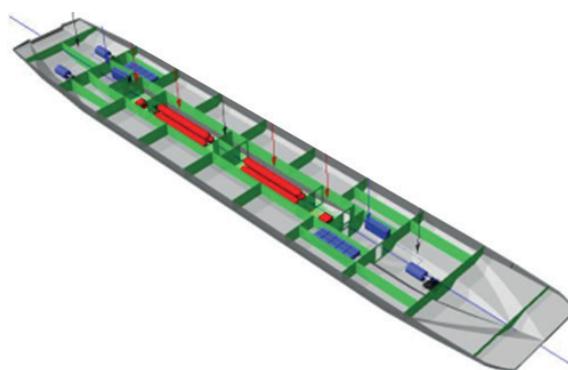


# Les cahiers techniques de BATELIA



## CAHIER TECHNIQUE N°2

# Propulsion hydrogène pour bateaux fluviaux



◆ BATELIA (Bureau d'Assistance Technique & Logistique pour les Industriels & Artisans) est une entité informelle, portée par VNF. Elle s'inscrit dans un groupement européen, intitulé EIBIP (European Inland Barging Innovation Platform), co-fi-

nancé par la Commission européenne, chargé d'encourager l'innovation dans le transport fluvial (de marchandises, et accessoirement de passagers).

## BATELIA encourage l'innovation sur les bateaux avec les deux objectifs suivants

- Verdir la flotte pour améliorer sa performance environnementale (réduire les consommations et émissions polluantes).
- Améliorer sa performance logistique (en lien avec les Services d'Informations Fluviales).

Ce groupement se compose de quatre partenaires, chacun chargé d'accélérer l'innovation dans le transport fluvial dans sa propre « région » fluviale :

- In-Danube, émanation de Pro Danube, actif sur l'ensemble du Danube.
- D-Zib, émanation de Mariko, chargé de l'Allemagne.
- Innovation Lab, émanation de EICB, basé à Rotterdam et chargé des Pays-Bas et de la Belgique néerlandophone.
- BATELIA, porté par VNF et chargé de la France et régions fluviales francophones.
- EICB est aussi « leadpartner » de EIBIP, chargé notamment de faire la liaison avec la Commission européenne.

## Objectifs des centres d'innovation

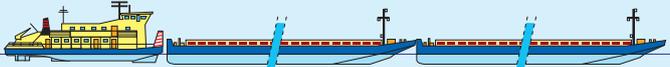
**1. Identifier et tenter de prioriser des énergies ou motorisations** permettant au transport fluvial d'atteindre les nouveaux objectifs d'émissions : GNC, GNL, propulsions électriques ou hybrides, dépollution et solutions transitoires (ex : GTL)

**2. Identifier et accompagner** des porteurs de projets sur le réseau fluvial français, faisant appel à ces nouvelles énergies ou motorisations ; BATELIA utilise pour cela un instrument de financement efficace avec le Plan d'Aide à la Modernisation & à l'Innovation piloté par Voies navigables de France, et co-financé par plusieurs partenaires : Régions Ile-de-France et Provence Alpes Côte d'Azur, le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, et l'ADEME)

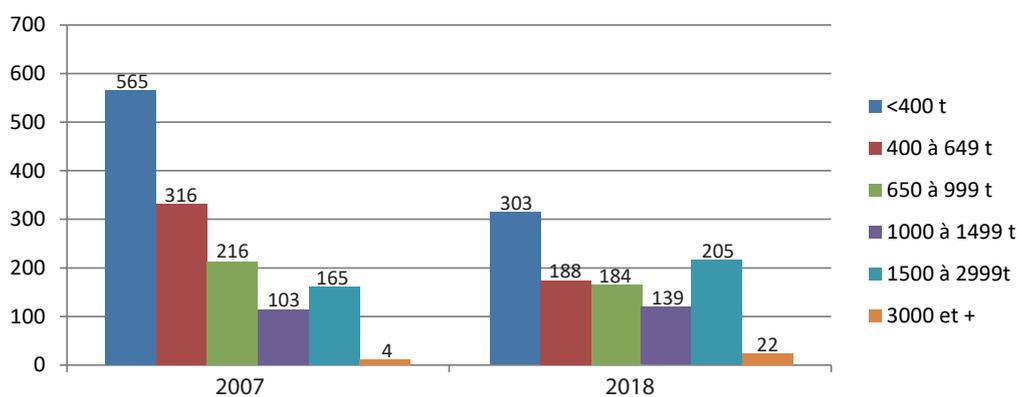
### 3. Informer et communiquer :

- Informer les transporteurs fluviaux des progrès réalisés dans les autres pays fluviaux européens (dans les pays riverains du Rhin et du Danube par exemple) : réunions régionales et nationales, site internet [www.EIBIP.eu](http://www.EIBIP.eu), « cahiers techniques » comme celui-ci.
- Informer les partenaires européens dans la plateforme EIBIP, des projets lancés, simplifications réglementaires ou dispositifs d'accompagnement financier mobilisables en France : ex : colloques « Vert le Fluvial » à Paris en 2019 et Lyon en 2020

La flotte fluviale se compose des types d'unités suivantes :

Types de bateaux	Capacité de cale	Longueur	Largeur	Enfoncement	Voies navigables accessibles
Péniche dite de 38,50 m  x 10 à 14	250 à 350 t	38,50 m	5,10 m	1,80 à 2,20 m	Canaux Freycinet et toutes voies navigables d'un gabarit supérieur
Automoteur et petit convoi type canal du Nord  x 30	750 t	90 m	5,705 m	2,50 à 3 m	Moselle canalisée, Dunkerque, Escaut, Rhin, Seine, Rhône...
Automoteur type Rhein-Herne-Kanal (RHK)  x 54	1.350 t	80 m	9,50 m	2,50 à 3 m	Moselle canalisée, Rhin, Rhône
Automoteur rhénan  x 40 à 120	1.000 à 4.000 t	135 m	11,45 m	2,50 à 3 m	Moselle canalisée, Rhin, Nord, Rhône
Convoi moderne constitué d'un pousseur et de barges  x 60 à 120	1.500 à 3.000 t	jusqu'à 180 m	11,40 m	2,50 à 3 m	Moselle canalisée, Rhin, Nord, Rhône
Navire fluvio-maritime  x 60 à 200	1.500 à 5.000 t	de 80 à 130 m	12 à 14 m	3 à 4,25 m	Saône, Rhône jusqu'à Marseille/Fos, Seine
Automoteur Ro-Ro 					

Entre 2007 et 2018, la flotte fluviale a fortement évolué :



# LES ENJEUX DE LA FLOTTE FLUVIALE

PAGE

4

La flotte fluviale française doit faire face à de grands enjeux :

## Mieux intégrer le maillon fluvial aux chaînes logistiques

- Capturer de nouveaux trafics ;
- Consolider la desserte fluviale des ports maritimes ;
- Améliorer la performance logistique de la flotte fluviale.

## Améliorer la performance environnementale

- Réduire la consommation de carburant ;
- Réduire les émissions et rejets polluants ;
- Encourager le recours aux énergies renouvelables ;
- Optimiser la gestion des énergies à bord.

## Respecter le règlement portant sur les émissions des Engins Mobiles Non Routiers (EMNR)

La Commission européenne a adopté ce règlement qui s'applique notamment aux bateaux de navigation fluviale, dont l'objectif est de réduire progressivement les émissions polluantes et d'éliminer graduellement les moteurs les plus polluants. La réglementation du contrôle des émissions est une succession de nombreuses étapes : le stade V remplacera les étapes I à IV.

De nouvelles limites sont imposées aux propriétaires de bateaux concernant les performances du moteur, lorsque celui-ci est installé après la date d'entrée en vigueur du

règlement (2019-2020). Ainsi, dans le cadre de la réglementation au stade V, les émissions du moteur doivent être considérablement restreintes. Les limites du stade V, conformément au tableau ci-dessous, sont applicables aux moteurs de propulsion (IWP) et auxiliaires (IWA) de plus de 19 kW, indépendamment du type d'allumage du moteur.

