

# AVENUE

Edition 1 – 2025

## Power-to-X: entre vision et réalité

Les Power-to-X Days confirment que si les technologies existent, le passage au Power-to-X est loin d'être acquis. Ce magazine détaille les potentiels et les obstacles et pose la question du passage de la vision à la réalité.



# La technologie du futur ou le progrès qui bégaie ?

3

Roland Bilang, directeur Avenergy Suisse

Le Power-to-X est-il promis à un bel avenir – ou restera-t-il une belle promesse ? Un questionnement qui s'applique à bien des techniques et des technologies, à la fois porteuses de grands espoirs et victimes d'effets d'annonce. Dans le cas du Power-to-X, la réponse devrait tomber dans les années à venir.

En novembre 2024, Avenergy Suisse et Swissmem ont lancé les premiers P2X Days en collaboration avec SPIN. Placé sous la devise « De l'énergie pour de bonnes solutions », ce nouveau forum a pour objectif de réunir des représentants de la politique, de l'économie, de la science et de l'administration pour dresser un état des lieux de cette « technologie d'avenir » et de penser le rôle futur qu'elle pourrait jouer.

Les attentes sont immenses. La Suisse s'est engagée à atteindre la neutralité climatique d'ici 2050 et les technologies comme le P2X se retrouvent au cœur du débat : les énergies synthétiques produites à partir d'électricité re-

nouvelable sont appelées à remplacer les énergies fossiles dans l'industrie, les transports et d'autres secteurs. La recherche et le développement progressent et l'industrie est disposée à investir dans la production et les infrastructures.

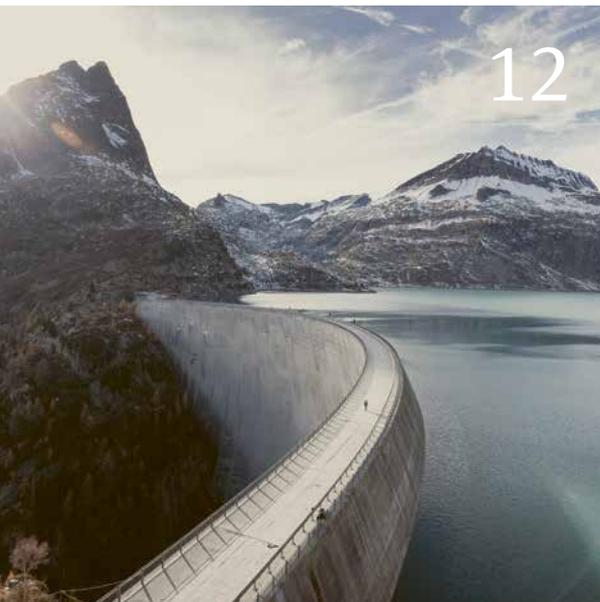
Mais comme souvent, entre la vision et sa réalisation subsiste un fossé difficile à combler. Le P2X en est l'illustration parfaite : comment concilier faisabilité technologique, déploiement industriel et cadre politique réglementaire ? Car une chose est certaine : pour aboutir, la transition énergétique a besoin de solutions intersectorielles – comme le P2X.

Cette édition spéciale de « Avenue » résume les principales conclusions et impulsions des P2X Days. Elle dresse un bilan concis de l'état actuel du débat et, nous l'espérons, livrera à toutes les personnes intéressées de nouvelles pistes de réflexion.

Nous vous souhaitons une lecture enrichissante.

## Impressum

Tirage D 1700 / F 800. Rédaction Avenergy Suisse. Auteurs divers. Photos divers. Couverture Synhelion SA. Infographies Avenergy Suisse. Maquette Berta Kommunikationsplan / Klar. Contact : Avenergy Suisse, Spitalgasse 5, 8001 Zurich Tel. 044 218 50, [info@avenergy.ch](mailto:info@avenergy.ch), [avenergy.ch](http://avenergy.ch) Imprimé sur papier certifié FSC



## 12 La Suisse se dote d'une stratégie hydrogène. Et après, qu'est-ce qu'on fait ?

En décembre 2024, le Conseil fédéral adopte la stratégie hydrogène de la Suisse – un premier pas vers les objectifs climatiques du pays.



## 20 Les technologies Power-to-X, sésame de la transition énergétique

Le Power-to-X permet de stocker le courant électrique excédentaire et de le transformer en carburants durables – une chance pour la protection du climat et pour les industriels.

## 24 « Notre vision : permettre le plus grand nombre d'utilisations pour l'hydrogène »

Martin Osterwalder, Co-CEO du groupe Osterwalder, explique pourquoi la Suisse ne peut pas se passer des technologies Power-to-X. Interview.



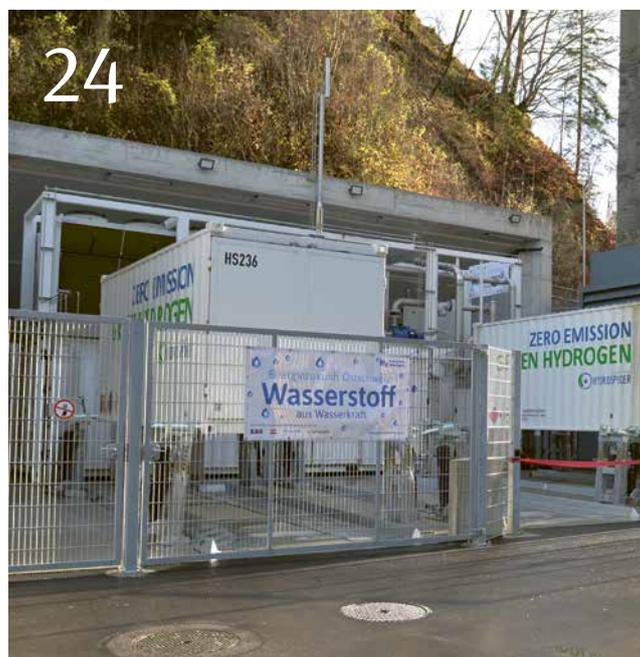
## 6 Power-to-X : l'heure de vérité

Lors des Power-to-X Days, Daniel Hofer (Avenergy Suisse), Martin Hirzel (Swissmem) et Patrik Meli (SPIN) débattent avec Stephan Klapproth de la question du rôle des entreprises, des conditions-cadres nécessaires et du passage de la parole aux actes.



