

Radar 2022

Ecosystèmes innovants de la filière hydrogène

Décryptage des innovations françaises et européennes répondant aux challenges associés au vecteur énergétique hydrogène

AGENDA

Avant-propos

Page 3

/ **01** [Méthodologie](#) Page 6

/ **02** [Présentation du radar](#) Page 9

/ **03** [Enseignements du radar](#) Page 19

[Executive summary](#)

/ **04** [En savoir plus sur cette publication](#) Page 31



Présentation du cabinet Wavestone

NOUS ACCOMPAGNONS LES GRANDES ENTREPRISES ET ORGANISATIONS DANS LEURS TRANSFORMATIONS LES PLUS CRITIQUES



**Business &
technologie**

**15 bureaux
dans 9 pays**



**CA
470 M€**

**+3 000
collaborateurs**



**Engagé dans
l'innovation
au service de
la transition
énergétique**



L'hydrogène, des atouts pour s'affirmer comme un élément clé du mix énergétique

L'abondance de l'hydrogène sur Terre représente un avantage de taille : c'est un élément potentiellement inépuisable et disponible partout. Cependant, l'hydrogène n'existe pas à l'état pur, il faut donc le produire puis le transformer. De la même façon que l'électricité, l'hydrogène est ainsi qualifié de « vecteur énergétique ».



Pour sortir du marché historique de l'hydrogène carboné (dit « gris »), la filière de l'hydrogène décarboné/bas-carbone, portée par le procédé d'électrolyse, est en pleine croissance. Elle positionne ainsi l'hydrogène comme un levier clé pour répondre aux problématiques de Transition Energétique.

Réduction de la dépendance aux énergies fossiles

Lissage de l'intermittence des EnR et stockage d'électricité

Flexibilité des réseaux de gaz

Décarbonation des industries et des transports

(...)



L'hydrogène peut être utilisé pour produire de la chaleur ou de l'électricité, en ne rejetant que de l'eau, ce qui en fait un élément clé pour répondre aux besoins des secteurs de la Mobilité et du Tertiaire. Côté Industrie, il est aujourd'hui présent dans de nombreux usages portés par des acteurs historiques de la filière. Il peut être également utilisé comme vecteur énergétique pour des processus industriels spécifiques ou pour la production d'autres vecteurs énergétiques.



La filière de l'hydrogène bas-carbone bénéficie aujourd'hui de nombreux mécanismes de soutien à l'échelle Européenne et en particulier en France !



Stratégie française hydrogène 2020

7 milliards d'euros d'ici 2030 avec 3,4 milliards d'euros d'ici 2023. Priorités à la décarbonation de l'Industrie et de la mobilité lourde ainsi qu'à la R&D

Plan France 2030

2 milliards d'euros d'ici 2030 pour soutenir le développement de la filière, en particulier via les gigafactories d'électrolyseurs



Nos convictions sur les facteurs clés de succès de la filière hydrogène décarboné/bas-carbone

Maturité

La quantité et la diversité des projets de démonstrateurs en France et en Europe traduisent **des niveaux de maturité inégaux** selon les maillons de la chaîne de valeur : la production est sensiblement plus développée que les usages finaux. Le maillon transport et distribution est encore peu pris en compte dans les projets. De manière générale, **la filière reste encore peu mature et peu de démonstrateurs ont passé l'étape de l'industrialisation.**

Périmètre

Malgré l'étendue des applications possibles de l'hydrogène, **une rationalisation et une priorisation des cas d'usage** sera nécessaire à moyen terme, compte-tenu de la capacité limitée de production d'hydrogène vert.

Il convient **d'orienter le marché vers les usages les plus rentables** et présentant le **plus fort potentiel de décarbonation** (industrie, tertiaire et mobilité lourde).

Rentabilité

Les **usages hydrogène** sont fortement **capitalistiques** et présentent des **coûts de fonctionnement élevés** (du fait du rendement limité de la conversion notamment). Ainsi, la construction de **modèles d'activités rentables** reste un des enjeux phares du développement de la filière. Par ailleurs, cela impose aussi de **dimensionner l'offre (production) au plus proche de la demande (consommation).**

Verrous

Le développement de la filière reste conditionné à la **levée de verrous technologiques** (amélioration des rendements), **réglementaires** (autour de la production, du transport et de la distribution, gestion des garanties d'origine, etc.) et **économiques** (soutien aux projets pour l'investissement mais également pour l'exploitation, développement des infrastructures, etc.) ainsi qu'à des **choix politiques.**

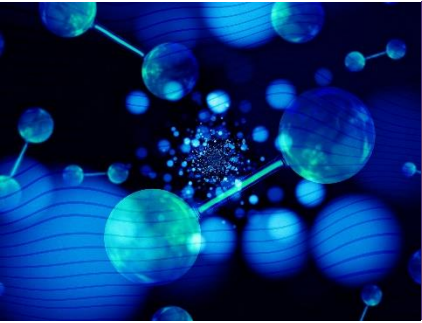


02

01

**Présentation de la
méthodologie du Radar**
des écosystèmes innovants
de la filière hydrogène

Méthodologie de construction du Radar



Le radar des écosystèmes innovants de l'hydrogène Edition 2022 est le fruit de la collaboration entre Wavestone et le Congrès Horizons Hydrogène.

Notre ambition : recenser les solutions avec un objectif de décarbonation et une composante innovante qui impacteront la chaîne de valeur de l'hydrogène dans un futur plus ou moins proche.

CADRAGE

1

Identification des challenges majeurs de la chaîne de valeur de l'hydrogène

Réalisation d'un état de l'art des technologies

Définition des critères d'éligibilité au Radar

2

SOURCING DES ECOSYSTEMES

Mise à jour des informations collectées pour l'édition 2021

Recherche de nouvelles informations et de nouveaux écosystèmes innovants (France et international) :

- Experts/clients de l'écosystème
- Presse spécialisée
- Sites de référence

3

ANALYSE DES INFORMATIONS

Consolidation des données géographiques, financières, commerciales et technologiques

Définition des catégories du Radar

4

STRUCTURATION DU RADAR

Formalisation du Radar

Rédaction de grands enseignements sur la base des analyses effectuées



Nos partis pris pour ce Radar

Un périmètre de recherche axé sur la France avec une ouverture sur les pratiques de nos voisins européens



Ce Radar cartographie les écosystèmes innovants ayant un siège social en France et met également en avant des exemples concrets d'innovations basées en Allemagne, Royaume-Uni, Italie, Espagne et aux Pays-Bas.

Ces 5 pays voisins ont été choisis compte tenu de leurs ambitions concernant la filière hydrogène et de leur dynamique en terme d'innovation.

Un prisme technologique avec la recherche de Business Models prometteurs pour la Transition Energétique

L'objet du Radar est de mettre en avant les innovations technologiques pertinentes pour l'évolution de la filière hydrogène ET au profit de la Transition Energétique.

Les entreprises se positionnant sur de l'accompagnement à la réalisation de projets hydrogène ne rentrent pas dans ce périmètre.

Une mise en avant des structures à taille humaine innovantes récentes ou ayant récemment un savoir-faire H2

Sont recensées dans ce Radar des startups ainsi que des petites et moyennes entreprises.

Les entreprises de la filière historique de l'hydrogène et les grands groupes n'ont pas été retenus dans ce Radar afin de mettre en avant les autres types de structures participant activement au développement de la filière.

La date de création et le chiffre d'affaire n'ont pas été des critères de sélection.

Un radar qui ne peut se revendiquer exhaustif

Le sujet est particulièrement mouvant et de nombreuses structures émergent régulièrement. Nous proposerons une mise à jour et un enrichissement annuels de ce Radar.

