

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

**Gabriel AMMOUR<sup>1</sup>**

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

**Journée scientifique du 22 Juin 2023 à St-Nazaire**



---

<sup>1</sup>Étudiant 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

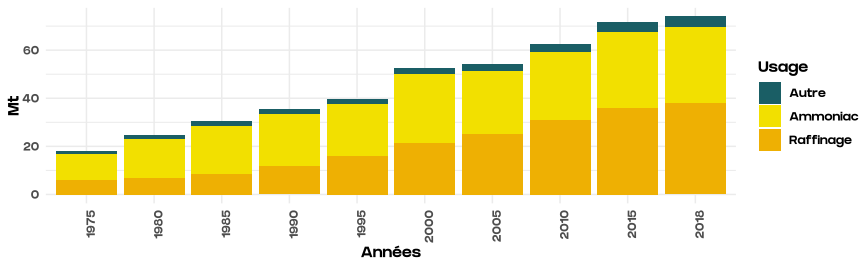
- Les caractéristiques de la filière
- L'avenir de la filière ?

## 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)

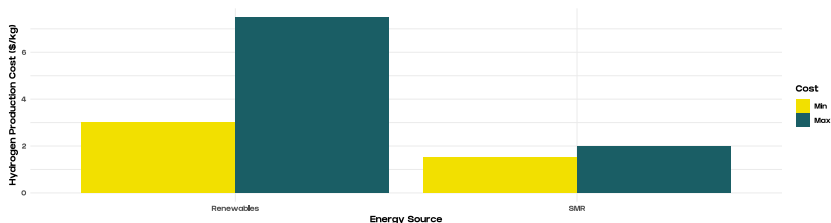
- ~95% de l'hydrogène actuel
- Processus émetteur de gaz à effets de serre (GES)
- Hydrogène Gris ou Bleu si captation de carbone

## 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

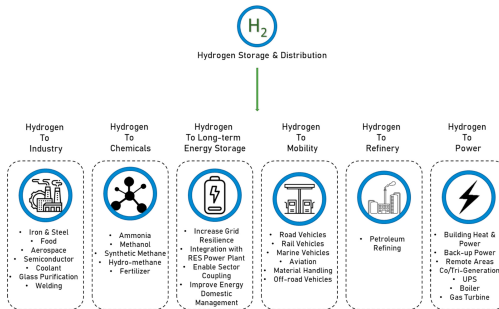


# Le concept de Power-to-X

## Définition

- Transformation de l'électricité dans un autre vecteur énergétique, ici l'H<sub>2</sub>, 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 ?

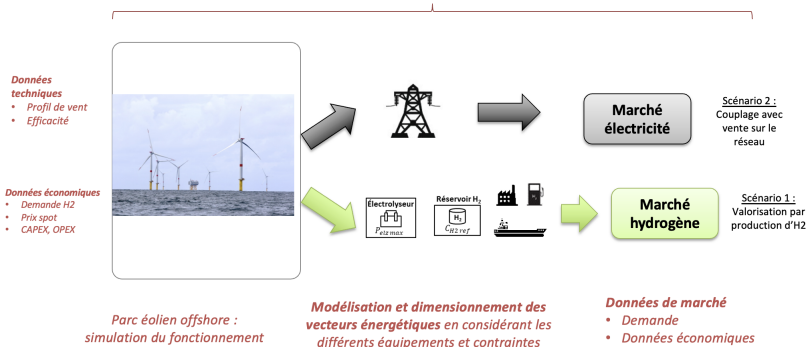
## 3 Valorisation de l'éolien en mer par l'hydrogène

- 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

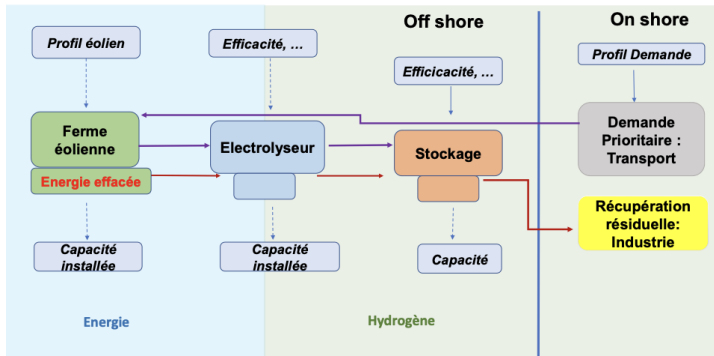
- Les différents profils
  - Vent
  - Demande H2
- Mode d'acheminement de l'H2
  - Production H2 + stockage en mer (acheminement H2 par barges)
  - Production H2 en mer + stockage à terre (acheminement H2 via pipeline)
  - Production H2 à terre (acheminement électricité par câble)

## 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'H<sub>2</sub> : 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 !**