## 16 De l'hydrogène pour la Suisse, ou comment avoir du réseau

La Suisse a sa stratégie hydrogène nationale, mais l'enjeu est ailleurs : réussira-t-elle à se connecter au réseau européen ?





30

## 30 Tech, transition et ombres au tableau

Les entreprises de la tech helvétiques avancent sur la voie de la transition – mais sans conditions-cadres propices aux investissements, elles pourraient s'arrêter à mi-chemin.



33

## 33 Les compresseurs, technologie clé de la transition énergétique

Veronika Schelling de Burckhardt Compression explique comment les compresseurs permettent de stocker et de transporter de façon efficace les énergies renouvelables.



36

## 36 « L'année prochaine, nous mettons en service huit nouveaux cars postaux à hydrogène. »

Reto Huber, directeur des cars postaux chez Vögtlin Meyer, explique comment les cars à hydrogène peuvent être exploités comme n'importe quel véhicule conventionnel. Interview.



44

## 44 Décarbonation des processus industriels haute température : une approche novatrice

Andreas Bittig, directeur de la VZDI, l'Association pour la décarbonation de l'industrie, explique comment la pyrolyse du méthane peut contribuer à réduire les émissions de CO<sub>2</sub> des processus à haute température.



40

## 40 Le transport aérien à l'ère solaire

Synhelion veut faire entrer le transport aérien dans l'ère des carburants durables grâce à sa technologie Sun-to-Liquid.

# 6 Oui au pragmatisme, non à l'idéologie. Hydrogène : il est temps de passer à la phase de réalisation

Daniel Hofer, président d'Avenergy Suisse, Martin Hirzel, président de Swissmem et Patrik Meli, co-président de Swiss Power-to-X Collaborative Innovation Network (SPIN) se sont entretenus avec le modérateur Stephan Klapproth à l'occasion des Power-to-X Days sur le rôle que le Power-to-X peut jouer à l'avenir et sur les obstacles à surmonter.

**Stephan Klapproth :** Martin Hirzel, vous êtes président de Swissmem, l'association faitière de l'industrie technologique suisse. Pourquoi la principale association industrielle du pays s'intéresse-t-elle au thème du Power-to-X ?

**Martin Hirzel :** Je réponds volontiers à cette question : l'industrie suisse considère le Power-to-X comme une grande opportunité. Les membres de notre association sont tous des consommateurs d'énergie. L'industrie locale a donc impérativement besoin d'un approvisionnement en électricité continu et régulier à des prix compétitifs. Et nous voulons que cette électricité soit produite de manière climatiquement neutre. C'est ce que réclament nos clients, c'est ce qu'attend la société

et c'est ce que veulent nos entreprises membres. Or, la sécurité de l'approvisionnement énergétique paraît malheureusement moins certaine que dans le passé, alors que nous savons que la consommation d'électricité va continuer à augmenter fortement au cours des dix à vingt prochaines années. Parallèlement, nous voulons sortir des énergies fossiles pour des raisons de protection du climat. Comme la construction de nouvelles centrales nucléaires reste interdite, nous devons à moyen terme abandonner également cette source d'énergie importante et neutre pour le climat.

Compte tenu de ce constat, je plaide pour que nous entrions dans le monde de l'hydrogène. Si l'hydrogène peut contribuer à garantir la sécurité de l'ap-

provisionnement énergétique, cela nous aidera en tant que grands consommateurs d'énergie.

**Klapproth :** Pour résumer votre déclaration, un titre donnerait à peu près ceci : « Une entrée après deux sorties : la demande du président de Swissmem ». Vous validez ?

**Hirzel :** Oui, c'est bien cela, on peut l'écrire comme ça.

**Klapproth :** Daniel Hofer – en quoi le thème Power-to-X est-il pertinent pour Avenergy ? Vous et votre association représentez plutôt les énergies fossiles.

**Daniel Hofer :** Nous pensons qu'à l'avenir, l'hydrogène pourra avoir une fonction similaire à celle des hydrocar-



Débat animé à la tribune des Power-to-X Days. Source : Avenergy Suisse

**Daniel Hofer** est juriste et entrepreneur. Depuis 2016, il est le président d'Avenergy Suisse, l'association de défense des intérêts des importateurs et des producteurs de carburants et de combustibles à base de pétrole. Également président de la Fondation pour la protection du climat et la compensation du CO<sub>2</sub> (KliK), il suit de près les projets visant à minimiser les rejets de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

**Martin Hirzel** a pris la présidence de Swissmem au mois de janvier 2025. Il est membre du Conseil d'administration de Bucher Industries AG, de Dätwyler Holding AG ainsi que de trois PME privées. Il est également président d'un Conseil consultatif régional de la Banque nationale suisse et du Conseil consultatif de la ZHAW School of management and law.

**Patrik Meli** est managing director de MAN Energy solutions Suisse SA. Depuis 2022 il assume la co-présidence du Swiss Power-to-X Collaborative Innovation Network (SPIN), dont la mission est de promouvoir le dialogue entre les acteurs du monde de la recherche, de l'entreprise, de la politique et de la société civile et d'œuvrer à la mise en place de conditions-cadres appropriées pour le Power-to-X.

**Stephan Klapproth** est présentateur TV et conférencier. Après 22 ans à la présentation de *10 vor 10*, l'émission d'information phare de la télévision alémanique, Stephan Klapproth est l'un des journalistes et présentateurs les plus chevronnés du pays.

