwartz-and-co.com

