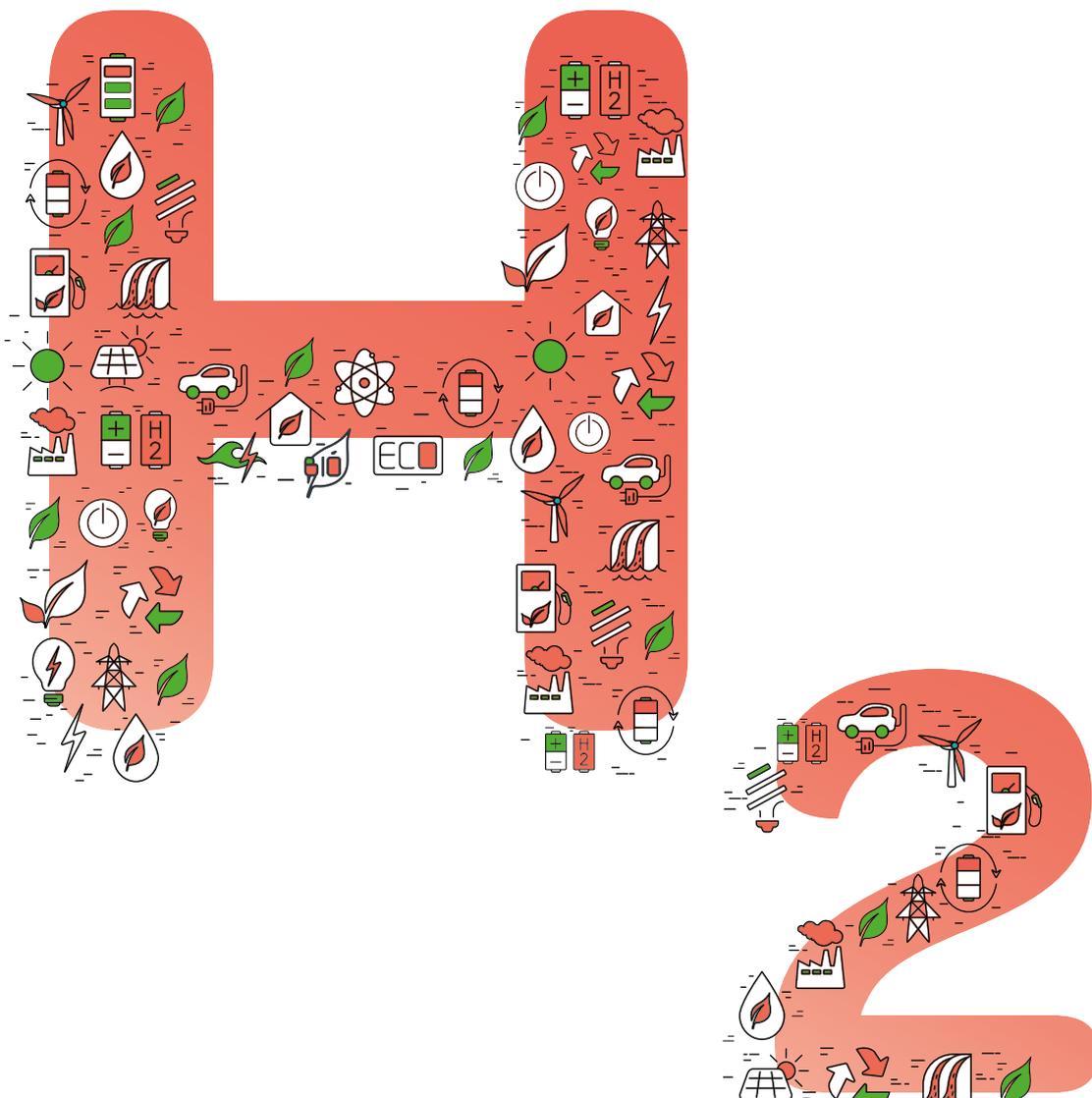


# Hydrogène en Suisse

Quel rôle peut jouer la Suisse dans ce secteur ?



Avec le soutien de



**S A T O M**

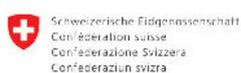


**ONE CREATION**

*Think Sustainable*



CleantechAlps est une initiative des cantons de Berne, Fribourg, Vaud, Valais, Neuchâtel, Genève, et Jura et soutenue par le SECO au titre de la NPR.



Département fédéral de l'économie,  
de la formation et de la recherche DEFR  
Secrétariat d'Etat à l'économie SECO

# **Hydrogène en Suisse :**

Quel rôle peut jouer la Suisse dans ce secteur ?

---

# Auteurs

## **CLEANTECHALPS**

CleantechAlps est le cluster cleantech de Suisse occidentale visant à favoriser l'innovation collaborative et à fédérer les acteurs qui contribuent à une utilisation durable des ressources naturelles et au développement des énergies renouvelables. Sa maîtrise de l'écosystème d'innovation lui confère un rôle de porte d'entrée pour les cleantech en Suisse. Initié par les cantons de Suisse occidentale, cette plateforme sectorielle facilite les interactions pour renforcer et accélérer la capacité d'innovation des entreprises ainsi que leur transition numérique. Elle développe la visibilité des entreprises du domaine et de la région, pour la profiler comme un pôle d'excellence à l'échelon international.

[www.cleantech-alps.com](http://www.cleantech-alps.com)

## **CRÉDITS**

### **Auteurs de l'étude**

Laura Schwery, Cédric Luisier et Eric Plan (CleantechAlps).

### **Rédaction des portraits d'entreprises**

Inedit Publications, sous la direction d'Elodie Maître-Arnaud.

### **Mise en page**

Valentine Fournier et Joanne Burr (CleantechAlps).

### **Crédits photos**

Entreprises, Pierre Vogel (p.58), Sophia Haussener (p.65), iStock, Adobe Stock

**Copyright 2021.** Toute reproduction, même partielle, est interdite sauf accord des auteurs. 250 exemplaires.

# Sommaire

## Introduction

6



## Hydrogène : de quoi parle-t-on ?

10

14

## Hydrogène : comment ça marche ?

16

## Contexte international

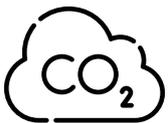
17  
BASCULER RAPIDEMENT SUR  
L'HYDROGÈNE VERT ET BLEU

DES DÉFIS IMPORTANTS SUR  
TOUTE LA CHAÎNE DE VALEUR

18  
LES STRATÉGIES NATIONALES  
ET SUPRA NATIONALES

19  
LE POIDS DE L'HYDROGÈNE AU  
NIVEAU MONDIAL

20  
LES COÛTS DE FABRICATION  
DE L'HYDROGÈNE



## Contexte suisse

22

24  
LE POIDS DE L'HYDROGÈNE  
AU NIVEAU SUISSE

25  
TROUVER LE MODÈLE D'AFFAIRES  
ADAPTÉ

## Le stockage saisonnier d'hydrogène : élément-clé



28  
UN MARCHÉ POTENTIEL COLOSSAL

UN MODÈLE ÉCONOMIQUE À  
CONSTRUIRE DÈS MAINTENANT

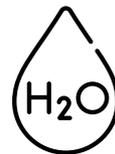
30

## Les chaînes de valeur de l'hydrogène

32  
LA CHAÎNE DE VALEUR  
TECHNOLOGIQUE

33  
LA CHAÎNE DE VALEUR MÉTIER

LA CHAÎNE DE VALEUR SECTORIELLE



## Les acteurs suisses de l'hydrogène

36  
QUELQUES CHIFFRES ET  
TENDANCES

34

42

## Les projets et bancs d'essais majeurs en Suisse

## Des experts en parlent

49

52

## Conclusion

## Portraits d'entreprises

53

71

## Bibliographie

# Hydrogène : quel rôle peut jouer la Suisse dans ce secteur ?

**H2 : ces deux lettres pourraient prendre l'allure d'une formule magique pour la lutte contre le réchauffement climatique et pour la protection de l'environnement en général. Le développement des technologies liées à l'hydrogène va bon train en Suisse, comme le montre le riche contenu du présent document.**



**ERIC PLAN**

Secrétaire général de CleantechAlps

L'intérêt porté à l'hydrogène dans notre pays n'est pas le fruit du hasard. Le réchauffement climatique pousse les Etats à agir pour diminuer leur empreinte carbone. L'Accord de Paris, signé en 2015, exige des efforts conséquents, notamment en matière d'efficacité énergétique et de décarbonation de l'économie. Ces deux éléments sont des leviers essentiels pour réussir à atteindre les objectifs climatiques à l'horizon 2050.

Dans ce contexte, l'hydrogène est une réponse potentielle et une possibilité concrète de réaliser une vraie transition énergétique pour s'affranchir des énergies fossiles. Vecteur énergétique par essence multifacette et polyvalent, il s'applique à plusieurs secteurs d'importance (transports, énergie, industrie) et offre, pour chacun d'entre eux, une large palette d'applications. Dans ce contexte, il est légitime de se demander dans quelle mesure la Suisse pourrait bénéficier de cette « économie de l'hydrogène » émergente et d'en faire un moteur de croissance économique.

Vous l'aurez compris, cette étude n'est pas une analyse technologique ou une réflexion de plus sur l'impact de l'hydrogène pour la stratégie 2050. Nous proposons un focus sur les entreprises et les opportunités d'affaires potentielles que pourrait générer cet essor de l'hydrogène. On doit se demander si on veut être un moteur dans ce secteur ou juste être spectateur comme cela a souvent été le cas par le passé.

Entre cas concrets et démythification, cette étude se veut avant tout informative. Elle pose les bases de compréhension pour déchiffrer les enjeux et contraintes liés à ce secteur émergent. Elle est aussi une belle vitrine pour tous les acteurs qui développent au quotidien des applications concrètes (composants, systèmes, équipements ou intégration) en lien avec l'hydrogène.

Je vous laisse découvrir pourquoi et comment la Suisse peut tirer son épingle du jeu dans la course à l'hydrogène...

Bonne lecture !



# Introduction

*Pourquoi parle-t-on autant de l'hydrogène en ce moment ? Cette question a été la base de notre réflexion. L'hydrogène est en effet un mot qui est sur toutes les lèvres, utilisé à toutes les sauces et présenté comme la réponse magique aux troubles climatiques. Voilà, le mot est lâché... le climat !*

*Ce fameux climat et ses changements qui déchaînent non seulement les foules, mais aussi et surtout les éléments naturels. Malgré les détracteurs dont le nombre va s'amenuisant, les signes de l'impact de nos activités sur l'équilibre de la planète sont évidents. On constate des catastrophes naturelles à répétition (incendies, inondations, glissements de terrain, modification des courants marins, etc.). On ne va pas s'y attarder. Il suffit de lire la presse quotidienne pour découvrir de nouveaux événements à travers le monde. Ce qui est nouveau, par contre, c'est que ces événements hors normes frappent aussi devant notre porte et non pas seulement aux antipodes. Gardons en tête que le réchauffement climatique en Suisse est deux fois plus rapide que la moyenne mondiale...*

---

En ratifiant l'Accord de Paris, la Suisse s'est engagée à réduire de moitié ses émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2030 par rapport à leur niveau de 1990. Se basant sur les derniers travaux du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), le Conseil fédéral a décidé en août 2019 de revoir cet objectif à la hausse, en visant la neutralité carbone **à partir de 2050**. La Suisse entend ainsi contribuer aux efforts internationaux destinés **à limiter le réchauffement climatique à 1,5 °C** au maximum par rapport à l'ère préindustrielle.



## DÉJÀ SUR L'ÎLE MYSTÉRIEUSE DE JULES VERNE

Mais revenons à l'hydrogène. Cet intérêt pour l'hydrogène n'est pas nouveau. Il suffit d'un coup d'œil dans le rétroviseur pour s'en apercevoir. En effet, c'est au moins la énième annonce de la découverte de la solution miracle, et cela ne date pas d'hier ! Est-ce que l'engouement actuel est une réminiscence de la vision de Jules Verne lorsqu'il écrivait dans l'Île mystérieuse en 1875 déjà le potentiel de cet élément ?

« Et qu'est-ce qu'on brûlera à la place du charbon ? », demanda Pencroff. (...) L'eau décomposée en ses éléments constitutifs, répondit Cyrus Smith, et décomposée, sans doute par l'électricité (...). Oui, mes amis, je crois que l'eau sera un jour employée comme combustible, que l'hydrogène et l'oxygène, qui la constituent, utilisés isolément ou simultanément, fourniront une source de chaleur et de lumière inépuisable et d'une intensité que la houille ne saurait avoir. Un jour, les soutes des steamers et tenders des locomotives, au lieu du charbon, seront chargés de ces deux gaz comprimés, qui brûleront dans les foyers avec une énorme puissance calorifique. »

Dans tous les cas, Jules Verne a fait des émules auprès de Laurent Sciboz et Nicolas Tièche, les vainqueurs de la course Gordon Bennet 2019, avec leur projet Victoria. Grâce à ce futur ballon hydrogène de 2500 m<sup>3</sup>, les deux aventuriers romands envisagent des vols de cinq jours inspirés par le ballon Victoria de « 5 semaines en ballon ».

## UNANIMITÉ AUTOUR DE LA DÉCARBONATION

L'hydrogène a été encensé à maintes reprises et autant de fois décrié, voire dénigré. Ce fut le cas en 2002 lors de la publication de « L'économie hydrogène » par l'essayiste américain Jeremy Rifkin. Mais du coup, pourquoi aujourd'hui tout laisse à penser que ce serait la bonne et que l'hydrogène serait en passe de s'imposer ?

Initiée par la signature de l'Accord de Paris lors de la COP 21 en décembre 2015, la pression publique monte régulièrement en vue de limiter les effets du réchauffement climatique à 1,5 degré. Dans les milieux concernés, on évoque d'ailleurs aujourd'hui plutôt deux degrés comme valeur plus réaliste. La nécessité de réussir la transition énergétique vers une économie décarbonée et une société plus durable est devenue un fait accepté de tous, du citoyen au politique.

L'accord de Paris a ainsi marqué un tournant décisif dans la reconnaissance par tous les Etats du problème climatique. Pour la première fois, le scepticisme sur le sujet a laissé place à un

alignement sur l'objectif de décarboner la société. C'est un fait unique dans l'histoire climatique qui mérite d'être souligné.

L'hydrogène semble a priori posséder tous les arguments pour apporter la solution à cette décarbonation complète de la société. L'Union européenne ainsi qu'une trentaine de pays (ils étaient 18 en 2020) ont officiellement communiqué une stratégie hydrogène. Ces nations visent un déploiement, à large échelle, de ce vecteur énergétique et en particulier pour les secteurs des transports, de l'industrie et de l'énergie. Il s'agit avant tout de décarboner la société, tout en renforçant le secteur industriel par une réindustrialisation des régions en mutation.

La Suisse n'est pas en reste sur le sujet avec d'une part, la stratégie énergétique 2050 (SE2050), qui définit les axes fondamentaux d'action et d'autre part, l'objectif climat 2050, connu sous le nom de « zéro émission nette ». Ce dernier constitue désormais la pierre angulaire de la stratégie climatique de la Suisse. Ainsi, la Confédération rejoint les 66 pays qui ont annoncé viser l'objectif de « net-zero carbon emissions » à l'horizon 2050 énoncé lors du Sommet du Climat de l'ONU en 2019.

## UN NOMBRE CROISSANT D'ACTEURS

Le monde est complexe et le secteur de l'hydrogène ne fait pas exception. En tant que vecteur énergétique multi-usage, il est pertinent de considérer ses différentes facettes de manière séparée. Nous avons essayé de dissocier autant que possible les problématiques afin de présenter une analyse simple et compréhensible pour chacun des segments ou des applications liés à l'hydrogène. La prise en compte du contexte (économique, géographique, stratégique) s'est révélée essentielle pour la bonne compréhension de la dynamique du secteur dans son ensemble.

Le tissu économique helvétique comprend un nombre croissant d'acteurs publics et privés actifs dans le secteur de l'hydrogène. Il est donc légitime de jeter un coup de projecteur sur ces derniers dans l'esprit décrit plus haut et de détailler leurs solutions, pour la grande majorité déjà à disposition du marché. L'hydrogène c'est déjà aujourd'hui, avec des technologies et des solutions existantes qui fonctionnent : vous les découvrirez dans les pages qui suivent.

Cette publication de vulgarisation souhaite également démystifier le secteur et donner les clés de lecture, par exemple pour comprendre les enjeux qui sont liés à ce vecteur énergétique et la contribution qu'il pourrait apporter dans la transition énergétique. Modestement, la présente étude pourrait rassurer une large part de la population sur l'utilisation de ce gaz et favoriser l'exploitation de son potentiel pour les applications pertinentes. Mais avant d'aborder les enjeux particuliers pour chacun de ces domaines, il s'agit de poser quelques bases et définitions.

NOUS GÉRON  
POUR VOUS DES  
INVESTISSEMENTS  
PERFORMANTS  
AYANT UN IMPACT  
POSITIF SUR NOTRE  
ENVIRONNEMENT.

#### NOS STRATÉGIES

Europe Dividend (high dividend - low debt SRI)

Global Environment

EcoCircularity

PX Impact Gold

ONE CREATION Coopérative

**P&TS**  
INTELLECTUAL PROPERTY

NEUCHÂTEL  
ZÜRICH

You bring change,  
we give a chance.



*From innovation*  
...to social responsibility

In 2008, P&TS started awarding grants to socially responsible Swiss companies with fewer than 200 employees. We aim to support businesses that need help protecting inventions in areas such as renewable energies, global warming, environmental protection, promoting health in developing countries, human rights and the promotion of peace. Our grants, now worth CHF 20,000 per year, are provided in the form of intellectual property services to support innovation in those fields.

**CONINCO**   
*Sustainable finance*

Vevey | Genève

[www.coninco.ch](http://www.coninco.ch)



Supervisé  
par la FINMA  
depuis 2012

**P&TS FUND**  
FOR ETHICAL INNOVATION

[www.patentattorneys.ch](http://www.patentattorneys.ch)



[www.swisscleantechreport.ch](http://www.swisscleantechreport.ch)



ADDITIONAL CONTENT IS AVAILABLE THROUGH THE SWISS CLEANTECH REPORT WEBSITE

**PARTNERS**

 Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra  
  
Swiss Federal Office of Energy SFOE  
  
Federal Office for the Environment FOEN



 **SWITZERLAND  
GLOBAL  
ENTERPRISE**  
enabling new business

**Cleantech  
ALPS** | Western  
Switzerland  
Cleantech  
Cluster

**SPONSORS**



# Hydrogène : de quoi parle-t-on ?

> 90%

EN NOMBRE D'ATOMES

L'hydrogène est l'élément chimique le plus abondant dans l'univers, c'est aussi le plus léger et le plus simple.

H<sub>2</sub>

- > Pouvoir calorifique massique : 33.3 kWh/kg (120 MJ/kgH<sub>2</sub>)
- > Pouvoir calorifique volumique : 3 kWh/m<sup>3</sup> (10.78 MJ/kgH<sub>2</sub>)
- > Pour rappel : 1kWh = 3.6 MJ



Sa source la plus commune sur Terre est l'eau (H2O).



On le trouve aussi - mais très rarement - à l'état naturel (H2), séquestré dans des couches géologiques, notamment au Mali.



L'hydrogène représente environ 2/3 des atomes et 10% de la masse du corps humain, composée en grande partie de molécules d'eau.



Combiné avec du carbone, il est présent dans une multitude de molécules telles que le méthane ou les composants de la chimie organique.

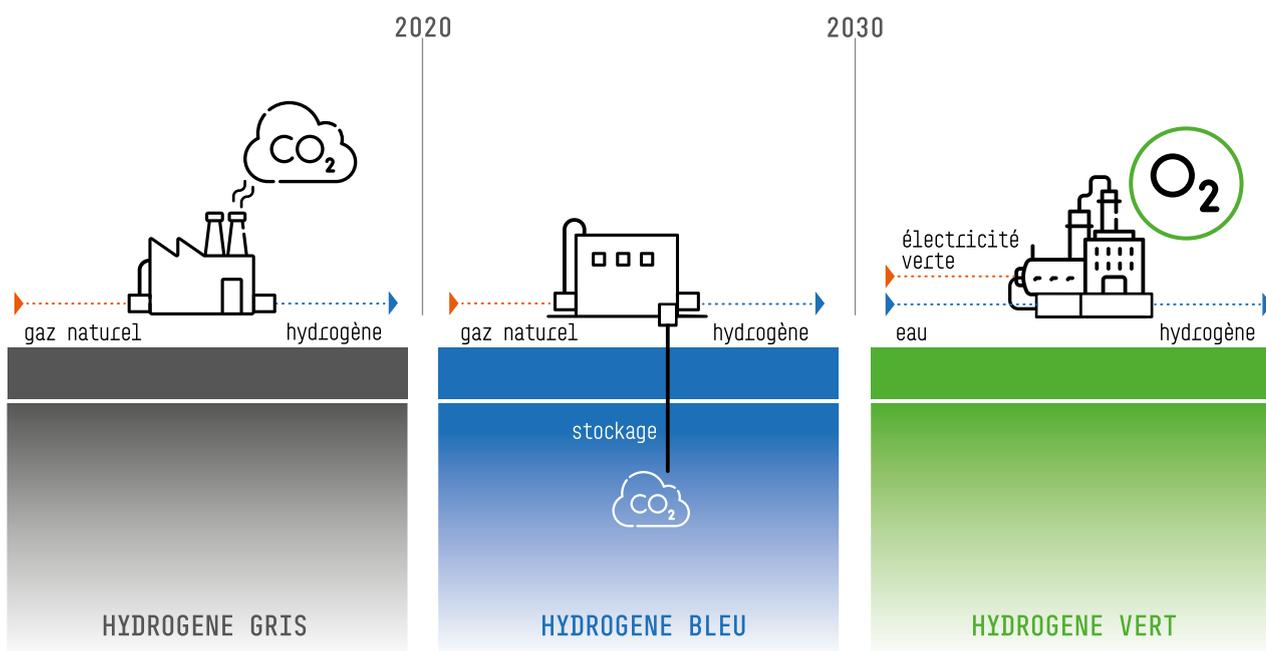


À température et pression normales, c'est un gaz diatomique, H2, incolore, inodore, insipide, non toxique, non métallique et hautement combustible. Il devient liquide à  $-253^{\circ}\text{C}$ .



Il possède la plus grande densité massique d'énergie, 1 kg d'hydrogène contient autant d'énergie qu'environ 3 kg de pétrole, mais une très faible densité volumique.

# H<sub>2</sub>



Il existe majoritairement 3 types d'hydrogène, caractérisés selon leur provenance:

- > **Hydrogène Gris** : produit à partir de combustibles fossiles sans capture du carbone.
- > **Hydrogène Bleu** : produit à partir de combustibles fossiles avec capture du carbone.
- > **Hydrogène Vert** : produit par électrolyse de l'eau à partir d'une électricité produite de manière durable ou s'il provient d'une ressource renouvelable.