Normes d'émissions de niveau V pour les moteurs des bateaux de navigation intérieure (IWP et IWA)

Catégorie	Net Puissance [kW]	Date	CO [g/kWh]	HC <sup>a</sup> [g/kWh]	NOx [g/kWh]	PM [g/kWh]	PN 1/kWh
IWP/IWA-v/c-1	19 ≤ P < 75	2019	5.00	4.70 <sup>b</sup>		0.30	
IWP/IWA-v/c-2	75 ≤ P < 130	2019	5.00	5.40 <sup>b</sup>		0.14	
IWP/IWA-v/c-3	130 ≤ P < 300	2019	3.50	1.00	2.10	0.10	
IWP/IWA-v/c-4	P ≥ 300	2019	3.50	0.19	1.80	0.015	1x10 <sup>12</sup>

<sup>a</sup>A = 6.00 pour les moteurs à gaz

<sup>b</sup>HC + NOx

CO : monoxyde de carbone ; HC : hydrocarbures ; NOx : oxydes d'azote ; PM : masse moyenne des particules ; PN : nombre de particules



deuxième solution proposée

**La propulsion hydrogène**

### Cahiers existants

1. Propulsion hybride pour bateaux fluviaux
3. Propulsion gaz pour bateaux fluviaux

À température et pression ambiante **l'hydrogène (H) est un gaz**. C'est l'élément le plus léger et le plus abondant de l'univers mais qui se trouve rarement à l'état naturel sur terre.



- Se diffuse très rapidement et se dilue ainsi très vite en dehors de sa gamme d'explosivité.
- S'élève très vite vers les points hauts et ne reste ainsi pas dans une zone confinée au sol.
- Possède une excellente densité énergétique massique.
- Permet une exploitation au plus près des besoins (autonomie, temps de recharge, etc.).
- Inodore et incolore.
- Difficile à comprimer et à stocker.
- S'enflamme très facilement due à sa large gamme d'explosivité et à sa faible énergie d'ignition.
- La flamme hydrogène n'est pas visible et ne rayonne pas de chaleur.
- Un réseau de production et de distribution à densifier.
- Des coûts (investissement / exploitation) encore élevés.



Association française  
pour l'hydrogène et  
les piles à combustible

## L'HYDROGÈNE : L'HEURE EST VENUE

Philippe Boucly - Président de l'AFHYPAC

« Partout dans le monde des projets de grande ampleur émergent et des alliances industrielles de premier plan se constituent. La France n'est pas en reste, bien au contraire.

La dynamique initiée il y a plus de dix ans dans quelques territoires pionniers a essaimé. Désormais toutes les régions se dotent d'une stratégie hydrogène et d'une feuille de route. Le Plan National Hydrogène publié en juin 2018 a confirmé cette dynamique et lui a donné un élan nouveau. Les appels à projets portés par l'ADEME permettent de soutenir les déploiements dans la mobilité, l'industrie ou encore les territoires insulaires. **Les Engagements pour la Croissance Verte (ECV) et les Contrats Stratégiques de Filière (CSF) contribuent à consolider une filière industrielle française compétitive.** Equipementiers, énergéticiens, constructeurs et opérateurs de mobilité, consommateurs industriels : une chaîne de valeur complète se dessine.

Dans ce mouvement global, **les technologies hydrogène intéressent fortement le secteur fluvial**, soucieux de participer à la lutte contre le changement climatique et à l'amélioration de la qualité de l'air. Il y eut, bien entendu, l'inauguration du Navibus H2 à Nantes en août 2019, fruit d'un long travail des acteurs locaux. Désormais, en Ile-de-France, en Occitanie, dans l'agglomération lyonnaise ou encore dans l'estuaire ligérien des consortiums se montent pour lancer des projets de plus en plus ambitieux. D'autres territoires s'emparent également des opportunités offertes par l'hydrogène.

Cependant des obstacles subsistent, nous en sommes conscients. La réglementation et également des coûts d'investissement comme d'exploitation encore élevés freinent le recours aux solutions hydrogène. Cependant, **la filière se tient prête à relever ces défis et propose d'ores et déjà des solutions.**

Les piles à combustible atteignent un niveau de maturité suffisant pour répondre à la plupart des profils d'usage des bateaux de fret comme de passagers. **La massification industrielle engagée et tirée par l'essor d'autres mobilités (routière, ferroviaire, maritime et aéronautique) permet d'envisager une réduction rapide et importante des coûts d'investissement.** Différentes voies de stockage embarqué sont également à l'étude pour parer les difficultés d'architecture : solutions gazeuses comprimées mais aussi liquides (cryogénique, liquides organiques, polysilane, etc.).

**Les retours d'expérience s'accumulent et une vision de filière émerge au travers notamment de l'ECV « Mobilités hydrogène maritimes et fluviales », copiloté par le CEA et l'AFHYPAC.** Première étape dans l'identification des verrous rencontrés par les porteurs de projet ; première étape dans la définition des trajectoires de déploiement possibles de l'hydrogène et des piles à combustible pour le fluvial.

Grâce à une large représentation d'acteurs industriels et territoriaux, l'AFHYPAC possède une vue d'ensemble des enjeux de la filière hydrogène, ce qui lui permet de porter la voix de la filière à tous les niveaux de décision. Ainsi, nous sommes fortement impliqués dans la mise en œuvre du Plan National Hydrogène et travaillons à une massification rapide et durable au bénéfice de la transition énergétique et du dynamisme économique français.

Un consensus se dégage : **l'hydrogène permettra de répondre à l'amélioration de la qualité de l'air et à la décarbonation des mobilités lourdes** ayant de fortes contraintes d'exploitation. Les usages fluviaux cochent toutes les cases désormais, à nous d'agir !

**Nous remercions VNF pour le travail réalisé et pour cette synthèse éclairante.** Une première étape indispensable, la première étape d'une collaboration que nous voulons riche et fructueuse ! »

# LA PRODUCTION D'HYDROGÈNE

## THERMOLYSE / PYROGAZÉIFICATION DE BIOMASSE

Portée à haute température la biomasse génère à la fois un produit solide (biochar) renfermant la quasi-totalité du carbone, ainsi qu'un gaz de synthèse très riche en hydrogène. L'hydrogène est extrait de ce gaz et purifié pour servir les besoins de mobilité et industriels.

## REFORMAGE DU MÉTHANE

Le méthane (CH<sub>4</sub>) est mélangé à de la vapeur d'eau pour produire de l'hydrogène et du CO<sub>2</sub>. Cette technologie couvre actuellement plus de 90% de la production mondiale. Le méthane peut être d'origine renouvelable (biogaz) ou fossile (gaz naturel)

### ECHELLE DE MATURITÉ



### PHOTOCATALYSE :

production directement à partir des rayons du soleil.

### BIOLOGIQUE :

production à partir de bactéries.

### NATIF :

sources d'hydrogène naturel découvertes en certaines zones du globe.

### THERMOLYSE DE GAZ NATUREL À PARTIR DE PLASMA

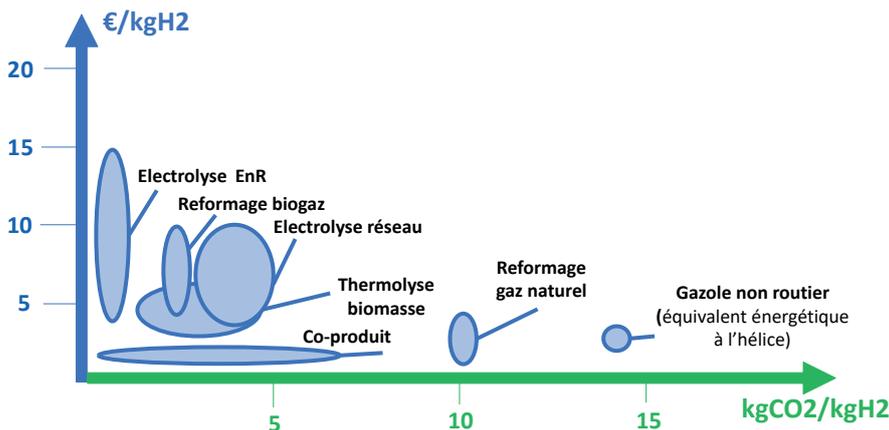
Du méthane est injecté dans un plasma selon des conditions extrêmement contrôlées (pyrolyse). Sous l'effet de très hautes températures, ce méthane se dissocie en di-hydrogène et carbone solide (nanoparticules). Le carbone solide et le di-hydrogène sont récupérés à plus basse température en sortie de procédé dans un dispositif de filtration.

### ÉLECTROLYSE DE L'EAU

Un courant électrique permet de séparer la molécule d'eau en oxygène et en hydrogène. Le procédé prend place dans un électrolyseur et consomme entre 10 et 15 kg d'eau pour 1 kg d'hydrogène. Cet eau est restituée en sortie de pile à combustible.

### HYDROGÈNE COPRODUIT

Certaines industries co-produisent de l'hydrogène en grande quantité (production de chlore par exemple). Cet hydrogène n'est pas toujours valorisé et se retrouve rejeté à l'air. Il peut cependant être récupéré, purifié et utilisé pour la mobilité. Cet hydrogène peut être issu de procédés d'électrolyse.



