



SOMMAIRE

Les ambitions de l'hydrogène en mer P1

L'essor de la transition énergétique peut-il être freiné par la rareté de certains métaux ? P3

NOS PROCHAINES CONFÉRENCES

Mercredi 18 janvier (en présentiel)
NUWARD™ : le SMR européen

Mardi 14 février (en présentiel)
La fusion contrôlée : déconvenues et succès

Inscriptions sur notre site internet
<http://www.centrale-energie.fr/spip/>

COMITÉ DE RELECTURE

Christiane DREVET
Guy MOREAU

LES AMBITIONS DE L'HYDROGÈNE EN MER

Cécile Adnot, ECM 06

Les plans de relance, en France et en Europe, ont donné un coup d'accélérateur au développement des énergies renouvelables, favorisant la production d'hydrogène, présentant une forte ambition sur un horizon proche.

La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte a posé les objectifs suivants :

- atteindre un taux de 32% d'énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie en 2030 ;
- disposer de 40% d'énergies renouvelables dans la production d'électricité.

Notamment, **l'ambition de la France pour l'éolien en mer est forte** : atteindre une puissance de 5 GW en 2028, pour de l'éolien posé ou flottant. Cependant, les producteurs sont confrontés à un problème majeur : les éoliennes ne produisent pas toujours en phase avec les besoins électriques du réseau, ce qui entraîne un surplus.

L'hydrogène maritime est né de ce constat : **réutiliser ce surplus pour produire de l'hydrogène, mais également de massifier la production d'hydrogène en utilisant des modèles économiques viables.** En effet, il est préférable que les électrolyseurs tournent en continu, pour des raisons économiques, car l'amortissement des électrolyseurs et des installations associées doit se faire sur une durée optimale de fonctionnement.

Quel intérêt de produire l'hydrogène en mer ?

Pour des raisons environnementales, les parcs éoliens en mer sont installés loin des côtes, ce qui entraîne un coût élevé de raccordement électrique.

Il s'avère plus efficace de **produire directement de l'hydrogène en mer, sur une plateforme flottante**. L'hydrogène sera alors acheminé sur terre via un réseau de pipelines. La possibilité de transporter de l'hydrogène par des navires est en cours de développement, comme le LH2 Europe, un navire-citerne de H2 liquide, aux Pays-Bas, qui devrait être en fonctionnement en 2027.

La production d'hydrogène en mer intervient dans un contexte favorable, **avec un objectif européen de production d'hydrogène renouvelable de 10 millions de tonnes par an d'ici 2030**. Avec la chute du prix des énergies renouvelables et l'extension de l'utilisation de l'hydrogène aux transports, les opportunités se multiplient pour l'hydrogène.

Quelle est la première plateforme en France ?

La première plateforme de production d'hydrogène renouvelable en mer en France est en cours de raccordement à une éolienne flottante de **Sealhyfe au large de Saint-Nazaire**. Il s'agit d'une première mondiale, opérée par l'entreprise Lhyfe.

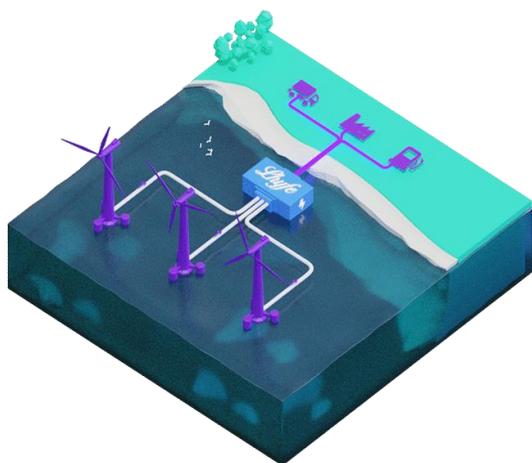


Figure 1 : Schéma de l'usine Sealhyfe (source : site Internet de l'entreprise)

L'usine Sealhyfe permettra de **produire 400 kilos d'hydrogène par jour** dans un contexte difficile, en pleine mer, avec des vagues de 15 mètres et des vents de 150 kilomètres par heure.