Herzlich Willkommen am Congress DAY

## Power-to-X Schub geben

Daniel Hofer  
Präsident Avenergy Suisse

Martin Hirzel  
Präsident Swissmem

Patrik Meli  
Co-Präsident SPIN



«Moins d'idéologie, plus de pragmatisme», l'une des revendications fortes du panel. Source : Avenergy Suisse

bures actuels, le pétrole, le gaz naturel et le charbon, et ce aussi bien pour les utilisations énergétiques qu'industrielles, notamment dans l'industrie chimique.

Si l'on veut les remplacer par de l'hydrogène non fossile, la seule possibilité est d'utiliser de l'électricité pour la production. Mais cela signifie que l'hydrogène devra être transporté, stocké et distribué comme le sont aujourd'hui le pétrole et le gaz. C'est précisément là que réside l'expertise des entreprises membres d'Avenergy. C'est pourquoi l'hydrogène est un thème central pour nous aussi.

**Klapproth : Que signifie SPIN, Patrik Meli? Et quel est leur rapport avec le thème Power-to-X ?**

**Patrik Meli :** SPIN est l'abréviation de Swiss Power-to-X Collaborative Innovation Network. Nous sommes constitués en réseau et nous avons trois coprésidents pour couvrir différents aspects : le conseiller national PVL Martin Bäumle pour le volet politique, le professeur Markus Friedl de la HES Suisse orientale pour la recherche universitaire. Quant à moi, je représente la perspective industrielle. C'est l'interaction de ces trois domaines qui nous permettra de réussir la transition vers un approvisionnement énergétique climatiquement neutre.

Les technologies existent, il s'agit maintenant de les utiliser. L'industrie peut apporter une contribution importante, mais sans l'apport des universités, des politiques et de la réglementation,

rien ne sera possible. Le rôle du monde financier aussi est important, car sans investisseurs, le Power-to-X ne pourra pas être déployé à grande échelle.

**Klapproth : Je vous propose le titre suivant : « Le coprésident du SPIN plaide pour la mise en réseau et l'arrivée de capitaux ».**

**Meli :** Oui, le réseau et les capitaux sont essentiels – mais ce qui est décisif, c'est que nous passions maintenant à la phase de réalisation.

**Klapproth : Martin Hirzel, qu'attendez-vous d'un événement comme les Power-to-X Days qui se déroulent ici aujourd'hui ?**

**Hirzel :** Les Power-to-X Days offrent une



plateforme pour parler d'applications concrètes. Sur le plan technologique, le Power-to-X fonctionne. La question est de savoir où se situent les opportunités commerciales. Swissmem se voit ici dans un double rôle: d'une part, en tant que consommateur d'énergie, comme je vous le disais – d'autre part, en tant qu'innovateur. Le Power-to-X fait appel à différentes technologies, du Power-to-Heat au Power-to-Liquid en passant par le Power-to-Gas. Les entreprises suisses ont du potentiel dans chacun de ces domaines.

**Klapproth : Daniel Hofer, avez-vous des attentes spécifiques pour la réunion d'aujourd'hui ?**

**Hofer :** L'échange d'égal à égal avec tous les milieux intéressés me paraît

crucial. Ce n'est qu'ensemble que nous pourrions intégrer l'hydrogène dans le secteur de l'énergie. C'est à mes yeux l'un des principaux objectifs de cette manifestation.

**Klapproth : Quels sont vos souhaits concernant cette réunion, Patrik Meli ?**

**Meli :** Il faut fédérer les différents acteurs. L'accès et la collaboration avec le secteur financier me semblent particulièrement importants. La transition nécessite des investissements impor-

Tout dépend en fin de compte des conditions-cadres réglementaires. On pourrait par exemple autoriser le captage de CO<sub>2</sub> sur les sites fortement émetteurs comme les centrales thermiques au charbon ou les aciéries pour l'affecter à la production de carburants synthétiques. Cela permettrait de réduire au moins de moitié les émissions de CO<sub>2</sub> – même si elles ne seront pas nulles. Cela rendrait de tels projets plus attrayants pour les investisseurs et stimulerait les mécanismes de marché. Malheureusement, les

## « Au plan technologique, le Power-to-X est au point. Reste à lui trouver son créneau commercial. »

M. Hirzel

tants, il s'agit donc de montrer que des solutions viables existent.

**Klapproth : Pourquoi se concentre-t-on aujourd'hui sur l'hydrogène et non sur le carbone ?**

**Hirzel :** Je crois savoir qu'on a besoin de CO<sub>2</sub> pour produire des combustibles et des carburants synthétiques avec de l'hydrogène. Ce CO<sub>2</sub> peut être soit capté directement à la source, soit extrait de l'air grâce à des technologies qu'on trouve chez des membres de Swissmem – par exemple avec le processus de la société ClimeWorks ou les composants de Sulzer ou de Burckhardt Compression. Nous disposons de technologies permettant d'extraire le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère et de l'utiliser pour des processus Power-to-X. Nous sommes également en mesure de proposer des solutions pour la production d'électricité.

**Hofer :** La question est tout à fait justifiée. Si l'on veut produire des carburants comme les SAF, les carburants d'aviation durables, il faut non seulement de l'hydrogène mais aussi des atomes de carbone, un aspect souvent négligé dans le débat. Beaucoup de gens ne sont pas non plus conscients des coûts que cela implique.

offices fédéraux et le Parlement méconnaissent le potentiel de ce type de solutions.

**Klapproth : Est-ce que cela vaut vraiment la peine pour la Suisse et l'Europe d'investir dans l'hydrogène alors que la Chine va bientôt occuper une position de leader dans cette technologie ?**

**Meli :** Absolument – cela en vaut la peine ! L'essentiel est d'investir de manière ciblée et de créer les bonnes conditions-cadres. Un facteur de succès central sera le raccordement à la « dorsale hydrogène européenne ». L'accès au marché européen de l'hydrogène apporte à la Suisse une plus grande sécurité d'approvisionnement et la possibilité d'intégrer ses propres acheteurs industriels ou ses capacités de production.