### FOCUS ELECTROLYSE

La production d'hydrogène par électrolyse dépend de plusieurs facteurs :

- Taux de charge et prix de l'électricité
- Coût d'investissement et de raccordement (CAPEX)
- Puissance installée
- Rendement des électrolyseurs (≈ 75 %)
- Durée de vie des installations
- Maintenance

Le transport et la distribution d'hydrogène ont déjà atteint une maturité industrielle pour certaines technologies grâce à l'usage de ce gaz dans l'industrie. Les gaziers ( tels que Air Liquide, Linde ou encore Messer), les énergéticiens (EDF, ENGIE) ou les distributeurs de carburant transportent des quantités importantes d'hydrogène au départ ou à destination des points de production et/ou de consommation.

## LA DISTRIBUTION



### Remplissage sur station à quai

Une station hydrogène est installée sur le quai et un flexible permet de raccorder le réservoir du bateau à la station. Le remplissage s'effectue à raison de 1 minute par kilogramme d'hydrogène. La station peut produire son propre hydrogène (électrolyseur intégré par exemple) ou bien se faire livrer par un moyen de transport décrit ci-dessous. Cette option nécessite l'installation d'une station à quai.



### Remplissage par échange du module de stockage (swaping) :

Une fois le bateau à quai, un camion ou un bateau échange le module de stockage vide du bateau par un module plein. Cette option nécessite un design modulaire du stockage d'hydrogène sur le bateau. Ceci ne requiert pas de station fixe mais nécessite de doubler au minimum l'investissement pour le stockage de l'hydrogène. Cette approche est en expérimentation sur les projets Flagships et Elektra.



### Avitaillement par bateau :

A l'instar des avitaillement en GNR, un bateau d'avitaillement approvisionne directement en hydrogène le réservoir installé sur un deuxième bateau. Pour un stockage gazeux ou cryogénique, cette approche reste théorique et se heurte actuellement à des difficultés réglementaires. En revanche, elle serait envisageable pour des technologies de stockage chimique de type LOHC (vecteur organique liquide) ou Hydrosil ® (voir ci-dessous)

## LE TRANSPORT

100 kg

### Transport sous pression par camion

L'hydrogène est comprimé entre 200 bar et 500 bar dans des bouteilles de volumes et technologies variables (acier ou composite). Les bouteilles sont transportées par camion et chargées/déchargées sur le lieu de consommation. Ce type de transport perd en compétitivité à partir d'une tonne d'hydrogène et d'un rayon logistique de 150 km.



1 tonne

### Transport liquide par camion

L'hydrogène est refroidi afin qu'il condense en phase liquide. Un camion citerne adapté transporte ainsi un volume plus important que par bouteille d'hydrogène gazeux. La capacité de transport est de quelques tonnes et peut s'effectuer dans un rayon logistique de 500 km.



4 tonnes

### Transport par hydrogénoducs

L'hydrogène est transporté sous forme gazeuse à travers des conduites dédiées. Des hydrogénoducs sont installés dans le nord et dans le sud de la France sur des zones industrielles fortement consommatrices d'hydrogène.



10 tonnes  
et +

### À VENIR: LE TRANSPORT PAR VECTEUR CHIMIQUE

L'hydrogène est associé avec d'autres molécules support (silicium, huiles, ammoniac, etc). Cette association permet de transporter l'hydrogène sous forme de liquide sans conditionnement particulier (camion citerne classique). Il est plutôt adapté pour les grandes distances. Ces technologies sont en cours de maturation et seront commercialisables d'ici à 5 ans (LOHC, Polysilane). C'est également un moyen stockage.

# UTILISATION DE L'HYDROGÈNE

PAGE  
8

## Il existe deux manières d'utiliser l'hydrogène à des fins énergétiques sur un bateau

### 1 Les moteurs thermiques

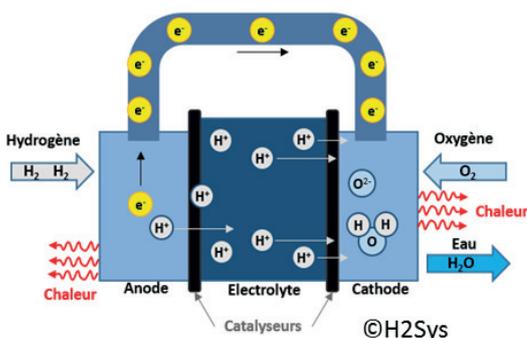
L'hydrogène peut être injecté sous forme de gaz dans un **moteur à explosion** afin de récupérer **une énergie mécanique**. L'hydrogène peut être **pur ou mélangé avec du GNR**. Dans cette configuration 1 kg d'hydrogène peut remplacer 2,5 à 3 litres de diesel. Le rendement énergétique est légèrement inférieur aux moteurs classiques. Le taux d'hydrogène dans le mélange réduira proportionnellement les émissions directes de CO<sub>2</sub> mais augmentera d'autant les émissions de NOx dû à une température de combustion plus élevée.

### 2 Les piles à combustible

La **pile à combustible** est un dispositif permettant de **convertir l'énergie chimique** contenue dans l'hydrogène **en une énergie électrique** sous forme de courant continu. Cette réaction électrochimique s'opère entre l'hydrogène et l'oxygène contenu dans l'air avec une gamme de **rendement (de 35 à 55 %)** et **ne rejette que de la chaleur et de l'eau**. Ainsi, 1 kg d'hydrogène permet de produire autant de force mécanique via une pile alimentant un moteur électrique, que 4,5 litres de gazole via un moteur diesel. Différents types de pile existent comme détaillé ci-dessous.

PEMFC : Proton Exchange Membrane Fuel Cell, membrane polymère	SOFC : Solid Oxide Fuel Cell, membrane céramique
<b>Avantages</b> : Compacte, fonctionne à 80°C, bénéficie des avancées techniques et des baisses de coûts liées à son utilisation dans l'automobile	<b>Avantages</b> : consomme de l'hydrogène ou du gaz naturel, peut être utilisée en cogénération grâce à ses hautes températures de fonctionnement (900°C)
<b>Inconvénients</b> : ne consomme que de l'hydrogène très pur, nécessite du platine*	<b>Inconvénients</b> : forte inertie thermique (plusieurs heures), rejette du CO <sub>2</sub> si utilisation de gaz naturel
<b>Pistes d'amélioration</b> : montée en température (jusqu'à 200°C) - amélioration des rendements et durée de vie.	<b>Pistes d'amélioration</b> : amélioration de la durée de vie - augmentation du nombre de cycle

Etant donnée la maturité technologique, le coût, les performances opérationnelles et la maturité commerciale, les piles de type PEMFC sont actuellement recommandées pour des applications liées au transport.



Pile à combustible de type PEM,  
Fabricant Ballard, 200 kW  
Volume = **1,5m<sup>3</sup>**  
(-40% /modèle précédent) ;  
Poids = **570 kg**  
(-35% /modèle précédent)  
Durée de vie = 30 000 heures



© Ballard

\*A puissance équivalente, un pile contient 4 fois plus de platine qu'un pot catalytique diesel (-60% depuis 2017). Le platine d'une pile peut être recyclé car il se diffuse moins qu'avec les pots catalytiques.



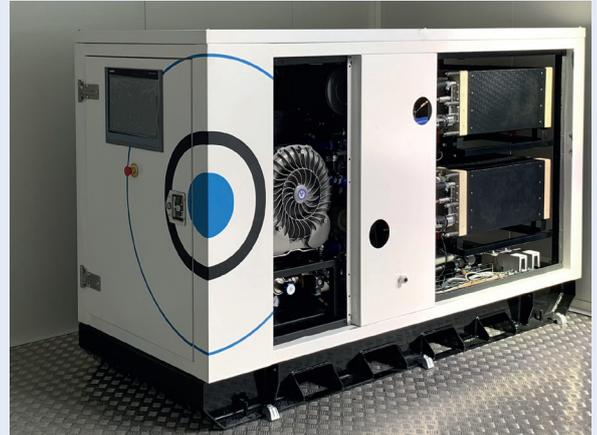
## DES INVESTISSEMENTS EN HAUSSE POUR RÉPONDRE AUX BESOINS

Franck Verbecke, PhD - Directeur Business Développement

### Quelle est votre technologie ?

« Depuis 20 ans HELION Hydrogen Power, marque commerciale d'AREVA Stockage d'Energie, conçoit, développe et fabrique des piles à combustible (PAC) de type PEM (Proton Exchange Membrane) à hydrogène « made in France ». Nous développons nos propres cœurs technologiques sur la base de plusieurs années de développement financée en partie par des guichets français tels que l'ANR et l'ADEME, et développée en étroite collaboration avec le CEA et le CNRS.

