

2020

# Étude de cas Hydrogène - Production décentralisée pour un usage industriel.

Club H<sub>2</sub> de Sia Partners

**sia**partners  
Pioneer of Consulting 4.0

Climate  
Analysis  
Center | CONSULTING  
FOR GOOD



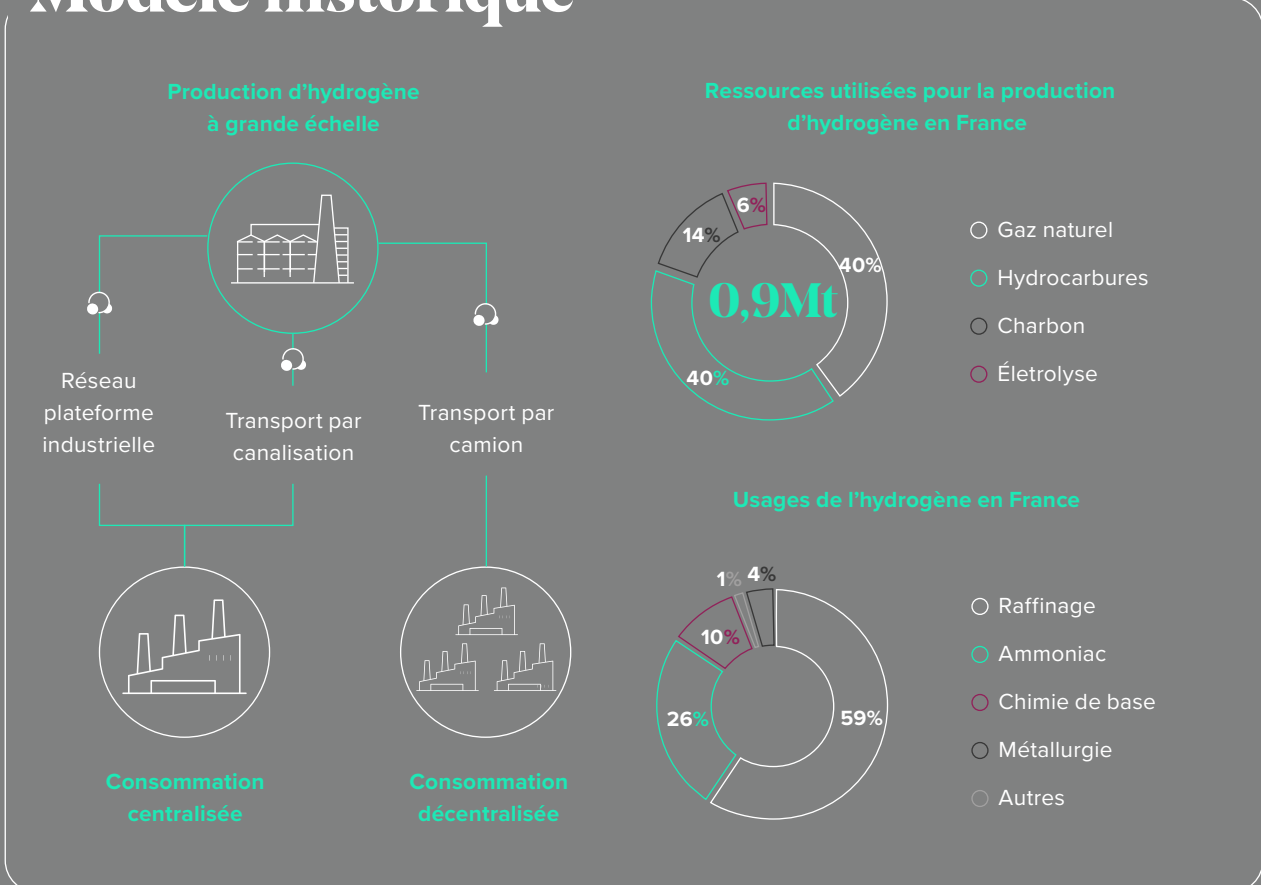
# Production décentralisée d'hydrogène : un nouveau paradigme pour la filière.