H<sub>2</sub>

Les couleurs de «l'arc-en-ciel hydrogène»



On parle aussi parfois d'hydrogène **brun** (produit par gazéification de lignite), d'hydrogène **noir** (produit sur le même procédé à partir de charbon), d'hydrogène **rose** (désignant une électrolyse de l'eau réalisée à partir de courant nucléaire), d'hydrogène **blanc** (l'hydrogène à l'état naturel - très rare dans les couches géologiques), d'hydrogène **jaune** (produit par électrolyse avec de l'électricité d'origine solaire ou un mix de ce qui est disponible dans le réseau... renouvelables et fossiles), d'hydrogène **bleu** (vaporéformage du méthane avec captage et stockage du CO<sub>2</sub>) ou encore d'hydrogène **turquoise**, une variante de l'hydrogène bleu (pyrolyse du méthane avec captage CO<sub>2</sub>). La pyrolyse utilise de la chaleur pour dissocier, dans ce cas, le gaz naturel en hydrogène gazeux et charbon solide.



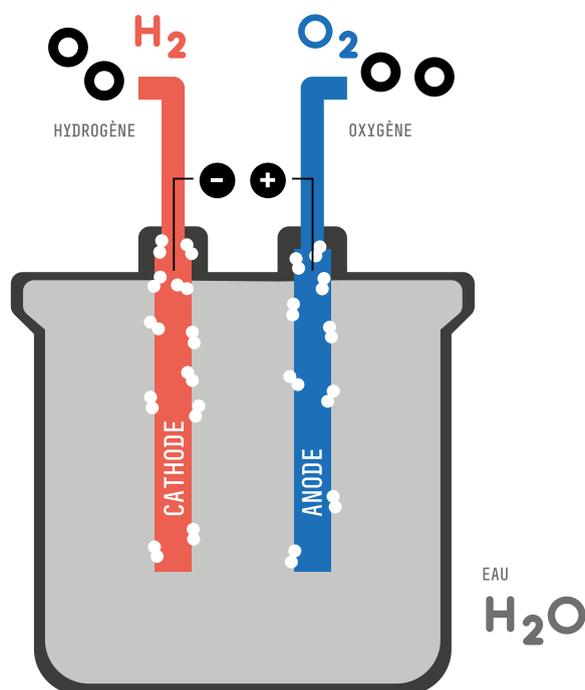
La production mondiale est composée de 95 % d'hydrogène gris et de 5% d'hydrogène vert !



A l'image de l'électricité, l'hydrogène n'est pas une source d'énergie primaire comme le pétrole, le gaz ou le charbon, mais un vecteur énergétique.

# Hydrogène : comment ça marche ?

AU COEUR DES DISPOSITIFS HYDROGÈNE,  
L'ÉLECTROLYSE ET LA PILE À COMBUSTIBLE



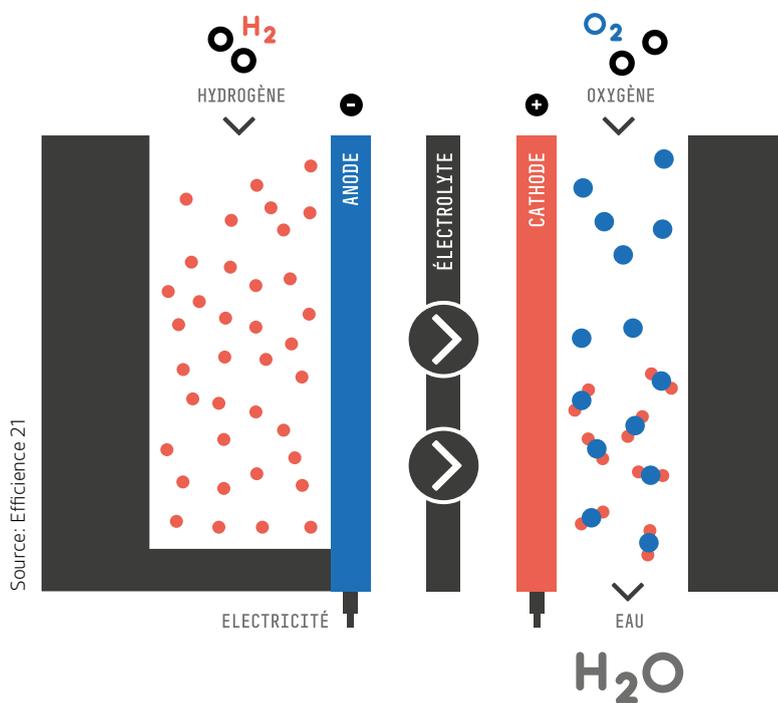
## ◀ L'ÉLECTROLYSE

Dans la production d'hydrogène vert, le procédé de production est **l'électrolyse** de l'eau. Il s'agit de la décomposition de l'eau en oxygène et en hydrogène par du courant électrique. Il existe plusieurs technologies (alcaline, Membrane Échangeuse de Protons PEM, à haute température et chimique).

### Le saviez-vous ?

La pile à combustible a été découverte en 1839 par le Suisse Christian Schönbein !

Un kilogramme d'hydrogène génère environ 1 kilogramme de  $\text{CO}_2$  si l'électricité provient de source renouvelable (solaire, éolien, hydraulique) et il avoisine les 10 kilogrammes si la source est fossile.



Source: Efficience 21

### ◀ LA PILE À COMBUSTIBLE

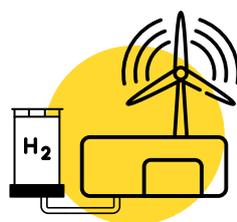
**La pile à combustible** fonctionne à l'inverse de l'électrolyse de l'eau. Elle transforme l'énergie chimique en énergie électrique directement et agit comme un générateur à l'image d'une pile ordinaire.

# Contexte international

*Dans le contexte du réchauffement climatique et la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES), les solutions actuelles ne sont pas suffisantes pour atteindre les objectifs 2050. En tant que vecteur énergétique stockable, l'hydrogène est aujourd'hui considéré comme une alternative réaliste pour réduire ces émissions ainsi que pour compléter efficacement les solutions de stockage actuelles dans le secteur de l'énergie. L'hydrogène présente un énorme avantage sous l'angle climatique, car le seul produit qui résulte de sa combustion est de l'eau.*

*Ainsi, les opportunités offertes par l'hydrogène sont nombreuses : décarbonation des matières premières industrielles, chaleur à haute température, transports (route, rail, eau et air), chauffage des bâtiments et enfin équilibre entre l'offre et la demande d'électricité.*

*Actuellement, l'hydrogène est principalement utilisé comme matière première pour la fabrication d'autres matériaux, notamment dans les industries pétrochimiques et chimiques (y compris l'agroalimentaire) pour des procédés tels que l'hydrocraquage ou la production d'ammoniac.*



1

Permettre l'intégration des énergies renouvelables à grande échelle et la production d'électricité

## BASCULER RAPIDEMENT SUR L'HYDROGÈNE VERT ET BLEU

La capacité de l'hydrogène à décarboner la société (ou les usages principaux) dépendra directement de la manière dont il est produit. Selon l'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA), les émissions de CO<sub>2</sub> associées à la production mondiale d'hydrogène gris (soit plus de 95%) équivalraient aux émissions combinées de l'Indonésie et du Royaume-Uni.

Dans cette perspective, il est incontournable de basculer la production vers de l'hydrogène vert et de l'hydrogène bleu. Le but ultime étant alors de pouvoir réinjecter le CO<sub>2</sub> capturé pour des utilisations industrielles (Carbon Capture and Use - CCU). L'hydrogène bleu est encore assez rare et souvent considéré comme phase transitoire pour réduire les émissions et aider à construire l'économie de l'hydrogène. C'est typiquement la voie choisie par la Corée du Sud dans sa transition énergétique. Celle-ci vise tout d'abord de développer une infrastructure adaptée pour passer entièrement à l'hydrogène sans se préoccuper de sa teneur en carbone, puis, au fil du temps, de changer progressivement les sources d'hydrogène du gris au bleu pour enfin passer au vert.

## DES DÉFIS IMPORTANTS SUR TOUTE LA CHAÎNE DE VALEUR

Dans ce contexte, la figure ci-dessous illustre parfaitement les défis auxquels le déploiement de l'hydrogène doit faire face pour apporter la solution attendue et couvrir toute la chaîne de valeur. Ce schéma présente les briques incontournables de l'écosystème hydrogène avec la production (intégrant les énergies renouvelables), le réseau de distribution et de stockage, ainsi que la distribution en bout de ligne auprès des usagers de chaque secteur d'application (transport et mobilité, énergie, industrie et processus).

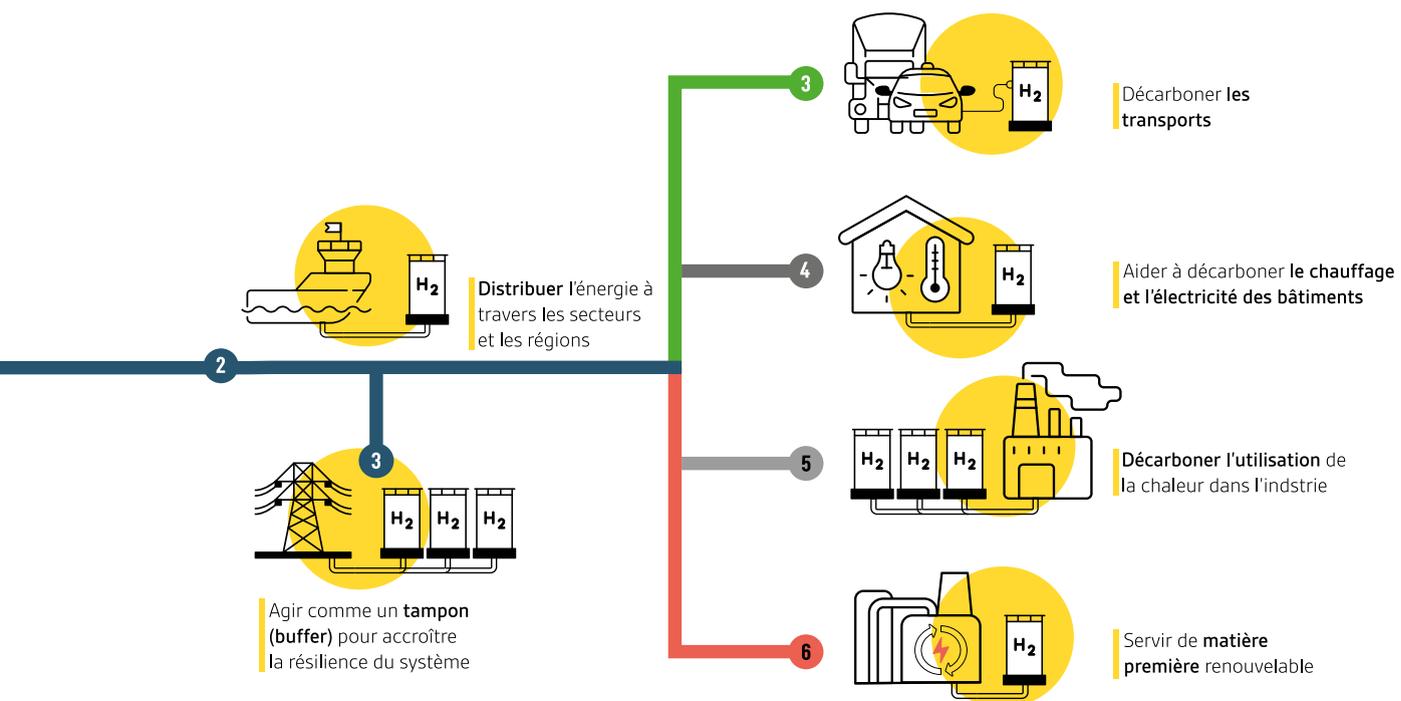


Figure 1 ▲

Source: Hydrogen Roadmap Europe: a sustainable pathway for the European energy transition, 2019

Cela requiert de mettre en place ou d'adapter l'infrastructure sur tous les maillons de la chaîne de valeur pour toutes les applications confondues. Il s'agit en particulier de développer le réseau des conduites, des unités de compression et des stations de remplissage (Hydrogen Refueling Station - HRS) pour le transport et la distribution.

Pour le stockage, il s'agit de développer les technologies et les installations de grosses capacités. Pour la production et la conversion, il faudra développer en masse des équipements comme des électrolyseurs ou des piles à combustible. Les coûts associés de ces équipements dépendent des volumes de production et de leur montée en gamme, en termes de puissance.

Bien que des solutions technologiques existent, elles nécessitent encore pour leur majorité une étape d'industrialisation pour atteindre un large déploiement et délivrer les grosses puissances attendues. Cela explique aussi pourquoi les gouvernements libèrent des budgets colossaux pour se positionner dans cette ruée vers l'hydrogène. On constate un décalage entre les besoins en termes de production d'hydrogène, et donc des capacités de production (électrolyseurs) et la capacité actuelle du marché. Si dans la presse on parle d'appels d'offres de l'ordre de 100 MW, sur le terrain les installations de production d'hydrogène vert sont plutôt de l'ordre de 2-3 MW avec des projets annoncés d'une dizaine de MW.

Les croissances prévues donnent le tournis pour les capacités à installer, passant de 0.1 GW (2020) à 6 GW (2024) et 40 GW (2030), c'est-à-dire des facteurs de croissance de 60 d'ici 2024 et de 7 pour les six années qui suivent. Un facteur de croissance de 400 fois est attendu sur les 10 prochaines années !!!

La dynamique de fusions et acquisitions s'accélère d'ailleurs sur cet immense marché potentiel. Ce sont des opportunités non négligeables pour les sociétés suisses qui n'auront de toute évidence pas les reins assez solides pour attaquer ce marché de front. Dans un tel cas, il s'agit d'anticiper et passer en revue les différentes options de modèles d'affaires possibles pour sécuriser le savoir-faire clé et garder le maximum de valeur dans notre pays.

Afin de poursuivre une stratégie construite et coordonnée sur cette thématique, les acteurs de l'hydrogène se sont petit à petit regroupés dans diverses associations et institutions (Hydrogen Council, Hydrogen Europe Industry, Hydrogen Europe Research, etc.). On constate une nette consolidation de la scène hydrogène ces cinq dernières années avec un écosystème international qui se cristallise, en parallèle de l'augmentation de la dynamique du secteur.

## LES STRATÉGIES NATIONALES ET SUPRA NATIONALES...

La stratégie hydrogène de l'Union européenne (UE) publiée durant l'été 2020 montre la voie et souligne que la thématique hydrogène est à considérer sur toute la chaîne de valeur en intégrant aussi bien la production que la consommation. Elle souligne que seule une montée en puissance de la capacité de consommation, grâce à une infrastructure de distribution adéquate et une multiplication des usages, permettra d'atteindre les volumes nécessaires pour parvenir à la viabilité économique de la société hydrogène. Cette dynamique entraînera une baisse significative du coût des technologies tout au long de la chaîne de valeur, de la production à la distribution, en passant par la transformation et le stockage.

Dans cet esprit, l'UE a annoncé le 23 février 2021 la volonté d'investir dix milliards d'euros dans la recherche pour la «Green and Digital Transition» et d'appuyer cette politique dans le domaine de l'hydrogène avec un instrument de partenariat public-privé, le «Clean Hydrogen Partnership for Europe». L'objectif étant d'accélérer le développement et le déploiement d'une chaîne de valeur pour les technologies liées au «Clean Hydrogen», c.-à-d. l'hydrogène vert ou bleu.

De leur côté, les pays définissent des stratégies hydrogène de manière plus ou moins concertée, mais avec des budgets colossaux : 9 milliards d'euros pour l'Allemagne, 7 pour la France. Dans un certain sens, les pays se concertent pour développer des projets communs sur le développement de filières particulières alors qu'une analyse critique de ces projets tendrait à montrer que chacun vise à disposer d'une palette de démonstrateurs sur son propre territoire.

On peut y voir une certaine intention de repositionner certains secteurs industriels en difficulté en les convertissant au développement de briques du système hydrogène illustré dans la figure en page 17. C'est légitime, mais cela freine le développement du marché européen.

Ce n'est donc pas une surprise si, parmi les stratégies hydrogène arrêtées, on relève une large variation. L'Australie a par exemple pris le pari d'essayer de produire de l'hydrogène vert dès le début de sa transition, dans le but de faire du pays un exportateur mondial d'hydrogène vert. C'est d'ailleurs le pays pilote en termes de production d'hydrogène liquide avec le développement d'un transporteur maritime pour un projet avec le Japon. Et comme il n'y a pas de solution unique en matière de transition énergétique, toutes les stratégies sont possibles. Le contre-pied de l'Australie serait peut-être la Corée du Sud avec son approche de changer d'abord d'infrastructure et ensuite de source d'hydrogène. L'Angleterre se situe à mi-chemin avec des essais sur des réseaux hydrogène dans certaines régions.

Dans tous les cas, le déploiement des stratégies évoquées nécessite la mise en place d'une normalisation et d'une réglementation tant nationale qu'internationale. La plupart des pays n'ont pas de réglementation suffisante sur l'hydrogène pour le moment et la normalisation fait défaut. C'est dans ce cadre qu'un écosystème international fort et complet est important. Chaque pays et secteur industriel devrait y être présent ou représenté.

## LE POIDS DE L'HYDROGÈNE AU NIVEAU MONDIAL

À l'heure actuelle, l'hydrogène est un gaz industriel important avec près de 75 millions de tonnes (Mt) fournies annuellement à l'industrie chimique (73.9 Mt en 2018, selon l'Agence internationale de l'énergie - IEA). Alors que la demande pour la production d'ammoniac et d'engrais azotés reste relativement constante depuis 2000 (elle fluctue entre 26 et 32 Mt), l'usage pour le raffinage pétrolier (désulfuration, production de méthanol, etc.) est en croissance sur la même période (de 21.4 à 38.2 Mt). Les autres secteurs d'application, industries alimentaire, électro-

nique et métallurgique représentent environ 6%, dont 1% pour la propulsion spatiale des fusées par combustion d'hydrogène et d'oxygène liquides. Les projets spatiaux restent marginaux.

La demande d'hydrogène pour une utilisation dans les secteurs industriels devrait continuer d'augmenter dans les décennies à venir. De nouvelles applications industrielles ont été trouvées telles que le remplacement du charbon dans la production d'acier, la production de carburants synthétiques ou encore le remplacement du gaz naturel et du charbon pour les applications à haute température. Toutes visent le même but, permettre à l'industrie de réduire drastiquement son empreinte carbone.

Il est intéressant de noter que la répartition de consommation globale peut être très différente selon les régions considérées. En Europe de l'Ouest, la demande de l'industrie chimique (ammoniac) représente quasiment le double de la demande pour le raffinage. La production d'hydrogène, tout comme son utilisation, reste marquée par le contexte. On retrouve ici une caractéristique des énergies renouvelables où l'environnement direct (topologie, climat, tissu industriel, ...) joue un rôle important et où le mix énergétique est souvent de mise.

Cet aspect joue aussi un grand rôle à l'heure actuelle sur le type de projets lancés dans les différents pays et régions du monde, ceci en termes de technologies, d'applications et de puissance. Cela explique également le point soulevé plus haut où chacun cherche à valider les technologies et les cas d'utilisation ou d'usage en phases avec son propre contexte. Cela n'est pas étonnant en regard du combat qui se déroule en coulisse pour préparer au mieux une transition industrielle fondamentale de secteurs menacés, que certains nomment déjà la réindustrialisation du tissu économique, sur fond de crise climatique.

## LES COÛTS DE FABRICATION DE L'HYDROGÈNE

Au niveau des coûts, les estimations varient en fonction des hypothèses, en particulier en raison du prix considéré pour l'énergie utilisée pour produire l'hydrogène. Selon l'IRENA, les coûts actualisés de l'hydrogène pourraient être divisés par trois d'ici 2050 (figure ci-dessous).

Le coût actualisé de l'hydrogène signifie le prix complet de l'hydrogène sur la durée de vie de l'équipement qui le produit. Souvent mentionné en anglais, il s'agit du LCOH (pour Levelized Cost of Hydrogen), ceci par analogie avec le LCOE utilisé pour l'énergie ou l'électricité.

En tenant compte de la chaîne complète de la production à la distribution, le coût actuel d'un kWh vert est environ deux fois plus important que l'hydrogène bleu et trois fois celui de l'hydrogène gris. Mais les coûts évoluent vite. Alors qu'ils sont aujourd'hui autour de 16 ct d'euro/kWh pour l'hydrogène vert et d'environ 6 ct d'euro/kWh pour le gris, le coût à terme dépendra directement de l'augmentation des capacités de production, des effets d'échelle sur l'industrialisation des équipements ... et surtout de la politique sur les taxes carbone.