Notre technologie, déclinée du kW au MW, permet d'adresser aussi bien les applications stationnaires, typiquement les éco-générateurs hydrogène, les groupes de secours, que les applications de mobilité lourde comme les bateaux et les trains. HELION développe actuellement une brique standardisée de 180 kW, le RACK PAC, à la fois compacte, fiable et compétitive. Cette brique est spécifiquement adaptée aux applications de forte puissance puisqu'il suffit de la multiplier 12 fois pour atteindre jusqu'à 2 MW dans un conteneur 40', conversion de puissance incluse. Cette technologie est conçue pour des applications « heavy duty » pour lesquelles la robustesse et une durée de vie de 20 ans à 30 ans sont essentielles. C'est un élément différenciant majeur par rapport aux PAC développées pour les voitures, certes plus compactes et plus légères, mais dont la durée de vie est restée inférieure à 8 000 heures en raison de la corrosion sur les plaques métalliques utilisées dans le cœur technologique, le stack. A contrario, les durées de vie de notre stack est l'ordre de 40 000 - 50 000 heures grâce à l'utilisation de plaque en graphite composite et où l'AME (Assemblage Membrane Electrode) est le seul consommable qu'il faut changer au bout de 20 000 - 30 000 heures selon les profils de sollicitation de la PAC. »



### Comment voyez-vous le marché ?

« Le marché de la substitution des moteurs à combustion et générateurs électriques diesel est gigantesque. Plus précisément, le marché global de la PAC devrait atteindre 2,5 GW en 2023, soit un taux de croissance annuel de l'ordre de 26 % entre 2018 et 2023. Le marché des Piles à Combustibles (PAC) de type PEM (Proton Exchange Membrane) est prépondérant puisqu'il représentait environ 70% du marché des PAC en 2018 et devrait continuer de croître sur la période 2018 - 2023. **Les ports et les secteurs du maritime et du fluvial représentent un secteur stratégique pour le développement de notre société** tant les objectifs de réduction d'émissions polluantes (CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> et particules fines) sont forts, à savoir de 30% en 2030 et 50% en 2050 par rapport à 2008 (International Maritime Association). »

### Comment vous préparez-vous à répondre à la demande croissante ?

« Le positionnement d'HELION s'étend sur la mobilité lourde (fluvial, maritime, ferroviaire) et le stationnaire (Genset, Groupes de secours, Chaîne hydrogène) nous permettra de dépasser la barre des 50 Millions de CA en 2024. Le RACK PAC étant la brique technologique standardisée pour répondre à ces applications de forte puissance et longue durée de vie, il s'agira à terme d'être en mesure de produire de l'ordre 160 RACK PAC /an et environ 650 stacks/ans en 2024, soit des volumes de production multipliés par 4 par rapport à 2021.

Pour anticiper ces besoins, HELION a initié un plan d'industrialisation dès 2018 qui s'est traduit par l'investissement en 2019 de plus de 1 million d'euros de matériel : l'acquisition d'un moule pour passer de l'usinage au moulage des plaques en graphite composite, d'un robot d'assemblage des stacks et d'une presse électrique pour assurer un montage de qualité, parfaitement reproductible pour des cadences de production jusqu'à 760 stacks/an, et un nouveau hall d'assemblage qui permettra à terme de produire 4 RACK PAC en simultané jusqu'à 190 RACK PAC/an, soit environ 34 MW/an.

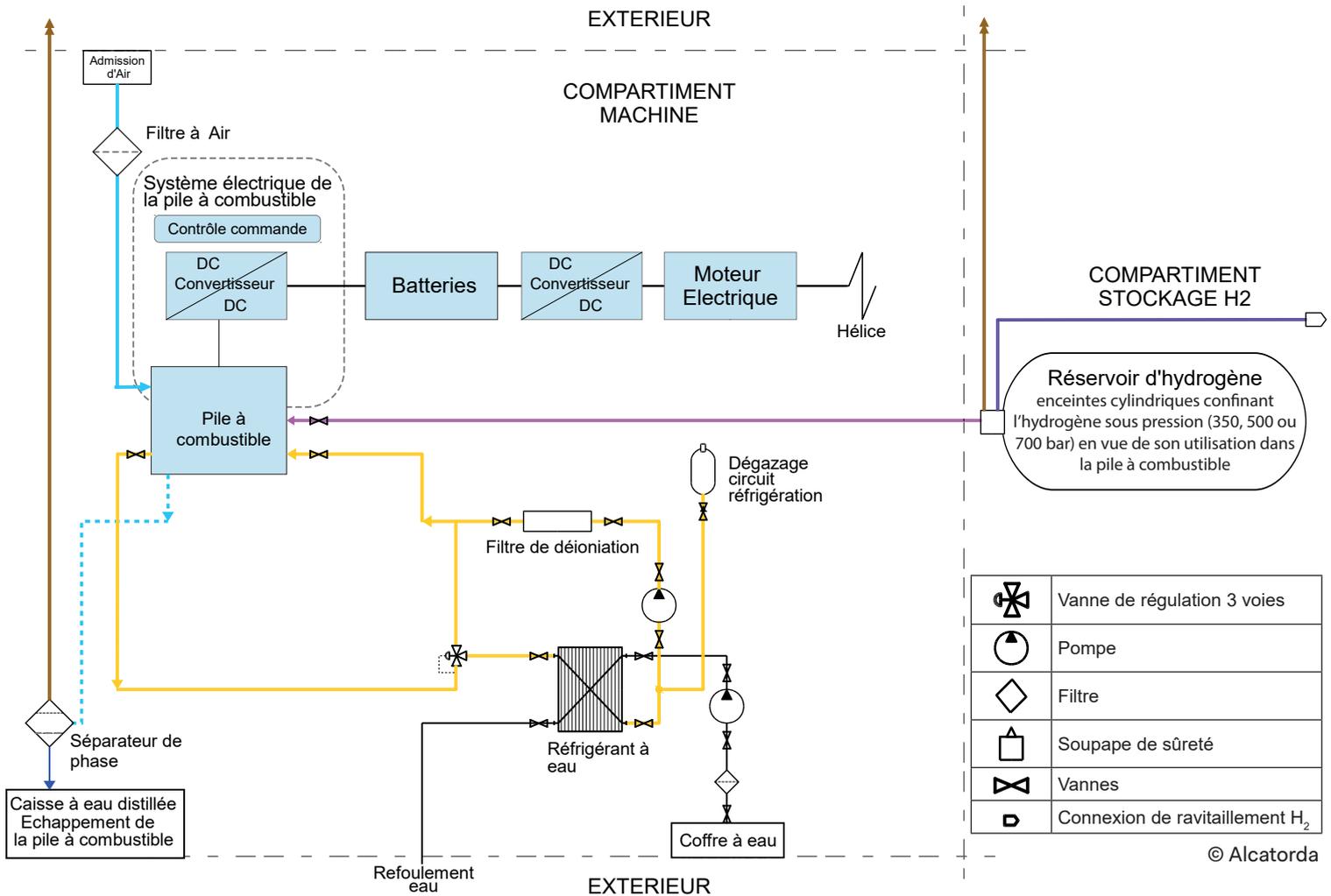
Un plan de recrutement d'une vingtaine de personne est prévu pour faire face à cette croissance exponentielle d'activité. »



# LE BATEAU HYDROGÈNE

PAGE  
10

## Motorisations par systèmes à piles à combustible → 5 kW à 1 MW



### Nomenclature

**Circuit Hydrogène** : ensemble des tuyaux et équipements assurant la bonne alimentation en hydrogène de la pile à combustible.

— Hydrogen refuelling — Hydrogen @ 10 b

**Circuit de réfrigération** : ensemble des tuyaux et équipements assurant le maintien à sa température de fonctionnement de la pile à combustible.

— Circuit primaire de réfrigération — Circuit d'eau fraîche déionisée

**Circuit d'air** : ensemble des tuyaux et équipements assurant la bonne alimentation en air de la pile à combustible.

— Circuit primaire de réfrigération — Échappement

**Circuits de ventilation et de purges** : ensemble des tuyaux et équipements qui permettent l'évacuation en toutes circonstances des excès d'hydrogène vers l'extérieur et le maintien des systèmes dans une atmosphère sécurisée.

