

Le vent du changement : L'éolien en mer au service de l'hydrogène vert ?

Gabriel AMMOUR¹

Stage de Master 1 : Du 1er Juin au 1er Septembre
LEMNA x IREENA

Journée scientifique du 22 Juin 2023 à St-Nazaire



¹Étudiant en Master d'Économétrie Appliquée, IAE Nantes

1

Contexte

- Des objectifs climatiques
- Comment atteindre ces objectifs ?

2

La filière hydrogène

- Les caractéristiques de la filière
- L'avenir de la filière ?

3

Valorisation de l'éolien en mer par l'hydrogène

- Objectifs du stage
- Valoriser par le marché de l'hydrogène
- Valoriser par le marché de l'électricité

Des objectifs ambitieux

...à l'échelle nationale

- **La Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) (2018)**
 - Atteindre la neutralité carbone d'ici 2050

...internationale

- **L'accord de Paris sur le climat (2015)**
 - Limiter le réchauffement global en dessous de 2°C/niveaux pré-industriels

...mais aussi sectoriels

- **Initial International Maritime Organization (IMO) Greenhouse Gas Emissions (GHG) Strategy (2018)**
 - Réduire l'intensité carbone du secteur maritime de 40% d'ici 2030/au niveau de 2008

La décarbonation

La décarbonation de nos usages

- **Électrification par des énergies bas-carbone**
 - Énergies renouvelables (Éolien, solaire, etc.)
 - Énergie nucléaire

...ne peut pas se faire uniquement par l'électricité

- Certains usages sont plus difficile à décarboner seulement avec l'électricité bas-carbone
 - Transport maritime & collectif
 - Industrie lourde
 - Chauffage résidentiel
 - etc.
- Décarbonation de ces usages via l'Hydrogène

1 Contexte

- Des objectifs climatiques
- Comment atteindre ces objectifs ?

2 La filière hydrogène

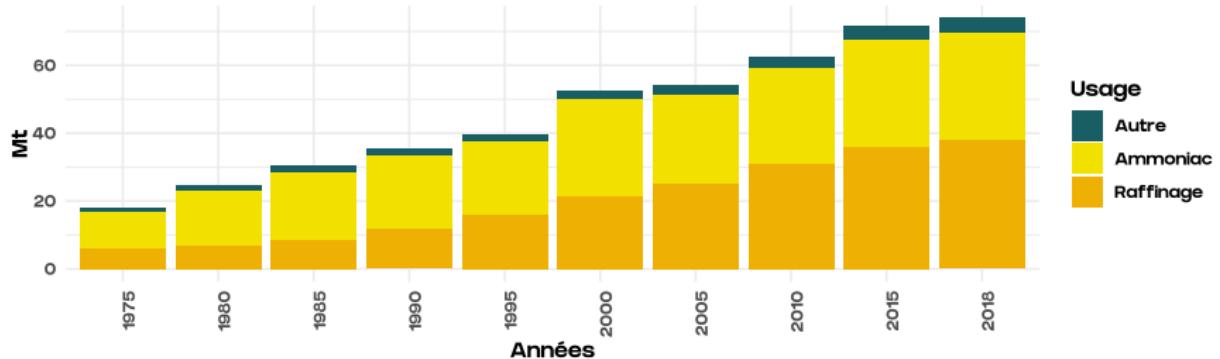
- Les caractéristiques de la filière
- L'avenir de la filière ?

3 Valorisation de l'éolien en mer par l'hydrogène

- Objectifs du stage
- Valoriser par le marché de l'hydrogène
- Valoriser par le marché de l'électricité

Dans quel secteur l'hydrogène est-il aujourd'hui utilisé ?

Figure: Demande mondiale d'hydrogène pur, 1975-2018



Données : IEA, The Future of Hydrogen / Visuel : Auteur

Comment est-il fabriqué ?