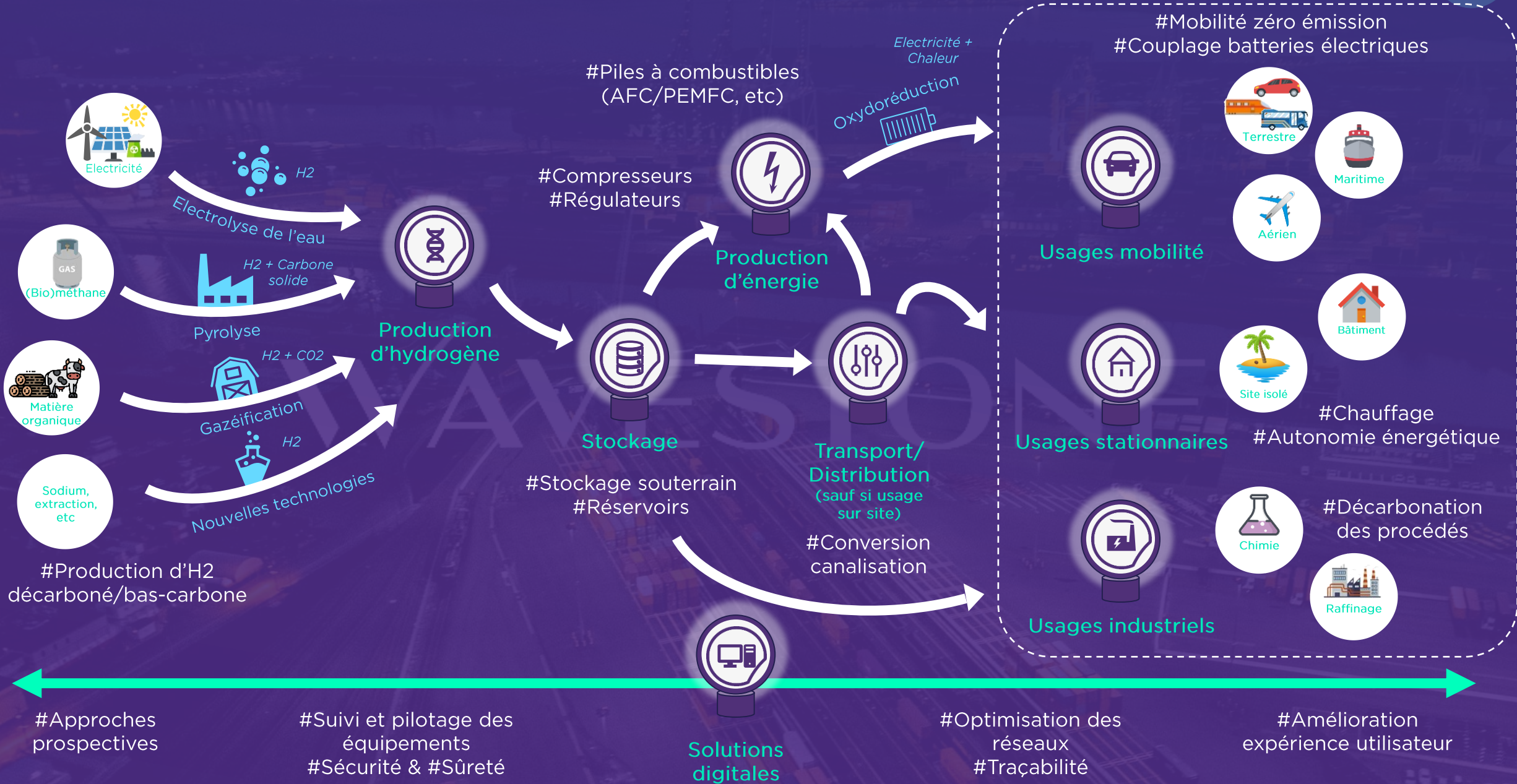
La version 2021 du Radar est disponible [ici](#).



02

Présentation du Radar des écosystèmes innovants de la filière hydrogène


La chaîne de valeur de l'hydrogène bas-carbone/décarboné





Les catégories du Radar

DES ACTEURS POSITIONNÉS SUR L'ENSEMBLE DE LA CHAÎNE DE VALEUR DE L'HYDROGÈNE



Production d'hydrogène

Permettre une production d'hydrogène décarboné à grande échelle et à bas coût

Electrolyse de l'eau

Pyrolyse du (bio)méthane

Gazéification de biomasse et autres




Stockage d'hydrogène

Développer des briques technologiques sécurisées augmentant la densité de l'H2 tout en réduisant l'espace de stockage

Stockage gazeux

Stockage liquide

Stockage solide



Production d'énergie

Améliorer les caractéristiques techniques et faire baisser les coûts des technologies liées à la production d'énergie

Compresseur

Pile à combustible

Stations de recharge



Systèmes de mobilité

Concevoir des véhicules performants intégrant des briques technologiques (PAC, etc.) hydrogène

Mobilité terrestre

Mobilité maritime

Mobilité aérienne



Solutions digitales

Développer des solutions innovantes optimisant l'intégration et le suivi des technologies hydrogène



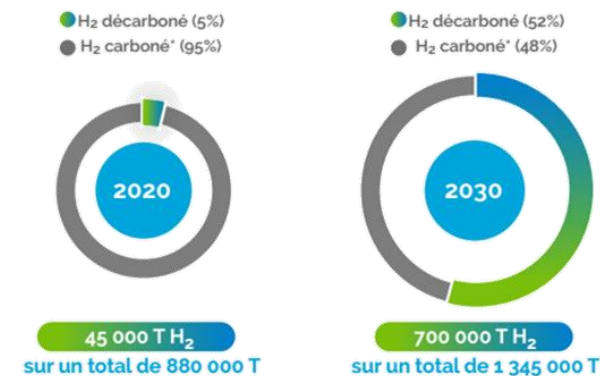


Production d'hydrogène



En tant que vecteur énergétique, l'hydrogène doit être produit avant d'être utilisé. Assurer une production d'hydrogène renouvelable ou bas-carbone à grande échelle et compétitive constitue un défi majeur pour assurer sa démocratisation. Les coûts de production d'un hydrogène décarboné sont de l'ordre de 10 à 12 € le kilogramme ou bien de 5 à 6 € le kilogramme pour un hydrogène bas-carbone, contre 1 à 1,5 € pour l'hydrogène carboné.

Développement de la production d'hydrogène pour l'industrie et les nouveaux usages



Extrait *Infographie de France Hydrogène*

TYPES DE SOLUTIONS

DESCRIPTION

EXEMPLES D'ACTEURS

Electrolyse de l'eau

L'électrolyse de l'eau est un procédé qui sépare une molécule d'eau en hydrogène et oxygène grâce à un courant électrique. Ce procédé est neutre en carbone s'il est réalisé à partir de sources d'électricité décarbonées.



Technologie de l'électrolyse de l'eau basée sur l'électrochimie du zinc



Technologie réversible d'électrolyseur haute température à oxyde solide

Pyrolyse du (bio)méthane

Via une technique de pyrolyse de (bio)méthane, le gaz se sépare en deux composants : d'un côté des molécules d'hydrogène et de l'autre du carbone solide. La plupart des acteurs innovants recensés passent par la technologie pyrolyse par plasma, moins énergivore en électricité.



Réacteurs à plasma, fonctionnant avec du méthane ou du biométhane, produisant de l'H₂ et du carbone solide



Technologie plasma brevetée produisant de l'H₂ et du carbone solide

Gazéification de biomasse et autres

La gazéification est un procédé thermo-chimique qui convertit un combustible solide (biomasse, bois, pneus usagés, etc.) en un combustible gazeux et ce via l'injection d'un agent oxydant comme l'oxygène en faible quantité.



Exploration et production d'hélium et d'hydrogène naturel



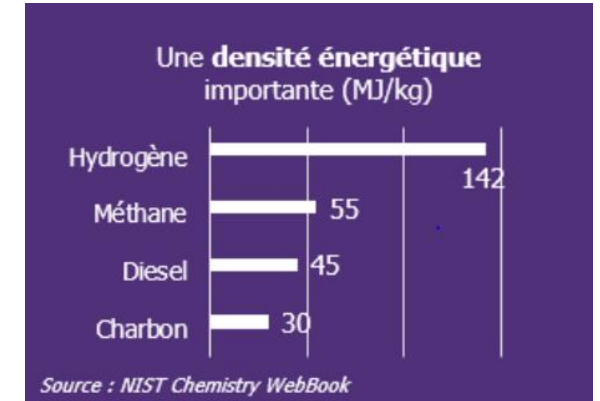
Procédé thermo-chimique utilisant de la biomasse solide








Stockage d'hydrogène



L'hydrogène a une particularité : c'est un gaz très léger qui occupe un espace important dans les conditions de pression atmosphérique standard. La recherche de moyens techniques permettant d'augmenter sa densité tout en réduisant au maximum la taille des espaces de stockage est une nécessité, cette dernière ayant un impact sur de nombreux usages finaux. De plus, le caractère explosif et inflammable de ce gaz requiert des conditions de sécurité et d'utilisation importantes.