— Ventilation — Purge

**DIFFÉRENTS DEGRÉS D'HYBRIDATION AVEC LES BATTERIES SONT POSSIBLES  
CONSULTEZ UN BUREAU D'ÉTUDE POUR ÉVALUER  
LES IMPLANTATIONS POSSIBLES SUR VOTRE BATEAU (voir page 18)**

L'hydrogène est un gaz difficile à stocker de par ses propriétés physiques. Ainsi, grâce à une filière en maturation, plusieurs technologies permettent désormais d'embarquer à bord du bateau une quantité satisfaisante d'hydrogène selon l'autonomie requise :

## STOCKAGE GAZEUX INTÉGRÉ



© CEA – Energy Observer

L'hydrogène est stocké sous forme gazeuse à une pression allant de 200 à 700 bars selon les besoins d'autonomie. Les réservoirs fixes sont en forme de cigare et sont composés d'aluminium et de fibre composite. Le type 350 bars présente une densité de 20 gH<sub>2</sub>/Litre d'encombrement de 67 gH<sub>2</sub>/kg de poids total. Le prix est actuellement de 600€/kgH<sub>2</sub> (350 bars) à 1000€/kgH<sub>2</sub> (700 bars).

**+** un prix relativement accessible, bénéficie des avancées technico-économiques de son usage dans l'automobile, répond aux besoins de **petites et moyennes autonomies**.

**⚠** Nécessite de manipuler de la haute pression et reste volumineux.

## STOCKAGE GAZEUX MODULAIRE



© Daniel Donatelli Secure Supplies of Hong Kong

L'hydrogène est stocké sous forme gazeuse à une pression allant de 350 bar à 700 bar selon les besoins d'autonomie. Les réservoirs sont assemblés dans un module de type container qui sera échangé lors du plein à l'aide d'un bras de levage et d'un camion apportant le nouveau module.

**+** Similaire au stockage gazeux intégré, facilite le ravitaillement en hydrogène (peu de temps d'attente, moins de contrainte sur le lieu de ravitaillement)

**⚠** + de manipulations que le stockage intégré, le stockage doit être accessible par un bras mécanique ou autres dispositifs de chargement/déchargement

## STOCKAGE SOLIDE



© CEA

L'hydrogène est stocké sous forme d'hydruure métallique, c'est-à-dire que la molécule de gaz se fixe sur un métal support (poudre). L'hydrogène est soit stocké soit libéré grâce à une variation de la température. La recharge s'effectue avec de l'hydrogène gazeux. La densité énergétique varie entre 80 et 150 g/L d'encombrement.

**+** Ce stockage permet une pression relativement faible (10 bars) et une densité de stockage intéressante.

**⚠** Nécessite des températures de fonctionnement importantes (300°C), présente une inertie de restitution de l'hydrogène, peu d'offre mature techniquement. Encombrement et poids importants.

## STOCKAGE LIQUIDE



© MAN

L'hydrogène est refroidi à très basse température (-253°C) afin qu'il condense sous forme liquide. Le réservoir est donc un réservoir cryogénique (très bonne isolation thermique). Il convient de recharger le stockage avec de l'hydrogène liquide uniquement. La densité énergétique est de 70,8 g/L. D'autres formes de stockage liquide sont actuellement développées notamment sous forme de LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carriers) ou de polysilane.

**+** Forte densité énergétique, permet de répondre aux besoins de fortes autonomies.

**⚠** Nécessite un approvisionnement adéquat de l'hydrogène et la problématique d'évaporation (boil-off) est la même que pour le GNL (gaz naturel liquéfié) avec une perte de 0.3 à 1 % du stockage par jour.

# PROJETS ET RETOURS D'EXPÉRIENCES (1/2)

PAGE  
12

De nombreux opérateurs expérimentent déjà les bateaux hydrogène à travers l'Europe, qu'il s'agisse de transport de voyageurs ou de marchandises. Voici les principaux :

## TRANSPORT DE VOYAGEURS

### NAVIBUS H2

**Lieu et date** : Nantes, 2018 (en opération)

**Type** : Transport de passagers (12 passagers)

**Détail** : 2 x 5 kW de pile à combustible; 11 kgH<sub>2</sub> ; Traversée de 3 minutes à la demande sur l'Erdre ; 1 plein par semaine à une station dédiée.

[www.semitan.tan.fr](http://www.semitan.tan.fr)



### ZEM SHIP

**Lieu et date** : Hambourg, 2008-2013

**Type** : Transport de passagers (100)

**Détail** : 2 x 48kW de pile à combustible; 50 kgH<sub>2</sub> ; 9 trajets/j de 50 minutes ;

[www.ec.europa.eu/zemship](http://www.ec.europa.eu/zemship)



## TRANSPORT DE MARCHANDISES

**Interreg**   
North-West Europe  
H2SHIPS

**Lieu et date** : Paris, 2022

**Type** : Barges de déchets

**Détail** : Projet européen Interreg couplé à deux autres projets maritimes à Amsterdam et en Belgique. Associé EDF et HAROPA.

[www.hydrogeneurope.eu/h2ships](http://www.hydrogeneurope.eu/h2ships)



### ELEKTRA

**Lieu et date** : Berlin, 2021

**Type** : Pousseur de barges

**Détail** : 3 x 100 kW de pile à combustible ; Stockage 750 kgH<sub>2</sub> ; Pack batterie de 2 MWh ; Approvisionnement de l'hydrogène par camion avec échange de réservoir (cadre de bouteilles).



© EBMS

 **FLAGSHIPS**

**Lieu et date** : Lyon, 2021

**Type** : Pousseur de barges CFT

**Détail** : 400 kW de pile à combustible, stockage gazeux avec approvisionnement par échange de réservoirs. Projet financé par l'Union Européenne et couplé à un projet de ferry hydrogène en Norvège. [www.flagships.eu](http://www.flagships.eu)

[www.flagships.eu](http://www.flagships.eu)

 **COMPAGNIE FLUVIALE DE TRANSPORT**  
SOGESTRAN GROUP

### PM 13

**Lieu et date** : Paris, 2022

**Type** : Pousseur de barges CEMEX

**Détail** : 13m x 5,8m ; 2 800t de charge ; Système batterie et pile à combustible équivalent à 2 x 285 kW diesel.



### HYBARGE

**Lieu et date** : Toulouse, 2020 - 2021

**Type** : Automoteur L'ÉQUIPAGE

**Détail** : Conception d'un automoteur équipé d'un système batterie et pile à combustible d'une puissance de 176 kW.

[www.orion-naval.solutions/project\\_automoteur-fluvial-h2/](http://www.orion-naval.solutions/project_automoteur-fluvial-h2/)



<p><b>PRÉ-ÉTUDE</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Définition du bateau , de son fret ou service, de ses cycles d'usage et zones de navigation.</li> <li>• Choix de la motorisation : définition de la chaîne de propulsion électrique, forme du stockage de l'hydrogène, définition du système pile à combustible</li> <li>• Evaluation de la masse financière et de la durée du projet</li> </ul>
<p><b>ÉTUDE DE FAISABILITÉ (AVANT PROJET SOMMAIRE)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Périmètre des réglementations applicables dans le cadre de la méthode d'approbation en « Alternative Design », choix d'une société de classification</li> <li>• Dimensionnement du bateau, de la motorisation et de sa chaîne de propulsion</li> <li>• Evaluation des coûts d'acquisition et d'exploitation</li> </ul>
<p><b>CONCEPTION (AVANT PROJET DÉTAILLÉ)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plan d'aménagement global, plans et schémas</li> <li>• Calcul des paramètres de construction et de motorisation</li> <li>• Analyse de risques, analyse de défaillances</li> <li>• Projection des coûts de possession du bateau</li> </ul>
<p><b>CONSTRUCTION</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Commande des équipements et plans de détails de construction</li> <li>• Découpage des tôles, pose de la quille, montage de la coque</li> <li>• Montage des sous-systèmes et essais d'atelier</li> </ul>
<p><b>INTÉGRATION</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Assemblage des sous-systèmes, inspections de certification</li> <li>• Montage et assemblage de l'ensemble système électro-hydrogène à bord</li> <li>• Epreuves et essais de fonctionnement par tranche, puis de l'ensemble</li> </ul>
<p><b>MISE EN SERVICE ET TESTS</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Essais de fonctionnement, paramétrages des systèmes et auxiliaires</li> <li>• Inspection et visite pour la délivrance de l'autorisation de navigation, essais de sécurité</li> <li>• Remise des documents, certificats et homologations, manuel de l'utilisateur, manuel de maintenance, fourniture des pièces détachées prévues par la réglementation, formation de l'équipage</li> </ul>
<p><b>MAINTENANCE SAV</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Certification de la coque et de la machine</li> <li>• Validation de la garantie machine sur durée prévue au contrat</li> <li>• Souscription d'un contrat de maintenance et télémaintenance avec supervision du système machine H2</li> </ul>

## RÉGLEMENTATION ET RISQUES

L'ensemble des composants en contact avec l'hydrogène suivent des normes et des certifications spécifiques. A titre d'exemple les équipements hydrogène sous pression (réservoir, détendeurs, etc) sont certifiés avec la norme EC79. Cette norme a notamment été éprouvée dans le secteur automobile.