La filière centenaire de production d'hydrogène se structure aujourd'hui selon un modèle de production centralisé, du fait de l'efficacité des unités de grandes puissances et d'un marché très majoritairement tourné vers des industries requérant de grands volumes. Le modèle centralisé s'avère pénalisa-

tion pour les industriels consommant de faibles volumes, qui voient les coûts de compression, de transport et de stockage décentralisé se refléter de manière conséquente dans leurs coûts d'approvisionnement en hydrogène. Les avancées techniques autour de nouveaux moyens de production

décentralisés laissent toutefois envisager à terme de nouvelles logiques d'organisation, plus proches des consommateurs. Des évolutions de nature à renforcer la compétitivité des industries consommatrices et à accélérer le déploiement de l'hydrogène en faveur de la transition énergétique.

## Modèle historique



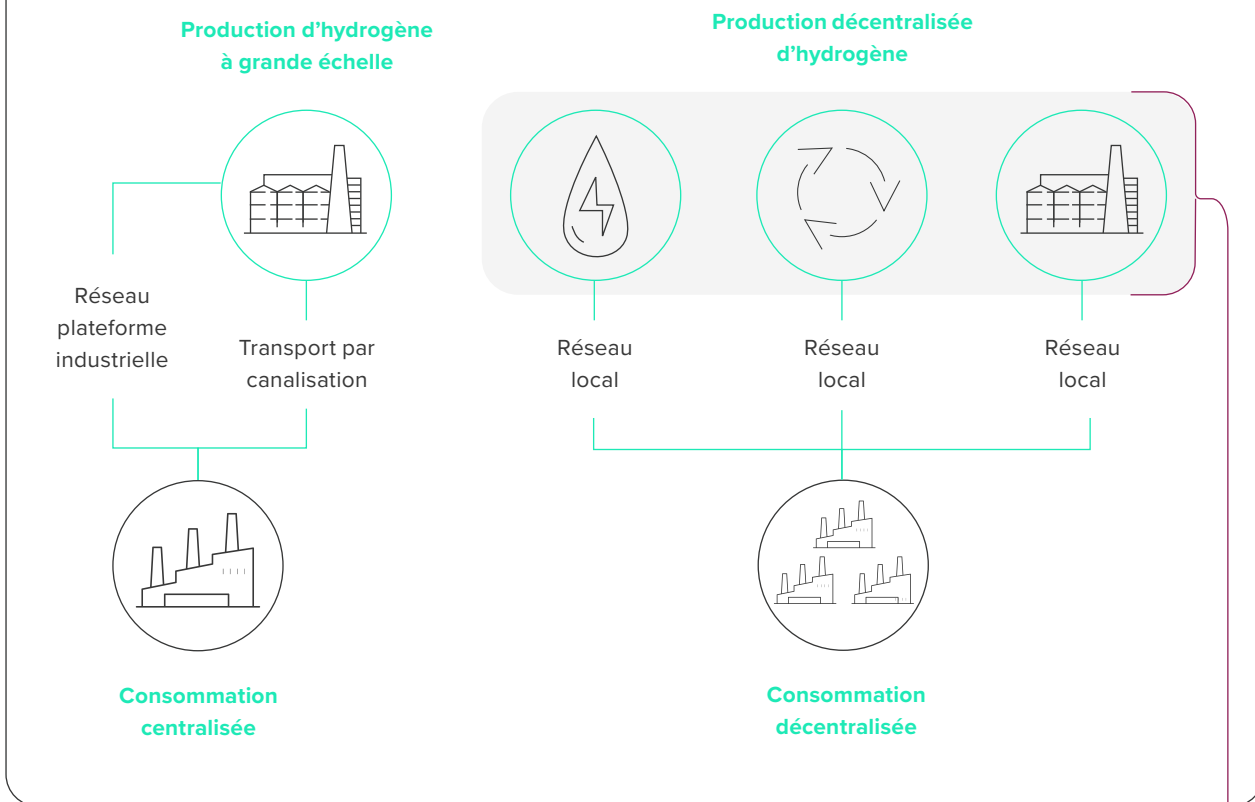
Coût de production par vaporeformage du méthane :




1 – 2,5 €/kgH<sub>2</sub>

Prix de vente auprès des consommateurs décentralisée

8 – 20 €/kgH<sub>2</sub>

# Nouveau modèle prospecté



-  - Electrolyse de l'eau
-  - Procédés biologiques et thermochimiques de valorisation de la biomasse et des déchets
-  - Micro-unités de vaporeformage de méthane (gaz naturel / biométhane)

## Leviers de transformation clés.

- Maîtrise des coûts de production et de transport,
- Production décarbonée,
- Valorisation de ressources locales.