### ESTIMATIONS DE L'IRENA SUR LES COÛTS DE PRODUCTION DE L'HYDROGÈNE «VERT» ET «BLEU»

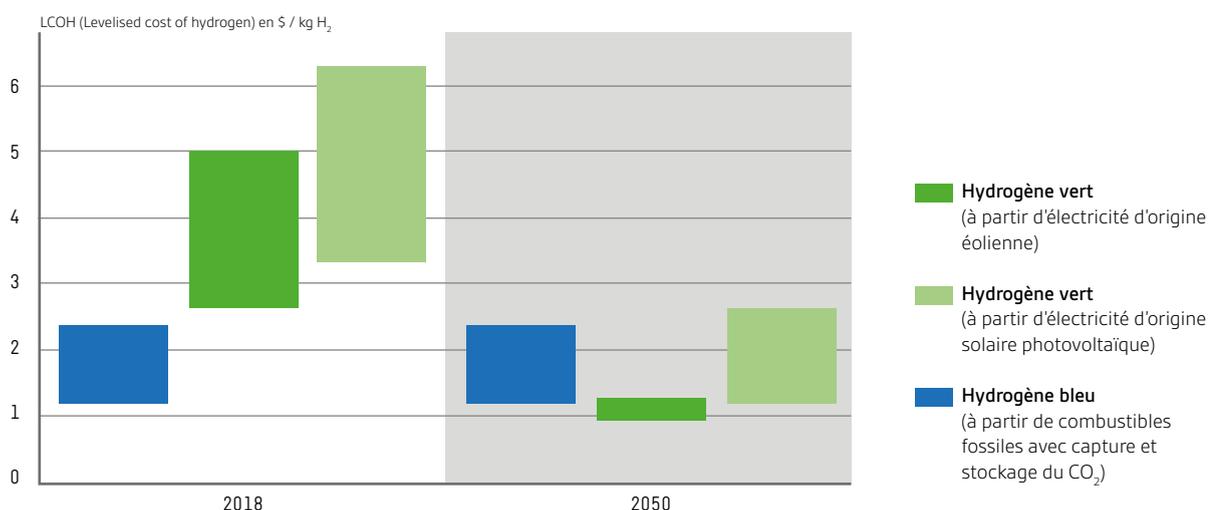
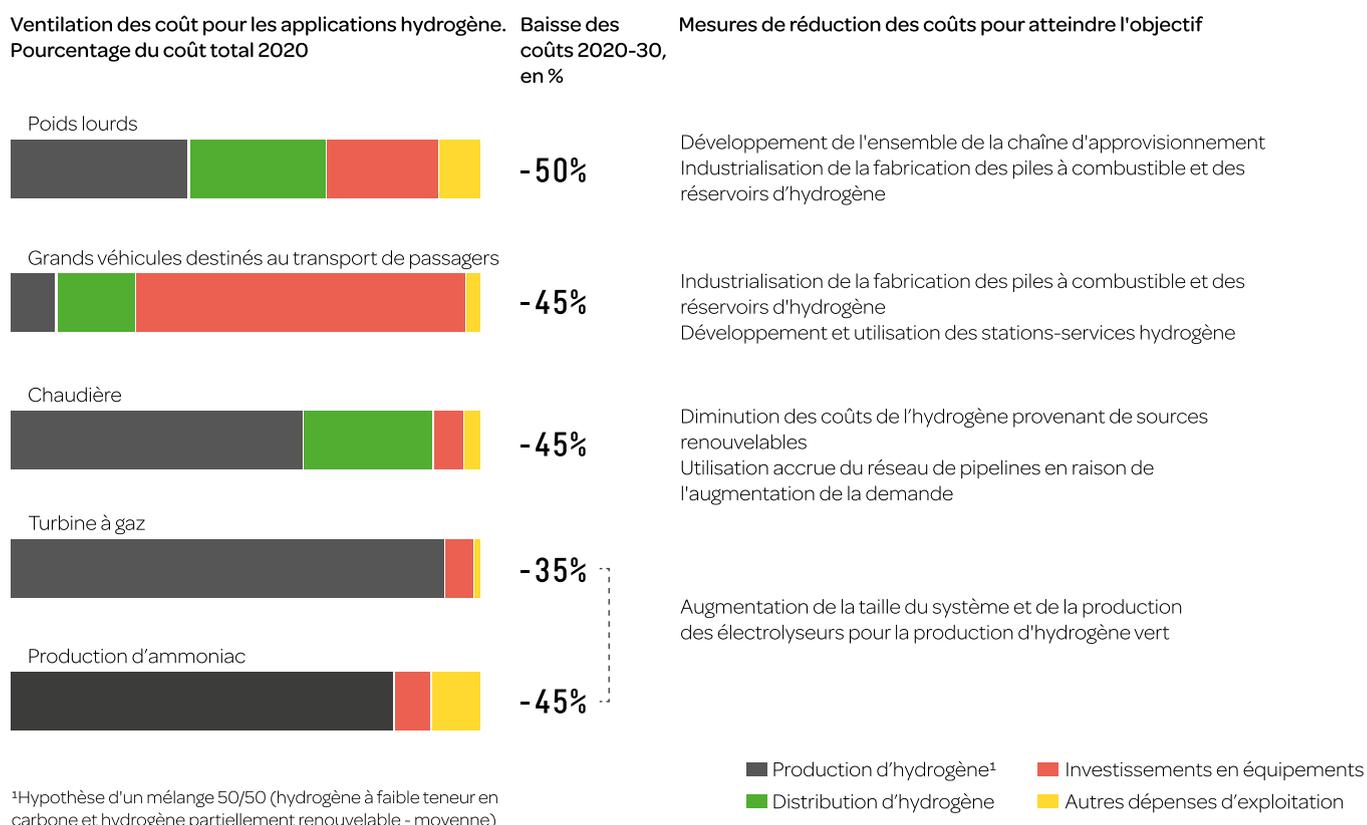


Figure 2 ▲  
Source: Analyse de l'IRENA

La figure 3 donne la structure des coûts globale pour quelques applications parmi les plus importantes. Cela permet de relever l'importance relative de l'impact des coûts de la production, respectivement de la distribution en regard des coûts d'investissement ou opérationnels.

Le développement des applications sera largement dépendant de la structure de coûts de la filière et du domaine considéré. L'Hydrogen Council publie régulièrement des études et analyses pour les différents secteurs industriels et leur cas d'usage, avec des projections révisées régulièrement.

### MOTEURS DE LA COMPÉTITIVITÉ DES COÛTS DE L'HYDROGÈNE



**Figure 3** ▲  
Source: Hydrogen Council, Path to hydrogen competitiveness - A cost perspective, janvier 2020

**L'industrie des piles à combustibles et de l'hydrogène entre dans une phase cruciale de positionnement avec des investissements considérables dans les technologies, les lignes de production et les partenariats. Les intervenants qui ne bougent pas maintenant seront confrontés par la suite à des barrières à l'entrée plus élevées.**

**DAVID HART**  
Partenaire chez ERM, Directeur E4Tech



# Contexte suisse

## La stratégie et les scénarios du Conseil fédéral

En 2019, le Conseil fédéral a décidé que la Suisse devait réduire ses émissions de gaz à effet de serre de manière à atteindre la neutralité carbone d'ici à 2050. Il a défini la voie à suivre pour atteindre cet objectif dans la Stratégie climatique à long terme. Les Perspectives énergétiques 2050+ en sont une base essentielle.

Deux scénarii sont proposés : le scénario «Zéro émission nette» (ZÉRO), avec une variante de base et trois variantes fondées sur diverses orientations technologiques, et le scénario «Poursuite de la politique énergétique actuelle» (PEA). Les quatre variantes du scénario ZÉRO atteignent toutes l'objectif de zéro émission nette d'ici à 2050. Différents rythmes de développement de la production d'électricité renouvelable sont considérés dans ces scénarios.

Source : Office fédéral de l'énergie (OFEN)





Pour le moment, la Suisse n'a pas défini de stratégie hydrogène sur son territoire. Par contre dans le scénario «Zéro émission nette» (ZÉRO) – voir encadré de la page 22, la Suisse est en mesure de transformer son approvisionnement énergétique de manière à atteindre la neutralité climatique d'ici à 2050. Parmi les variantes de ce scénario, l'hydrogène est identifié pour sa contribution au transport lourd (train, camion), grâce notamment à une production liée aux centrales hydrauliques.

Au niveau international et notamment dans le cadre du Forum pentalatéral de l'énergie (Benelux, Allemagne, Suisse, France et Autriche), la Confédération a signé le 20 juin 2020 une déclaration politique conjointe sur le rôle de l'hydrogène dans la décarbonation du système énergétique. Cette première étape vise à lancer la dynamique du marché. Le développement de cette dynamique nécessite un cadre réglementaire qui offre des incitations appropriées aux acteurs du marché. Les membres du Forum pentalatéral veulent discuter d'un marché de l'hydrogène.

#### **Cette coopération à venir a pour objectifs de:**

- › Développer une vision commune à long terme pour un hydrogène 100% renouvelable en Europe
- › Élaborer des définitions communes pour l'hydrogène et des règles pour les garanties d'origine
- › Harmoniser le mélange d'hydrogène dans les réseaux de gaz naturel
- › Déterminer les normes techniques pour les infrastructures gazières
- › Définir le rôle des taxes sur le CO<sub>2</sub>, des taxes sur l'énergie et des prélèvements sur l'énergie

On le voit, la Suisse est active sur la scène internationale pour favoriser le déploiement de l'hydrogène. Elle s'active non seulement au niveau gouvernemental avec l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), mais aussi au niveau industriel via l'association faitière Hydropole, ainsi qu'au niveau académique avec les instituts de recherche renommés que sont l'EPFL et l'Empa.

## LE POIDS DE L'HYDROGÈNE AU NIVEAU SUISSE

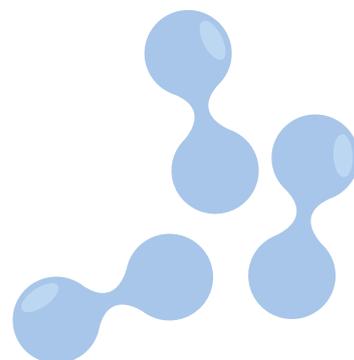
Le marché suisse de l'hydrogène est très petit. En 2021, il représente seulement 1% de la taille du marché du gaz naturel. En général, l'hydrogène n'est utilisé que pour de petites applications. Si de plus grandes quantités sont nécessaires (comme dans le secteur chimique), il est en général produit sur place. L'utilisation actuelle d'hydrogène pour la mobilité est également insignifiante. Force est de constater que l'hydrogène ne nous est pas familier et qu'il ne fait clairement pas (encore) partie de notre ADN.

## UTILISER LES INSTRUMENTS EXISTANTS ET FAVORISER LES PIONNIERS

Dans ce contexte, la Confédération déroule une approche pragmatique en mettant à disposition les conditions-cadres nécessaires pour le développement de projets dans le cadre des instruments existants (Innosuisse, programme de projets pilotes et de démonstrations de l'OFEN).

En tant qu'adepte d'une économie libérale, la Suisse fait confiance au dynamisme du secteur privé. On peut dire que le pari est gagnant cette fois, notamment si l'on considère le projet de mobilité lancé en première mondiale avec le constructeur Hyundai et ses camions XCIENT Fuel Cell. La Suisse démontre encore une fois qu'elle est un terrain favorable pour laisser les esprits pionniers s'exprimer.

Dans le projet intitulé « Cycle de l'hydrogène renouvelable pour le trafic poids-lourds » et primé par un Watt d'OR en 2021, il faut reconnaître que H2 Energy et le consortium construit autour d'eux est très bien pensé. Ce consortium est formé d'une entité de production d'hydrogène vert (voir portrait page 54) qui livre à un réseau de stations-service (initié par le consortium sous l'égide de l'association Mobilité H2 Suisse) pour alimenter des camions hydrogène d'un constructeur industriel reconnu, mis en leasing auprès des transporteurs. Le modèle d'affaire a été mûrement réfléchi en fonction des conditions-cadres qu'offre la Suisse (abondance d'énergie hydro-électrique pour la production d'hydrogène vert, exonération de la redevance poids lourds RPLP, pas de taxe de transport de l'énergie si on produit directement sur le site de production). Il faut aussi reconnaître le sens commercial de l'équipe et le savoir-faire qu'ils ont développé dans le secteur au travers de divers projets au cours de la dernière décennie (voir pages 44 et 45).



## TROUVER LE MODÈLE D'AFFAIRES ADAPTÉ

Ce consortium montre que la voie est possible si l'on trouve le modèle d'affaires adapté avec la masse critique de clients. Cela n'est pas forcément le cas pour les autres secteurs ou cas d'usages actuellement. Une analyse des acteurs a montré que notre tissu économique ne possède pas de masse critique sur une filière ou une technologie particulière. Ce constat est typique de la structure du tissu économique suisse, sauf peut-être pour secteur de la pharma/chimie/biotech et de celui de l'industrie des machines, des équipements électriques et des métaux et branches apparentées (MEM).

En tout cas, c'est un constat récurrent que l'on fait pour la plupart des « activités cleantech » en Suisse où l'on peut compter sur des leaders mondiaux dans leur domaine – à l'image des onduleurs de Studer Innotec par exemple – sans l'existence d'une filière industrielle complète. On y retrouve ici aussi l'expression de la politique fédérale non interventionniste qui, volontairement, ne pratique pas de politiques industrielles sectorielles en tant que telles, pour laisser la dynamique économique s'exprimer par les lois du marché.

## CROISSANCE DU NOMBRE D'ACTEURS

On constate un vif intérêt du secteur privé pour l'hydrogène avec comme résultat une croissance significative du nombre d'acteurs dans le secteur de l'hydrogène au cours des dernières années. C'est un signe clair de la vitalité de l'écosystème hydrogène en phase de constitution en Suisse comme illustré dans la section dédiée à l'écosystème (voir page 34 et suivantes).



**NICOLA ZANDONA**

Ancien Directeur Business chez IHT et actuel consultant de Sunfire

L'électrolyse est la « pierre angulaire » de la nouvelle filière de l'hydrogène vert qui contribuera à intégrer et décarboner plusieurs secteurs clef de l'économie.



# Le stockage saisonnier d'hydrogène : élément-clé ?

*Nous l'avons mentionné en introduction, ce dossier ne vise pas à analyser l'impact de l'hydrogène pour la stratégie énergétique 2050. Et si les discussions sur les rendements de conversions font débats, à juste titre, l'hydrogène reste une solution majeure quand on parle de stockage à long terme ou de stockage dit saisonnier. Selon une analyse de Planair, bureau d'études au service du développement durable, le stockage massif d'hydrogène produit avec les excédents des énergies renouvelables en été pourrait constituer le plus gros marché de l'hydrogène en Suisse d'ici 15 à 20 ans.*

*Grâce à l'essor fulgurant des véhicules électriques et des pompes à chaleur, les énergies renouvelables deviennent un véritable outil de la politique climatique. Elles ont le potentiel de porter le pays au-delà de la stratégie énergétique, vers une véritable stratégie climatique suisse ambitieuse.*

---

**LIONEL PERRET**

Directeur Energies Renouvelables et Innovation chez Planair, Directeur Swiss Eole

**A l'échelle nationale, la production d'hydrogène pour le stockage saisonnier des excédents renouvelables pourrait constituer le premier marché de l'hydrogène en Suisse.**



L'analyse détaillée des perspectives 2050+ de l'OFEN montre qu'avec le scénario « Zéro émission nette » il est possible d'évoluer vers un système énergétique sans énergies fossiles. On constate dans la figure ci-dessous qu'à l'horizon 2050 on consommera en moyenne 10% d'électricité en plus qu'actuellement mais pour une consommation totale d'énergie réduite de 31% ! Dans ce scénario on relèvera l'apparition d'une catégorie d'agent énergétique appelée « Power-to-X » à hauteur de 56 PJ, correspondant à près d'un quart de la contribution de l'électricité (228 PJ) dans le bilan global de la consommation. L'hydrogène jouera dans ce cadre un rôle crucial, accompagné sans doute par d'autres carburants de synthèse.

Les scénarios établis au niveau européen par l'Université LUT (Finlande) confirment qu'un tel système renouvelable pourrait être plus compétitif que les énergies fossiles en 2050.

([www.solarpowereurope.org/100-renewable-europe](http://www.solarpowereurope.org/100-renewable-europe))

## ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE SELON LES AGENTS ÉNERGÉTIQUES

Consommation nationale sans le trafic aérien international, scénario ZÉRO base, en PJ

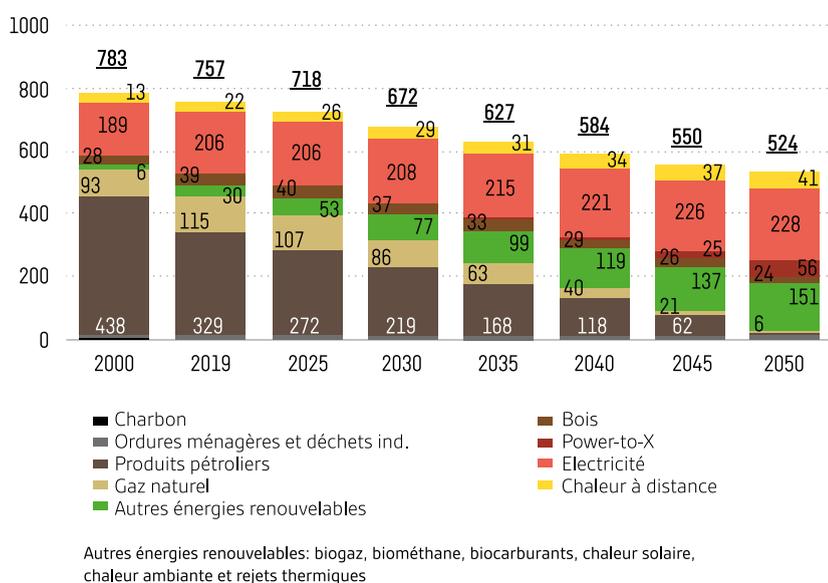


Figure 4 ^

Source: Prognos SA/TEP Energy Sàrl/INFRAS SA 2020

<https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/politique/perspectives-energetiques-2050-plus.html>

## UN MARCHÉ POTENTIEL COLOSSAL

En Suisse, ces perspectives signifient un développement massif de nouvelles ressources de stockage saisonnier. Sur la base de dizaines de scénarii de stratégie énergétique climatique réalisés pour la Suisse, le constat de Planair est sans équivoque : pour éviter une dépendance massive de l'étranger en hiver, il est nécessaire de développer un stockage saisonnier d'hydrogène fonctionnant avec les excédents de production renouvelables estivaux. Ce qui présuppose le développement massif de la production renouvelable comme présenté dans le « Plan solaire et climat » de Roger Nordmann.

Grâce au simulateur et aux algorithmes développés à cet effet (voir encadré ci-dessous), il est démontré qu'il est possible d'équilibrer le système énergétique pour chaque heure. Cela démontre également la complémentarité entre le stockage batterie, qui suit un cycle journalier, avec le stockage hydrogène, qui suit un cycle saisonnier.

Pour éviter de devoir renforcer les infrastructures actuelles, une quantité de 10 à 25 TWh de stockage hydrogène par année serait nécessaire. Les simulations démontrent que c'est possible avec la production de 300'000 à 750'000 tonnes d'hydrogène par an, soit la capacité de production obtenue avec des électrolyseurs de 2 à 5 GW de puissance cumulée, en fonctionnement continu.

La consommation industrielle actuelle (hors raffinerie) est de 2'000 t/an et le potentiel de consommation dans la mobilité lourde en Suisse est d'environ 60'000 t/an : cette application serait donc le marché de l'hydrogène pour une Suisse décarbonée et indépendante.

## UN MODÈLE ÉCONOMIQUE À CONSTRUIRE DÈS MAINTENANT

Les analyses réalisées par Planair avec ce calculateur montrent qu'à l'échelle suisse, un tel système pourrait être compétitif, en utilisant notamment des technologies de stockage d'hydrogène sous forme liquide. En revanche, il s'agit de construire dès aujourd'hui, des mécanismes de marché adaptés, basés sur de l'énergie renouvelable suisse faiblement rémunérée en été. En raison des différentes pertes de conversion, le courant hivernal issu d'un stockage saisonnier hydrogène est trois fois plus cher que sa source estivale (hors amortissement du système).

### **Grid View : un calculateur à portée de tous pour comprendre les enjeux**

Cet outil, développé par l'entreprise Planair, présente 5 scénarii de référence et une interface de calcul. Il permet d'analyser le bilan d'indépendance énergétique ou d'investissements nécessaires pour le système, le diagramme de flux, ainsi qu'une courbe de charge horaire interactive de tous les systèmes. Sur demande, Planair est capable de générer des indicateurs spécifiques à des régions ou une sélection de technologies et des analyses de sensibilités du système (coûts et énergie grise).

Plus d'information et accès au calculateur : <https://gridview.planair.ch>

WESTERN SWITZERLAND'S

# INNOVATION CLUSTERS



4 DYNAMIC & VIBRANT  
ECOSYSTEMS



SUPPORTED BY



LE PORTAIL SUISSE DES START-UPS CLEANTECH

[www.cleantech-alps.com/fr/start-ups](http://www.cleantech-alps.com/fr/start-ups)

NUMÉRO 1 EN SUISSE avec plus de  
400 entreprises déjà référencées.

ANNONCEZ-VOUS  
et/ou découvrez un écosystème dynamique !



**Cleantech**  
ALPS | Western  
Switzerland  
Cleantech  
Cluster

# Les chaînes de valeur de l'hydrogène

*De par la nature intrinsèque de l'hydrogène à être utilisé pour une multitude d'applications, il est nécessaire d'obtenir trois informations pour qualifier le positionnement d'un acteur actif dans ce domaine. Il s'agit de :*

- 1. son produit ou sa prestation, qui permet de le positionner sur la chaîne de valeur technologique ;*
- 2. son métier, qui renseigne sur son activité commerciale ;*
- 3. son secteur d'application (transports, énergie et industrie).*

*Alors que les deux premiers sont des chaînes de valeur à proprement parler, la troisième caractéristique précise plutôt le segment de marché où il est actif. On parle aussi de chaîne de valeur sectorielle.*

*Le type de technologies utilisées est une information supplémentaire importante dans l'analyse du secteur. Elle relève concrètement de la business intelligence et ne fait pas partie des objectifs visés par cette étude. Elle concerne principalement les acteurs du domaine qui chercheraient des informations sur la concurrence, ou encore le secteur public, pour l'aider à décider s'il est opportun de définir un éventuel programme de développement ciblé et le cas échéant, sur quels axes technologiques.*

---



**BENOÎT REVAZ**

Directeur de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN)

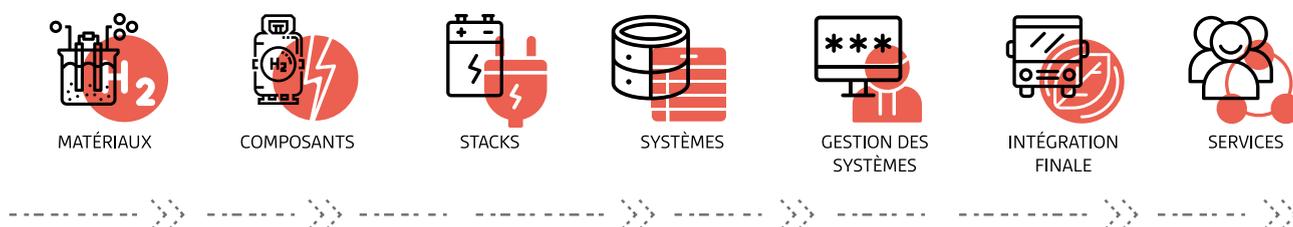
**L'intégration des énergies renouvelables dans le système énergétique est un enjeu majeur, c'est pourquoi nous examinons actuellement le rôle que l'hydrogène « vert » peut jouer à l'avenir.**



## LA CHAÎNE DE VALEUR TECHNOLOGIQUE

La chaîne de valeur technologique est esquissée dans la figure 5. Elle couvre la palette allant des matériaux utilisés jusqu'à l'intégration des systèmes, en passant par les divers sous-systèmes permettant de réaliser le produit fini (véhicule ou installation de production par exemple). Les opérateurs d'équipements de production, de stockage ou de distribution sont représentés dans le dernier maillon intitulé « services ». Les prestataires de services ayant des connaissances spécialisées en matière d'hydrogène, tels que les sociétés de conseil en technologie et les organisateurs de conférences spécialisées sont également pris en compte dans ce maillon tout en bout de chaîne.

La représentation de la répartition des acteurs le long de cette chaîne de valeur permet de mesurer la densité du tissu économique et d'identifier les domaines d'expertises disponibles dans l'écosystème. Ce travail a été réalisé dans la section suivante (figure 9).