Le vaporeformage ou Steam methane reforming (SMR)

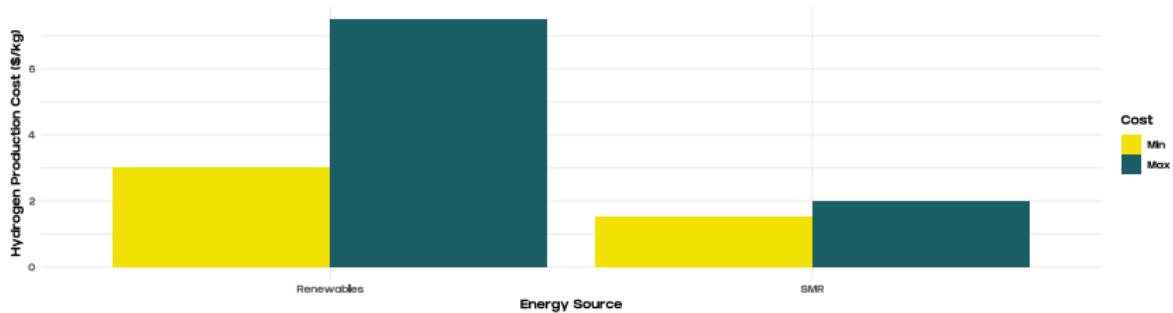
- ~95% de l'hydrogène actuel
- Processus émetteur de gaz à effets de serre (GES)
- Hydrogène Gris ou Bleu si captation de carbone

L'électrolyse

- Moins de 0.1% de la production d'hydrogène
- Pas d'émissions de GES si électricité décarboné → Hydrogène vert

À quel coût ?

Figure: Coûts de production de l'hydrogène par source de production, 2018



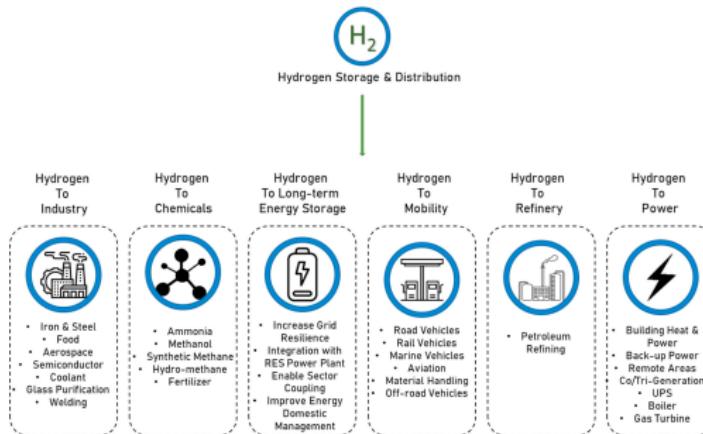
Données : IEA, The Future of Hydrogen / Visuel : Auteur

Le concept de Power-to-X

Définition

- Transformation de l'électricité dans un autre vecteur énergétique, ici l'H₂, qui pourra lui-même être re-transformé pour d'autres usages.

Figure: Power-to-X à base d'hydrogène



Genovese et al., 2023, Power-to-hydrogen and hydrogen-to-X energy systems for the industry of the future in Europe, 2023

1 Contexte

- Des objectifs climatiques
- Comment atteindre ces objectifs ?

2 La filière hydrogène

- Les caractéristiques de la filière
- L'avenir de la filière ?

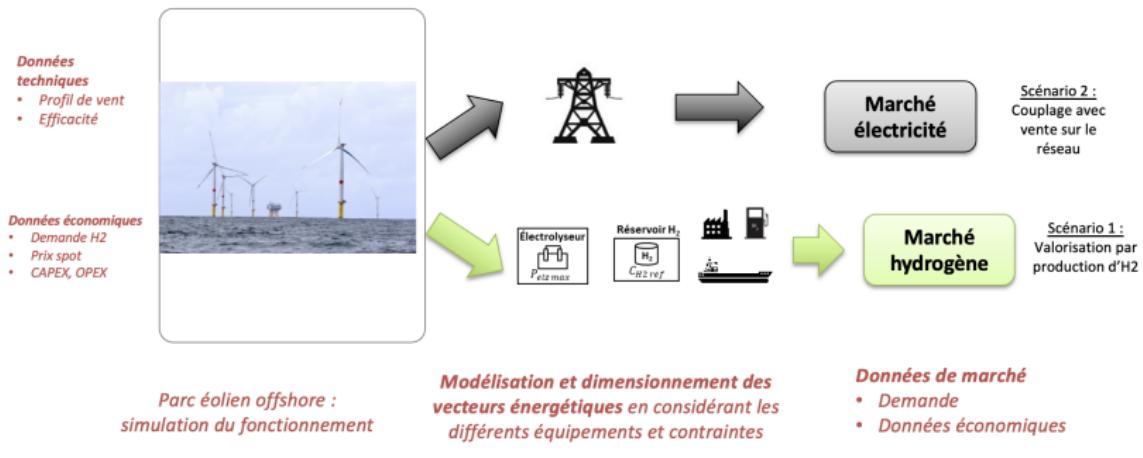
3 Valorisation de l'éolien en mer par l'hydrogène