**Klapproth : N'y a-t-il pas un risque que nous soyons distancés par la Chine ?**

**Hirzel :** Tout d'abord, je considère que la Chine est avant tout un client et un partenaire commercial. Nos innovations ont besoin de débouchés – que ce soit en Chine, aux États-Unis ou dans l'UE. Le marché intérieur suisse

est trop petit pour justifier à lui seul de tels investissements, de telles innovations. C'est pourquoi notre approche doit être celle du « Made in Switzerland » ou, mieux encore, « Innovated in Switzerland » – avant d'exporter et de commercialiser à l'international.

**Hofer :** Contrairement à la Suisse, l'UE a depuis longtemps sa propre stratégie hydrogène. De ce point de vue, elle a une longueur d'avance sur nous. Des entreprises investissent de manière ciblée dans ce domaine. L'avenir et le jeu de la concurrence nous diront si le choix qui a été fait sera payant. Mais au moins, l'UE relève activement ce défi. Il y a déjà des entreprises européennes qui développent et construisent des électrolyseurs, et qui prouvent que l'Europe aussi peut produire de manière rentable.

**Klapproth :** Pourquoi la Suisse ne se concentre-t-elle pas sur les technologies permettant d'éviter le CO<sub>2</sub> plutôt que de se voir potentiellement accusée de faire du greenwashing avec la capture de carbone ?

**Hirzel :** Mais ça, nous le faisons depuis longtemps ! Toutes les productions

rien. Existe-t-il une solution parfaite ? Je ne le pense pas. Ce dont nous avons besoin, c'est d'une large palette de solutions : énergie éolienne, énergie solaire, amélioration de l'efficacité. Tout le CO<sub>2</sub> que nous n'émettons pas n'a pas besoin d'être recapturé. Parallèlement, des technologies comme le captage et le stockage du CO<sub>2</sub> sont nécessaires pour réduire efficacement le réchauffement de la planète.

**Klapproth :** N'est-ce pas une illusion de croire que le marché de l'hydrogène peut démarrer sans le soutien de l'État ?

**Meli :** C'est effectivement un défi de taille. Les sources d'énergie traditionnelles restent bon marché, elles sont utilisées dans le monde entier et disposent d'une infrastructure efficace. Si l'on veut le changement, il faut mettre en place un cadre politique clair qui passe par des adaptations réglementaires ou des directives technologiques.

**Klapproth :** Que vous inspire l'élection de Donald Trump ? Elon Musk est l'un de ses proches, et mise sur la technologie et l'innovation

## « Dialoguer d'égal à égal avec tous les milieux intéressés, une nécessité incontournable. »

D. Hofer

d'énergie, les technologies de transmission et les solutions de stockage neutres pour le climat viennent bien de chez nous ! Tout comme les moteurs, les machines et les processus plus efficaces sur le plan énergétique ! C'est précisément là notre modèle commercial. Nos machines-outils et nos machines textiles consomment moins d'énergie que celles de nos concurrents – c'est notre avantage sur le marché. Nous proposons déjà des solutions pour les défis du futur. Mais bien sûr, nous devons rester ouverts aux nouvelles technologies.

**Meli :** La question de savoir quelle est la « bonne » technologie ne mène à

plutôt que sur la réglementation. Est-ce une bonne nouvelle pour le secteur ?

**Hirzel :** La technologie joue un rôle décisif dans la transformation. Pour cela, il faut des conditions-cadres aussi libres que possible afin de permettre les innovations. Dans l'environnement actuel, et notamment dans les secteurs les plus réglementés, l'investissement est pénalisé par le manque de sécurité et de visibilité. Dans ce domaine, les Européens ont beaucoup à apprendre des Américains, qui abordent leurs objectifs de manière plus pragmatique, moins idéologique, avec une plus grande ouverture d'esprit. Indépen-





Schlieren : les Power-to-X Days ont fait salle comble. Source : Avenergy Suisse

damment de la personne du président américain, nous devrions adopter la même approche.

**Meli :** Je suis tout à fait d'accord. Il est important d'avoir une ligne politique claire pour que les entreprises et les scientifiques sachent à quoi s'en tenir. Sans elle, la planification souffre d'un manque de visibilité, ce qui ralentit les investissements et freine les développements à long terme.

**Klapproth : Le pire serait donc de ne rien décider. Mais quid du risque de prendre la mauvaise décision ?**

**Hirtel :** Je pense que l'administration Trump se montre généralement plus ouverte aux technologies que les démocrates. Néanmoins, pour le représentant de l'économie d'exportation

que je suis, les deux camps politiques américains font des choix discutables, car tous deux défendent les droits de douane, les tarifs douaniers punitifs, les subventions et les sanctions, qui impactent fortement une économie ouverte à vocation exportatrice comme celle de la Suisse.

**Klapproth : Si vous pouviez gouverner la Suisse pendant un jour, quelle serait la première chose que vous imposeriez ?**

**Hirtel :** En tant qu'industriels de la tech suisse, nous exigeons l'ouverture technologique, le libre-échange et des conditions-cadre économiques générales qui permettent de continuer à produire de manière rentable en Suisse à l'avenir.