Les réservoirs sous pression sont testés à 2,5 fois la pression de service et en cas d'incendie, le contenu du réservoir est venté à l'extérieur par des sécurités se déclenchant à **110°C**. Les zones de stockage et d'utilisation de l'hydrogène sont dimensionnées selon les recommandations du DNV-GL ou du Bureau Veritas afin d'éviter les points d'accumulation du gaz. Une étude ATEX définira les zones sensibles et les équipements associés sur chaque configuration.

L'homologation des bateaux hydrogène est possible (cas du Navibus-H2) auprès des autorités compétentes (Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, Commission Centrale pour la Navigation du Rhin et bureau de contrôle) moyennant les tests et études de risques appropriés. Il est indispensable d'associer les Services Départementaux d'Incendie et de Secours à votre démarche de bateau hydrogène le plus en amont possible.

L'arrêté « zone restreinte » permet de déroger aux règlements européens, notamment dans le cadre d'expérimentations. À titre d'exemple, l'article 1 précise : « En application de l'article D. 4220-4 du code des transports, l'autorité compétente pour la délivrance des titres de navigation peut autoriser un bateau, engin flottant ou établissement flottant, navigant sur une zone restreinte des eaux nationales destinées à la navigation des bateaux visées à l'article D. 4211-1, à déroger à une ou plusieurs dispositions du titre II du livre II de la quatrième partie du code des transports ou des arrêtés pris pour leur application ».

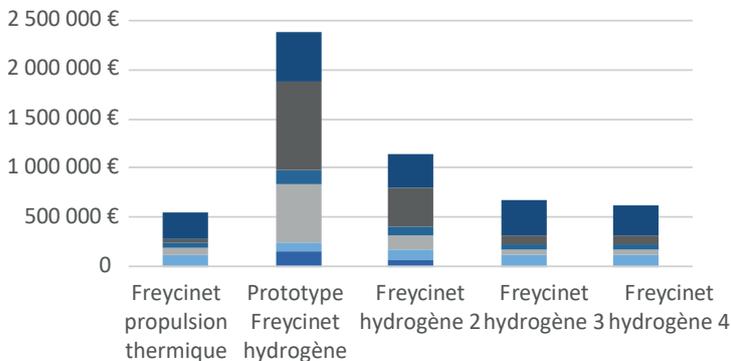
**Plus d'information sur la réglementation : [www.fluvial.developpement-durable.gouv.fr](http://www.fluvial.developpement-durable.gouv.fr)**

# BILAN ÉCONOMIQUE

PAGE  
**14**

A ce jour, quel que soit le choix initial d'investissement sur un bateau de fret ou à passagers, si on considère la durée de vie d'un bateau de transport par voie navigable, cet investissement passera le début de sa vie dans une économie carbonée et les ¾ de sa vie dans une économie décarbonée.

## Comparatif des coûts d'investissement (exemple pour une unité au gabarit Freycinet)



L'essentiel des surcoûts est supporté par les modèles 1 et 2 du type de bateau concerné, au-delà du type de construction, Freycinet ou autres.

La construction du prototype est affecté des coûts d'études et de développement de la technologie, le second doit supporter les études et montages correctifs issues du retour d'expérience du premier modèle.

Dès le 3<sup>e</sup> exemplaire et selon la série à produire, les investissements pour la construction du bateau descendent à un niveau proche de celui d'un modèle conventionnel à motorisation thermique.

Les investissements pour les infrastructures supports, installations de production de l'hydrogène et de sa distribution qui relèvent d'investissements de l'Etat ou des régions ne sont pas intégrés à ce comparatif.

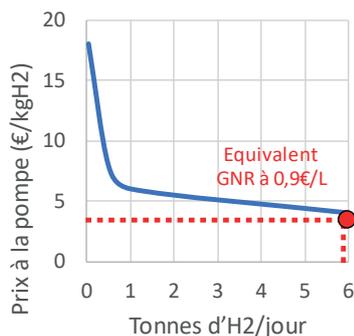
- Système piles à combustible (2 x 70 kW) ou motorisation (stockage H<sub>2</sub> compris)
- Homologation (Procédés et démarches de certifications et essais)
- Intégration (assemblage, montage, essais)
- Etudes associées
- Coque
- Essais, mise au point...

## Comparatif des coûts de fonctionnement

Ces ordres de prix sont une résultante de coûts de production/transport/distribution qu'il convient d'optimiser dans le cadre du projet. Les efforts des industriels de la filière vont permettre de faire baisser le prix de l'hydrogène à horizon 2025.

### Combustible

Évolution du prix de l'hydrogène\* à la pompe en fonction du volume de production



Prévision d'évolution du prix\*\* d'un plein d'hydrogène (équivalent énergétique à l'hélice de 10 000 litres de GNR)



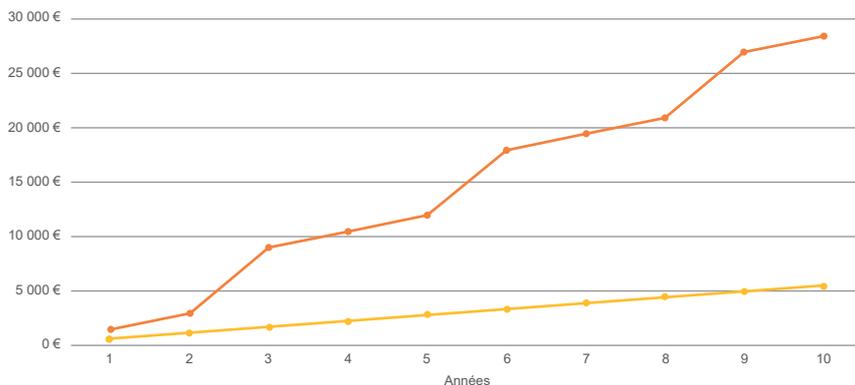
\* Hydrogène bas-carbone produit par électrolyse semi-centralisée de masse (source FCH-JU) ;

\*\* 1 kg d'hydrogène permet de produire autant de force mécanique via une pile alimentant un moteur électrique, que 4,5 litres de gazole via un moteur diesel

### Maintenance

Les coûts de maintenance sont ceux connus pour un moteur de 160 kW et une installation de pile à combustible de 140 kW.

- Maintenance Thermique
- Maintenance H<sub>2</sub>



Au-delà de l'aspect économique, plusieurs facteurs vont déterminer la viabilité d'un projet de bateau hydrogène. Certains dépendent de l'activité spécifique de l'armateur, d'autres dépendent de la filière hydrogène en développement. La présence d'infrastructure, le contexte local (économique, environnemental, politique) ainsi que la maturité des partenaires sont autant de facteurs qui peuvent amener à la réussite d'un projet hydrogène.

## Facteurs liés à la filière hydrogène



Carburant (comparatif pour l'année 2020)	Prix	Exploitation	Impact CO <sub>2</sub>	Impact air
Hydrogène (source renouvelable)	--	+	++	++
Hydrogène d'origine fossile	-	+	-	++
GNR (Gazole non routier)	++	++	--	--
GNL (Gaz naturel Liquéfié)	+	-	-	--
GTL (Gas-to-Liquid, carburant de synthèse)	+	+	-	-
Batterie	-	-	++	++
Hybride (GNR+Electricité)	+	++	-	-

## Présentation des leviers de financement (fonds européens, appels à projets nationaux) et taux de couverture associée.

- Financement par un programme territorial associé au thématique de l'alternance énergétique ou la préservation du climat, au niveau de la région ou de collectivités territoriales (fonds FEDER)
- Financements par le Programme d'Investissements d'Avenir au niveau de l'Etat (PIA)
- Financements d'amorçage et études préliminaires
  - ⇒ Plan d'Aide à la Modernisation et à l'Innovation (PAMI)
  - ⇒ Financements d'aide à la décision de l'Ademe
- Appel A Projets (AAP) nationaux ou européens
- Programmes européens dédiés à l'hydrogène
  - ⇒ H2020
  - ⇒ FCH-JU

## Typologie des projets le plus à même de recevoir des subventions (partenariats Interreg, projets de territoires, projets innovants)

- Désormais toutes les régions françaises métropolitaines possèdent un programme territorial pouvant inclure un projet de remplacement de motorisations thermiques conventionnelles vers des motorisations à combustibles alternatifs ou renouvelables y compris l'hydrogène. Dans cette phase d'amorçage et de développement des technologies de l'hydrogène associées aux transports et à la mobilité, les aides sont destinées à couvrir les surcoûts qu'entraîne un tel projet. L'aide accordée sur un programme hydrogène permet également de développer les infrastructures de production et de ravitaillement en hydrogène, bases d'un déploiement de ces technologies.
- Les agences (Ademe) et établissements de l'Etat (VNF), ainsi que les services de développement économique régionaux seront à même de vous renseigner.