[Extrait article Energystream- le blog Energie de Wavestone](#)

TYPES DE SOLUTIONS	DESCRIPTION	EXEMPLES D'ACTEURS
Stockage liquide	Liquéfaction de l'hydrogène à très basse température (-253 °) qui permet d'augmenter sa masse volumique. Technologie complexe, énergivore et coûteuse. Cette technique est encore peu développée.	 <p>Solution Hydrosil permettant de transporter 7 fois plus d'hydrogène que sous forme gazeuse</p>
Stockage gazeux	Augmentation de la pression du gaz pour diminuer le volume. Technologie simple largement utilisée mais qui pose la question de la technique de compression.	 <p>Solution Hycan avec un détendeur MiniReg pour faciliter son utilisation</p>  <p>Solutions de stockage haute pression 200 à 800 bar</p>
Stockage solide	Conservation au sein d'un autre matériau composé le plus souvent de magnésium ou d'aluminates. Faible masse d'hydrogène qui peut être stockée via ces matériaux.	 <p>Solution SolHyd destiné aux applications pour lesquelles la capacité de stockage est plus importante dans une enveloppe encore plus contrainte</p>  <p>Plusieurs réservoirs cylindriques s'appuyant sur l'utilisation d'hydrure</p>



Production d'énergie via hydrogène



Utilisé comme vecteur énergétique, l'hydrogène permet de produire de l'électricité via des **piles à combustible**. Le principe est l'inverse de celui de l'électrolyse : l'oxydation de l'hydrogène permet de produire de l'électricité, de l'eau et de la chaleur. Aujourd'hui, la R&D et l'innovation portent principalement sur **les améliorations techniques** (poids, compacité, architecture, durabilité, rendement énergétique, etc.) et **la baisse des coûts** associés à ces technologies. Qui plus est, la pile à combustible doit s'insérer dans un système complexe qui fait intervenir un ensemble de briques technologiques clés.

A la fin de l'année 2021, Emmanuel Macron avait annoncé un plan colossal d'investissement dans la filière de l'hydrogène, notamment pour doter la France de tous les moyens de fabrication des piles à combustible. Pour Hubert Girault, professeur à l'ISIC Lausanne, le succès de ce projet viendra « avec la synchronisation entre les producteurs, les distributeurs et les utilisateurs ».

Les Echos, juin 2022

TYPES DE SOLUTIONS	DESCRIPTION	EXEMPLES D'ACTEURS
Compresseur	Le compresseur d'alimentation en air est un élément essentiel pour toute pile à combustible : pour la gestion de l'air, de la pression et le bon transfert entre électrodes.	 EIFHYTEC  ENOGIA
Systèmes de pile à combustible	Une pile à combustible est un appareil électrochimique qui produit de l'électricité sans combustion. Plusieurs types de piles à combustible existent et se différencient par leur température de fonctionnement et donc leur application potentielle.	 HYCCO  alcrys  Helion Stacks de piles à combustibles de type PEM
Stations de recharge	Le déploiement de véhicules hydrogène doit être soutenu par le maillage territorial en infrastructures de recharge.	 atawey  McPhy



Systemes de mobilité



La mise en œuvre de systèmes fonctionnant à l'hydrogène suppose l'intégration d'équipements souvent volumineux et lourds. Qui plus est, certains constructeurs font le choix d'un véhicule hybride intégrant hydrogène et batterie afin de maximiser les performances. Ce système se compose de réservoirs volumineux à hydrogène, d'une pile à combustible ainsi que d'une batterie. Le défi des constructeurs réside dans l'optimisation de l'architecture des équipements intégrant ces briques technologiques, celle-ci ne devant pas entraver l'expérience usager (habitacles, espaces de chargement, etc.).

Mobilité

En circulation en 2020

400

Véhicules légers

21

Bus en service

145

Vélos

180

Chariots élévateurs

2

Bateaux

Objectifs de la filière en 2030, 342 000 T d'H₂ décarboné pour :

300 000

Véhicules légers¹

5000

Véhicules lourds²

250

Trains

1000

Bateaux

1 - production cumulée sur la décennie

2 - parc de bus, bennes à ordures ménagères, poids-lourds et semi-remorques frigorifiques

Objectifs à 2028 de la Programmation Pluriannuelle de l'Energie
• 20 000 à 50 000 véhicules utilitaires légers
• 800 à 2000 véhicules lourds

Extrait [Infographie de France Hydrogène](#)

TYPES DE SOLUTIONS

DESCRIPTION

EXEMPLES D'ACTEURS

Mobilité terrestre

Même si les acteurs industriels et institutionnels ont particulièrement favorisé le développement des véhicules électriques, les mobilités légères & lourdes à l'hydrogène peuvent être pertinentes dans certains cas d'usages.



Gamme de vélos hydrogène disponible à la location / à la vente



Remorque porte-voitures combinée avec une cabine passagers. Motorisation hydrogène

Mobilité maritime

L'hydrogène s'impose comme une réponse intéressante vis-à-vis des questions de nuisance sonore, pollution des fonds marins et d'efficacité des systèmes de motorisation.



Navires de transport de passagers et de marchandises fonctionnant à l'hydrogène



Bateau « zéro vague, zéro bruit, zéro émission » à propulsion hydrogène

Mobilité aérienne

Le développement d'une telle mobilité soulève des questions de logistique, de conception des appareils volants mais aussi d'évolution des infrastructures aéroportuaires.



Dirigeables à hydrogène collectant des données aériennes

Taxi volant à propulsion hydrogène afin de désengorger les villes



Solutions digitales



Digitalisation et Transition Energétique vont de pair : en se mettant au service de cette transition, le digital rend l'énergie plus sécurisée, plus intelligente et plus simple d'utilisation. Le développement de l'hydrogène fait intervenir de **nouveaux équipements avec leurs propres modèles et contraintes de fonctionnement**. Se posent alors des questions de **dimensionnement**, de **suivi des coûts** ou encore de **stratégies de maintenance**. Des acteurs précurseurs relèvent donc le défi de proposer des **solutions digitales innovantes**, adaptées à ces équipements et avec l'objectif d'être plus « user-friendly ».

« Il est donc désormais essentiel de développer des **solutions innovantes et fiables** pour garantir la sûreté de la production, du transport, du stockage et des usages de l'hydrogène. La **complexité de la filière hydrogène**, liée non seulement à la taille des projets mais également à leur inclusion dans des infrastructures urbaines, nécessite de développer de **nouvelles approches** pour démontrer la sûreté et la sécurité de ces futures infrastructures. »

TYPES DE SOLUTIONS

DESCRIPTION

EXEMPLES D'ACTEURS

[Assystem](#)

Optimisation de l'expérience utilisateur

La donnée peut être utilisée pour analyser les habitudes de consommations et optimiser l'expérience des usagers de systèmes utilisant l'hydrogène (adaptation des offres associées aux véhicules hydrogène, cartographie des bornes de recharges, etc.).



Application de localisation des stations de recharge et navigation

Pilotage et gestion d'actifs

Des outils de pilotage et de gestion permettant d'allier productivité, qualité, sécurité et maîtrise des coûts sont nécessaires pour tout type d'énergie ou de vecteur énergétique.



Plateformes digitales collaboratives dédiées à la gestion de l'intégrité des actifs industriels



Application de dimensionnement et de gestion des coûts

Aide à la décision dans des systèmes multi-énergies

A l'heure où de nombreuses énergies sont amenées à cohabiter, avec une logique de décarbonation, il est primordial de veiller au maintien d'un équilibre énergétique.