**Klapproth : Et que demanderiez-vous ?**

**Meli :** Que nous passions des paroles aux actes et que nous mettions en œuvre des mesures concrètes.

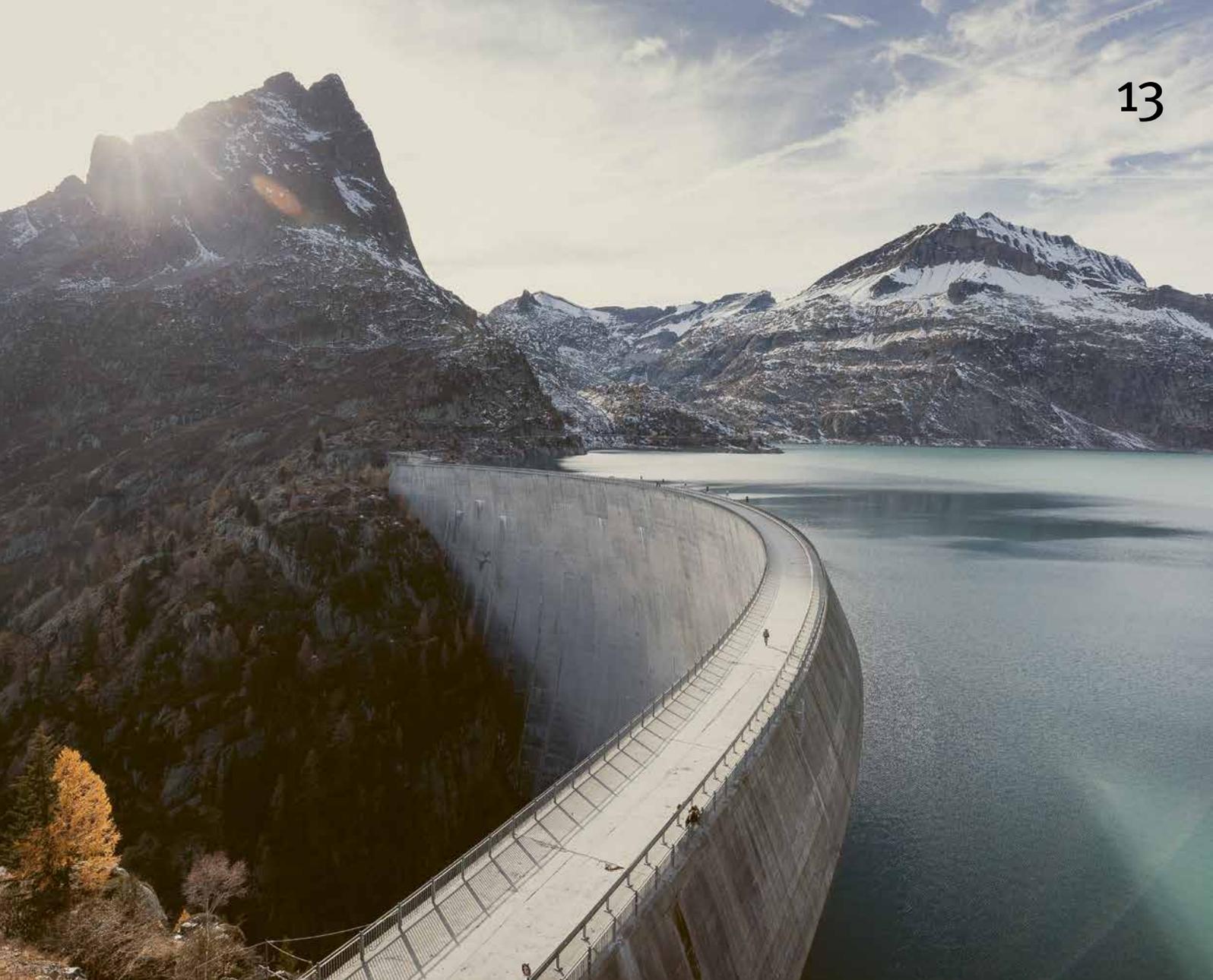
**Klapproth : Et vous ?**

**Hofer :** Moins d'idéologie, plus de pragmatisme.

**Klapproth : Merci beaucoup pour cet entretien passionnant.**

# La stratégie hydrogène suisse : la voie vers la neutralité carbone ?

En décembre 2024, le Conseil fédéral a adopté la stratégie hydrogène pour la Suisse – une étape importante pour se rapprocher des objectifs climatiques du pays. D’ici 2030, les émissions de gaz à effet de serre doivent diminuer de 50 % (par rapport à 1990), et la Suisse veut atteindre la neutralité climatique d’ici 2050. L’hydrogène et les dérivés dits Power-to-X (P2X) peuvent jouer un rôle central à cet égard. Cet article donne un aperçu de la stratégie, de ses objectifs et des mesures qui doivent mettre la Suisse sur la voie d’un avenir énergétique durable.



Barrage d'Eposson VS. Source: iStock

Avenergy Suisse

L'hydrogène est un vecteur énergétique polyvalent qui peut remplacer les carburants et les combustibles fossiles dans des domaines difficiles à décarboner comme l'industrie, le transport lourd ou la navigation. En Suisse, où les énergies renouvelables comme l'hydroélectricité représentent déjà une part importante du mix électrique, l'hydrogène offre la possibilité de stocker l'électricité excédentaire et de l'utiliser de manière flexible. Il peut ainsi contribuer à rendre l'approvisionnement énergétique plus sûr.

La stratégie de la Confédération en matière d'hydrogène s'inscrit dans le cadre de la stratégie énergétique 2050,

qui vise à rendre la Suisse climatiquement neutre d'ici 2050. L'hydrogène doit apporter de l'électricité renouvelable dans tous les secteurs, de l'industrie à l'approvisionnement en chaleur en passant par les transports. Le Conseil fédéral est clair à ce sujet : l'hydrogène n'est pas une panacée. Il doit être utilisé de manière ciblée là où il fait sens d'un point de vue économique et écologique, par exemple pour la chaleur industrielle à haute température ou dans la navigation.

#### **De l'hydrogène neutre en CO<sub>2</sub> : le choix de la Suisse**

La stratégie mise sur l'hydrogène neutre en CO<sub>2</sub>, c'est-à-dire l'hydrogène produit à partir d'énergies renouve-

lables telles que l'énergie solaire, éolienne ou hydraulique – souvent appelé « hydrogène vert ». En Suisse, l'hydrogène issu de l'énergie nucléaire est également considéré comme neutre en termes de CO<sub>2</sub>. Le Conseil fédéral s'attend à ce que les coûts de l'hydrogène vert baissent au cours des dix prochaines années grâce à l'évolution globale du marché et aux progrès technologiques. Il existe d'ores et déjà des projets visant à convertir en hydrogène l'électricité excédentaire issue de sources renouvelables, par exemple lorsque les prix de l'électricité sont bas. Cela permettrait d'éviter les interruptions dans la production d'électricité et de renforcer l'approvisionnement en hiver.