ADEME



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Énergie

## RÔLE DE L'ADEME DANS LA DIFFUSION DES USAGES DE LA MOBILITÉ FLUVIALE H<sub>2</sub>

Philippe CAUNEAU - Ingénieur Transports et Mobilité

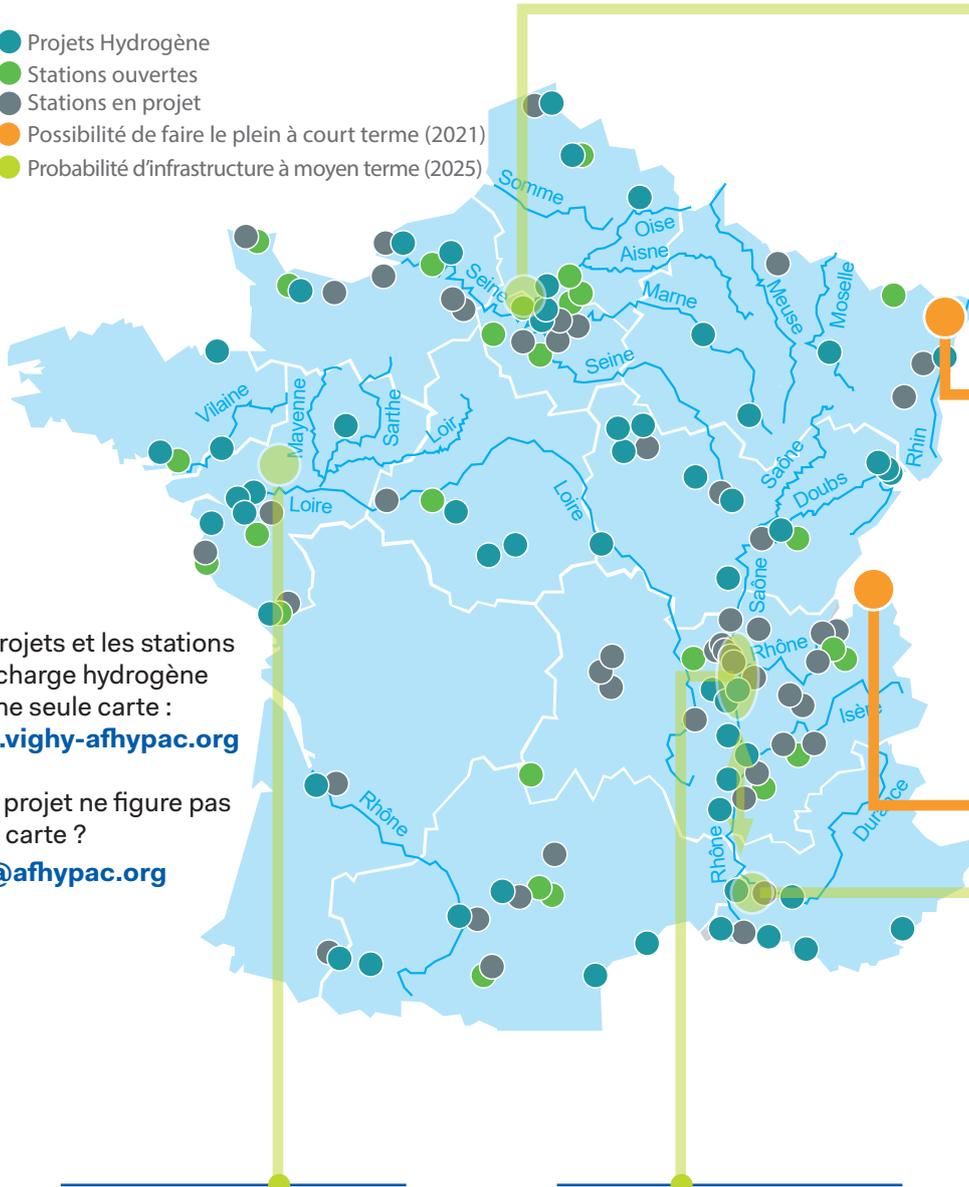
« Les premiers projets hydrogène pour le maritime et le fluvial qui ont bénéficié du soutien financier et de l'accompagnement de l'ADEME remontent à une dizaine d'années. Par exemple, dans le cadre du transport fluvial, le projet NavHybus, lauréat d'un appel à projet TITEC édition 2011/2012, se situe sur l'agglomération nantaise et consiste en une navette fluviale à passagers avec deux PAC H<sub>2</sub> d'une puissance unitaire de 5 kW. La mise en service a eu lieu en 2019 et a permis d'obtenir un retour d'expérience riche d'enseignements sur les aspects réglementaires, sécuritaires et d'usages. De nombreux acteurs étaient engagés dans ce projet, des acteurs industriels comme Bureau Veritas, Matis Technologies, Navalu, Ship Studio, Symbio, et également des collectivités et acteurs publics comme la Mission H<sub>2</sub>, SEMITAN, l'Université de Nantes, Le 1er juin 2018, le Gouvernement a annoncé, par son ministre d'Etat Nicolas HULOT, la mise en œuvre d'un plan de déploiement de l'hydrogène, ce plan ayant pour objectif d'accompagner l'innovation et les premiers déploiements industriels de l'hydrogène décarboné, pour être prêt à en faire un pilier de la transition énergétique à moyen terme.

Pour concrétiser la mise en œuvre de ce plan, l'ADEME a ouvert plusieurs appels à projets sur 2019 :

- L'AAP « Ecosystèmes de mobilité hydrogène » (Soutien combiné d'une production locale d'H<sub>2</sub>, de stations et l'acquisition de véhicules de flottes). Il a permis de sélectionner en 2019 21 projets sur 59 déposés, pour un montant d'aide de 80 M€, dont le projet HYNORAR (navette maritime). Aucun des 21 projets sélectionnés ne vise un usage dans le transport fluvial. Cette APP sera reconduit en 2020.
- L'AAP « Production et fourniture d'hydrogène décarboné pour des consommateurs industriels » (Soutien d'investissements de production, potentiellement décentralisée, €/tCO<sub>2</sub> évitées).

Par ailleurs, l'ADEME co-finance des projets d'innovation via le dispositif PAMI de VNF au travers d'une convention triennale (2019 à 2021), avec une intensité d'aide allant jusqu'à 20%. Ce complément de financement a un effet de levier significatif dont le projet HyBarge, projet d'automoteur avec PAC H<sub>2</sub>, a bénéficié en 2019. »

- Projets Hydrogène
- Stations ouvertes
- Stations en projet
- Possibilité de faire le plein à court terme (2021)
- Probabilité d'infrastructure à moyen terme (2025)



Les projets et les stations de recharge hydrogène sur une seule carte : [www.vighy-afhypac.org](http://www.vighy-afhypac.org)

Votre projet ne figure pas sur la carte ? [info@afhypac.org](mailto:info@afhypac.org)

### Opportunité de projet

- Enjeux politique des JO 2024
- Pression sur le trafic routier
- Pression sur la qualité de l'air

### Source hydrogène potentielle

Électrolyse avec l'électricité issue de l'incinérateur Isséane implanté sur le territoire d'Issy-les-Moulineaux (92)

### Opportunité de projet

- Différenciation concurrentielle
- Pression sur la qualité de l'air

### Sources hydrogène potentielles

Électrolyse avec les barrages hydroélectriques du Rhin  
Thermolyse de la biomasse à Strasbourg (Haffner)  
Hydrogène co-produit

### Opportunité de projet

- Synergie avec les stations pour les 1 600 camions H2 (COOP)
- Lac Léman, Annecy et Bourget fortement touristique

### Source hydrogène potentielle

Électrolyse avec les barrages hydroélectriques Alpains

### Opportunité de projet

- Station du Navibus-H2 en opération

### Source hydrogène potentielle

Électrolyse avec les sources renouvelables locales

### Opportunité de projet commun

- Pousseur de ligne entre le site industriel de Fos-sur-mer et le Grand Lyon
- Connexion fluviale entre deux régions engagées sur l'hydrogène

### Source hydrogène potentielle

Électrolyse avec sources renouvelables de la CNR

### Source hydrogène potentielle

Hydrogène co-produit en grande quantité (projet Valhydate)

## FOCUS SUR L'AXE RHÔNE



« Avec le projet HyAMMED, Air Liquide propose la distribution d'hydrogène décarboné aux véhicules lourds dans la zone de Fos sur Mer. Nous restons ouverts à toute nouvelle opportunité de distribution d'hydrogène décarboné, notamment pour la mobilité fluviale sur le Rhône »