**Figure 5** ▲  
Chaîne de valeur technologique de l'hydrogène (source E4tech - 2014)



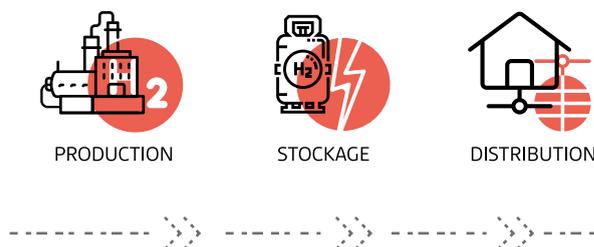
**BERTRAND PICCARD**  
Initiateur, Président et pilote de Solar Impulse

Certains disent que l'hydrogène, c'est le futur ; je dis que l'hydrogène, c'est déjà le présent.

## LA CHAÎNE DE VALEUR MÉTIER

La chaîne de valeur métier présentée dans la figure 6 couvre les activités des acteurs. Cette chaîne de valeur comprend trois étapes génériques, de la production à la distribution. L'intégration d'étapes telles que la purification ou la conversion n'apportent pas d'informations supplémentaires pertinentes dans le cadre de cette analyse et n'ont pas été considérées. L'étape de distribution est prise en compte au sens large et couvre toutes les activités liées à la mise à disposition de l'hydrogène au client final ou à l'utilisateur.

Cette chaîne de valeur est valable pour les trois secteurs d'applications nécessaires pour compléter le positionnement d'un acteur dans l'écosystème hydrogène.



**Figure 6** ▲  
Chaîne de valeur métier de l'hydrogène ( source CleantechAlps 2021)

## LA CHAÎNE DE VALEUR SECTORIELLE (SECTEUR D'APPLICATION)

Dans la pratique, on préfère parler de secteurs d'application ou de filières plutôt que de chaîne de valeur pour cet aspect. En effet, cet élément décrit le secteur d'application dans lequel évolue la société. Un système ou un équipement peut être potentiellement employé sur plusieurs segments ou filières différents. Par exemple, une pile à combustible de grande puissance peut être déployée pour les transports (camion, train...), mais aussi pour du stationnaire nécessitant de grandes puissances. On parle essentiellement des trois secteurs d'application ou filières suivants :

- ▶ Les transports (mobilité/transport)
- ▶ L'énergie (systèmes énergétiques – chaleur)
- ▶ L'industrie (matières premières et processus)

**Il existe une opportunité importante dans la construction des chaînes de valeur des piles à combustible et de l'hydrogène. L'Europe peut jouer un rôle majeur en apportant un soutien concerté, à la fois du côté de la demande et de l'offre, ainsi qu'au développement des individus et des compétences.**

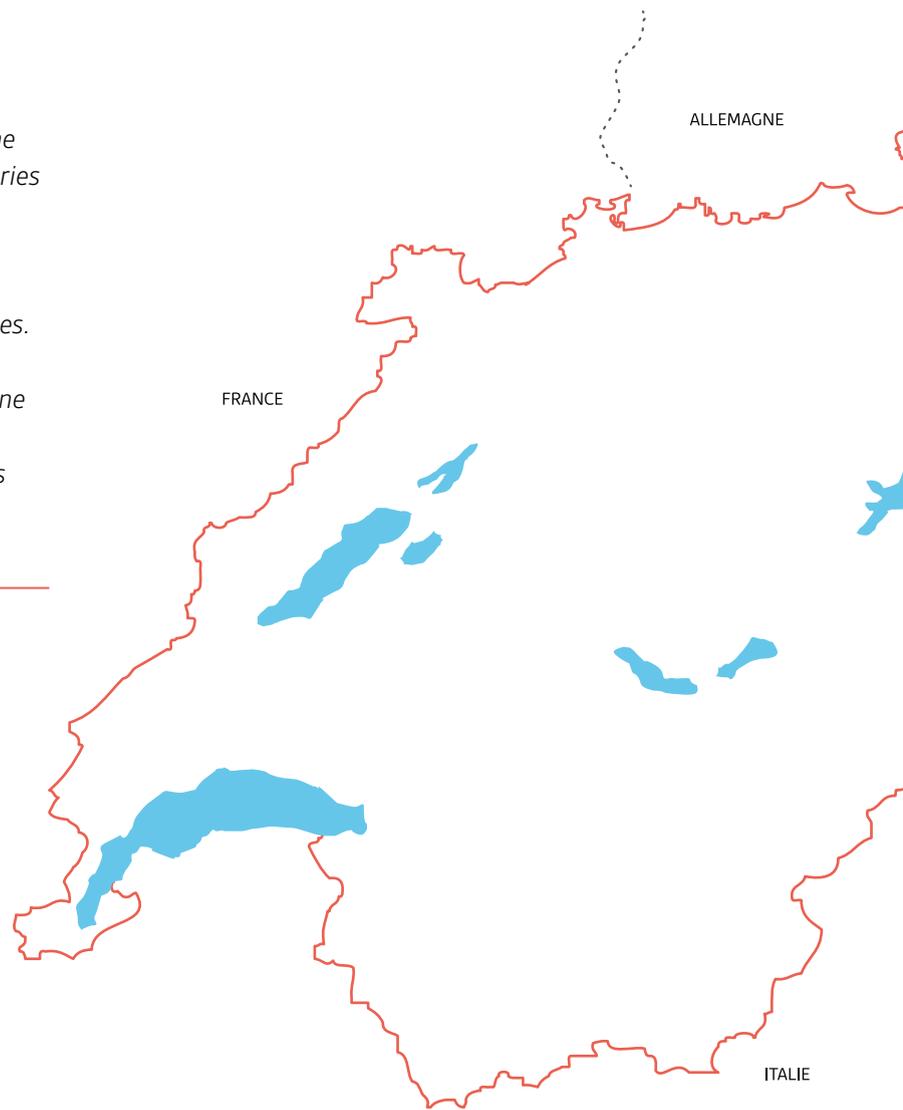
**DAVID HART**  
Partenaire chez ERM, Directeur E4Tech



# Les acteurs suisses de l'hydrogène

Nous proposons une vue systémique de l'écosystème suisse de l'hydrogène. Celle-ci comprend les catégories d'acteurs qui constituent cet écosystème, avec ses filières. Les acteurs industriels majeurs y sont cités expressément pour chacune des catégories, à l'exception des entreprises pour des raisons pratiques.

En effet, il n'aurait pas été pertinent de publier ici une liste sans fin de noms de sociétés, de surcroît dans un contexte où les entreprises sont actives dans des filières propres à leurs activités, comme la mobilité lourde ou les process industriels.



## ● ASSOCIATIONS ET LOBBY

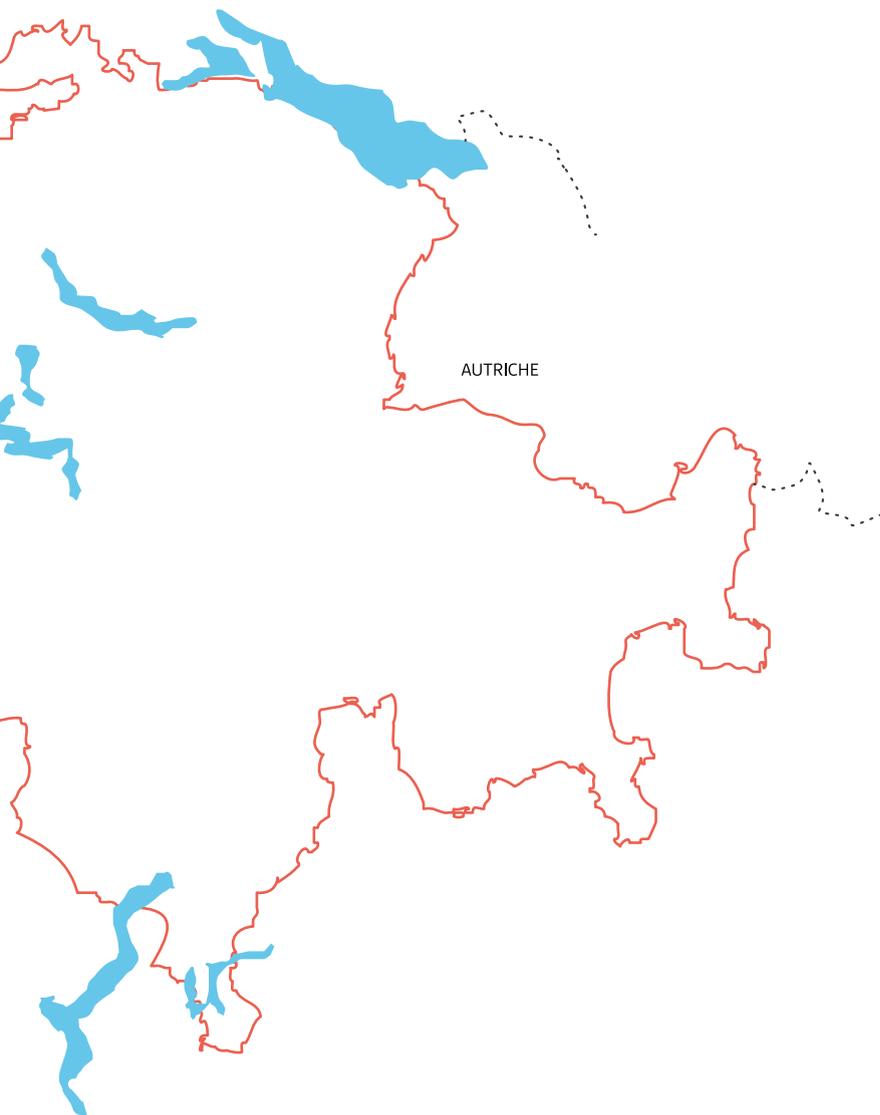
- H2 Mobility Switzerland
- Hydropole
- Association des producteurs de H2
- Fondation Nomads
- Swisspower
- AEE
- swisscleantech
- SSIGE/ITIGS
- ASIG

## ● CONFEDERATION

- OFROU
- OFT
- OFEN
- Innosuisse
- SEFRI
- METAS
- AFD
- OFEV

## ● ACTEURS PUBLICS/ PARAPUBLICS

- Cantons
- Transports publics
- Services industriels



● **CONNECTEURS**

- CleantechAlps
- Netzwerk Wasserstoff

● **PROJETS AMBASSADEURS**

- Hyundai XCIENT Fuel Cell
- Mission H24
- Projet Victoria

● **REGIONS PIONNIERES**

- Zürich/Argovie (GZA)
- Arc lémanique/Valais

● **INDUSTRIE**

- PME
- Start-ups
- Grandes entreprises
- Bureaux d'ingénieurs
- Bureaux d'études

● **PROJETS PHARES**

- GOH
- Hydrospider
- Demo4Grid
- Limeco
- H2Bois
- SATOM

● **PROGRAMMES DE FINANCEMENT**

- Programme P&D
- Horizon Europe
- SWEET

● **DÉMONSTRATEURS**

- Move
- Platform ESI
- Energypolis
- Innovation Lab

● **INSTITUTIONS ACADEMIQUES**

- EPFL
- ETHZ
- HES / FH
- EMPA
- PSI
- UNIGE, UNIL, UNIBE et UNIBAS
- CSEM
- CREM

## QUELQUES CHIFFRES ET TENDANCES

Quelle est la composition du tissu économique en lien avec l'hydrogène ? Cette question est récurrente et cette section apporte les réponses en termes de taille d'entreprises, de leur répartition dans les chaînes de valeur et de l'évolution au cours des dernières années. Les constats majeurs sont présentés au travers de quelques diagrammes. Rappelons que l'analyse porte sur les acteurs privés et que les instituts de recherche publics ne sont pas pris en compte. Le portail des acteurs technologiques (voir page 38) donne un aperçu des acteurs académiques actifs dans le domaine ainsi qu'une vue globale des projets de recherche.

Le tissu économique suisse est constitué pour près de 99% de PME. Il n'est donc pas surprenant de retrouver les PME en tête aussi dans le secteur de l'hydrogène. La figure ci-dessous illustre bien cet état de fait, qui plus est quand l'un des défis majeurs du secteur touche l'industrialisation des équipements.

On constate également que les start-up ne sont pas en reste dans ce secteur, avec une concentration dans des activités en lien avec la production d'hydrogène. Par contre, on les voit encore peu dans le stockage, où la dynamique des jeunes pousses commence seulement à émerger. A noter que les exploitants de réseau sont plutôt actifs dans la distribution, mais qu'ils montrent un intérêt croissant pour tous les maillons de la chaîne de valeur.

### NOMBRE D'ACTEURS PAR MÉTIERS SELON LA TYPOLOGIE DES ENTREPRISES

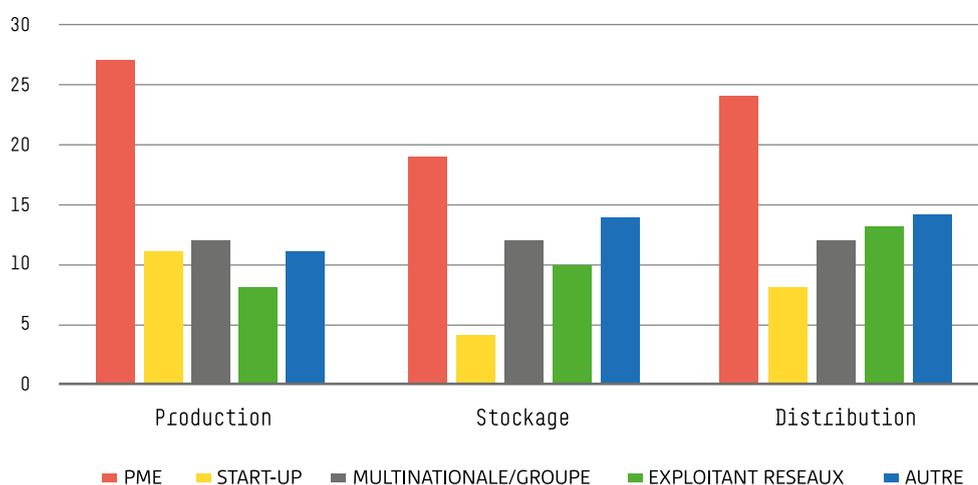


Figure 7 ^

La vue montrant le nombre d'acteurs par métiers et par secteurs vient compléter le tableau et nous permet de mieux comprendre l'orientation des intérêts actuels:

### NOMBRE D'ACTEURS PAR MÉTIERS ET PAR SECTEUR

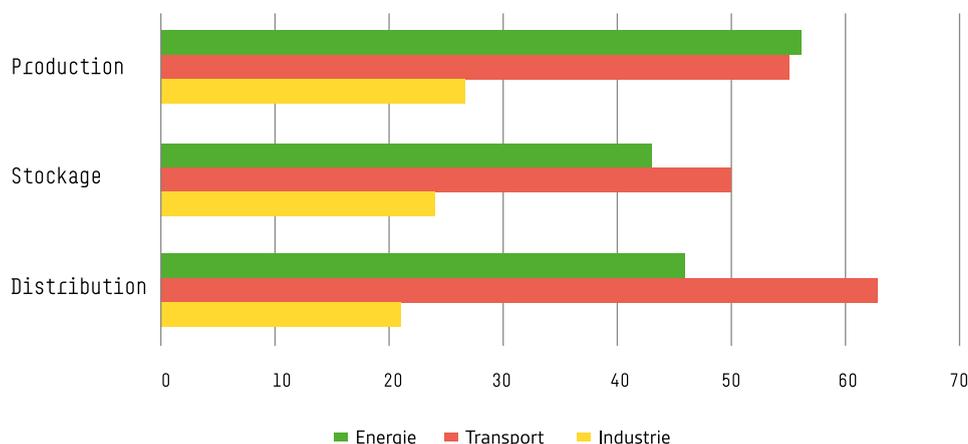


Figure 8 ^

La figure 8 illustre bien que la mobilité est le premier secteur d'application de l'hydrogène en Suisse en termes de masse critique. La différence sur les autres secteurs s'observe en particulier pour le stockage et très logiquement sur la distribution avec le développement des stations-service hydrogène et de leur logistique. Au niveau de la production, on ne remarque par contre pas de différence notable entre l'énergie et la mobilité. C'est un indice que les acteurs de la production d'hydrogène vert ne visent pas forcément une application spécifique, mais une palette d'applications pour écouler leur production. La diversité des sources de consommation est l'une des clés de l'équilibre du système. Le secteur de l'industrie est en deçà des deux autres, effet représentatif du faible volume de marché de l'hydrogène maîtrisé par quelques industries dans ce secteur à l'heure actuelle.

L'analyse de la répartition des acteurs le long de la chaîne de valeur technologique (figure 9) nous renseigne sur les centres de gravité éventuels en termes de technologies et d'expertises disponibles sur le territoire.

### RÉPARTITION DES ACTEURS SUR LA CHAÎNE DE VALEUR TECHNOLOGIQUE

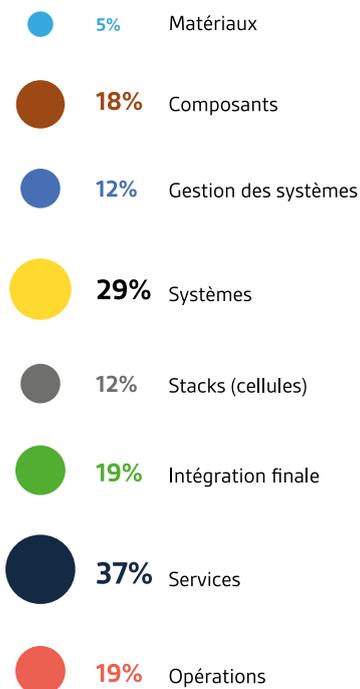


Figure 9 ^

Cette vue révèle bien les forces du tissu économique avec un centre de gravité marqué sur la réalisation de systèmes. Le développement de ce maillon est logique, car il peut s'appuyer sur l'expertise et les produits développés dans les maillons précédents (composants et stacks), eux-mêmes bénéficiant des développements réalisés dans les instituts. Hors considération des services qui représentent grosso modo le quart des sociétés, il est aussi intéressant de relever que l'activité d'intégration se place en deuxième position en termes de nombre d'acteurs. La concentration d'acteurs sur ce maillon illustre la capacité d'innover et de développer de nouveaux produits des sociétés en réponse à un besoin spécifique. C'est aussi l'expression de la richesse de l'écosystème en termes de compétences intersectorielles. Elle illustre bien la qualité de la main-d'œuvre et de l'expertise disponibles dans le pays.

Une comparaison du nombre d'acteurs entre 2012 et 2020 montre que les centres de gravité de la chaîne de valeur se sont renforcés sur les services et les systèmes et l'intégration. Soulignons également que les services ont fortement progressé et se détachent des maillons plus technologiques. Une tendance aussi confirmée sur 2021.

Par ailleurs, le nombre d'acteurs a quasiment doublé dans depuis 2012. C'est un signe de vitalité de l'écosystème. Ce chiffre ne ressort pas directement de la figure 10, qui est basée sur la date de création de la société et non pas sur celle où la société a commencé à s'intéresser à la thématique hydrogène. Cela est particulièrement vrai pour les exploitants de réseaux ou services industriels dont la création remonte à plusieurs décennies.

La typologie des acteurs le long de chaîne de valeur technologique vient compléter l'analyse du tissu économique (figure 11). Elle confirme une implication forte des PME sur toute la chaîne, à l'exception des extrémités sur les matériaux et la gestion des installations. La capacité d'innovation des start-up s'exprime sur aspects technologiques (composants et systèmes), appuyés par les PME alors que les exploitants de réseau sont logiquement en bout de chaîne avec des activités opérationnelles de gestion des équipements et installations. A noter néanmoins que leurs activités remontent la chaîne en direction de l'intégration en lien avec la stratégie de convergence des réseaux, qui commence à faire son chemin auprès des distributeurs d'énergie.

## Portail des acteurs technologiques

Ce portail donne un aperçu des activités de recherche et de technologie ainsi que de premières applications commerciales en Suisse. Plus précisément on y retrouve, les différents projets liés à l'hydrogène et aux piles à combustible en Suisse. Les acteurs majeurs de l'industrie (multinationales, PME, Start-up) et des universités y sont recensés. Des données concernant le marché suisse de l'hydrogène et des piles à combustible sont également disponibles sur ce portail, tout comme un état des lieux sur la situation de la mobilité de l'hydrogène en Suisse.

<https://h2.energyresearch.ch/>



## EVOLUTION DU NOMBRE D'ACTEURS SUR LA CHAÎNE DE VALEUR TECHNOLOGIQUE

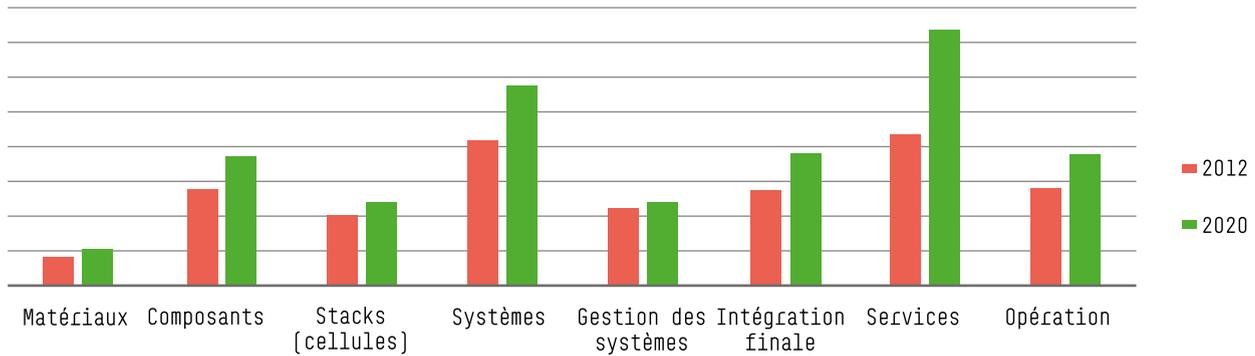


Figure 10 ^

## TYPLOGIE DES ACTEURS LE LONG DE LA CHAÎNE DE VALEUR TECHNOLOGIQUE

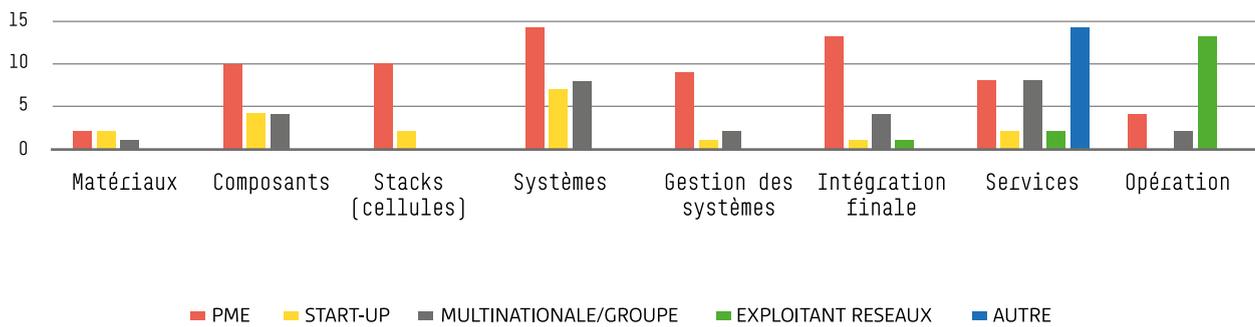
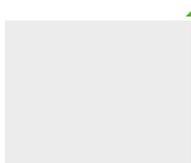


Figure 11 ^



L'hydrogène est un vecteur énergétique pour importer en Suisse de l'énergie verte sous forme gazeuse ou liquide, et se substituer à l'importation des produits carbonés.