Les étapes de production d'hydrogène sont les suivantes :

- Convertir la tension électrique provenant de l'éolienne flottante,
- Pomper l'eau de mer,
- Désaliniser et purifier l'eau,
- Casser cette molécule d'eau via l'électrolyse, pour obtenir de l'hydrogène vert renouvelable ;
- Gérer l'impact du mouvement de la plateforme sur les équipements : gîte, accélérations, mouvements de balancier, etc. ;
- Faire face aux agressions environnementales entraînant corrosion et vieillissement des pièces.



La proximité de la livraison est un élément clé de la réussite du projet, du fait des coûts de transport élevés de l'hydrogène en petites quantités. L'idée du démonstrateur est de tester le comportement du premier électrolyseur au monde qui fonctionnera en pleine mer, avec un minimum rentable à 300 MW de production d'hydrogène.

L'entreprise Lhyfe produit depuis trois ans déjà de l'hydrogène à terre, sur le site de Bouin en Vendée, par électrolyse d'eau de mer. Des sociétés de transport s'occupent de livrer l'hydrogène produit à une grande surface, une station de recharge qui alimente un bus, des bennes à ordures et des voitures à hydrogène.

Quel développement de ce type de structure en Europe ?

Avec l'objectif européen de produire **10 millions de tonnes d'hydrogène vert d'ici à 2030**, plusieurs zones de production potentielles d'hydrogène vert en mer ont déjà été identifiées en mer du Nord et en mer Baltique. **L'Allemagne et le Danemark** accélèrent leurs stratégies en prévoyant d'investir massivement dans la recherche-développement.

Le groupe allemand AquaVentus a annoncé l'installation d'une capacité de production de 10 GW d'hydrogène vert d'ici 2035, à base d'électricité renouvelable produite par un parc éolien offshore.

Pour consolider l'essor de l'hydrogène maritime, il reste à trouver **des business models et des trajectoires pertinents et rentables**, pour opérer le passage à l'échelle sur la décennie à venir.

Sources :

- [Article du gouvernement français, 14/10/2022, L'hydrogène renouvelable en mer, une première mondiale](#)
- [Ministère de l'Écologie en France, Plan déploiement hydrogène](#)
- [Article des Echos, Hydrogène : l'Allemagne accélère](#)
- [Site internet de l'entreprise Lhyfe](#)

L'ESSOR DE LA TRANSITION ENERGETIQUE PEUT-IL ETRE FREINE PAR LA RARETE DE CERTAINS METAUX ?

Cécile Adnot, ECM 06

Des fortes dépendances aux métaux sont à prévoir dans un avenir proche, qui impacteront l'ensemble des biens manufacturés, et notamment le développement des énergies renouvelables.

Quels sont les métaux concernés ? Est-ce que la rareté de ces métaux va constituer un **frein** au développement des énergies renouvelables, en particulier pour le solaire PV et l'éolien ?

C'est une question ardue, qui s'applique à la majeure partie des biens produits aujourd'hui,

mais de façon plus prégnante concernant les énergies éoliennes et solaires.

Quels métaux sont nécessaires pour la transition énergétique ?

Les récentes innovations technologiques, dans le domaine de l'énergie ou des transports, amènent une accélération de la demande en **cuivre, cobalt et lithium**.

En particulier, pour chaque type de technologie, les métaux nécessaires sont les suivants :

- l'éolien : le béton, l'acier et le cuivre,
- le solaire photovoltaïque : Les panneaux solaires PV sont à 95% à base de silice (verre et cellules), mais aussi on utilise de l'aluminium, de l'argent, de l'antimoine pour le verre, ainsi que du cuivre. Le cadmium est également utilisé pour les panneaux *First Solar*.
- les véhicules électrifiés : le cobalt, le cuivre, le lanthane, le lithium ;
- les piles à combustible : le platine, le palladium, le rhodium ;
- les batteries : le lithium, le cobalt, le nickel.

Quels sont les métaux vont manquer en premier ?