Outre l'hydrogène, les dérivés Power-to-X (P2X) jouent également un rôle important. Il s'agit de vecteurs énergétiques synthétiques tels que le méthane ou le méthanol fabriqués à partir d'hydrogène. Ils peuvent être intégrés dans les infrastructures existantes, telles que les gazoducs ou les réservoirs, mais leur production nécessite beaucoup d'énergie. C'est pourquoi la stratégie souligne que le carbone utilisé pour ces dérivés doit provenir de sources durables comme la biomasse ou directement de l'air, afin de ne pas compromettre les objectifs climatiques.

Selon la stratégie, l'hydrogène devrait être produit en 2035 dans de grandes installations de production d'électricité ou directement auprès de gros consommateurs comme les entreprises industrielles. Des « hubs » d'hydrogène devront être créés – des clusters dans lesquels fournisseurs d'énergie et industriels collaborent pour produire, utiliser ou transporter l'hydrogène. Idéalement, ils comprendraient également des réservoirs pour le stockage saisonnier. Au départ de ces hubs, un réseau central de distribution d'hydrogène par pipeline, par route ou par rail devra être mis en place.

Dans l'industrie, l'hydrogène sera ensuite utilisé comme matière première ou pour produire de la chaleur de processus haute température, par exemple pour produire de l'acier ou des produits chimiques. Il devrait remplacer les carburants fossiles dans l'aviation et le transport maritime, tandis que des véhicules à pile à combustible fonctionnant à l'hydrogène seront utilisés pour le transport routier lourd. Pour l'approvisionnement en chaleur, des réseaux thermiques alimentés par de l'hydrogène ou des dérivés de P2X pourraient couvrir les pics de consommation.

#### **Connexion à l'Europe : les importations, un facteur clé**

La Suisse est un petit pays, les possibilités d'y produire de l'hydrogène à grande échelle sont limitées. C'est pourquoi la stratégie mise sur l'importation d'hydrogène, surtout à partir du milieu des années 2030. Pour cela, le

raccordement au réseau européen de transport d'hydrogène est décisif. Un projet central est la transformation du gazoduc de transit qui relie la France et l'Allemagne à l'Italie en passant par la Suisse. Cette conduite devra être compatible avec l'hydrogène et reliera la Suisse à la Dorsale hydrogène européenne – un réseau d'hydrogène paneuropéen qui devrait être en place d'ici 2040.

Pour éviter que la Suisse ne soit marginalisée et ne puisse pas faire valoir ses intérêts, le Conseil fédéral mène des discussions avec les pays voisins et l'UE. À partir de 2035, les entreprises suisses devraient pouvoir acheter directement de l'hydrogène en Europe ou sur des plateformes de marché européennes. La diversification des filières d'importation est également abordée : la Confédération prévoit des coopérations avec des pays hors Europe, par exemple par le biais de protocoles d'accord, pour minimiser les situations de dépendance. Parallèlement, faute de grands réservoirs de stockage d'hydrogène sur son territoire, la Suisse doit s'assurer l'accès à des capacités de stockage dans les pays voisins.

#### **Recherche et innovation : la Suisse veut jouer les premiers rôles**

La Suisse ne souhaite pas seulement utiliser l'hydrogène, mais aussi jouer un rôle de premier plan dans le développement technologique. La recherche et l'innovation sont donc au cœur de la stratégie fédérale. Les universités, le domaine des EPF et les hautes écoles spécialisées sont encouragées à développer des technologies de l'hydrogène tout au long de la chaîne de valeur – de la production à l'utilisation en passant par le transport. Le Conseil fédéral voit là un véritable potentiel commercial : les technologies suisses de l'hydrogène pourraient trouver des débouchés dans le monde entier, la place économique s'en trouverait renforcée. Les cantons et le secteur de l'énergie doivent, dans la mesure du possible, encourager la formation et le perfectionnement des spécialistes afin de lutter contre la pénurie de personnel qualifié qui menace.



#### **Mesures du Conseil fédéral : promotion et infrastructure**

Le Conseil fédéral propose une série de mesures pour développer le marché de l'hydrogène en Suisse. En voici un aperçu :

- Suivi et évaluation des besoins : les besoins en hydrogène doivent être régulièrement évalués, par exemple en actualisant les perspectives énergétiques 2050+. Selon les estimations, la demande pourrait atteindre 3,6 à 10 TWh d'ici 2050.
- Promotion de la production : à partir de 2025, le gouvernement fédéral veut promouvoir la production et le stockage de l'hydrogène et des dérivés P2X, par exemple en accordant des aides financières



Les pompes à hydrogène sont encore peu nombreuses en Suisse, mais cela pourrait changer bientôt. Source: iStock

aux entreprises qui réduisent leurs émissions. Cette promotion court jusqu'en 2030 et est inscrite dans la loi sur la protection du climat.

- Infrastructure : la Confédération étudie des garanties financières pour la transformation du gazoduc de transit et le raccordement au réseau hydrogène européen. Les stations-service à hydrogène le long des routes nationales doivent également être encouragées.
- Table ronde sur le stockage : une table ronde doit clarifier la manière dont l'hydrogène et les dérivés du P2X peuvent contribuer au stockage saisonnier de l'énergie, par exemple en cavernes ou en réaffectant des sites de stockage existants.

- Coopération internationale : la Confédération veut conclure des partenariats stratégiques avec des pays tiers et rattacher la Suisse aux marchés internationaux de l'hydrogène.