# Notre cadre d'expérimentation : production décentralisée pour des usages industriels diffus.

Sia Partners propose d'illustrer le potentiel de développement de ces nouvelles logiques de production d'hydrogène, à travers une étude de cas appliquée à un usage de l'hydrogène pour une production de verre plat.

## Usages industriels décentralisés de l'hydrogène

- Verre** : atmosphère réductrice, polissage
- Alimentation** : fabrication d'huiles hydrogénées
- Métallurgie** : traitement thermique des métaux
- Electronique** : traitement thermique
- ...

## Focus - Industrie du verre plat :

En mélange avec de l'azote, création d'une atmosphère réductrice lors de la solidification du verre dans un bain d'étain, afin d'éviter les phénomènes d'oxydation

# Cas d'usage testé : production locale d'hydrogène pour un verrier.

## Caractéristiques des besoins en hydrogène du producteur de verre



**600 tonnes**  
de verre plat produites  
par jour



**99,5 tonnes**  
d'hydrogène consommées  
par an

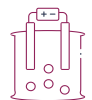


**Profil de consommation  
en hydrogène continu**

## Modalités retenues pour une production décentralisée d'hydrogène



Mode de production  
**Electrolyse de l'eau**



Technologie utilisée  
**Electrolyseur Alcalin**



Origine électricité  
**Réseau électrique,  
Prix SPOT**

Hypothèses détaillées : Rendement = 56 kWh/kgH<sub>2</sub> (ADEME), Coût CAPEX électrolyseur = 1100 €/kWe (FCH JU), Coût CAPEX stockage = 470 €/kgH<sub>2</sub> (FCH JU) avec hypothèse d'augmentation des besoins en stockage avec la taille de l'électrolyseur, Autres CAPEX (raccordement réseau électrique, études d'ingénierie, compresseur pour le stockage, ...) = 35% CAPEX électrolyseur et stockage, Durée de vie Stack = 80 000 heures, Coût OPEX remplacement Stack = 385 €/kWe lors de chaque remplacement (FCH JU), Coûts maintenance et autres OPEX = 4% CAPEX par an (FCH JU), Trajectoire d'évolution du prix de l'électricité (Analyse Sia Partners x ADEME & ARTELYS)

# Un cadre créateur de valeur pour le producteur et le consommateur d'hydrogène.

Le modèle de simulation des coûts de production d'hydrogène construit par Sia Partners démontre la compétitivité de l'hydrogène produit de manière décentralisée, pour le cas d'usage retenu.

## Coût moyen de l'hydrogène (€/kgH<sub>2</sub>)



Fourchette basse des prix de l'hydrogène aujourd'hui livrés aux petits consommateurs

## Les composantes du coût moyen.

### CAPEX

Dimensionner l'électrolyseur au plus près des besoins du verrier permet de minimiser les CAPEX dans les équipements de production et de stockage d'hydrogène.

### Achat d'électricité

À l'inverse, un surdimensionnement de l'électrolyseur offre la possibilité de produire de grandes quantités d'hydrogène durant les heures où les prix SPOT de l'électricité sont les plus bas.

## Optimum observé : 1800 kWe.

Une unité de 1800 kWe apporte l'équilibre le plus avantageux entre minimisation des CAPEX et production sur un temps réduit. Sur 20 ans, le CAPEX représente alors 32% du coût moyen de l'hydrogène et l'achat d'électricité 49%.



# Quels enseignements pour la filière ?

Certaines conclusions de notre analyse peuvent être généralisées à de nombreux cas d'usage d'une production décentralisée d'hydrogène par électrolyse de l'eau :

- Coûts de production d'hydrogène inférieurs aux prix actuels d'approvisionnement
- Nécessité de surdimensionner la capacité de l'électrolyseur par rapport aux besoins réels pour produire aux heures où le coût de l'électricité est le plus faible
- CAPEX prépondérant dans le coût moyen de production d'hydrogène et amortis sur une durée longue