- Objectifs du stage
- Valoriser par le marché de l'hydrogène
- Valoriser par le marché de l'électricité

Objectifs

Figure: Modélisation et analyse technico-économique des différentes voies de valorisation de l'éolien offshore

Objectif principal : modélisation et analyse technico-économique des différentes voies de valorisation de l'éolien offshore



Valoriser par le marché de l'hydrogène

Objectifs

- Minimiser l'écrêtement de la production éolienne, i.e les pertes

Contraintes

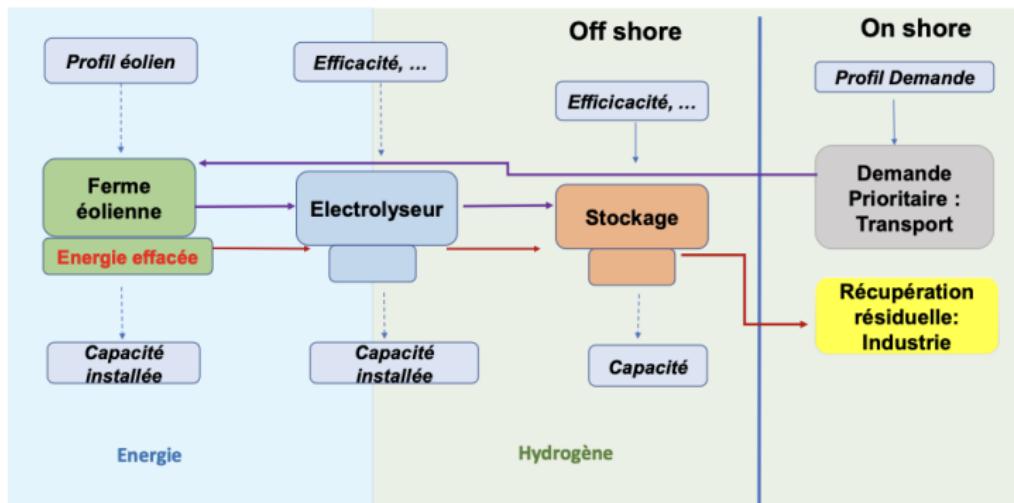
- Les différents profils
 - Vent
 - Demande H2
- Mode d'acheminement de l'H2
 - Production H2 + stockage en mer (acheminement H2 par barges)
 - Production H2 en mer + stockage à terre (acheminement H2 via pipeline)
 - Production H2 à terre (acheminement électricité par câble)

Sorties

- Données de dimensionnement
 - Électrolyseur
 - Stockage
 - Ferme éolienne
 - Mode d'acheminement
- Coût de l'H2

Architecture d'un système

Figure: Ferme éolienne en mer dédiée à la production de l'H2 : Production et stockage offshore



Couplage avec le marché de l'électricité

Enjeux

- Arbitrage entre la vente d'électricité sur le réseau et production d'H2
- Arbitrage en fonction du prix spot électricité et du coût cible de l'H2

Objectif

- Maximisation du revenu

Contraintes

- Prix spot de l'électricité
- Les différents profils de vent et de demande d'H2

Sorties

- Revenus des ventes (H2, électricité)
- Données de dimensionnement (Électrolyseur, Stockage)

Conclusion

L'hydrogène vert : une voie prometteuse

- Permet d'optimiser l'utilisation de l'énergie éolienne
- Ouverture à des applications d'hydrogène décarboné dans des secteurs difficiles à électrifier

Défis technico-économiques

- Coûts de production et contraintes logistiques
- Variations de la demande et de l'offre, fluctuations du marché de l'électricité

Contribution de ce stage

- Modélisation et analyse des facteurs technico-économiques
- Formulation de recommandations pour optimiser la valorisation de l'éolien offshore par la production d'hydrogène vert

Fin

Merci pour votre attention !