L'hydrogène présente de nombreux avantages, mais aussi des défis. Sa production est gourmande en énergie et c'est un gaz volatil, voire explosif dans certaines circonstances. Cela implique des mesures de sécurité strictes et des investissements dans les infrastructures. De plus, l'hydrogène a une faible densité énergétique volumétrique, ce qui le rend moins adapté à des applications comme le transport aérien long courrier. C'est là qu'interviennent les dérivés du P2X, mais leur production, là encore, sera plus coûteuse.

Autre enjeu, la dépendance aux importations. Alors que la Suisse mise dans un premier temps sur une production propre, elle dépendra de ses importations dès le milieu des années 2030. Cela comporte des risques géopolitiques que le Conseil fédéral veut minimiser par la diversification et des normes de durabilité. Enfin, l'hydrogène n'est pas encore compétitif par rapport aux énergies fossiles. La Confédération mise sur la baisse des coûts et soutient le développement du marché par des mesures ciblées.

Au final, on voit que le Conseil fédéral reconnaît le potentiel de l'hydrogène pour l'industrie suisse, mais qu'il reste des obstacles pour son utilisation à grande échelle.

# Garder toutes les options ouvertes

Quatre ans après l'UE et l'Allemagne, la Suisse se dote à son tour d'une stratégie hydrogène. La réussite du raccordement au réseau européen d'hydrogène sera déterminante pour le décollage du marché.

Par Daniela Decurtins, directrice de l'Association Suisse de l'Industrie Gazière.

En avril 2024, un nouveau Congrès mondial de l'énergie s'est tenu à Rotterdam. Sa précédente édition remonte à 2019. 5000 délégués du monde entier y ont débattu de questions et de solutions autour du thème « Repenser l'énergie pour la planète et l'humanité ». Le congrès précédent, à Abu Dhabi, avait mis l'accent sur les objectifs climatiques et l'ambiance était à l'euphorie. À Rotterdam, cette ambiance a fait place au réalisme et au pragmatisme.

Les conséquences de l'attaque de la Russie contre l'Ukraine et les pénuries d'approvisionnement en matière d'approvisionnement ont conduit à une prise de conscience plus nette des enjeux : d'une part, la grande importance de la résilience, la capacité de résistance aux chocs extérieurs, et d'autre part, l'importance d'un approvisionnement énergétique sûr et économique pour les économies nationales. Lors de

la transition vers un approvisionnement énergétique neutre en carbone, il s'agira de ne pas remplacer d'anciennes dépendances par de nouvelles et de sécuriser le chemin de la transformation – c'est là l'une des principales conclusions de Rotterdam. Pour ce faire, il ne faut pas s'appuyer uniquement sur l'électricité, mais sur des sources d'énergie et des infrastructures diverses. L'approvisionnement énergétique doit être appréhendé et développé comme un système global, tant du point de vue de la sécurité d'approvisionnement que de la rentabilité.

## Le nouveau pragmatisme

Les principales conclusions de Rotterdam peuvent être résumées comme suit :

- Il n'existe pas de panacée universelle pour la transformation de l'approvisionnement énergétique. La voie à suivre dépend des situations propres à chaque pays et à chaque région du monde.



La station de compression de Ruswil. Pièce maîtresse du transit gazier, elle héberge la centrale d'exploitation du système de transport du gaz en Suisse. Source : Association suisse de l'industrie gazière

- Les coopérations internationales sont la clé pour développer de nouvelles technologies et de nouveaux marchés. De nombreux investissements seront nécessaires ; les infrastructures existantes devraient être utilisées autant que possible.
- Outre les électrons renouvelables, l'hydrogène, le méthanol, l'ammoniac, les SAF et les e-fuels verront leur importance grandir.
- Il faut un cadre juridique clair et stable (parfois en combinaison avec des systèmes d'incitation).

En conséquence, le biométhane, les agents énergétiques synthétiques liquides et gazeux, qui peuvent être produits par électrolyse à partir d'électricité renouvelable, mais aussi l'hydrogène vont jouer un rôle important et remplacer le gaz naturel. Ces gaz respectueux du climat proviendront d'une part de la production locale, mais devront également être importés à grande échelle.

### **La Suisse attend**

Les gouvernements du monde entier misent notamment sur l'hydrogène pour atteindre les objectifs climatiques. Le Japon a ainsi publié une stratégie dès 2017, suivi par l'UE et l'Allemagne en 2020. Les stratégies comprennent généralement des programmes de promotion et des incitations diverses – de la production à la consommation – afin de soutenir la montée en puissance du marché dans les pays concernés. Depuis décembre 2024, la Suisse dispose elle aussi d'une stratégie hydrogène. Celle-ci présente les perspectives d'un éventuel marché de l'hydrogène en Suisse, mais révèle également les questionnements de la Confédération quant à la possibilité, pour ce « nouveau » vecteur énergétique, de s'imposer sans être massivement subventionné, ainsi que les doutes quant à sa disponibilité future à des prix compétitifs. En ce sens, la stratégie constitue un pas dans la bonne direction, mais il reste encore à clarifier dif-

férentes conditions-cadres. On a l'impression que la Confédération a choisi l'attentisme, ce qui est compréhensible, mais dans ce cas, il ne faut pas s'attendre à ce que le secteur gazier suisse prenne les devants et investisse massivement.

**La connexion aux routes d'importation internationales est essentielle**

Pour la branche gazière suisse, un raccordement aux routes d'importation internationales et donc au réseau hydrogène européen est prioritaire pour assurer l'accès à des sources d'hydrogène bon marché et permettre à la Suisse de renforcer sa position en Europe. Dans sa stratégie, la Confédération accorde heureusement à ce raccordement l'importance qu'il mérite. Le corridor SoutH2 fait l'objet d'une attention particulière. Ce projet vise à transporter de l'hydrogène renouvelable d'Afrique du Nord vers l'Europe. Le pipeline de 3300 km doit relier l'Afrique du Nord à l'Italie, l'Autriche et l'Allemagne. Il bénéficie du soutien politique de plusieurs gouvernements et permettra d'assurer un approvisionnement en hydrogène rentable et durable. La Suisse a longtemps risqué de manquer le coche dans ce domaine, bien qu'elle dispose, avec le gazoduc de transit, de la liaison la plus directe entre l'Italie et l'Allemagne. La Suisse participe désormais aux discussions en tant qu'observateur.