## Comparatif Avantages / Inconvénients du point de vue du producteur d'hydrogène.

### Avantages

- **Décarbonation de la chaîne d'approvisionnement en hydrogène :**
  - *Production d'un hydrogène bas carbone, voire renouvelable, selon le mix de production d'électricité*
  - *Élimination des émissions dues au transport d'hydrogène par camion dans le modèle classique*
- **Fidélisation du consommateur d'hydrogène sur toute la durée de vie du projet**
- **Logistique d'approvisionnement en hydrogène simplifiée**

### Inconvénients

- **Prises de risques plus importantes :**
  - *Très forte dépendance à l'activité industrielle du consommateur d'hydrogène*
  - *Amortissement des investissements sur une longue période*
  - *Incertitudes quant aux prix futurs de l'électricité*
- **Impacts possibles sur la marge de l'hydrogène revendu, selon les pratiques historiques**
- **Modèle de maintenance décentralisée**

# Un cadre général à adapter aux particularités de chaque projet :

## Pistes d'optimisation des modèles d'affaires à investiguer :

- **Valoriser une partie de l'hydrogène produit via plusieurs exutoires proches** (mobilité, injection dans les réseaux de gaz naturel, différents sites industriels, ...).
- **S'approvisionner en électricité issue de sources renouvelables** pour pouvoir revendre un hydrogène premium avec des garanties d'origines renouvelables
- **Tirer parti de la flexibilité de l'électrolyseur** pour produire au-delà de la puissance nominale durant certaines heures de l'année durant lesquelles les prix de l'électricité sont particulièrement bas

Sia Partners offre son expertise et ses outils de modélisation pour évaluer la valeur à attendre de vos projets en fonction des hypothèses d'entrée retenues : dynamique d'évolution des coûts d'approvisionnement en électricité, CAPEX, besoins de stockage, compression attendue de l'hydrogène, ...

Contactez-nous pour la conduite d'études de modèles d'affaires adaptées à vos besoins :

- **Charlotte de Lorgeril**, *Partner Energy, Utilities & Environment*, [charlotte.delorgeril@sia-partners.com](mailto:charlotte.delorgeril@sia-partners.com)
- **Benoit Mahe**, *Manager Energy Utilities & Environment*, [benoit.mahe@sia-partners.com](mailto:benoit.mahe@sia-partners.com)

## À propos du Club H<sub>2</sub>.

Le Club H<sub>2</sub> a été lancé dans le courant de l'année 2019 au sein de l'UC Energy, Utilities & Environment de Sia Partners et regroupe une vingtaine de consultants experts des sujets Hydrogène. Il a pour objectifs principaux de capitaliser sur l'expertise acquise par nos consultants à travers leurs différentes missions, accentuer notre capacité de veille sur les mutations en cours dans le secteur et proposer des analyses et formats d'études permettant de mieux les appréhender. Ainsi, les travaux du Club H<sub>2</sub> permettent à Sia Partners d'accompagner ses clients, quelle que soit la maturité de leur projet Hydrogène.



- Abou Dabi
- Amsterdam
- Baltimore
- Bruxelles
- Casablanca
- Charlotte
- Chicago
- Denver
- Doha
- Dubai

- Francfort
- Greater Bay Area
- Hambourg
- Hong Kong
- Houston
- Londres
- Luxembourg
- Lyon
- Milan

- Montréal
- New York
- Panama\*
- Paris
- Riyad
- Rome
- Seattle
- Singapour
- Tokyo
- Toronto

**siapartners**  
*Pioneer of Consulting 4.0*

\*Sia Partners Panama, membre du réseau Sia Partners

# À propos de Sia Partners.

Sia Partners réinvente le métier du conseil et apporte un regard innovant et des résultats concrets à ses clients à l'ère du digital. Avec plus de 1 650 consultants dans 16 pays, nous allons générer un chiffre d'affaires annuel de plus de 270 millions d'euros pour l'exercice en cours. Notre présence globale et notre expertise dans plus de 30 secteurs et services nous permettent d'accompagner nos clients dans le monde entier. Nous accompagnons leurs initiatives en stratégie, projets de transformation, stratégie IT et digitale et data science. En tant que pionniers du Consulting 4.0, nous développons des consulting bots et intégrons dans nos solutions la disruption créée par l'intelligence artificielle.

[www.sia-partners.com](http://www.sia-partners.com)