Logiciel ODYSSEY, logiciel pour la prise de décision d'investissement dans des systèmes multi-énergies

The 2022 French



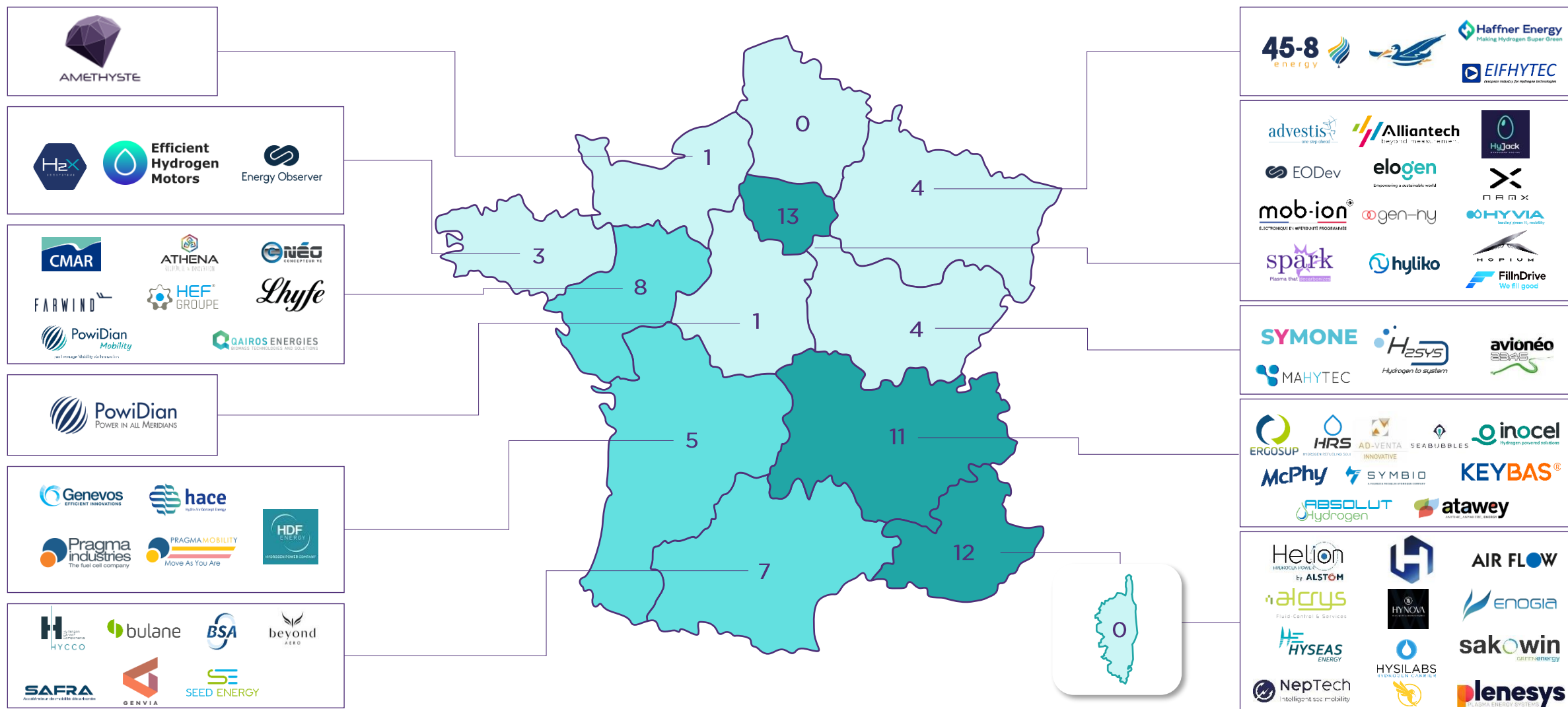
HYDROGEN INNOVATIVE SOLUTIONS Radar

By WAVESTONE



○ > 50 salariés ● <= 50 salariés ● <= 10 salariés

Des écosystèmes bien répartis sur le territoire français



NB : les sièges sociaux des écosystèmes identifiés ont été pris comme repères pour réaliser cette carte



03

Enseignements du Radar

Des écosystèmes innovants
de la filière hydrogène



Les technologies hydrogène gagnent en maturité

DES SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES QUI TENDENT VERS L'INDUSTRIALISATION

UN PANEL DE SOLUTIONS DISPONIBLES SUR LE MARCHÉ

Plus de la moitié (53%) des solutions identifiées sont d'ores et déjà disponibles sur le marché. Il s'agit principalement de solutions de production et de stockage de l'hydrogène, de systèmes de mobilité et de solutions digitales. La nature même de ces dernières, et l'état de maturité de la filière sur ces différents maillons de la chaîne de valeur, réduisent considérablement le time-to-market pour ces types de solutions.

LA VIABILITÉ TECHNIQUE DE SOLUTIONS DE PRODUCTION D'HYDROGÈNE ET DE MOBILITÉ RESTE ENCORE À PROUVER

Les technologies de production d'hydrogène sont encore peu nombreuses à être considérées comme « opérationnelles » : il s'agit majoritairement de technologies d'électrolyse. La viabilité technique et économique des nouvelles technologies de production telles que la gazéification ou la pyrolyse de (bio)méthane avec plasma reste encore à valider.

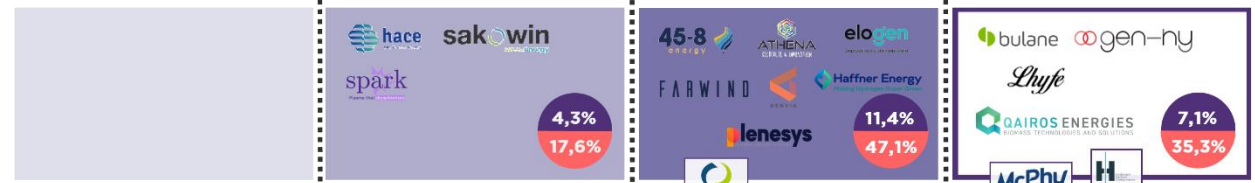
La maturité technologique des solutions de mobilité aérienne et maritime, souvent disruptives, ne permet pas encore leur mise en marché, ces technologies se concentrant aujourd'hui principalement aux stades de concept ou prototype.

Légende

- Nbre d'écosystèmes de la catégorie / Nbre d'écosystèmes total
- Nbre d'écosystèmes de la catégorie / Nbre d'écosystèmes du maillon de la chaîne de valeur

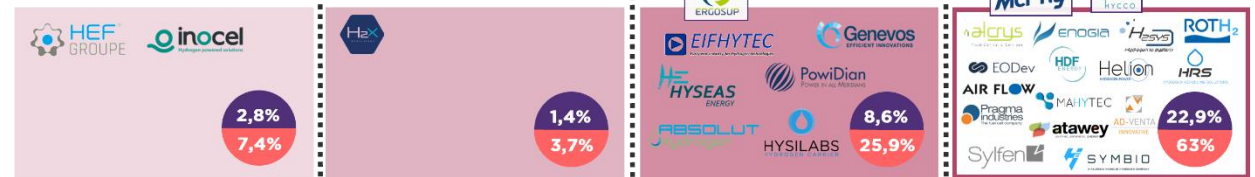
Production d'hydrogène

17



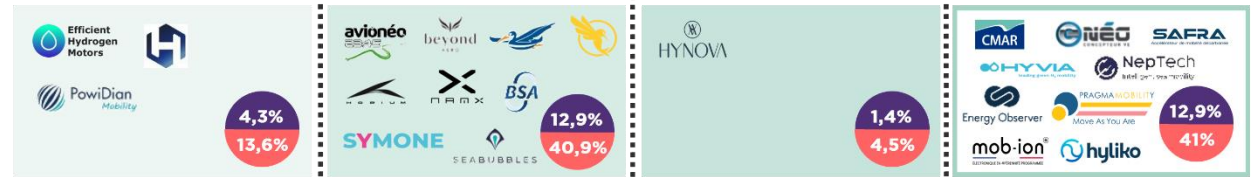
Stockage de l'hydrogène et de production d'énergie

27



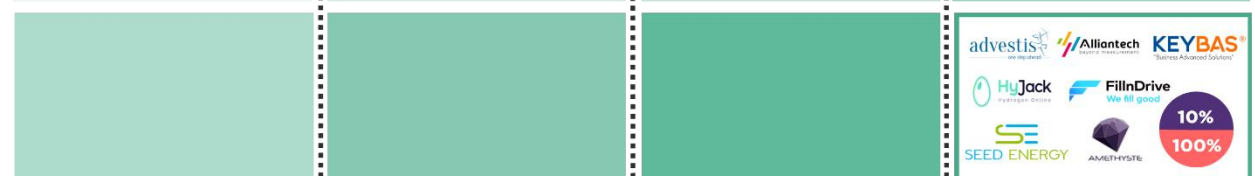
Systèmes de mobilité

22



Solutions digitales

7



MATURITÉ TECHNOLOGIQUE

Répartition du niveau de maturité technologique selon le maillon de la chaîne de valeur



Les territoires au cœur de la filière hydrogène

LES ÉCOSYSTÈMES INNOVANTS AU CŒUR DES PÔLES DE COMPÉTITIVITÉ ET DYNAMIQUES TERRITORIALES

DES ACTEURS PRÉSENTS AU SEIN DE STRUCTURES ET PROJETS PROMOUVANT L'HYDROGÈNE...