HUBERT GIRAULT  
Prof. EPFL



## SWITZERLAND GLOBAL ENTERPRISE (S-GE) : SOUTENIR LES PME SUISSES À L'INTERNATIONAL ET L'IMPLANTATION D'ENTREPRISES ÉTRANGÈRES

Switzerland Global Enterprise (S-GE) est l'agence officielle suisse de promotion des exportations et des investissements. Présente dans toute la Suisse et dans plus de 27 pays, elle soutient les PME helvétiques, en particulier les entreprises actives dans les technologies propres visant un développement commercial international. Elle aide également les entreprises innovantes actives sur le plan international à s'établir en Suisse. S-GE apporte de la valeur aux clients et crée de la prospérité pour la Suisse grâce à son réseau de partenaires unique en Suisse et à travers le monde.



### PROMOTION DES EXPORTATIONS

S-GE travaille sur mandat de la Confédération et du Secrétariat d'État à l'économie (SECO). Elle utilise son expertise en matière d'internationalisation pour aider les entreprises suisses, en particulier les PME, à identifier et à développer de nouveaux potentiels commerciaux à l'échelle mondiale. Elle fournit en outre régulièrement des informations pertinentes sur les tendances des marchés mondiaux, ainsi que des conseils et un soutien professionnel pour trouver des contacts et des partenaires. Ceci dans le but d'identifier de nouvelles opportunités commerciales.

### CLEANTECH CUBE : LA BASE DE



### DONNÉES DES ENTREPRISES CLEANTECH SUISSES

Connue sous la dénomination de Cleantech CUBE, cette base de données des entreprises cleantech suisses, sert de base à la communication des services et à la promotion des entreprises en Suisse et à l'étranger. L'inscription est gratuite, sur [www.s-ge.com/cube](http://www.s-ge.com/cube)

### PROMOTION DES INVESTISSEMENTS



Dans le cadre des attributions données par la Confédération et les cantons, S-GE fournit aux investisseurs étrangers potentiels des informations sur la Suisse en tant que lieu d'implantation pour leurs affaires. Ses services aux entreprises étrangères comprennent l'évaluation du potentiel de leurs projets avant qu'ils ne soient présentés aux cantons. S-GE aide ainsi les cantons à implanter des entreprises étrangères, en fournissant des analyses sur le marché et les tendances, tout en coordonnant les activités avec l'ensemble des organismes concernés.

 **SWITZERLAND  
GLOBAL  
ENTERPRISE**

enabling new business

[www.s-ge.com/cleantech](http://www.s-ge.com/cleantech)



PARCE QUE  
L'AVENIR  
EST DANS  
L'ÉNERGIE  
PROPRE



En tant qu'agence de promotion économique, le **GGBa** accompagne les **entreprises étrangères innovantes** tout au long du processus d'implantation en Suisse occidentale. Nos services sont personnalisés, confidentiels et gratuits.

**La Suisse est parmi les leaders mondiaux de la durabilité** et ce thème revêt une grande importance pour nous. Notre région contribue activement à résoudre les défis majeurs auxquels la planète fait face: le **Centre Oeschger pour la recherche climatique** de l'Université de Berne est un centre de pointe dans la recherche mondiale sur le climat; **CLIMACT**, initiative conjointe de l'EPFL et de l'Université de Lausanne, promeut une résilience économique, sociale et environnementale intégrée; en Valais, **ALPOLE** étudie les environnements de haute altitude et de haute latitude, sentinelles du changement climatique.



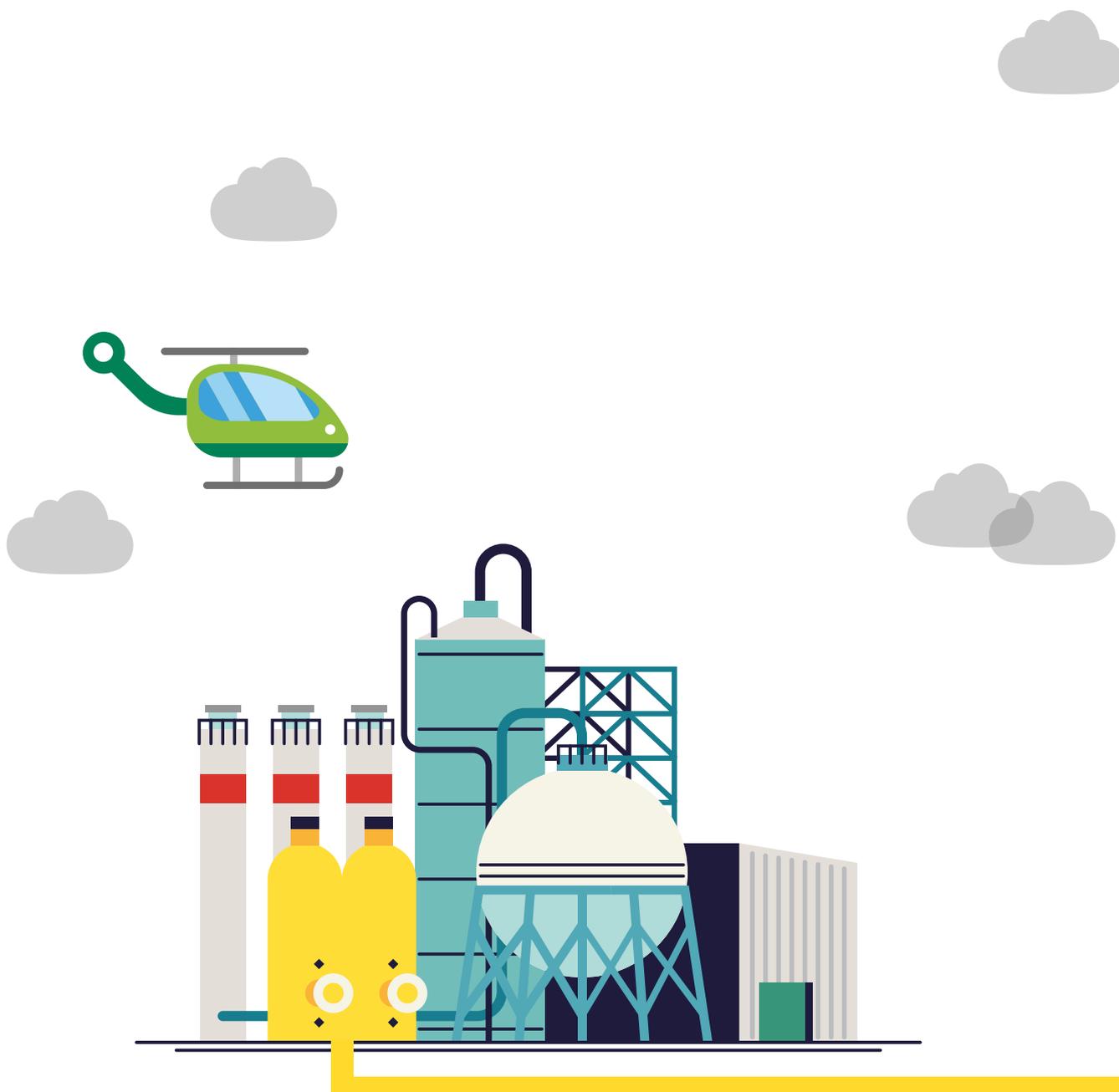
**Thomas Bohn**

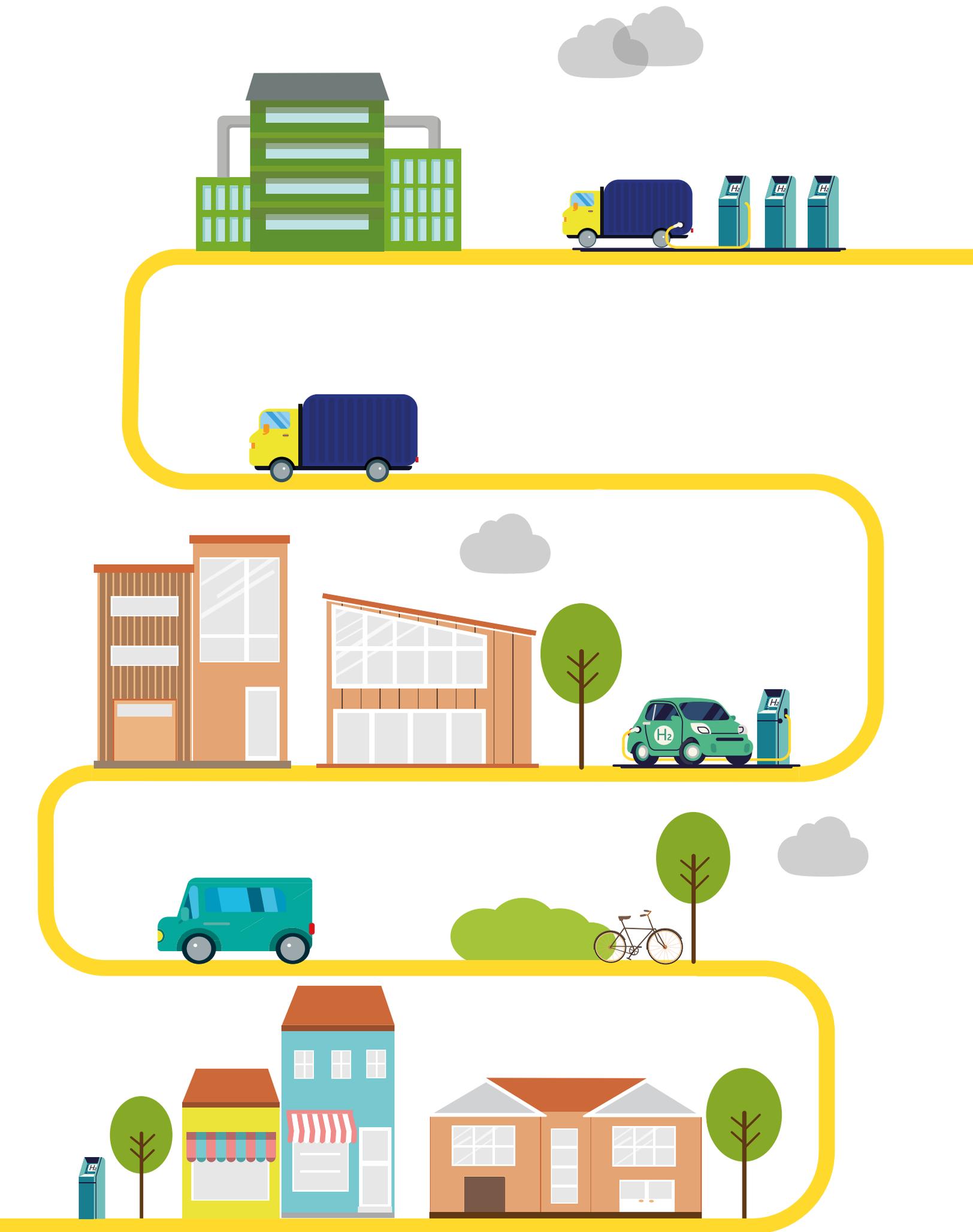
Directeur général, Greater Geneva Bern area (GGBa)  
[www.ggba-switzerland.ch](http://www.ggba-switzerland.ch)

# Les projets et bancs d'essais majeurs en Suisse

*Cette section est dédiée à la présentation des projets majeurs, réalisés, en cours, ou planifiés (non confidentiels) en Suisse dans le domaine de l'hydrogène. Ils seront complétés par les démonstrateurs actuels permettant de tester les nouveaux développements en environnement réel.*

---





## LES PROJETS

### PROJETS



#### **VICTORIA 202x**

Construire le ballon Victoria de Jules Verne. Un ballon de 2500 m<sup>3</sup> d'hydrogène pour 5 jours de vol



#### **AURORA 2021 (20xx)**

Intégrer l'hydrogène au mix énergétique du parc immobilier



#### **H2BOIS 2021 (2023)**

Hydrogène à base de bois pour la mobilité hydrogène, l'industrie locale et le soutien à la transition énergétique



#### **SATOM 2021 (20xx)**

Optimisation de l'efficacité énergétique globale du site et soutien à la transition écologique



#### **USC-FLEXSTORE (Underground Sun Conversion - Projet EU ERA-Net Smart Energy Systems) 2020 (2023)**

Stockage géologique saisonnier d'hydrogène sous forme gazeuse dans des puits profonds (1000m)



#### **LIMECO 2020 (2022)**

Démonstrateur économique – soutient la transition énergétique (P2X complète la production d'électricité renouvelable)



#### **ÉCOSYSTÈME NATIONAL TRANSPORT - HYUNDAI XCIENT FUEL CELL TRUCK 2019 (2025)**

Développement d'un écosystème cycle hydrogène renouvelable pour le trafic de poids lourds  
Déploiement de 50 camions (36t) en 2021 et 1600 pour 2025. Divers projets de production d'hydrogène vert en cours de planification par le consortium ou des partenaires



#### **PROGRAMME HYDROGÈNE GOH (GENERATION OF HYDROGEN) 2018 (2022)**

Mise en place d'une filière énergétique locale, intégrale, durable, couvrant tous les aspects de la transition énergétique au service de la mobilité lourde (des camions de 40 tonnes propulsés par des piles à combustible). Une expérience pionnière qui s'accompagne d'un important volet formation aux métiers de l'hydrogène. Projet pilote qui veut répondre aux nouveaux enjeux du transport



#### **MISSION H24 – L'HYDROGÈNE AU 24H DU MANS EN 2025... 2018 (2025)**

Lancement d'une classe à hydrogène aux 24 Heures du Mans en 2024, moteur de 653 ch (Pmax en pic :480 kW à 13000 tr/min). Module propulsion électrique-hydrogène GreenGT de 250kW constants



#### **DEMO4GRID (PROJET EU FCH JU) 2017 (2022)**

Démonstrateur pour fournir des services d'équilibrage du réseau dans des conditions réelles d'exploitation et de marché.



#### **PREMIER IMMEUBLE AUTOSUFFISANT EN ÉNERGIE À BRÜTTEN 2016 (2020)**

Démonstration de la faisabilité technico-économique de construire des habitations autosuffisantes. Contribution à la transition énergétique



#### **RÉACTEUR DE MÉTHANATION, PILOTE & SCALE-UP 2016 (2020) 2020 (20xx)**

Atteindre la neutralité carbone d'un poste de détente et compression avec un pilote pour la conversion haut rendement (>99% du CO<sub>2</sub>) en syngas durable



#### **STORE&GO (Projet EU H2020) 2016 (2020)**

Démonstrateur convergence des réseaux



#### **THE BEE 2016**

Camion hydrogène avec remorque



#### **CHIC (Projet EU, FCH JU H2 – Clean Hydrogen in European Cities) 2010 (2016)**

26 bus dans 5 villes dont 5 car postaux hydrogène en Suisse

<b>PRIX ET DISTINCTIONS</b>		
Audience mondiale en termes de communication sur la durabilité avec forte dimension humaine et sociale		6
		15
Première installation du genre en Suisse		14
		13
		11
Première installation Power to Gas industrielle de Suisse		9
- Première flotte de camions produite en série et alimentée en hydrogène vert - Watt d'or 2021 - Swiss Logistics Award 2021		5
Premier camion 40t à hydrogène		4
Première classe hydrogène au Mans		3
Plus grand électrolyseur alcalin sous pression (PAE) d'Europe		12
Watt d'or 2021		10
Premier réacteur de méthanation au sein d'un poste de détente et de comptage (PDC)		8
		7
- Première station-service hydrogène publique en Suisse - Premier camion hydrogène semi-remorque		2
		1

## LES DÉMONSTRATEURS

Les acteurs de l'hydrogène disposent également de quatre infrastructures réparties sur le territoire, véritables bancs d'essai, ces démonstrateurs permettent de tester et valider les technologies et leurs combinaisons dans des environnements les plus proches des conditions réelles de déploiement.

### **MOVE : EMPA – DÜBENDORF/ZH**

Move, le démonstrateur de la mobilité du futur, propose trois exemples d'utilisation de l'électricité renouvelable excédentaire - qui ne peut être exploitée directement sur le marché de l'électricité - pour la mobilité (sous forme d'hydrogène, de méthane synthétique ou de stockage sur le réseau). En ce qui concerne l'hydrogène, tant son utilisation pure comme carburant que son ajout au biogaz sont étudiés.

### **PLATFORM ESI (ENERGY SYSTEM INTEGRATION) : PSI – WÜRENLINGEN/AG**

Avec la plateforme ESI, le PSI met à disposition de la recherche et de l'industrie une plateforme d'essai où les solutions prometteuses peuvent être testées dans toute leur complexité. Elle permet par exemple un examen détaillé des processus de stockage et de conversion dans le contexte du «Power to Gas».

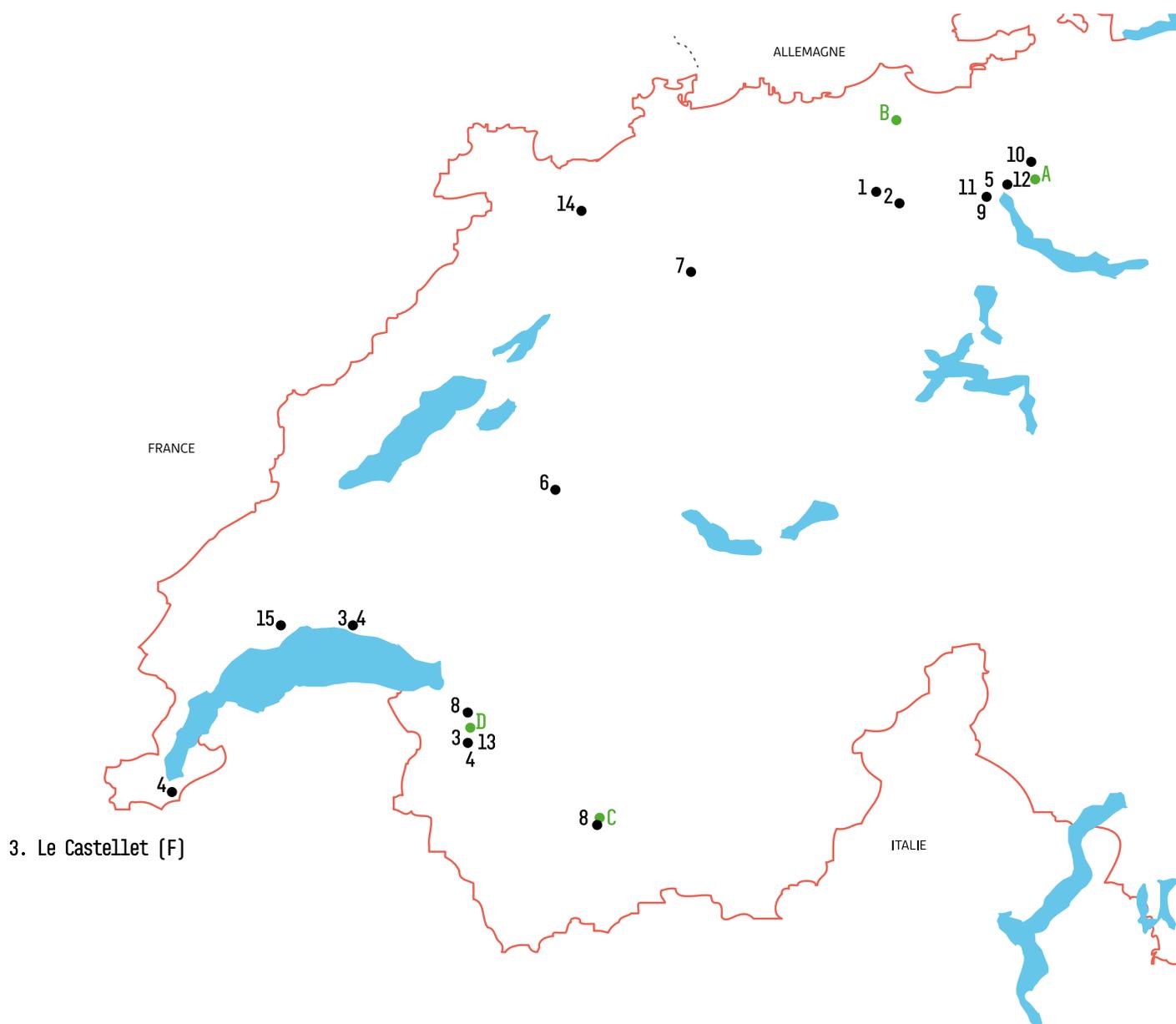
### **ENERGYPOLIS - DÉMONSTRATEUR DE QUARTIER : CAMPUS ENERGYPOLIS - SION/VS**

Ce démonstrateur de quartier a pour ambition de tester et valider les technologies et systèmes énergétiques développés par l'EPFL et la HES-SO Valais/Wallis ainsi que leurs partenaires. L'hydrogène y joue une place centrale, par exemple pour de nouvelles piles à combustible, le test de nouveaux matériaux ou la synthèse de carburants de nouvelle génération. L'expérience en mobilité hydrogène développée à Electromobilis à Martigny en fait partie.