Dans le cadre du projet GENERATE, l'équipe IFPEN a élaboré un modèle présentant des chaînes de valeur de différents matériaux (cobalt, cuivre, lithium, nickel et terres rares). L'objectif du modèle est d'évaluer les demandes sous différents scénarios (2°C et 4°C) à l'horizon 2050.

Selon l'IFPEN, le cuivre pourrait être le métal le plus contraint dans la dynamique de transition énergétique.

Selon les résultats de l'étude, « près de 90 % des ressources en cuivre connues aujourd'hui seraient extraites d'ici 2050 dans un scénario 2°C. », tirée par la croissance de la demande dans les secteurs des biens de consommation, de l'industrie et de la construction.

Le cobalt présente également un niveau de criticité géologique, mais aussi d'un fort risque géopolitique. Les ressources terrestres de cobalt s'élèvent à 25 millions de tonnes (*United States Geological Survey USGS, 2020*), principalement

localisée dans la *Copper Belt*, zone minière en République démocratique du Congo (RDC).

Les réserves mondiales de **Cobalt** identifiées sont estimées à **89 millions de tonnes**, dont 24 % en Bolivie, 21 % en Argentine, 11 % au Chili, 10 % aux États-Unis, 8 % en Australie et 6 % en Chine, selon l'Institut d'études géologiques des États-Unis (*United States Geological Survey, USGS*).

Quant au **lithium**, près de 70 % des ressources seraient encore disponibles à l'horizon 2050 dans un scénario 2°C. **Un fort risque géopolitique** est aussi présent, en raison de la concentration des réserves de lithium et des acteurs sur le marché, qui pourrait à terme créer des problèmes d'approvisionnement.

Le manque de cuivre pourrait-il constituer un frein à la croissance des technologies bas carbone ?

Les résultats obtenus par l'IFPEN démontrent une « **forte pression sur les ressources en cuivre**, particulièrement dans le cadre de politiques climatiques ambitieuses. »

Dans les résultats du modèle, 78,3 % et 89,4 % des ressources mondiales de cuivre identifiées seront extraites respectivement dans les scénarios 4° C et 2° C entre 2010 et 2050.

Ces résultats montrent une pression croissante sur les marchés, qui pourraient entraîner un ralentissement de la croissance de ces nouvelles technologies. De plus, **un risque géopolitique fort est lié au marché du cuivre**, la Chine dominant très largement les activités de raffinage du cuivre.

Quelles solutions s'offrent à nous ?

L'IFPEN présente plusieurs options possibles : le remplacement du cuivre par d'autres matériaux quand cela est possible, le recyclage (estimé à environ 45% selon l'IFPEN), et la modification de la mobilité, réduisant le besoin sur les véhicules électriques.

L'aluminium semble un candidat intéressant pour le remplacement du cuivre : il est très abondant, avec une bonne conductivité, certes moindre que celle du cuivre, mais qui pourrait néanmoins répondre en partie aux besoins de remplacement à l'avenir.

Pour le **recyclage**, il faut prendre en compte la durée d'utilisation dans les équipements. En effet, les secteurs qui enregistrent les taux de recyclage les plus élevés (construction et infrastructure) présentent un cuivre immobilisé durant plusieurs décennies en raison de la durée de vie des ouvrages réalisés.

Principal levier de réduction de la contrainte sur le cuivre, la **modification de nos mobilités** pourrait en réduire considérablement la demande, notamment en Europe.

Une croissance d'autres énergies relais, comme le biogaz, dont les attentes sont fortes dans le secteur énergétique, pourrait permettre en partie d'équilibrer la pression sur les minerais.

Sources :

- [CNR, *Les terres rares, le paradoxe environnemental*](#)
- [Géoconfluences, *Glossaire sur les terres rares et métaux stratégiques*](#)
- [IFP Energies Nouvelles, *Les métaux de la transition énergétique*](#)
- [IFP Energies Nouvelles, *le Cuivre dans la transition énergétique : un métal essentiel, structurel et géopolitique*](#)
- [United States Geological Survey, *USGS*](#)