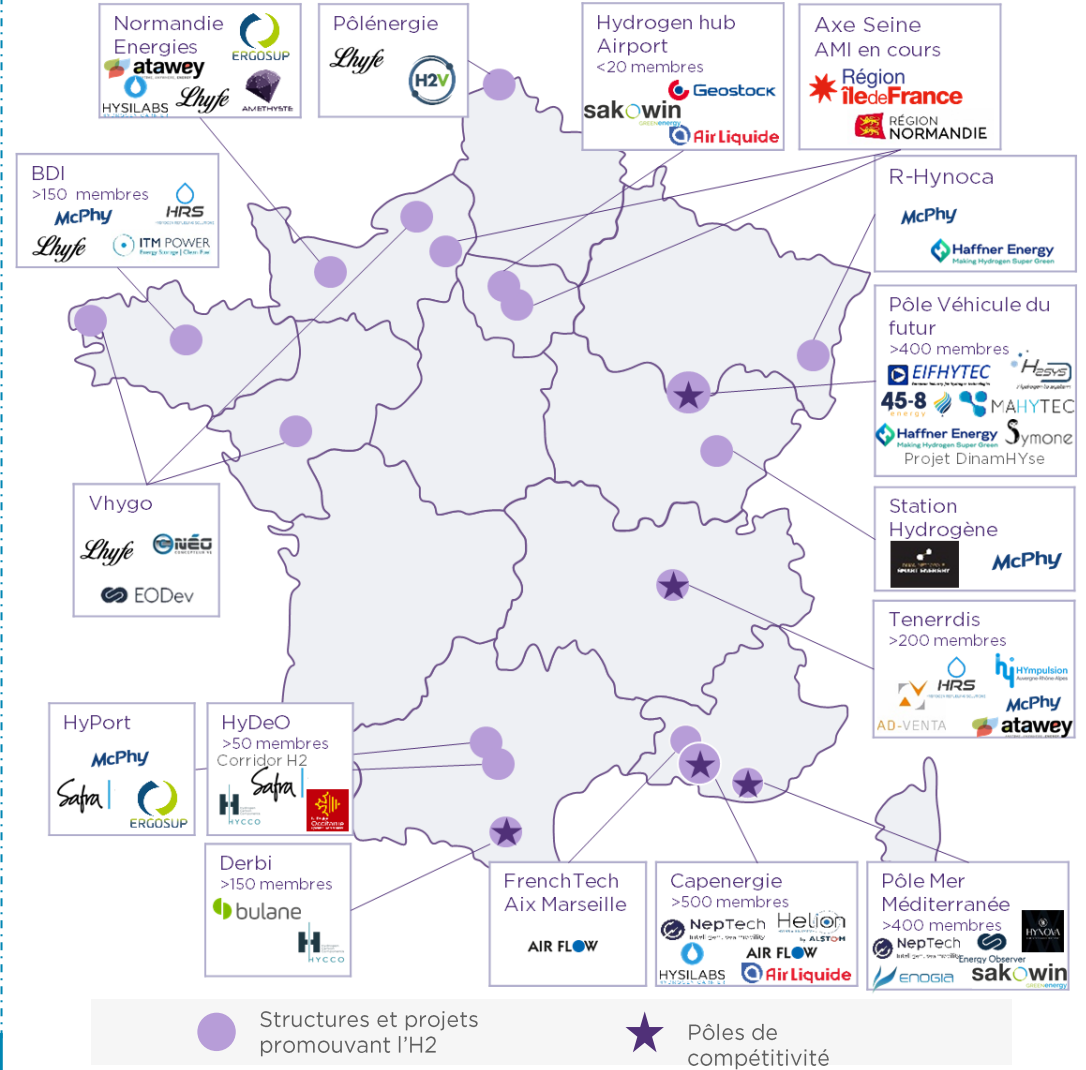
Le territoire est quadrillé par un certain nombre de structures et réseaux de différents types :

- ✓ Des pôles de compétitivité qui regroupent entreprises, laboratoires de recherche et établissements de formation afin de développer des synergies au sein d'un tissu économique local ;
- ✓ Des réseaux et associations mettant en relation des acteurs économiques au niveau local et national qui s'insèrent eux-mêmes parfois dans des initiatives à plus grande échelle (H2Global, Smart Energy Alliance)

Ces hubs, créés autour des thématiques de transition énergétique et de mobilité, regroupent industriels et acteurs de l'hydrogène en favorisant les synergies entre les secteurs. Les entreprises du segment innovation de la filière hydrogène se positionnent donc au sein de ces écosystèmes pour apporter leur savoir-faire technologique.

... QUI CAPITALISENT SUR DES FORCES ET INFRASTRUCTURES LOCALES

Les projets émergent de ces réseaux, qu'ils soient d'initiative privée ou publique, semblent suivre une stratégie visant à capitaliser sur les infrastructures existantes et avantages géographiques du territoire pour structurer et accélérer l'ensemble de la filière. Ainsi, on observe un grand nombre de projets s'implantant aux abords de fleuves, ports et aéroports. Ces zones et infrastructures portent le développement des usages liés à la mobilité et à la logistique face aux enjeux de transition énergétique, à l'image des projets Hyport ou Axe Seine.



Certains de ces projets s'intègrent à des plans de plus grande ampleur. C'est le cas du Corridor H2 de la région Occitanie qui fait partie de la « Dorsale Hydrogène Européenne ».

Cartographie des pôles de compétitivité et des projets dans lesquels sont impliqués les acteurs innovants de l'hydrogène



En Europe, de vraies ambitions qui apparaissent...

LA DÉFINITION D'UN CADRE POLITIQUE RÉALISTE ET COHÉRENT COMME FACTEUR CLÉ DE SUCCÈS

DES STRATÉGIES NATIONALES QUI SE DESSINENT

Dans la lignée de la Commission Européenne, plusieurs pays ont présenté leur stratégie hydrogène ainsi que les moyens à mobiliser pour atteindre leurs objectifs. Par exemple, l'Allemagne est consciente qu'elle devra développer les importations auprès de ses voisins pour atteindre l'objectif de 5 GW d'électrolyseurs d'ici 2030. De son côté, la France entend compter sur ses « champions industriels » pour faire décoller la production d'hydrogène décarboné/bas-carbone sur le territoire.

UNE CLARIFICATION DE LA VISION ET DES PRIORITÉS ESSENTIELLE POUR LES ACTEURS

Le partage d'une vision claire, de priorités à court et moyen terme, ainsi que des moyens financiers dédiés, permet aux acteurs de se projeter, de planifier et ainsi d'aligner leurs solutions sur les directives portées par leurs gouvernements. Ceci est essentiel dans une filière industrielle comme l'hydrogène pour laquelle le time-to-market des solutions peut être amené à croître significativement si les fondations des projets ne sont pas solides.

STRATÉGIES NATIONALES À HORIZON 2030



ROYAUME-UNI Plan de 4,5 Mds€



5 GW d'électrolyse



4 clusters industriels hydrogène bas-carbone

Promotion de soutions de production d'H2 décarboné et bas-carbone.



PAYS-BAS



3/4 GW d'électrolyse

Dans un 1^{er} temps, promotion de solutions de production de transition. Priorité aux usages dans le secteur du Transport et de l'Industrie.