### **INNOVATION LAB : GAZNAT - AIGLE/VD**

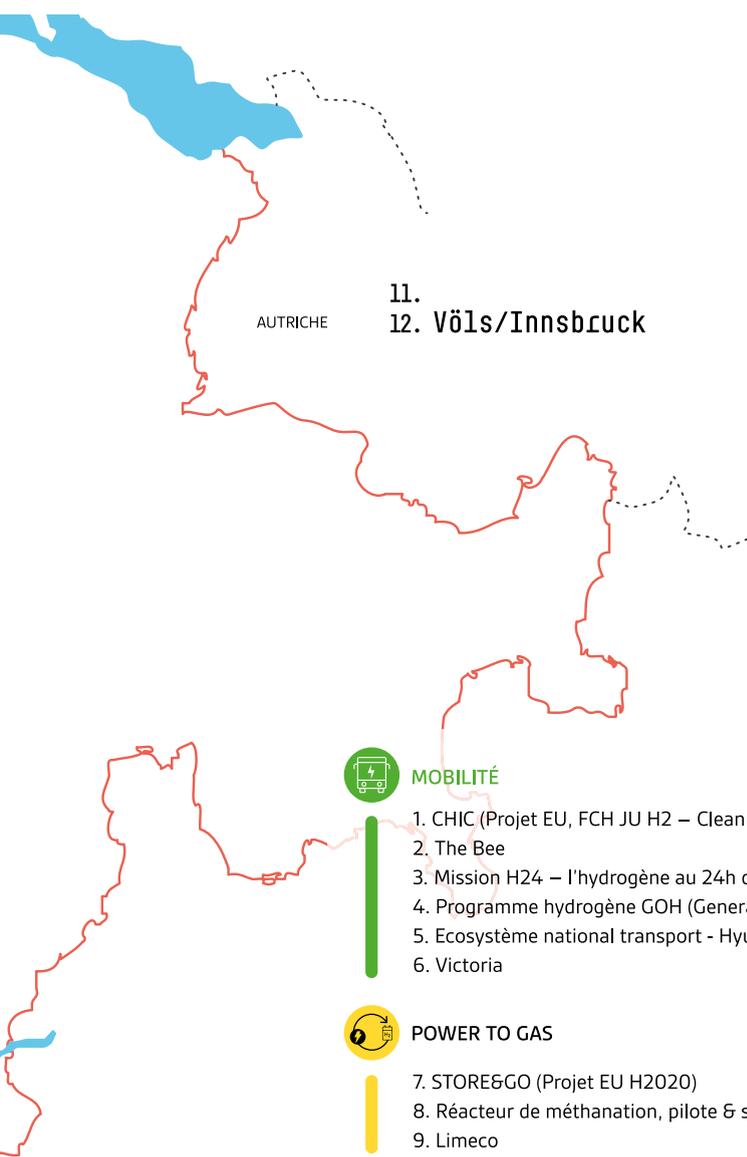
Banc d'essai en environnement industriel pour des projets pilotes dans le domaine de l'énergie, dont notamment la production de gaz renouvelables (hydrogène, méthane de synthèse neutre en CO<sub>2</sub>, etc.). Cette plateforme permet de tester des technologies (Power To Gas, pile à combustible, membranes de capture du CO<sub>2</sub>, etc.) en milieu industriel afin de préparer leur déploiement à large échelle.

## CARTOGRAPHIE DES PROJETS ET BANCS D'ESSAIS EN SUISSE



### DÉMONSTRATEURS

- A. Move : Empa
- B Platform ESI (Energy System Integration) : PSI
- C. Energypolis - Démonstrateur de quartier : Campus Energypolis
- D. Innovation Lab : Gaznat



AUTRICHE

11.  
12. Völs/Innsbruck



MOBILITÉ

1. CHIC (Projet EU, FCH JU H2 – Clean Hydrogen in European Cities)
2. The Bee
3. Mission H24 – l'hydrogène au 24h du Mans en 2025...
4. Programme hydrogène GOH (Generation of Hydrogen)
5. Ecosystème national transport - Hyundai XCIENT Fuel Cell Truck
6. Victoria



POWER TO GAS

7. STORE&GO (Projet EU H2020)
8. Réacteur de méthanation, pilote & scale-up
9. Limeco



STOCKAGE

10. Premier immeuble autosuffisant en énergie à Brütten
11. USC-Flexstore (Underground Sun Conversion - Projet EU ERA-Net Smart Energy Systems)



MULTI-USAGE

12. DEMO4Grid (Projet EU FCH JU)
13. SATOM
14. H2Bois
15. Aurora



# Des experts en parlent

*L'hydrogène est un vaste sujet, comme nous l'avons vu dans les pages qui précèdent. Afin d'ouvrir encore davantage le débat et le champs des possibles, nous avons interrogé deux personnalités qui nous livrent leur regard sur ce domaine.*

---



# 3 questions à...

« Grâce au dynamisme du secteur privé, la Suisse joue déjà un rôle de pionnier. »

Présenté comme une réponse concrète au réchauffement climatique (décarbonation de l'énergie), on observe un regain d'intérêt autour de l'hydrogène. Quel rôle l'hydrogène peut-il jouer pour la Suisse?



► **STEFAN OBERHOLZER**  
Responsable du programme hydrogène  
Office fédéral de l'énergie (OFEN)

En plus des mesures sur l'efficacité, la stratégie énergétique repose fortement sur l'électrification dans divers secteurs à l'image de celui des transports. Par exemple, et selon les Perspectives énergétiques 2050+ publiées fin 2020, la production indigène d'hydrogène vert (à partir d'hydroélectricité au fil de l'eau) pour une utilisation dans le domaine du transport routier lourd devrait atteindre environ 2 TWh/an d'ici 2050. Aujourd'hui, grâce au dynamisme du secteur privé, la Suisse y joue déjà un rôle de pionnier au niveau mondial.

L'hydrogène vert peut contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre dans le secteur industriel. Il jouera aussi à l'avenir un rôle majeur pour le transport et le commerce d'énergies renouvelables, tant au niveau mondial qu'en Suisse. Il reste encore à déterminer dans quelle mesure l'électricité provenant d'autres sources renouvelables, on pense à l'énergie photovoltaïque par exemple, pourrait être utilisée pour la production d'hydrogène en Suisse.

**Bientôt 30 pays et l'UE ont déjà communiqué une stratégie de déploiement hydrogène, la Suisse envisage-t-elle aussi de publier une telle stratégie?**

Jusqu'à présent, la politique énergétique suisse s'est appuyée sur des conditions-cadres judicieuses plutôt que sur des mesures de politique industrielle. Les objectifs énergétiques et climatiques doivent être abordés avec ouverture envers les différentes technologies en développement. Néanmoins, l'Office fédéral de l'énergie analyse actuellement de manière plus approfondie le potentiel concret de l'hydrogène pour atteindre les objectifs énergétiques et climatiques ainsi que pour renforcer la sécurité de l'approvisionnement de la Suisse.

**Quelle contribution estimez-vous que la Suisse peut apporter dans le développement du secteur hydrogène?**

Comme évoqué ci-dessus, la Suisse est aujourd'hui un marché pionnier, en particulier pour l'Europe, en matière d'application de l'hydrogène dans le domaine du transport routier lourd. Un facteur non négligeable ici est l'incitation liée à l'exemption de la redevance sur le trafic des poids lourds liée aux prestations (RPLP) pour les camions électriques. Actuellement, une telle incitation réglementaire n'existe pas en Allemagne par exemple.

Du côté des technologies, la Suisse compte un grand nombre de start-up innovantes et de PME solides qui proposent des technologies de pointe en matière d'hydrogène et de piles à combustible et qui peuvent s'appuyer sur une excellente coopération entre l'industrie et les hautes écoles.

# 3 questions à...

« Le principal frein du développement de l'hydrogène est économique. »

Quelle contribution peut apporter l'hydrogène pour la réalisation de la stratégie énergétique au niveau suisse, respectivement cantonal?

Comme l'hydrogène est un agent énergétique intermédiaire (« energy carrier ») qui n'est pas disponible naturellement sur terre, il peut uniquement jouer un rôle dans le cadre de l'optimisation du système énergétique. Parmi les différentes possibilités d'utilisation pertinente, on peut citer la valorisation de l'électricité excédentaire produite en été à des fins de stockage et l'alimentation du transport routier lourd. Ce dernier peut déjà s'avérer économique aujourd'hui sous certaines conditions.



► **FRANÇOIS VUILLE**

Directeur général de la Direction de l'énergie (DGE-DIREN), Canton de Vaud

Comment expliquez-vous la concentration d'acteurs en lien avec l'hydrogène sur le territoire vaudois?

Je ne suis pas certain que le canton de Vaud fasse l'objet d'une concentration d'acteurs plus importante qu'ailleurs. Il est toutefois possible que la présence de hautes écoles comme l'EPFL génère un certain nombre de start-up et de projets dans la région. Nous avons en effet des perles technologiques à l'instar de GreenGT ou SOLIDpower par exemple, ainsi que des projets pilotes pour l'alimentation de véhicules, voire dans le domaine du « Power to Gas », c'est-à-dire la transformation d'énergie électrique excédentaire en gaz ou en hydrogène.

Selon vous, que manque-t-il pour un déploiement à large échelle de l'hydrogène en Suisse?

Le développement de la technologie de l'hydrogène se heurte principalement à la difficulté de développer de manière simultanée le marché de la production avec celui de la consommation. Il y a ainsi un manque de perspectives stables pour les investisseurs.

D'autre part, il manque encore certainement un excès d'énergie renouvelable pour la production d'hydrogène, une certaine standardisation notamment pour la sécurité, pour les différentes applications possibles, et pour les infrastructures.

Le principal frein reste néanmoins économique. Le coût des équipements (électrolyseurs, piles à combustible) est encore élevé faute de marché de masse. En outre, les producteurs d'hydrogène peuvent bénéficier de prix de l'électricité très bon marché, mais le coût de transport de cette électricité (le « timbre » du réseau) est comparativement très élevé, ce qui fait que seules les productions d'hydrogène en pied de barrage, sans injection d'électricité dans le réseau, peuvent s'avérer économiquement viables, ce qui limite les opportunités. Le pouvoir calorifique inférieur de l'hydrogène à celui du méthane, et la perception du risque à cause de sa forte inflammabilité constituent également encore des freins.

# Conclusion: le dilemme de l'hydrogène...

La thématique de l'hydrogène n'est pas nouvelle, mais il semble que cette fois les enjeux environnementaux liés aux dangers climatiques et de santé publique convergent avec les enjeux politico-économiques.

Si l'hydrogène montre la pertinence de la convergence des réseaux, en particulier avec les technologies « Power to Gas » ou plus globalement « Power to X », la réalité du terrain montre que les acteurs eux ne convergent pas (encore) assez vite. L'hydrogène divise les foules, tous milieux confondus, et cela n'est pas près de s'arrêter. La contribution de l'hydrogène (vert) à la transition énergétique vers une société décarbonée est indiscutable et reconnue par tous. Par contre, l'agenda et la source de l'électricité utilisée pour sa production sont des points d'achoppement qui restent importants.

En effet, si l'apport de l'hydrogène à terme ne fait pas débat et que sa capacité de réaliser du stockage saisonnier séduit, la question des rendements de conversion fait débat. Un débat qui n'aurait pas lieu d'être si on avait suffisamment d'énergie renouvelable à disposition sur le territoire. Aujourd'hui, cela n'est clairement pas le cas et la production d'hydrogène vert vient cannibaliser les sources d'électricité renouvelables. Cela ouvre ainsi la porte à de la production de courant carboné importé ou à de potentielles futures centrales thermiques à gaz générant du CO<sub>2</sub>.

D'un autre côté, l'industrie est poussée à réduire ses émissions de gaz à effet de serre. Sachant que le secteur des transports est un contributeur important, c'est aussi un levier d'action attractif pour les entreprises voulant décarboner leurs activités, comme pour les transporteurs.

On peut donc envisager une augmentation rapide de la demande en production d'hydrogène vert dans notre pays. Les projections parlent d'une flotte de 1600 camions de type Hyundai XCIENT Fuel Cell en Suisse d'ici à 2025. Des annonces d'arrivée de nouveaux camions sur le marché est chose régulière à l'image du projet GOH et le premier 40 tonnes à hydrogène (voir page 58). La production actuelle d'hydrogène indigène, issue d'une installation de 2MW, serait suffisante dans les conditions

actuelles pour alimenter environ 50 camions. Une deuxième installation de 10MW est annoncée pour fin 2022 et il faudra probablement augmenter la capacité de production à au moins 100MW d'ici 2025.

On le voit, l'équilibre entre les intérêts du secteur privé et les engagements de la Suisse vers la neutralité carbone à l'horizon 2050 ne sont pas vraiment alignés si on n'accélère pas, en parallèle, le déploiement des capacités de production d'énergie renouvelable, et en particulier le solaire photovoltaïque. Même si à terme les acteurs privés et publics visent le même objectif, cela va nécessiter un gros effort des deux côtés pour faire converger les intérêts à court terme. Pragmatisme, et non dogmatisme, seront ainsi de mise. La clé sera d'aligner les intérêts et non pas de les opposer.

Du point de vue des entreprises proposant des technologies, il faut retenir avant tout que l'hydrogène est un secteur en très forte croissance au niveau mondial et en particulier auprès de nos voisins européens. Les opportunités de marché sont concrètes et non négligeables. L'expertise du tissu helvétique telle que présentée dans le portefeuille de portraits d'entreprises et de projets (voir page 54 et suivantes) illustre parfaitement la capacité des acteurs suisses à proposer des solutions dans ce secteur en forte croissance.

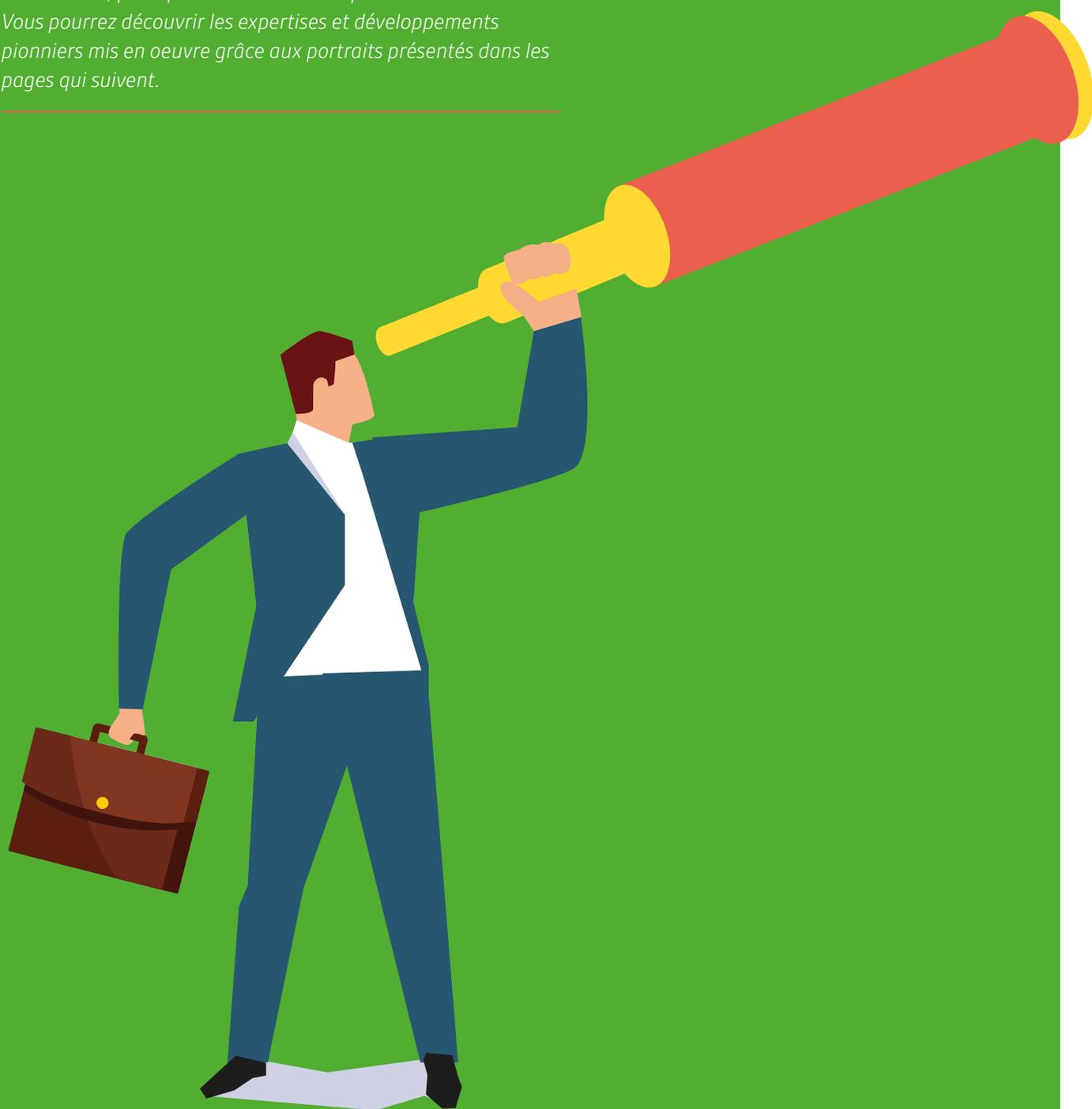
Pour ce faire, il est impératif que le cadre réglementaire évolue rapidement afin que des installations de démonstration à l'échelle préindustrielle puissent être réalisées dans notre pays pour convaincre les futurs clients. Ne dit-on pas d'ailleurs que le premier marché d'exportation est tout simplement son marché local?

Avec cette approche la boucle est bouclée et nous ferions coup double en renforçant un tissu économique riche en sociétés développant des solutions complexes tout le long de la chaîne de valeur de l'hydrogène, tout en contribuant aux transitions énergétique et environnementale!

# Portraits d'entreprise

*Il nous a semblé utile de donner de la visibilité à certaines d'entre elles, principalement des start-up et PME innovantes. Vous pourrez découvrir les expertises et développements pionniers mis en oeuvre grâce aux portraits présentés dans les pages qui suivent.*

---



## Première mondiale – un déploiement massif de poids lourds 100% hydrogène vert



Une cinquantaine de camions à hydrogène parcourent les routes suisses. Le fruit d'une collaboration inédite entre les sociétés Hydrospider, Hyundai Hydrogen Mobility et les nombreuses entreprises partenaires de l'association Mobilité H2 Suisse, visant à stimuler l'offre de véhicules, la production d'hydrogène vert et l'approvisionnement de stations-service.

Hydrospider s'inscrit dans un écosystème de la mobilité à l'hydrogène vert, en particulier pour le transport par camion. «Dans ce secteur, on touche aux limites des batteries», explique Amédée Murisier, Head Hydropower Generation chez Alpiq, actionnaire d'Hydrospider avec le pionnier de l'hydrogène suisse H2 Energy et Linde/Pan-Gas, spécialiste en gaz industriels. «Le poids des batteries nécessaires pour alimenter un camion réduit trop sensiblement la charge utile.» D'où la solution de l'hydrogène – vert évidemment. Et d'où la pertinence d'une localisation du projet en Suisse, pays pionnier de l'énergie hydraulique; un domaine dans lequel Alpiq dispose d'une longue expérience pour la production d'électricité renouvelable, indispensable dans le processus de production d'hydrogène durable. Voilà pour le volet production de carburant et ravitaillement des stations-service. Côté véhicules, la société Hyundai Hydrogen Mobility regroupe le constructeur coréen Hyundai (qui produit les camions XCIENT Fuel Cell équipés de piles à combustible) et H2 Energy, et assure la mise à disposition des camions et leur leasing.

### 1600 CAMIONS D'ICI À 2025

Une première installation d'électrolyse, d'une puissance de 2 MW, a été mise en service par Hydrospider au cours de l'été 2020 sur le site de la centrale hydroélectrique d'Alpiq à Gösgen, dans le canton de Soleure, tandis qu'un premier camion XCIENT 100% hydrogène a sillonné le

réseau routier du pays. D'autres sites de production d'hydrogène seront construits afin de répondre à la demande des 1600 camions qui doivent être mis en circulation en Suisse d'ici à 2025. «100 MW seront nécessaires», précise Amédée Murisier. «Nous n'en produisons pas la totalité, mais nous devons assurer une quantité minimale pour développer l'écosystème.» La puissance déjà installée permet de produire suffisamment d'hydrogène pour alimenter les 50 camions XCIENT qui roulent en Suisse en cette année. Des véhicules dédiés à la distribution de proximité, utilisés par plusieurs transporteurs et détaillants, parmi lesquels les Coop et Migros. Huit stations-service sont opérationnelles à ce jour le long des grands axes routiers pour approvisionner ces véhicules en hydrogène.

Et après? La Suisse est pour l'heure le marché prioritaire. Outre une grande capacité de production d'électricité renouvelable, le pays soutient la mobilité décarbonée via l'exemption de la taxe poids lourds. Un contexte idéal pour ancrer solidement l'écosystème avant d'attaquer le marché européen.

## Prendre le virage de la mobilité électrique

La mobilité du futur exige une vision forte et implique des innovations techniques concrètes. L'entreprise Celeroton (Volketswil/ZH) développe des turbocompresseurs, à la fois compacts et puissants, pour les moteurs électriques des véhicules utilitaires.



Un moteur électrique fonctionne à l'électricité. Celle-ci peut être produite à partir d'hydrogène, en utilisant une pile à combustible. Pour que la pile à combustible fonctionne efficacement, un compresseur est nécessaire. Depuis un certain temps, il existe sur le marché des compresseurs pour applications industrielles, mais pas dans une conception compacte avec des vitesses très élevées. C'est précisément ce constat qui a poussé les scientifiques de l'EPFZ Martin Bartholet et Christof Zwysig à fonder la société Celeroton en 2008.

Aujourd'hui, l'entreprise zurichoise compte 38 employés. Elle fournit des turbocompresseurs aux fabricants de systèmes de piles à combustible pour camions, bus, voitures et bateaux. Ceux-ci sont aussi utilisés pour nettoyer les lentilles dans les systèmes d'inspection ou pour fournir de l'air comprimé. Le marché cible de Celeroton est celui des constructeurs européens de véhicules utilitaires légers, des chariots élévateurs aux camions. L'entreprise ne fournit pas les constructeurs de véhicules directement, mais plutôt les fabricants de systèmes de piles à combustible qui sont actifs en Europe et en Asie.

«Notre innovation se trouve dans le système intégré du turbocompresseur et de l'électronique de contrôle», explique le directeur général Martin Bartholet. Ce qui est particulièrement fascinant dans cette technologie est que les compresseurs fonctionnent sans lubrifiant. Car leur arbre «flotte» sur un palier à gaz. L'idée centrale des

ingénieurs de Celeroton s'inspire de la production de puces électroniques : les compresseurs doivent devenir toujours plus petits et plus efficaces. Le système global, qui combine compresseur et électronique, est le fruit d'un processus de recherche et développement qui dure depuis quelques années et se poursuit encore aujourd'hui.

A ses débuts, l'entreprise industrielle produisait des prototypes et était principalement sollicitée pour des commandes d'ingénierie. Depuis, elle est devenue une PME manufacturière qui sait fournir des réponses adéquates aux questions liées à la production en série. Une nouvelle entreprise industrielle se développe actuellement à Volketswil, orientée vers les technologies propres. Les véhicules hydrogène ont un énorme potentiel dans le secteur de la mobilité douce. Celeroton fournit ainsi un composant clé pour cette technologie porteuse d'avenir.