**Patrick Dilly,**  
Directeur Développement Mobilité H2 France

« CNR étudie actuellement le développement d'un électrolyseur pour la production d'hydrogène renouvelable en quantité industrielle, dont une partie de la production sera destinée à la mobilité fluviale sur le fleuve Rhône. »

**Frédéric Storck,**  
Directeur Transition Énergétique et Innovation

## INTÉGRATEURS ET ARCHITECTES

### CIAM (France)

Tél. : 06 04 59 16 23  
Mail : f.lefebvre@europetechnologies.com

### EUROPE TECHNOLOGIE CIAM

2 rue de la Fonderie  
44470 CARQUEFOU  
Tél. : 02 51 70 04 94

### LMG MARIN France

9 rue Saint Antoine Du T  
31000 Toulouse  
Tél. : 05 36 09 00 71

### MAHYTEC

6 Rue Léon Bel  
39100 Dole  
Tél. : 03 84 80 17 20  
Mail : contact@mahytec.com

### Iljin (Corée du sud)

527 Samseongno Gangnam-gu  
Seoul  
Tél. : 02-553-1795  
www.iljin.com

### ABB Marine (France)

ZAC Saumaty Sèon  
14 rue Jean-Jacques Vernazza  
13 321 Marseille  
Tél. : 04 96 15 82 00  
Mail : contact.center@fr.abb.com

### NEXEYA (France)

A Hensoldt Company  
24 avenue de Pasleck  
16 400 La Couronne  
Tél. : 05 45 24 87 21

### BUREAU MAURIC

1 rue de la Noë  
44000 Nantes  
Tél. : 02 51 86 49 49  
Mail : mauric@mauric.com

### SIEMENS

ZAC Saumaty Sèon  
14 rue Jean-Jacques Vernazza  
13 321 Marseille  
Tél. : 04 96 15 82 00  
Mail : contact.center@fr.abb.com

### ORION SOLUTIONS

C/O ADEXA - Valparc 2 - Bâtiment A  
230, avenue de Rome  
83500 LA SEYNE-SUR-MER, FRANCE  
Tél. : 09 71 00 46 80  
Mail : contact@orion-naval.solutions

## FOURNISSEURS DE RÉSERVOIRS

### LUXFER (Royaume-Uni)

Colwick Industrial Estate  
Nottingham NG4 2BH  
Tél. : +44 (0)115 980 3800  
Mail : LGCN-InsideSales@luxfer.com

### HEXAGON (Norvège)

Korsegata 4B  
P.O. Box 836 Sentrum  
NO-6002 Ålesund  
Tél. : +47 70 30 44 50  
Mail : office@hexagongroup.com

### FAURECIA

23-27 avenue des Champs Pierreux  
92000 Nanterre  
Tél. : 01 72 36 70 00

### STELIA COMPOSITES

19 route de Lacanau  
33160 Salaunes  
Tél. : 05 56 68 55 00

## FOURNISSEURS DE SYSTÈMES PILE À COMBUSTIBLE

### SYMBIO (France)

14 rue Jean-pierre Timbaud  
Espace des vouillands 2  
38600 Fontaine  
Tél. : 09 72 64 15 33  
Mail : contact@symbio.one

### BALLARD (Danemark)

Majsmarken 1  
DK-9500 Hobro  
Tél. : +45 8843 5500  
Mail : contact@ballardeurope.com

### HYDROGENICS (Belgique)

Nijverheidsstraat 48c  
2260 Oevel  
Tél. : +32 14 46 21 10  
Mail : hydrogensales@hydrogenics.com

### POWERCELL (Suède)

Ruskvädersgatan 12  
SE-418 34 Gothenburg  
Tél. +46 (0) 31 720 36 20  
Mail : info@powercell.se

### HELION HYDROGEN POWER

Areva Stockage d'Energie  
Domaine du Petit Arbois  
Bâtiment Jules Verne  
Avenue Louis Philibert  
CS 10656- 13547  
Aix-en-Provence Cedex 4  
Tél. : 04 42 90 81 50  
Mail : info@areva-energy-storage.com

## FOURNITURE D'HYDROGÈNE

**Air Liquide Patrick DILLY**

Directeur Développement  
Mobilité H2  
2 rue de Clémencièrre, BP 15  
38360 Sassenage  
Tél. : 06 12 51 18 24  
Mail : patrick.dilly@airliquide.com

**LINDE**

523 cours du 3 ème millénaire -  
CS10085,  
69792 Saint-Priest Cedex,  
Tél. : 08 26 08 12 12

**ENGIE COFELY H2 (France)**

Bérangère Préault  
Directeur de projets  
59 Rue denuzière, 69285 Lyon  
Tél. : 06 47 67 55 48  
Mail : berangere.preault@engie.com

**HYNAMICS (EDF)**

Tour EDF – 20, place de la Défense  
92050 Paris la Défense CEDEX  
Mél : contact-hynamics@edf.fr

**COMPAGNIE NATIONALE DU RHÔNE**

2 rue André Bonin  
69 004 Lyon  
Tél. : 04 72 00 69 69

**Akuo Energy**

140 avenue des Champs Elysées  
75008 Paris  
Tél. : 01 47 66 09 90  
Mail : akuoenergy@akuoenergy.com

## BUREAUX D'ÉTUDES TECHNIQUES

**ALCA-TORDA APPLICATIONS**

Centre d'Affaires Laroiseau  
1 rue Anita Conti  
56000 Vannes  
Tél. : 02 85 52 04 70  
Mail : info@alca-torda.com

**ALTERNATIVES ENERGIES**

52, rue Sénac de Meilhan 17 000 La  
Rochelle  
Tél. : 05 46 50 29 87  
Mail : contact@alternativesenergies.com

**Ship ST**

58 avenue de La Perrière  
56100 LORIENT - FRANCE  
Tél. : 02 97 50 38 05  
Mail : contact@ship-st.com

**ENERGY OBSERVER DEVELOPMENTS**

Tour Sequana  
82 rue Henri Farman - CS 20077  
92445 Issy les moulineaux cedex  
Mail : contact.eodev@energy-observer.org

## ACCOMPAGNEMENT (ASSOCIATIONS ET CABINETS)

**MISSION HYDROGÈNE MH2  
(Pays de la Loire)**

43 rue Bobby Sands  
BP 80095  
44814 - Saint-Herblain  
Tél. : 02 44 76 03 12

**AFHYPAC**

**Association française pour  
l'hydrogène et les piles  
à combustible**  
28, rue Saint Dominique  
75007 Paris  
Tél. : 01 44 11 10 04  
Mail : info@afhypac.org

**ENERKA CONSEIL**

1 rue Conrad Killian  
38950 Saint-Martin Le Vinou  
Tél. : 06 01 76 27 98  
Mail : karel.hubert@enerka-conseil.com

## PÔLES DE COMPÉTITIVITÉ

**TENERRDIS**

**(Auvergne-Rhône-Alpes) Polytec**  
**19, rue des Berges**  
38024 Grenoble Cedex  
Tél. : 04 76 51 85 34

**CAPENERGIES**

**(Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur)**  
**Technopôle de l'Environnement**  
**Arbois-Méditerranée**  
Bâtiment Henri Poincaré  
Domaine Petit Arbois  
Avenue Louis Philibert - CS 30658  
13547 Aix en Provence Cedex  
Tél. : 04 84 30 05 70

**CARA**

**(Auvergne-Rhône-Alpes)**  
Place de la Bourse  
69289 Lyon cedex 02  
Tél. : 04 72 40 57 00

**NOVALOG**

**(Pôle de compétitivité logistique)**  
Docks Dombasle 1  
2, rue Dombasle  
76600 Le Havre  
Tél. : 02 78 63 00 05

Ce document est conçu par ENERKA pour Voies navigables de France dans le cadre de BATELIA pour aider les transporteurs qui le souhaitent à appréhender les spécificités de la propulsion hydrogène. Note : Nous nous réservons le droit d'apporter des modifications techniques ou de modifier le contenu de ce document sans préavis. Les parties impliquées dans la production de ce document (VNF, ENERKA ou ALCATORDA) déclinent toute responsabilité en cas d'erreurs éventuelles ou de manque d'informations dans ce document. Nous nous réservons tous les droits sur ce document et les illustrations qui y sont contenues. Toute reproduction, divulgation à des tiers ou utilisation de son contenu - tout ou partie - est interdite sans l'autorisation écrite préalable d'ENERKA ou de ALCATORDA.

Copyright©2019 VNF & ENERKA. Tous droits réservés.  
Photographie Alcatorda.



## **VNF**

Voies navigables de France  
175, rue Ludovic Boutleux  
CS30820  
62408 Béthune cedex  
Tél. : +33 (0)3 21 63 29 46

*Direction du Développement  
Édition Janvier 2020*