ESPAGNE Plan de 8,9 Mds€



4 GW d'électrolyse



25% d'hydrogène renouvelable dans la consommation industrielle



150 bus, 5 000 véhicules, 2 trains



ALLEMAGNE Plan de 9 Mds€



5 GW d'électrolyse (10 GW d'ici 2040)

7 Mds€ dédiés au développement d'un marché national de l'H2, en priorité dans l'Industrie et les Transports + 2 Mds€ pour les partenariats internationaux et européens (pays exportateurs d'H2 décarboné)



ITALIE Plan de 10 Mds€



5 GW d'électrolyse



2% de la demande énergétique finale



4 000 camions



FRANCE Plan de 9 Mds€



6,5 GW d'électrolyse

- ✓ Développer la production massive d'H2 décarboné
- ✓ Décarboner la mobilité lourde via l'H2
- ✓ Soutenir la recherche, l'innovation et le développement des compétences en matière d'H2



...et qui s'appuient sur des écosystèmes innovants

NOS VOISINS EUROPÉENS COMPTENT EUX AUSSI DES ACTEURS INNOVANTS



- immaterial** Solution de stockage solide
- LEVIDIAN** Technologie de production d'H2 via le méthane
- Supercritical** Technologie d'électrolyse
- HIROC** Technologie plasma pour une production H2 à base de biométhane
- H2GO Power** Solution de stockage solide et logiciels de management de l'énergie
- Bramble** Piles à combustibles optimisées et moins coûteuses
- TEVVA** Camions hydrogène



- Battolyser systems** Electrolyseurs AEM baptisés « Battolyseurs »
- H2FUEL-SYSTEMS** Making Hydrogen work Solution de stockage solide
- HyET Hydrogen** Compresseurs électrochimiques



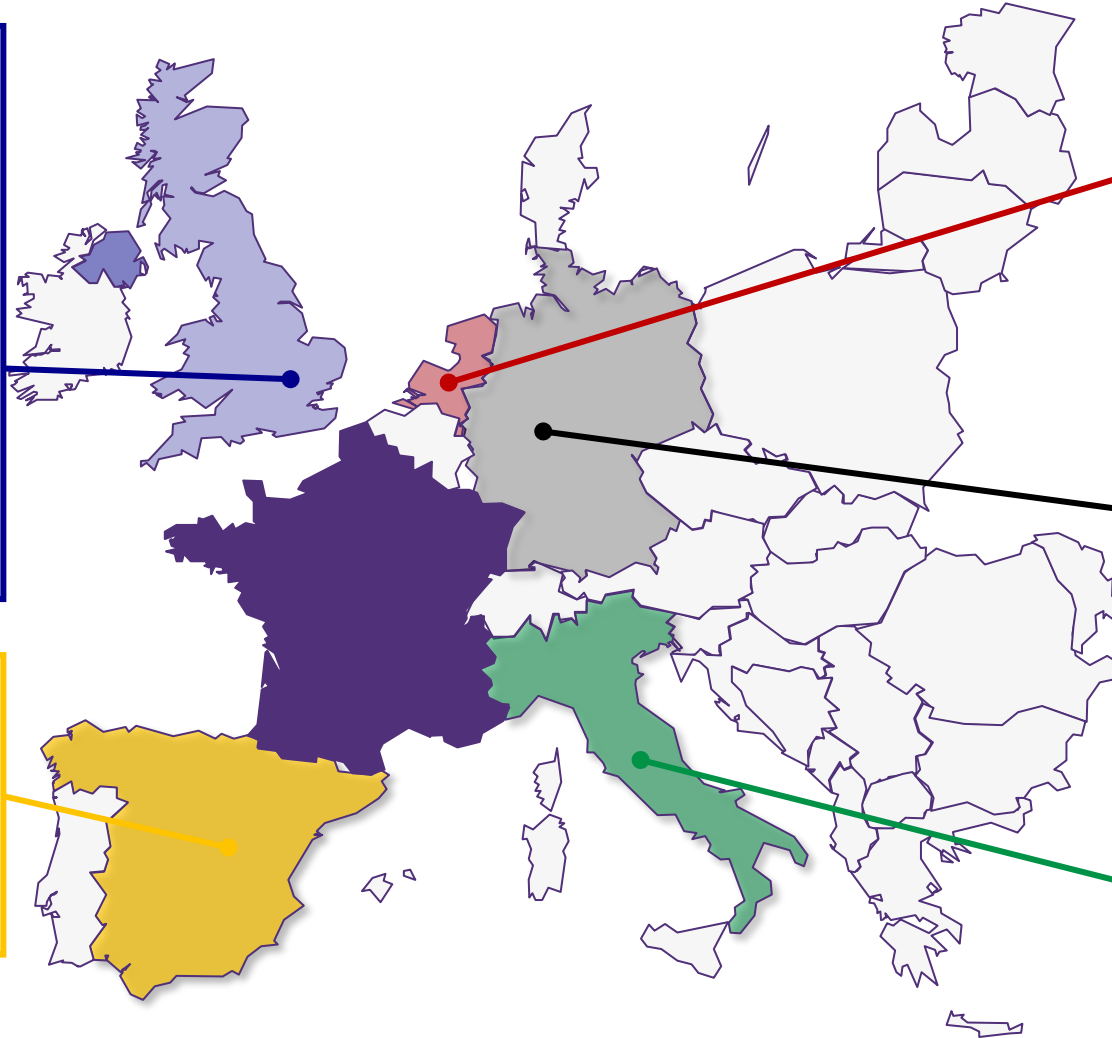
- sunfire** Electrolyseurs AEM et SOEC
- GRAFORCE** Electrolyseurs à plasma
- PMR Tech** Electrolyseurs pour le secteur industriel
- hydrogenious LOHC TECHNOLOGIES** Solution de stockage liquide avec le procédé LOHC
- KEVOU** Conversion à l'H2 de moteurs diesel
- HTM** Véhicules H2 Hydrotechnologymotors



- H2 SITE** Réacteur à membrane intégré et technologie de séparation membranaire
- b4b** Technologie de l'électrolyse à base d'eau de mer
- Clean Carbon** Technologie de production d'H2 à base de déchets



- Enapter** Electrolyseurs AEM modulaires couplés à un système de gestion de l'énergie
- GREEN INDEPENDENCE** La technologie NAL (NewArtificialLeaf) : conversion d'eau en H2 via l'énergie solaire



NB : Cette carte n'est pas une représentation exhaustive des écosystèmes innovants en Europe.



Toujours une logique de partenariats technologiques

DES ACTEURS DE L'INNOVATION CONSCIENTS DES SYNERGIES ENTRE LEURS SOLUTIONS

DES PARTENARIATS TECHNOLOGIQUES FLORISSANTS

La logique reste la même : profiter des synergies entre les expertises technologiques en vue d'optimiser les solutions de mobilité. Deux types de partenariats se distinguent : les partenariats entre nouveaux entrants ou bien ceux entre un acteur historique et ces mêmes nouveaux entrants. Par exemple, Mcphy et Plastic Omnium ont décidé de collaborer afin d'améliorer la performance et la connectivité des réservoirs haute pression des stations hydrogène via l'exploitation et l'analyse de données.

La diversité des cas d'usages associés à l'hydrogène pour la mobilité renforce ce modèle de partenariats au profit de l'accélération de la filière.

UNE COMPLEXITE DES SYSTÈMES MOBILITÉ ET UNE CONCURRENCE FORTE

De par les défis technologiques, la nécessité d'intégration des solutions hydrogène au sein des systèmes de mobilité, et la concurrence accrue d'autres vecteurs énergétiques, il n'est pas surprenant de voir des acteurs collaborer et mutualiser leurs savoir-faire pour améliorer la robustesse technologique de leur solution.



Mobilité légère



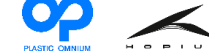
Vélo Pragma Mobility



Scooter Mob-ion



Voiture Machina



Mobilité lourde



Véhicules utilitaires



Bus Hycity



Mobilité maritime



Bateau Hynova



Navire Neptech



Stations de recharge



Station terrestre



Station terrestre



Station terrestre



Station fluviale





La Mobilité, encore une priorité pour la filière H2

UN SECTEUR CONCURRENTIEL DANS LEQUEL L'HYDROGÈNE DOIT TROUVER SA PLACE

LA MOBILITÉ LÉGÈRE : UN COMBAT PERDU D'AVANCE ?