## La société qui ne s'endort jamais sur ses lauriers... Prochaine étape: l'hydrogène

Satom SA se positionne comme un acteur de la transition énergétique et dévoile une vision ambitieuse, déclinée en cinq grands projets. Parmi ceux-ci, le projet pilote H<sub>2</sub>, qui lui permettra de produire et d'alimenter à l'hydrogène une flotte de camions poubelles.

Il y a longtemps que Satom SA a assis son rôle de centrale énergétique. Sur son site valaisan de Monthey, la chaleur produite par la valorisation thermique des déchets est d'ores et déjà utilisée pour la production d'électricité et l'alimentation du réseau de chaleur à distance déployé sur les communes de Monthey et Collombey-Muraz. La société d'utilité publique souhaite aller encore plus loin dans un esprit d'innovation, en développant cinq projets répondant aux objectifs de la Stratégie énergétique 2050.

L'ambition affichée est de réduire l'empreinte environnementale des déchets tout en diversifiant la production d'énergie, afin d'arbitrer le marché et de choisir le vecteur énergétique le plus rentable. «Notre métier de base ne change pas; ce qui change, c'est le marché, avec ses variations d'offre et de demande très rapides, les énergies produites et la façon dont nous allons les gérer et les utiliser», confirme Daniel Baillifard, ingénieur et directeur général de Satom SA. C'est dans ce cadre que l'entreprise lance le projet H<sub>2</sub>; un crédit de 4 millions de francs a été approuvé pour l'installation d'un électrolyseur pilote de 1 MW et d'une station-service H<sub>2</sub>, ce qui lui permettra d'acquérir de l'expérience dans la production et le stockage d'hydrogène.

### JUSQU'À 1200 TONNES DE CO<sub>2</sub> ÉCONOMISÉES CHAQUE ANNÉE

De l'eau déminéralisée sera électrolysée in situ, en utilisant l'électricité produite par l'incinération des déchets, afin de produire quelque 120 tonnes d'hydrogène par an. L'objectif? Décarboner le transport des déchets vers l'usine de valorisation thermique. Avec une flotte captive de poids lourds circulant dans 77 communes actionnaires valaisannes et vaudoises, le lieu est tout trouvé pour installer chez Satom une station de recharge à l'hydrogène. Une production de 120 tonnes d'H<sub>2</sub> par an permettrait d'alimenter des poids lourds de 40 tonnes sur environ 1,5 million de kilomètres, soit une économie de 1200 tonnes de CO<sub>2</sub> par an (en comparaison avec les émissions liées au diesel). Un partenariat est en passe d'être conclu avec la société H<sub>2</sub>VS (Hydrogène du Valais); celle-ci souhaite réserver des quantités d'hydrogène afin d'alimenter une flotte de camions qu'elle souhaite proposer au monde du transport.

A terme, l'hydrogène en surplus pourrait être combiné au CO<sub>2</sub> capté à l'issue de la combustion afin de produire du méthane (CH<sub>4</sub>). Il s'agit là d'un autre grand projet de Satom SA.

## Des électrolyseurs costauds et éprouvés

Fort d'un impressionnant track record à travers le monde, IHT a développé, fabriqué, commercialisé et installé des électrolyseurs haute pression permettant la production industrielle d'hydrogène. IHT a rejoint la société allemande Sunfire début 2021 et vise aujourd'hui les grandes productions grâce à sa technologie d'électrolyseurs alcalins.



Le stack, là où l'eau est craquée afin de produire de l'hydrogène forme le cœur des électrolyseurs et est produit en Suisse. La particularité des stacks développés par l'entreprise est leur grande taille et, donc, leur grande capacité de production. Leur puissance varie entre 4 et 5 MW; ils pèsent quelque 60 tonnes et affichent un diamètre d'environ 2 mètres. La capacité de production peut être facilement augmentée en installant et en opérant sur le même site plusieurs stacks de ce type. De par cette flexibilité, ces dimensions, ce niveau de puissance et de pression, ils sont particulièrement adaptés à des applications industrielles. Cette technologie est devenue très convoitée, notamment pour répondre à des appels d'offres au niveau européen, y compris pour le secteur très prometteur des applications hydrogène énergie.

### PRÊTS AVANT L'HEURE

C'est en 2003 qu'IHT démarre ses activités; la société possède déjà la technologie qui lui permet de fabriquer des stacks de grandes dimensions, mais le marché européen n'est pas prêt pour les nouvelles applications telles que la mobilité et l'énergie. «Nous étions alors très peu visibles sur le marché et la série de projets financés par l'Europe visait le déploiement d'électrolyseurs de petite taille», raconte Nicola Zandonà, ancien directeur Business chez IHT et actuel consultant de Sunfire. Des projets qui conviennent à la concurrence, mais pas à l'entreprise,

basée à Monthey. «Ne pas pouvoir répondre aux appels à projets de l'Europe visant des installations de taille nettement inférieures aux nôtres a été un peu frustrant, mais nous avons néanmoins poursuivi nos programmes de développement et nous avons su prendre de l'avance.»

Désormais, l'Europe a revu ses ambitions à la hausse et Sunfire est entrée dans la course par la grande porte avec le projet Demo4Grid à Innsbruck (Autriche), avec le soutien du Secrétariat d'Etat à la formation, à la recherche et à l'innovation (SEFRI). C'est dans ce cadre qu'elle est en charge de la construction du plus grand électrolyseur alcalin sous pression jamais utilisé jusqu'à présent, à la fois pour la démonstration de services de gestion du réseau et la production d'hydrogène vert à des fins industrielles et de mobilité. La prochaine étape ? Des installations d'électrolyse de puissance et de capacités encore supérieures. Sunfire a racheté IHT pour compléter sa gamme de produits (électrolyseurs haute température avec la technologie SOEC). Actuellement l'entreprise est de plus en plus sollicitée pour la réalisation de centrales de production d'hydrogène de plusieurs dizaines – voire centaines – de mégawatts.



## Solutions hydrogène, du bolide au poids lourd

Inventeur de la voiture de course à hydrogène, GreenGT propose des solutions de propulsion électrique-hydrogène de forte puissance. L'entreprise vaudoise développe aussi une activité de conseil sur l'intégralité de la chaîne de valeur hydrogène.

C'est à l'initiative de Jean-François Weber que GreenGT voit le jour en 2008. Fort de sa connaissance du milieu de l'automobile, il développe en 2005 un système de propulsion électrique batterie pour la compétition, dont il constate rapidement les limites en termes de poids et de temps de recharge. Identifiant le potentiel de la pile à combustible utilisée dans le domaine de l'aérospatial, il lance en 2011, sous la bannière de GreenGT, une voiture de course 100% hydrogène.

Dès lors, l'entreprise développe des systèmes forte puissance afin d'améliorer les performances des véhicules lourds. Pour le sport automobile bien sûr, notamment dans le cadre de Mission H24 – un programme visant à créer une catégorie hydrogène dans le cadre des 24 Heures du Mans 2024, en partenariat avec l'ACO (Automobile Club de l'Ouest). Mais en 2015, GreenGT s'oriente également vers l'industrie, avec un premier projet de pile à combustible intégrée dans un camion Renault Maxity, suivi par GOH fin 2020, un poids lourd 40 tonnes roulant uniquement à l'hydrogène.

### ENORME POTENTIEL POUR LES CAMIONS À HYDROGÈNE

«La technologie développée par GreenGT est en avance de phase sur les systèmes hydrogène intégrés de forte puissance, tant en termes de poids que de compacité»,

affirme Frédéric Veloso, directeur Stratégie et développement commercial de l'entreprise. GreenGT est désormais structurée autour de trois pôles d'activité. A commencer par le sport mécanique, un pôle tirant ses ressources du sponsoring. «C'est aussi un excellent vecteur de communication pour démontrer la pertinence de la technologie», relève Frédéric Veloso. Deuxième pôle, l'ingénierie et les systèmes, pour les activités de conception, d'intégration et de fabrication de systèmes de propulsion hydrogène. Un troisième et nouveau pôle concentre enfin les activités de conseil et stratégie, orientées vers les grandes entreprises et les territoires souhaitant mettre en place leurs écosystèmes hydrogène, pour la production, la distribution ou les applications, qu'elles soient relatives à la mobilité, au stationnaire ou encore l'industrie.

GreenGT a successivement doublé ses effectifs en 2020 et 2021. Il faut dire que les projets sont nombreux en Suisse et en France, en collaboration avec plusieurs entreprises, parmi lesquelles Migros, Carrefour, Total ou encore Michelin. A l'étroit dans son atelier d'Aclens, l'entreprise s'est installée dans sa nouvelle usine en Valais début 2021, afin de répondre à la demande «énorme pour les camions». Entité R&D indépendante, GreenGT est également présente à l'Innovation Park de l'EPFL.

## Une mini-pile à combustible pour de multiples applications



Inergio fabrique des mini-piles à combustible autonomes haute performance. L'unité fonctionnelle a vu le jour fin 2020. S'ensuit une phase de validation et de certification du produit, pour une commercialisation courant 2022.

L'équipe d'Inergio propose une source d'alimentation électrique pour des applications hors réseau et mobiles. Cette pile à combustible à oxyde solide (SOFC) est compacte et légère. L'un de ses avantages est de pouvoir utiliser différents types de gaz: hydrogène, mais aussi propane ou gaz naturel. «Notre solution permet une certaine flexibilité à ceux qui n'ont pas encore accès à l'hydrogène: ils sont en mesure d'utiliser des combustibles plus faciles d'accès, mais ont déjà l'infrastructure à disposition pour une transition hydrogène», relève le directeur d'exploitation d'Inergio.

La start-up annonce une solution 80 à 90% plus légère que celles proposées par ses concurrents. Une technologie capable aussi de produire 20 fois plus d'énergie par kilo que des batteries lithium-ion et qui permet de diminuer de 60 à 90% les rejets de CO<sub>2</sub> par rapport aux solutions fonctionnant aux carburants fossiles.

### IDÉAL POUR DES APPLICATIONS MOBILES BASSE PUISSANCE

La SOFC développée par Inergio se présente sous la forme d'une boîte de 1 à 2 litres. Et les applications potentielles dans le viseur de cette spin-off de l'EPFL et de la HEIG-VD sont nombreuses! Stations de mesures à distance, pipelines, systèmes de surveillance mobile, unités de télécommunication ou encore robotique autonome

et drones. «La plupart des systèmes sont assez massifs et, par conséquent, adaptés à de grosses applications, comme l'alimentation de data centers ou de maisons individuelles, mais peu destinés à des applications mobiles et de basse puissance», ajoute le directeur d'exploitation.

Nombreux aussi sont les avantages mis en avant par Inergio. A commencer par l'absence d'émissions de particules, puisque le gaz, transformé en électricité via une réaction électrochimique, ne provoque aucune combustion. A noter également l'absence de bruit lors du fonctionnement et un entretien minimum, aucune pièce mobile n'entrant dans la composition de la pile. La solution offre en outre une plus grande autonomie par rapport à une batterie lithium-ion, ainsi qu'un prix compétitif et un moindre poids. Cette pile à combustible est le fruit de dix ans de recherches, résultant de la thèse de doctorat menée à l'EPFL par Mahmoud Hadad, le cofondateur de la start-up.

## Un lien entre les acteurs du monde de l'hydrogène



Créée en 2001, Hydropole, l'association suisse de l'hydrogène, fédère les acteurs de ce secteur en plein développement. Elle leur permet d'échanger connaissances et informations et de travailler ensemble dans le cadre de projets de recherche ou du développement de produits commerciaux.

Basée en Valais, Hydropole compte 60 membres et plus d'une centaine de membres associés. Si à ses débuts l'association fédérait principalement des personnes issues du milieu universitaire, la plupart de ses membres sont aujourd'hui actifs dans le domaine de l'industrie. L'association est ainsi devenue une véritable plateforme mettant en réseau ceux qui traitent de l'hydrogène sous toutes ses formes, de la recherche à l'industrie en passant par les consultants, les entreprises et les représentants du monde politique. Forte de cette vue d'ensemble, Hydropole publie tous les deux ans le Rapport hydrogène Suisse.

L'évolution de l'association reflète l'énorme développement du secteur de l'hydrogène au cours des dernières années. «Nous avons basculé d'un monde basé sur les combustibles fossiles à un monde misant sur les énergies renouvelables», relève Andreas Züttel, professeur à l'EPFL et président d'Hydropole. «Ce changement dépend aujourd'hui essentiellement de la question du stockage des énergies renouvelables.»

### LA SUISSE PIONNIÈRE

La Suisse est l'un des leaders mondiaux de la recherche sur l'hydrogène. Avec la construction de la première voiture à hydrogène en 1807 par Isaac de Rivaz, le pays s'était positionné bien avant l'heure comme un acteur du do-

main. Idem en 1987, avec la première maison autonome suisse; pensée par l'architecte Markus Friedli, elle intégrait du photovoltaïque, de l'électrolyse et une alimentation en hydrogène pour la machine à laver, le chauffage, la cuisinière et la voiture. Les membres d'Hydropole apportent eux aussi une contribution mondialement reconnue à la recherche et sont d'importants fournisseurs d'instruments et matériels permettant de produire, mesurer, contrôler et utiliser l'hydrogène.

Et ce gaz a un avenir très prometteur devant lui! «L'hydrogène, en tant que vecteur d'énergie pour la mobilité, gagne en importance», affirme Andreas Züttel. «De nombreux produits arrivent sur le marché, qu'il s'agisse de technologies pour la production d'hydrogène par électrolyse, de réservoirs à hydrogène, de piles à combustible ou encore de véhicules.» L'association, elle-même membre de l'association européenne de l'hydrogène, fête ses 20 ans en 2021. L'occasion de partager avec le public des réalisations exemplaires à travers le pays, afin de démocratiser le sujet et de renforcer sa dynamique.

## Des piles compactes, légères et efficaces

En retravaillant la conception et le design des piles à combustible, EH Group commence à équiper plusieurs acteurs industriels suisses et européens avec sa technologie. Dans le viseur de l'entreprise installée entre Lausanne et Genève, la mobilité et l'alimentation de secours des data centers.

Technologie prometteuse en matière de production d'énergie propre, la pile à combustible est au cœur de nombreuses recherches et devrait jouer un rôle clé dans un futur proche pour l'alimentation des véhicules et l'approvisionnement d'infrastructures gourmandes en énergie. Active dans ce secteur, la société EH Group a considérablement amélioré cette technologie dans l'optique de la commercialiser à grande échelle. Après plusieurs années de recherche en laboratoire, son équipe a ainsi élaboré un nouveau design de pile à combustible afin de faciliter sa production, avec un dispositif plus compact, moins lourd et plus efficace. A taille égale, le produit proposé par l'entreprise est par exemple 20 fois plus puissant qu'une pile au lithium. Autre avantage: cette pile est modulable, ce qui permet de délivrer une puissance de 10 kW à plus de 100 kW. Elle peut ainsi équiper un large panel de véhicules, des chariots élévateurs aux poids lourds destinés au transport de marchandises en passant par les voitures.

### AUTOMATISER LE PROCESSUS DE PRODUCTION

Les premiers clients d'EH Group se trouvent en Suisse, mais aussi en Croatie et aux Pays-Bas, où ses dispositifs doivent équiper respectivement des machines de chantier écologiques et un bus électrique de transport public. «Nous menons également un partenariat avec plusieurs universités suisses, dont l'EPFL, dans le cadre de



ses recherches sur les technologies du microgrid», précise Christopher Brandon, cofondateur d'EH Group. Cette collaboration vise notamment à équiper des data centers avec un système de production énergétique de secours.

En février 2020, EH Group s'est distinguée sur la scène européenne en remportant une bourse de 1,5 million d'euros, décernée par le programme européen de soutien à l'innovation et à la recherche. Un coup de pouce qui devrait permettre à l'entreprise d'accélérer son développement et de réduire les coûts de production de sa pile à hydrogène dans des proportions significatives. Actuellement fabriquée de manière semi-automatisée, elle devrait être réalisée de façon entièrement automatisée dès l'an prochain, grâce à un partenariat avec un fabricant de machines de production industrielle établi à Saint-Gall.

EH Group Engineering SA  
www.ehgroup.ch christopher.brandon@ehgroup.ch

## Un réacteur révolutionnaire pour décarboner l'économie



Un réacteur de méthanation est testé depuis septembre 2020 au poste de détente et de comptage (PDC) de Sion. Il affiche un taux de conversion record de 99% et pourrait bien donner un grand coup d'accélérateur à la technologie du Power-to-Gas.

Le Power-to-Gas permet de stocker l'excédent d'électricité renouvelable sous forme de méthane de synthèse ( $\text{CH}_4$ ), produit via la conversion du courant en hydrogène grâce au procédé de l'électrolyse, puis injecté avec une source de  $\text{CO}_2$  dans le réacteur. La technologie contribue en outre à la décarbonation de l'économie, puisqu'elle permet de transformer le  $\text{CO}_2$  d'origine industrielle en gaz de synthèse. «Elle s'intègre dans la stratégie de Gaznat qui ambitionne de transporter du gaz neutre en  $\text{CO}_2$  d'ici à 2050», relève Gilles Verdan, directeur du département Réseau de l'entreprise.

Ce projet pilote est né d'une discussion avec l'EPFL Valais Wallis, qui planchait sur un nouveau réacteur de méthanation. Gaznat a fait part de son intérêt à double titre: pour la production de gaz de synthèse neutre en  $\text{CO}_2$  et parce que le procédé de Power-to-Gas dégage de la chaleur. Cette chaleur peut en effet être valorisée dans un PDC (une installation permettant de contrôler la pression et le comptage du gaz), dans le processus de détente du gaz. Développé en collaboration avec l'EPFL et OIKEN (le plus important acteur énergétique valaisan), avec le soutien d'Innosuisse, le réacteur pilote affiche une puissance de 10 kW, pour une capacité de production annuelle de 90 000 kWh. L'innovation réside dans sa capacité à convertir plus de 99% du  $\text{CO}_2$  injecté en une seule étape, un taux encore jamais atteint sur le marché.

### VERS UNE INDUSTRIALISATION DE LA TECHNOLOGIE

«L'installation est opérationnelle et a vocation à alimenter le réseau de distribution d'OIKEN, avec les ajustements nécessaires.» L'étape suivante sera le développement d'un projet de plus grande envergure, avec un réacteur d'une puissance de l'ordre de 200 kW, en vue d'industrialiser la technologie pour d'autres applications. L'objectif de Gaznat est en effet de déployer ce type d'installation à plus large échelle, par exemple à proximité de centrales hydrauliques, de fermes éoliennes et d'installations solaires photovoltaïques.

La solution est en effet très prometteuse pour le stockage de l'excédent d'électricité produite en été. L'entreprise travaille en parallèle sur un projet de stockage de cette énergie excédentaire sous forme de gaz et d'hydrogène en Haut-Valais. A l'avenir, la production de gaz de synthèse renouvelables, combinée au développement d'installations décentralisées de couplage chaleur-force, devra permettre de compenser partiellement le déficit de production de courant, notamment pendant la saison froide, et contribuer ainsi à l'autonomie énergétique de la Suisse.

## Une membrane composite pour booster la productivité des électrolyseurs



Basée à l'EPFL Innovation Park, Membrasenz développe une membrane efficace pour les électrolyseurs alcalins. Un bel exemple de l'importance du développement de nouveaux matériaux, à la base de l'essor du secteur de la production d'hydrogène.

Dans le cycle de l'hydrogène vert, le surplus d'électricité provenant d'énergies renouvelables alimente des électrolyseurs afin de diviser l'eau en hydrogène et en oxygène. Les membranes de séparation des gaz générés sont les composants principaux des électrolyseurs. «L'un des objectifs de l'entreprise Membrasenz est d'augmenter la conductivité ionique de ces membranes, afin d'augmenter l'efficacité du procédé d'électrolyse et ainsi de faire baisser le prix de l'hydrogène pour l'utilisateur final», explique l'un des ingénieurs R&D de la start-up. «Diminuer les dépenses d'exploitation du procédé d'électrolyse grâce à l'efficacité des membranes permet en effet de réaliser des économies substantielles.»

### «C'ÉTAIT LE BON MOMENT»

L'équipe de Membrasenz vise également une meilleure résistance thermique, un objectif qui répond aux besoins d'un marché en expansion. Jelena Stojadinovic, CEO et fondatrice de l'entreprise, menait auparavant des recherches sur les membranes au sein de l'Université de la Ruhr à Bochum, en Allemagne, et à l'EMPA (Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche), à Dübendorf. Elle présentait alors que le produit qu'elle développe aujourd'hui dans sa start-up pourrait répondre à un besoin des acheteurs du secteur: «Les membranes utilisées traditionnellement étaient faites à base d'amiante, qui allait être interdite en 2007. C'était le bon moment pour proposer un nouveau matériau.»

Encore en phase de développement et d'optimisation du produit, Membrasenz a d'ores et déjà pu entamer une série de tests avec l'industrie. La difficulté? Le scale-up industriel, une prochaine étape à franchir pour l'équipe. En parallèle, l'entreprise est engagée dans des activités de R&D pour développer de nouvelles membranes pour d'autres systèmes énergétiques. A la pointe de l'innovation, Membrasenz est notamment cofinancée par trois projets européens.

## Du gaz vert à l'échelle industrielle



Les déchets ménagers et les eaux usées contiennent beaucoup d'énergie. Au cours de l'hiver 2021-2022, la première centrale électrique à gaz industrielle et commerciale du pays entrera en service à Dietikon (ZH). Elle permettra de transformer cette énergie en gaz renouvelable.

Au Moyen-Âge, les alchimistes essayaient de produire de l'or à partir de substances naturelles. Cela a inspiré la ville de Dietikon, qui produira aussi une denrée précieuse à partir de substances naturelles. Pour ce faire, un procédé en plusieurs étapes est utilisé. Celui-ci rappelle quelque peu l'alchimie, mais avec une différence notable: le procédé fonctionne réellement. Une installation d'épuration des eaux usées (STEP) fournit le gaz d'épuration, qui est transformé en gaz vert de haute qualité par l'ajout d'hydrogène renouvelable. Ce gaz est une source d'énergie renouvelable car l'hydrogène utilisé pour le produire est généré à partir d'électricité renouvelable provenant d'une usine d'incinération des déchets. La production d'hydrogène est assurée par un électrolyseur d'une capacité de 2,5 MW.

Des usines pilotes ont déjà converti de l'électricité renouvelable en gaz stockable (grâce à la technologie « Power-to-Gas »). Au sein de l'entreprise Limeco à Dietikon, cela se fera pour la première fois à l'échelle commerciale. 18'000 MWh de gaz vert seront produits chaque année, couvrant les besoins énergétiques d'environ 2'000 ménages. 5'000 tonnes d'émissions de CO<sub>2</sub>, particulièrement nuisibles au climat, seront ainsi évitées. « Huit fournisseurs d'énergie suisses soutiennent déjà la centrale de Limeco. Ils achètent le gaz au coût de production et approvisionnent leurs clients en gaz renouvelable »,

explique Thomas Di Lorenzo, responsable de la gestion des eaux usées chez Limeco. Ce projet est par ailleurs soutenu par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN).