Le parc automobile français entame une phase d'électrification massive. En 2021, les ventes de voitures électriques à batterie représentent une part de marché de 13,5%. Et pour cause, la situation est favorable à l'essor de cette technologie plutôt que celle de l'hydrogène : soutien public à l'achat, rentabilité énergétique, parc d'infrastructures de recharges électriques en déploiement.

- ✓ Rentabilité énergétique : Plusieurs études s'accordent sur un rendement de l'ordre de 70-80% pour la voiture électrique contre 25-30% pour la voiture hydrogène ;
- ✓ Infrastructures : Le nombre de bornes de recharge hydrogène est encore très limité et il semble peu pertinent d'engager un déploiement massif en parallèle de celui des bornes de recharge électriques déjà bien avancé

Plusieurs signaux sont donc en défaveur de la construction à court terme d'un marché hydrogène au profit des véhicules légers même si certains écosystèmes souhaitent tout de même relever le défi.

LA MOBILITÉ LOURDE : UN SECTEUR PROMETTEUR

L'hydrogène est particulièrement adapté à la mobilité lourde et intensive pour deux principales raisons :

- ✓ Aspect technique : La pile à combustible a un avantage indéniable sur la batterie : le volume et la masse d'une batterie augmentent fortement avec les besoins en stockage d'énergie pour bénéficier d'une autonomie longue contrairement à ceux d'un réservoir hydrogène ;
- ✓ Stratégie nationale : L'une des trois priorités du plan de relance français est le développement d'une mobilité lourde à l'hydrogène décarboné.

LA MOBILITÉ MARITIME ET AÉRIENNE - POUR PRÉPARER LE FUTUR

Face aux défis de la transition bas carbone, les secteurs de l'Aérien et du Maritime étudient les sources de carburants alternatifs comme l'hydrogène. Ils travaillent sur les nouvelles générations de navires, avions ou encore sur la décarbonation des infrastructures aéroportuaire. Cependant, ces projets restent encore très prospectifs.



Mobilité très légère



Mobilité légère



Mobilité lourde et intensive



Mobilité maritime



Mobilité aérienne



De forts enjeux dans la décarbonation de l'Industrie



DES OPPORTUNITÉS POUR L'ÉCOSYSTÈME INNOVATION MÊME S'IL RESTE ENCORE TOURNÉ VERS LA MOBILITÉ

2 grands enjeux pour l'hydrogène dans la décarbonation de l'Industrie

Décarboner les industries consommatrices d'hydrogène carboné (« gris »)

- L'objectif : la décarbonation d'applications finales historiques (ayant recours à de l'hydrogène « gris ») via de l'hydrogène décarboné
- De nombreux freins identifiés autour de la compétitivité des prix de l'hydrogène décarboné/bas carbone (des consommateurs historiques peu enclins à supporter les prix de l'hydrogène décarboné)
- Un enjeu clé autour de la pression des politiques de décarbonation associées à l'Industrie qui pourraient inciter les entreprises à utiliser de l'hydrogène décarboné



Développer de nouveaux usages industriels autour de l'hydrogène décarboné

- L'hydrogène décarboné en remplacement d'autres énergies aujourd'hui carbonées, utilisées dans des processus industriels spécifiques (production de verre, d'acier, etc.)
- De nouveaux usages autour de la production d'autres vecteurs énergétiques via l'hydrogène décarboné (méthanol, méthane de synthèse, etc.)
- Une mobilisation forte des acteurs de l'Industrie qui cherchent à repenser leurs procédés industriels dans une logique de décarbonation



Même si les enjeux autour des applications finales de l'hydrogène pour l'Industrie restent très forts, les acteurs innovants de la filière sont aujourd'hui principalement positionnés sur la Mobilité. Ce secteur a en effet connu une forte accélération ces dernières années en matière de transition énergétique, facilitant donc l'intégration de nouveaux vecteurs comme l'hydrogène.

Pour autant, les expertises technologiques développées par les écosystèmes innovants, notamment sur la production d'hydrogène décarboné, ont un réel impact sur l'avancée de la décarbonation de la filière historique d'hydrogène gris. D'autre part, les Industriels ayant engagé leur transition énergétique seront amenés à s'appuyer sur le segment innovation de la filière pour développer de nouveaux usages finaux de l'hydrogène.

Le financement, prérequis du passage à l'échelle



UNE BONNE DYNAMIQUE SUR 2022, DES INVESTISSEURS QUI CONFIRMENT LEUR INTÉRÊT POUR L'HYDROGÈNE

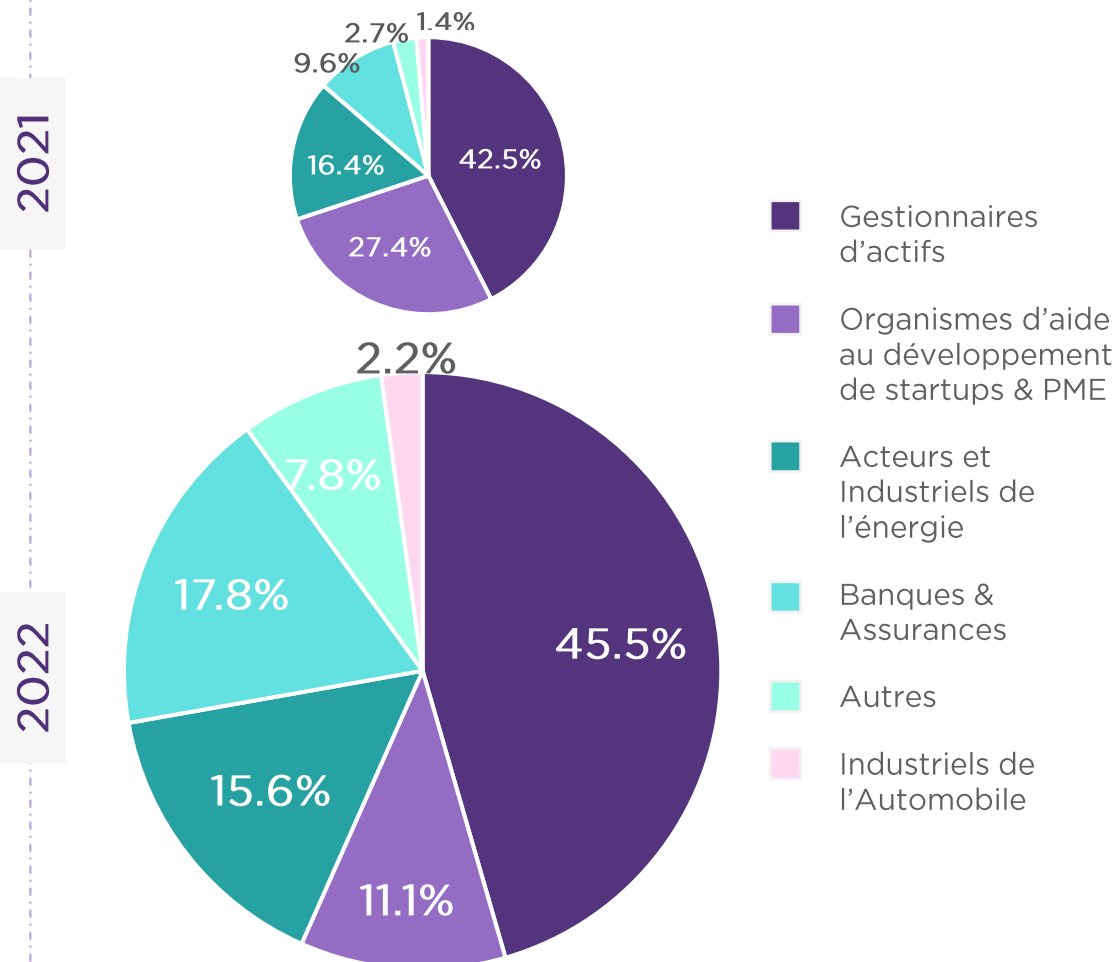
2022 : DES LEVÉES DE FONDS IMPORTANTES RÉALISÉES

En 2022, plusieurs startups de la filière ont fait la une de la presse avec le montant de leurs levées de fond réalisées : Lhyfe (17 M€), Sylfen (10 M€), Sakowin (9 M€) ou encore 45-8 Energy (4,9 M€). La majorité d'entre elles n'en sont pas à leur premier tour de table et profitent du soutien renouvelé d'investisseurs. Par exemple, Ovive et la société de capital risque SFLD, qui avaient déjà participé aux levées de fond précédentes, ont contribué à hauteur de 2 M€ et 0,3 M€ respectivement à la dernière levée de fonds de Lhyfe. Sylfen a pu à nouveau compter sur ses actionnaires historiques CEA Investissements et EIT InnoEnergy.