### UN EMPLACEMENT IDÉAL

Cette centrale particulière a été initiée par Swisspower, un regroupement de 21 services publics communaux et de sociétés de services publics régionales. Son emplacement près de Limeco, à Dietikon, s'est avéré idéal. Elle dispose de gaz d'épuration issu de la STEP comme source de CO<sub>2</sub>, d'un producteur d'électricité à proximité (usine d'incinération), ainsi que d'une conduite de gaz qui permet de distribuer le gaz vert aux ménages. Le réseau de gaz naturel est un réservoir extensible dans lequel ce gaz renouvelable peut être stocké jusqu'à ce qu'il soit utilisé. L'électricité excédentaire provenant d'installations photovoltaïques, par exemple, peut être convertie en gaz synthétique grâce à la technologie « Power-to-Gas », et stockée dans le réseau de gaz jusqu'à l'hiver. « Avec notre projet, nous voulons montrer que la technologie de conversion de l'énergie en gaz fonctionne et ouvrir la voie à de nombreuses autres installations de ce type », conclut Thomas Di Lorenzo.

# Quand le soleil produit du carburant

SoHHytec se spécialise dans l'optimisation de la production de carburant et d'énergie solaire. Une technologie qui doit permettre à divers acteurs industriels de favoriser leur transition écologique.

Produire de l'hydrogène, de l'électricité et de la chaleur uniquement avec de l'eau et l'énergie du soleil peut sembler magique. Mais dans les locaux de la société lausannoise SoHHytec, cette prouesse scientifique prend forme. La technologie est prometteuse et le CEO estime que le processus de production d'hydrogène par cette nouvelle filière atteindra son seuil de rentabilité d'ici à 2 à 4 ans. Produire de l'hydrogène dans des proportions industrielles n'est pas nouveau. La filière actuelle est toutefois loin d'être exemplaire en matière de durabilité et d'efficacité énergétique; la majorité (>95%) de la production mondiale actuelle repose (encore) sur l'utilisation d'énergies fossiles.

Pour changer la donne, SoHHytec propose une nouvelle approche du processus de production. Elle prône un changement de paradigme en mettant en question le fait de produire l'hydrogène dans des proportions massives au sein de grandes centrales avant de le transporter jusqu'à sa destination finale. «Le coût de transport est deux à trois fois plus élevé que celui de la production», souligne Saurabh Tembhrune, CEO et cofondateur de l'entreprise. «Notre approche consiste au contraire à miser sur des infrastructures de production plus légères, afin de favoriser un système décentralisé où l'hydrogène est produit au plus près de son lieu d'utilisation de manière totalement propre et verte.»



## UN PROTOTYPE D'ENVERGURE INDUSTRIELLE

SoHHytec va encore plus loin en plaçant l'axe environnemental au cœur de son processus de production. Le principe est de concentrer la lumière du soleil grâce à un collecteur parabolique pour séparer les éléments chimiques de l'eau dans le dispositif photo-électrochimique révolutionnaire qu'elle a développé. Le dispositif produit ainsi de l'hydrogène et de l'oxygène ainsi que de l'électricité et de la chaleur, sans aucune émission de CO<sub>2</sub>.

Testé avec succès à l'EPFL depuis 2019, le prototype d'envergure industrielle construit par SoHHytec pourrait être implanté directement au sein de zones urbaines dans le but d'alimenter des habitations. Il pourrait aussi équiper des exploitations industrielles et alimenter les machines et infrastructures de production, notamment sur des sites d'exploitation minière et de production d'acier.

Après avoir remporté de nombreux concours de soutien à l'innovation en Suisse, SoHHytec a désormais amorcé plusieurs partenariats avec des groupes industriels établis en Suisse et en Inde.

SOHHYTEC  
www.sohhytec.com saurabh.tembhrune@sohhytec.com

## L'hydrogène en canette



Stor-H a développé un standard de stockage d'hydrogène vert sous forme de cartouche plug and play. Une solution unique en son genre pour une mobilité décarbonée et sans batterie.

C'est à la faveur de ses travaux sur le stockage du gaz que la société Aaqius a piloté des recherches pour stocker l'hydrogène sans pression – donc sans risque d'explosion – dans des cartouches de petite taille. Quelque 155 brevets plus tard, sa spin-off Stor-H est fondée en 2017 afin de porter le développement et la commercialisation d'une technologie susceptible d'accélérer considérablement la transition vers une mobilité sans carbone. «Stocké à l'état gazeux dans une matrice solide complexe, l'hydrogène est transformé en électricité dans une pile à combustible et permet d'alimenter un véhicule électrique», résume Stéphane Aver, CEO d'Aaqius. Le tout tient dans une cartouche de la taille d'une canette et pourra se connecter sur n'importe quel véhicule électrique équipé du module «Powered by Stor-H».

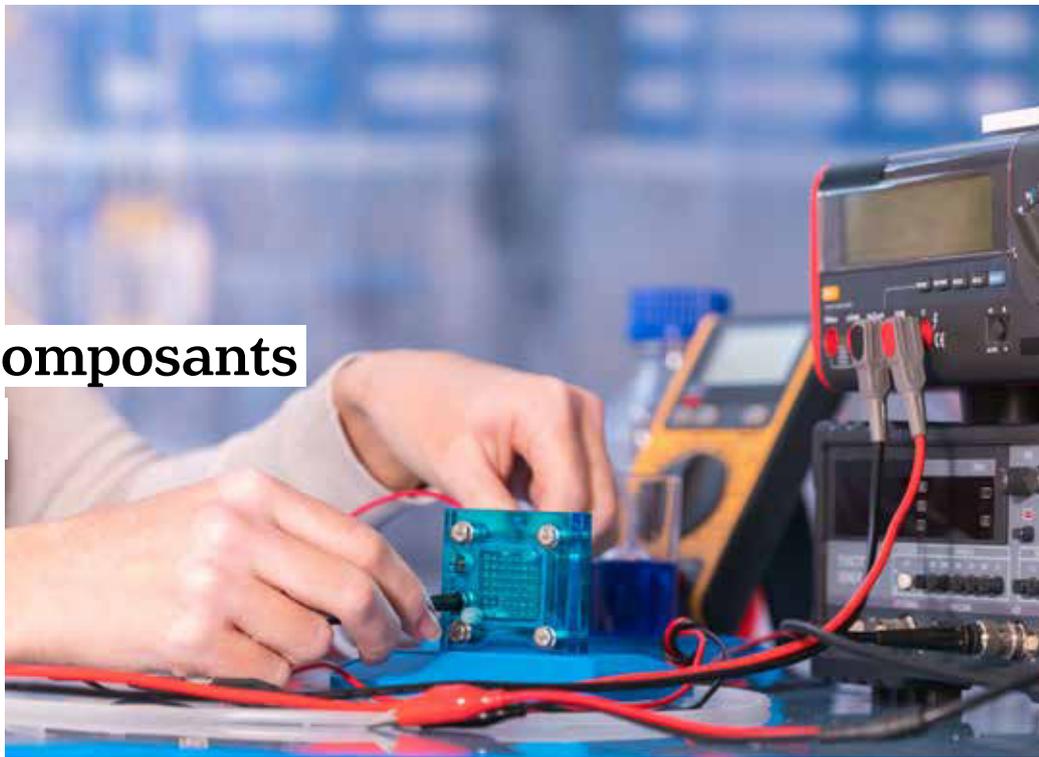
La recharge sera possible via des chargeurs centralisés (par exemple à Genève, en collaboration avec SIG), des distributeurs de cartouches ou un home charger de la taille d'une grosse machine à expresso fonctionnant à l'eau déminéralisée. «Pas de bornes, pas de stations-service et aucune contrainte pour la collectivité», souligne le CEO. D'une durée de vie d'une dizaine d'années – soit 5000 cycles de charge/décharge –, les cartouches seront disponibles en deux formats selon la taille du véhicule et l'intensité de son utilisation.

### 2021: DÉBUT DU DÉPLOIEMENT INTERNATIONAL

La technologie est pour l'heure réservée à des véhicules urbains de moins d'une tonne. Un projet de triporteur, en partenariat avec le constructeur Cycleurope, a été présenté à Genève en 2019. A suivre, des vélos, trottinettes à trois roues, motos, scooters, voitures et mêmes petits utilitaires, en collaboration avec une douzaine de constructeurs, dont Peugeot Motocycles (PMTC), No Smoke ou encore Mob-ion. Des accords de déploiement ont été ou vont être signés dans plusieurs pays, pour un gros démarrage en 2021, notamment à Genève, au Maroc, à Dubaï, en France, mais aussi en Chine, où Stor-H a signé fin 2020 des accords avec plusieurs municipalités du pays.

L'entreprise a par ailleurs finalisé une levée de fonds de 10 millions d'euros début 2020; une seconde levée de 20 millions d'euros est prévue courant 2021/2022. Ces fonds permettront les investissements nécessaires pour accélérer le développement et le triplement des effectifs de l'entreprise (une dizaine de personnes à l'heure actuelle). «Nous allons monter en puissance au fur et à mesure des quantités de cartouches fabriquées et du nombre de véhicules commercialisés avec cet équipement», affirme Stéphane Aver. Stor-H vise un chiffre d'affaires de 400 millions de francs en 2026.

## Optimiser les composants des piles SOFC



Tirant pour l'heure l'essentiel de ses revenus de la vente de testeurs de piles à combustible, la société Fiaxell axe ses activités de R&D sur l'optimisation des composants des piles à combustible à oxyde solide.

Alimentées avec de l'air et un combustible gazeux, les piles à combustible à oxyde solide (SOFC, Solid Oxide Fuel Cell) permettent de produire de l'électricité ainsi que de la chaleur. Une technologie très prometteuse pour des applications stationnaires, notamment dans le domaine du chauffage avec production d'électricité à haut rendement de conversion. Ces systèmes ont notamment l'avantage d'accepter la plupart des carburants, avec une grande tolérance aux résidus carbonés. «Contrairement aux piles à membrane polymère, les piles SOFC convertissent directement un carburant renouvelable – biogaz ou bioéthanol, notamment – en électricité «propre», avec un rendement élevé, de l'ordre de 60%», explique Raphaël Ihringer, directeur de Fiaxell. Cette spin-off de l'EPFL, fondée en 2008, axe ses activités de recherche et développement sur l'optimisation des différents composants des piles SOFC (cellules, interconnecteurs, couches de protection et joints), afin notamment de maintenir des performances à des températures comprises entre 600 et 900°C et pour des gammes de puissance de 0,5 à 5 kW. «C'est un marché de niche pas encore mature. On cherche le Graal pour imposer notre savoir-faire!» Dans le viseur de Fiaxell, la production d'électricité à haut rendement, avec une utilisation de la chaleur résiduelle dans des systèmes de chauffage intelligents.

### CONVAINCRE L'INDUSTRIE

C'est de la commercialisation de ses testeurs de piles à combustible que la société tire à l'heure actuelle l'essentiel de ses revenus. Bien établie sur le plan international – 99% de ses clients sont à l'étranger –, Fiaxell collabore avec de nombreuses universités et instituts de recherche qui utilisent ses testeurs sur leurs bancs d'essai. Dans un marché qu'elle partage avec 10 à 15 concurrents sérieux, elle souhaite désormais convaincre les grands acteurs industriels de l'efficacité de sa technologie. Elle vient d'ailleurs de signer une première collaboration avec une entreprise anglaise. Son objectif dans les années à venir est de développer des testeurs de plus grande puissance et totalement informatisés. En parallèle, Fiaxell mène des recherches sur de nouveaux composants et matériaux; un projet d'envergure, en collaboration avec plusieurs universités européennes situées en France, en Norvège et en Pologne.

## Des cellules électrolytiques à haut potentiel



Réalinox développe des cellules électrolytiques (AEC) destinées à équiper des électrolyseurs à très haute pression. Un nouveau maillon très prometteur pour la chaîne de production de l'hydrogène.

Pour Laurent Escoffier, directeur de Réalinox, les stacks, c'est du passé. Place aux cellules AEC! Un domaine de recherche inattendu pour ce patron d'atelier de tôlerie, spécialisé dans la construction d'appareils industriels. C'est en 2019 qu'il a poussé la porte de l'hydrogène. «Je travaillais sur un prototype d'électrolyseur pour un client et il manquait une pièce pour que cela fonctionne. Je l'ai donc développée, puis brevetée.» Avec sa cellule électrolytique – une pièce mécanique en métal supportant des pressions de 150 bars –, il remporte en mars 2020 le Prix à l'innovation de la région de Nyon. La même année, il reçoit également un financement du Service de la promotion de l'économie et de l'innovation du canton de Vaud.

### TENIR LA PRESSION

Monter en pression afin d'augmenter les rendements, tout en réduisant les coûts de production de l'hydrogène: voilà ce que Réalinox veut proposer. «La plupart des stacks n'assurent pas les très hautes pressions», déplore Laurent Escoffier. Un problème si on vise la mobilité; les camions utilisent en effet de l'hydrogène à 350 bars et la pression monte jusqu'à 700 bars pour les voitures. L'hydrogène produit de manière conventionnelle doit alors passer via d'imposants compresseurs, faisant grimper par la même occasion la consommation d'énergie et les coûts de production du gaz. Autre souci relevé par Laurent Escoffier: les stacks montent en température,

contrairement aux cellules AEC. «Ces cellules peuvent maintenir une pression à 30 bars, avec une température constante», ajoute-t-il.

Afin de mener les tests de validation qui lui permettront de vendre son produit, l'entrepreneur doit se débrouiller. En effet, la machine suffisamment puissante pour supporter ces essais n'existe pas. Ou plutôt, pas encore! C'est donc vers la commercialisation de ses cellules pour des applications en deçà de leur capacité réelle qu'il se dirige pour l'instant; elles équiperont de nouveaux électrolyseurs ou remplaceront des stacks existants. Les revenus qu'il en tirera seront investis dans la fabrication de sa machine test. Laurent Escoffier vise en particulier la production d'hydrogène vert basée sur les énergies renouvelables telles que l'énergie photovoltaïque ou la vapeur des forages profonds.

## Compact et très efficient



SOLIDpower SA développe, fabrique et commercialise un système de micro-CHP (chaleur et puissance combinée). Basée sur la technologie de piles à combustible à haute température, l'approche permet une production d'électricité et de chaleur dans des bâtiments résidentiels et commerciaux.

Le système BG-15 de SOLIDpower SA s'installe presque comme une chaudière: il suffit de le raccorder au gaz et à l'eau pour produire de l'électricité en continu. Il pourrait notamment intéresser petits commerces et hôtels, où des appareils tels que des congélateurs doivent être alimentés 24h/24. Antonello Nesci, le directeur de l'entreprise, annonce une efficacité électrique de 60% (voire 85% si on utilise la chaleur résiduelle pour chauffer l'eau), un niveau inégalé dans le monde. «Pour comparer, une turbine à gaz a un rendement de 30%. Notre système permet par ailleurs de réduire de moitié les émissions de CO<sub>2</sub> par rapport à une chaudière à gaz conventionnelle.»

Si les principaux marchés visés sont l'Allemagne, l'Italie et la Belgique, la Suisse est aussi dans le viseur: l'entreprise y cible les producteurs d'électricité, charge à eux ensuite d'installer les machines et de revendre l'électricité à leurs clients. La production des piles se fait en Italie (avec une capacité de 50 MW, ce pays est l'une des plus grandes usines en Europe), l'assemblage et la vente en Allemagne, et les activités de recherche et développement à Yverdon-les-Bains. La spin-off de l'EPFL, créée en 2000, y développe et teste les piles du futur, avec des modules d'une puissance de 25 kW et plus, contre 1,5 aujourd'hui. «Nous visons, à l'horizon 2022, des applications industrielles qui demandent plus de puissance, avec des piles que l'on pourra monter en parallèle.»

### DES PILES À COMBUSTIBLE RÉVERSIBLES

SOLIDpower utilise (encore) du gaz naturel. Pragmatique, Antonello Nesci affirme qu'il faut une solution transitoire pour réduire la production d'électricité à partir d'énergie fossile; en hiver, la Suisse importe en effet encore de l'électricité allemande provenant de centrales à charbon. Pour l'avenir, il compte sur la vision de l'Union européenne afin que des pipelines de gaz naturel soient, à terme, remplacés par de l'hydrogène. «Nos machines seront prêtes, moyennant de légères adaptations, pour fonctionner à l'hydrogène vert.»

A noter que les piles à combustible développées fonctionnent aussi en mode inverse en transformant la vapeur d'eau en hydrogène (électrolyse), grâce notamment à l'électricité excédentaire produite par des panneaux solaires. L'hydrogène est ensuite stocké dans le réseau pour être réutilisé par la pile. Les tests actuels permettent déjà un rendement de 95%.

## L'hydrogène entre terre et mer



Swiss Hydrogen SA est un acteur important des technologies de piles à combustible PEM. Racheté par l'équipementier automobile français Plastic Omnium, il concentre désormais ses activités dans le domaine des véhicules hybrides rechargeables.

La quinzaine de salariés de Swiss Hydrogen a mené des projets aussi divers qu'emblématiques, comme la livraison du système de pile à combustible du tout premier camion hydrogène de la Coop ou encore l'installation d'une chaîne hydrogène sur le catamaran Race for Water. «Notre force est de «designer» un système spécifique qui sera intégré dans l'application finale, alors que la plupart de nos concurrents développent des systèmes standards», explique Alexandre Closset. Ancien CEO de Swiss Hydrogen, il assume le poste de Business Line Director Fuel Cell Systems (directeur du secteur d'activité systèmes de piles à combustible) depuis le rachat de l'entreprise par Plastic Omnium, un acteur majeur des systèmes à carburant pour les automobiles.

«Dès lors, nous avons mis de côté les activités liées à l'électrolyse et au domaine maritime pour nous concentrer sur les piles à combustible destinées à la mobilité.» Les véhicules utilitaires hybrides rechargeables (batterie/hydrogène) sont dans le viseur: «Je suis persuadé du potentiel de l'hydrogène dans les entreprises de logistique. Elles sont florissantes et souhaitent réduire leurs émissions de CO<sub>2</sub>. Les voitures hydrogène possèdent en outre un gros avantage sur les batteries: le poids et le temps de charge. Vous faites le plein en quelques minutes.»

### UN PIONNIER DE L'HYDROGÈNE

Et, question hydrogène, Alexandre Closset connaît son sujet: en 2010 déjà, il est chargé de développer des piles à combustible pour la voiture à hydrogène tant rêvée par Nicolas Hayek, patron de Swatch Group. En 2016, Swiss Hydrogen conclut un partenariat technologique avec la fondation Race for Water, dont le navire est le plus grand bateau solaire jamais équipé d'un tel système hydrogène. «C'était quasiment mission impossible de concevoir un système aussi complexe en quelques mois, alors que cela nous prend normalement deux ans. Tout était à faire, mais on a réussi! Nous étions le premier système hydrogène certifié pour bateau.» Avec le rachat de Swiss Hydrogen par Plastic Omnium fin 2017, l'entreprise a trouvé la force industrielle nécessaire pour la production à grande échelle de piles à combustible pour les véhicules terrestres.

GOH!



## Les 40 tonnes passent à l'hydrogène vert

GOH! est un programme hydrogène 100% suisse. Ses acteurs travaillent à la mise en place d'une filière énergétique locale, intégrale, durable, couvrant tous les aspects de la transition énergétique au service de la mobilité lourde (des camions de 40 tonnes propulsés par des piles à combustible).

Production, distribution, utilisation, GOH! est une expérience pionnière qui s'accompagne d'un important volet formation aux métiers de l'hydrogène. Quatre entreprises suisses réunies en consortium animé par une fondation mènent ce projet pilote qui veut répondre aux nouveaux enjeux du transport.

Accélérer l'utilisation de l'hydrogène vert et local dans le secteur du transport de marchandises : voilà l'ambition du projet GOH! (Generation of hydrogen). Et, question hydrogène, Jean-François Weber, directeur général et directeur R&D de GreenGT – une entreprise spécialisée dans les solutions de propulsion électrique-hydrogène de forte puissance - en connaît un rayon. Constatant les capacités limitées des batteries pour alimenter les poids lourds, il imagine dès 2010 des solutions hydrogène.

En 2014, il rencontre le directeur de Migros Genève, qui lui fait part de son intérêt pour cette alternative pour les livraisons de marchandises. Ensemble, ils analysent les coûts d'une filière locale intégrée pour un camion de 40 tonnes. Selon leurs calculs, à l'horizon 2030, l'hydrogène sera plus rentable que le diesel, en partie grâce à l'exemption de la taxe poids lourds. En novembre 2018, un projet pilote est lancé en consortium – «pour être les plus efficaces et convaincants possible», précise Jean-François Weber.

### JUSQU'À 100 CAMIONS PAR AN

Les Services industriels de Genève (SIG) se chargeront ainsi de la production et de la fourniture d'hydrogène vert, Migrol (filiale de Migros) de la distribution de l'hydrogène et LARAG de la fabrication des camions équipés de groupes motopropulseurs dont le cœur est une pile à combustible à hydrogène, technologie conçue, développée et intégrée par GreenGT dans un châssis Kamaz. Quant à la Fondation Nomads, qui a impliqué dans le programme des spécialistes de la formation professionnelle, elle identifie tous les aspects liés à la formation professionnelle et la transformation des métiers relatifs à cette nouvelle filière.

Un premier camion a été présenté fin 2021 au Salon suisse du Véhicule Utilitaire à Berne. Après six mois de roulage en 2022, la fabrication des premiers exemplaires sera lancée. Ils devraient circuler dès fin 2022-début 2023 sur les routes suisses. «La demande est importante», affirme le directeur R&D de GreenGT. «Pour l'heure, nous sommes les seuls sur le créneau des 40 tonnes hydrogène.» LARAG serait à même de produire jusqu'à 100 camions par an.

GOH!  
www.goh.ch  
info@goh.green



TÉLÉCHARGEZ TOUTES  
LES PUBLICATIONS DE  
CLEANTECHALPS !



**ARI-SO**

Association Réseau Innovation  
Suisse Occidentale



CleantechAlps est une initiative des cantons de Berne, Fribourg, Vaud, Valais, Neuchâtel, Genève, et Jura et soutenue par le SECO au titre de la NPR.

Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'économie,  
de la formation et de la recherche DÉR  
Secrétariat d'Etat à l'économie SECO

Cleantech  
ALPS | Western  
Switzerland  
Cleantech  
Cluster

**INNOVAUD** 

 **SWITZERLAND  
GLOBAL  
ENTERPRISE**  
enabling new business

[www.cleantech-alps.com](http://www.cleantech-alps.com)  
[info@cleantech-alps.com](mailto:info@cleantech-alps.com)