UNE RÉPARTITION DE TYPES D'INVESTISSEURS STABLE DANS L'ENSEMBLE

La tendance de la répartition des investisseurs reste relativement stable en comparaison avec celle de 2021. Cela fait sens étant donné que plusieurs acteurs ont renouvelé leur soutien en 2022. Les « Gestionnaires d'actifs » conservent la 1^{ère} place du podium (45,5%) et les « Acteurs et Industriels de l'énergie » représentent toujours environ 16% du nombre de participations. Les « Banques et Assurances » montent en flèche (18%) : BPI France renforce sa présence dans le capital de nombreuses entreprises innovantes et un certain nombre de filiales régionales bancaires ont participé aux levées de fond de 2022. On constate également une hausse de la part d'investisseurs "Autres" avec par exemple l'entrée du Groupe immobilier IDEC au capital de Sylfen. En revanche, la part des Organismes d'aide au développement de startups & PME a considérablement baissé.

Répartition des participations aux levées de fonds selon la typologie d'investisseurs





Le Digital au cœur de la filière hydrogène (1/2)

UN RÉEL BOOSTER STRATÉGIQUE POUR LA FILIÈRE

Le Digital permet aujourd'hui d'identifier de nombreux leviers d'accélération et d'optimisation sur l'ensemble de la chaîne de valeur de l'hydrogène

PRODUCTION

STOCKAGE

TRANSPORT/DISTRIBUTION

APPLICATIONS FINALES

Pilotage

Supply Chain

Exploitation

Maintenance

Expérience utilisateur

Sûreté

Sécurité

Traçabilité

(...)

De plus en plus d'entreprises innovantes se positionnent sur le Digital au profit de la filière hydrogène

Data Driven Intelligence

Solutions pour la modélisation, la simulation et l'optimisation de systèmes complexes



Systèmes de mesure en temps réel pour la surveillance de la qualité de l'hydrogène

Intégration, gestion et suivi d'actifs hydrogène



Plateforme d'aide à la gestion de l'intégration d'actifs hydrogène au sein de projets



Plateforme visant à optimiser l'intégration des actifs industriels, notamment hydrogène



Application pour faciliter la localisation des bornes de recharges, la navigation en véhicules hydrogène, le pilotage de flottes



Solutions digitales pour le suivi et la maintenance de stations à hydrogène

Marché



Logiciels d'optimisation de la prise de décision d'investissement dans les systèmes multi-énergies (cas d'usage mobilité l'hydrogène)



Le Digital au cœur de la filière hydrogène (2/2)

LA DATA : UN ÉLÉMENT CLÉ POUR LE DÉVELOPPEMENT DE LA FILIÈRE



Agréger des données pour faciliter les approches prospectives

#Conception
#Agrégation



Le mix énergétique, la demande énergétique et l'empreinte carbone des pays ou des entreprises



Les habitudes de consommation des populations, leur taux d'adhésion aux nouvelles énergies, etc.



Les infrastructures déployées pour chaque type de mobilité, dont l'hydrogène (bornes de recharge, etc.)



Le nombre de véhicules vendus par pays, par mode de transport, etc.



Faciliter les processus d'hypervision et d'optimisation du pilotage des réseaux

#Optimisation #Pilotage



Suivi en temps réel de la production et de la consommation :

- Objectif d'optimisation de la flexibilité des réseaux et notamment aux points d'entrées
- Définition des zones spatiales et temporelles nécessitant la mise en œuvre de stockage d'H2



Optimisation de la configuration des stations d'interconnexions (configuration du réseau pour respecter l'ensemble des contraintes physiques)



Utiliser la donnée pour suivre et prédire l'état de fonctionnement des infrastructures

#Maintenance
#Disponibilité



Monitoring et prédiction de la détérioration et du vieillissement d'équipements critiques (pour les électrolyseurs, infrastructures de stockage, bornes de recharge, etc.)



Optimisation des plans de maintenance et d'exploitation des actifs hydrogène en fonction des conditions opérationnelles et de l'équilibre offre/demande

EXECUTIVE SUMMARY



H
2

Une filière en perpétuel mouvement, pour laquelle les contours se dessinent à l'échelle Européenne et en particulier en France

Stratégies nationales et investissements

Construction d'un cadre réglementaire et légal

Modèles économiques territoriaux

Priorisation des applications finales

Dynamiques favorisant le passage à l'échelle

Le segment Innovation autour de l'hydrogène : un atout clé pour faire passer un cap à la filière

- ★ Participation à la **montée en puissance des technologies de production** via électrolyse
#Compétitivité
- ★ Participation à la **croissance des hubs territoriaux** portant les projets & savoir-faire hydrogène
#Coordination & Cohérence
- ★ Vision prospective avec de **nouvelles technologies de production** (hors électrolyse)
#Diversification
- ★ Contribution au **développement des usages finaux** de l'hydrogène décarboné/bas-carbone
#Décarbonation
- ★ Développement massif de solutions de **stockage et de production d'énergie via hydrogène**
#Briques technologiques
- ★ Création de valeur autour du **Digital** pour le **pilotage et la gestion des actifs hydrogène**
#Digitalisation & Performance





04

En savoir plus
sur cette publication

Pour en savoir plus sur cette publication



Romain Dominique

Senior Consultant

romain.dominique@wavestone.com



Alice Paul

Consultante

alice.paul@wavestone.com

La Taskforce hydrogène de Wavestone



Xavier METZ
Partner
Energy



Clément LE ROY
Partner, Board Member
of the Energy, Utilities
Practice



Jean-Baptiste
BLONDEL
Senior Manager
Energy



Romain
DOMINIQUE
Task Force H2



Alice PAUL
Task Force
H2



Thibaud
GAYET
Task Force H2



Laure-Aline
BAHEUX
Task Force H2



+ 10
consultants
mobilisés



NOS OBJECTIFS NOS THÉMATIQUES CLÉS



Analyse de la filière
et de ses enjeux

#Financement

#Production



Rencontre des acteurs
de la chaîne de valeur

#Typologies d'acteurs

#Stockage

#Grands projets

#Transport

#Innovation



Développement de l'offre
Business du cabinet

#Ecosystèmes territoriaux

#Industrie

#Data

#Mobilité



NOS PUBLICATIONS SUR L'HYDROGENE



#HorizonsHydrogène2021

[Synthèse de l'édition 2021 du Congrès
Horizons Hydrogène](#)



#TrainHydrogène

[La France sur les rails du
train hydrogène](#)



#StockagesouterrainH2

[Stockage souterrain de
l'hydrogène : une synergie pour
les énergies intermittentes](#)



#HorizonsHydrogène2022

[Le passage à l'échelle de la filière
hydrogène, sujet phare du Congrès
Horizons Hydrogène 2022](#)



Wavestone

Dans un monde où savoir se transformer est la clé du succès, Wavestone s'est donné pour mission d'éclairer et guider les grandes entreprises et organisations dans leurs transformations les plus critiques avec l'ambition de les rendre positives pour toutes les parties prenantes.

C'est ce que nous appelons « The Positive Way ».

Wavestone rassemble plus de 3 000 collaborateurs dans 9 pays. Il figure parmi les leaders indépendants du conseil en Europe, et constitue le 1er cabinet de conseil indépendant en France. Wavestone est coté sur Euronext à Paris.

Congrès Horizons Hydrogène 2022

Le Congrès a pour vocation de devenir un véritable lieu d'échanges entre industriels, experts-chercheurs, porteurs de projets, investisseurs publics et privés, consultants, institutionnels, utilities et énergéticiens, pour se positionner comme un grand rendez-vous annuel des professionnels de l'hydrogène.

Les 15 & 16 novembre 2022, au travers de conférences, de retours d'expériences, de démonstrations innovantes, de présentations de travaux et d'études, d'ateliers techniques, et enfin de sessions de formations métiers, le Congrès offre un panorama complet des perspectives et des opportunités liées aux évolutions du marché de l'hydrogène.