**Il faut un dialogue transversal**

Le décollage du marché de l'hydrogène en Europe reste incertain. Tout dépendra de la volonté que l'Europe affichera pour atteindre l'objectif zéro net et créer un environnement qui permettra aux industriels et aux petites et



« Du point de vue de la branche gazière suisse, le raccordement au réseau européen de l'hydrogène est central pour permettre l'intégration du marché et l'accès à un hydrogène compétitif. »

Daniela Decurtins

Daniela Decurtins est directrice de l'Association suisse de l'industrie gazière. Elle est également membre de plusieurs conseils d'administration du secteur de l'énergie et participe à de nombreux projets de recherche (SWEET, Innosuisse, Fonds national suisse, etc.) et à leurs comités consultatifs. De 1995 à 2012, elle a travaillé au Tages-Anzeiger, les dix dernières années en tant que rédactrice en chef adjointe, où elle était responsable des projets stratégiques.



Vue de la station de compression de Ruswil.  
Source: Association suisse de l'industrie gazière



Système de galeries du gazoduc de transit dans le Grimsel: pièce maîtresse du réseau européen de transport de gaz. Source: Association suisse de l'industrie gazière

moyennes entreprises de défossiliser leurs process tout en restant rentables. Pour l'instant, les bouleversements géopolitiques ont grippé les rouages. Seuls 4% de la production mondiale d'hydrogène annoncée pour 2030 ont reçu une autorisation d'investissement. Actuellement l'industrie ne s'engage pas sur des contrats d'achat substantiels car les prix et les dates de livraison sont difficiles à estimer. En conséquence, l'optimisme qui régnait au moment où l'Allemagne a démarré les travaux sur le réseau hydrogène est aujourd'hui teinté de frustration.

Pour la Suisse, il s'agit de garder des options ouvertes. Combien est-elle disposée à investir pour atteindre ses objectifs climatiques? On parle de 1 à 2 milliards de francs pour mettre à niveau le gazoduc de transit pour le transport d'hydrogène. Cela implique la construction de plusieurs tronçons d'une deuxième conduite. Il s'agit de montants comparables aux investissements antérieurs pour la construction de centrales hydroélectriques de pompage-turbinage. Le secteur privé, qui est propriétaire du gazoduc de transit, ne pourra pas assumer les risques à tout seul. L'hydrogène étant lié à de grandes incertitudes, il faut du courage, un soutien de l'État et des perspectives à long terme pour engager les mesures nécessaires.

Il sera essentiel de dégager un consensus social issu d'un dialogue avec les clients, les acteurs du monde politique et de l'administration et les professionnels du secteur énergétique, notamment celui de l'électricité. Enfin, dans un deuxième temps, il faudra s'assurer que l'hydrogène importé puisse être livré aux clients. L'industrie gazière suisse a donc du pain sur la planche!

# Ne pas manquer les opportunités offertes par les technologies Power-to-X !

Les besoins énergétiques mondiaux s'élèvent à environ 150 000 TWh par an. Le rayonnement solaire annuel est au moins 10 000 fois plus important. Nous recevons donc chaque année gratuitement suffisamment d'énergie renouvelable pour tous les habitants de la planète. Les défis tiennent à la distribution fluctuante et inégale de ce rayonnement solaire, ce qui impose de trouver des solutions pour convertir, stocker, transporter et utiliser toute cette énergie. Car sans énergie en quantité suffisante, nous ne pourrions pas conserver notre prospérité et notre qualité de vie élevées. C'est ce que montre très clairement l'indice de développement humain des Nations Unies.

Par le professeur Gian-Luca Bona, professeur émérite de photonique à l'EPFZ et à l'EPFL, Executive Committee Member de la SATW (Académie suisse des sciences techniques)

Au cours des dernières décennies, notre économie a prospéré grâce aux carburants et combustibles fossiles bon marché et à des technologies innovantes, mais au prix d'un réchauffement climatique global. C'est ce que les scientifiques du GIEC nous expliquent, preuves à l'appui, depuis 30 ans. Le défi mondial consiste donc à

permettre à quelque dix milliards de personnes de vivre de manière écologique et socialement équitable sans mettre à mal les ressources existantes et le climat. Pour parvenir à un système énergétique résilient et durable, il faut privilégier des concepts fonctionnant en circuit fermé, mais sans perdre de vue la sécurité d'approvisionnement, la compatibilité environnementale (c'est-à-dire la neutralité carbone) et un accès à l'énergie équitable et abordable pour tous. Ce trilemme énergétique, comme on l'appelle, exige des



Le navire-citerne Starlight remonte le Rhin à Bâle. Source : iStock

solutions innovantes et impose de repenser tout l'approvisionnement en énergie. Nous sommes là face à un défi sociétal que nous ne pourrions relever qu'ensemble.

### **Nous aurons besoin de plus d'électricité**

Pour la Suisse et pour son industrie, ce défi est riche d'opportunités : les énergies renouvelables sont d'ores et déjà exploitables, les techniques pour le faire sont au point et sous réserve de leur déploiement à l'échelle industrielle, elles offriront des débouchés extrêmement prometteurs. Pour relever avec succès les défis auxquels fait face le système énergétique suisse, une approche systémique et raisonnée s'impose. Différents modèles montrent que c'est la transformation du système

énergétique qui constitue la solution la plus avantageuse à long terme, à condition que l'efficacité énergétique progresse encore et qu'en matière énergétique, la Suisse soit rattachée à l'UE. Selon les scénarios énergétiques 2050 de la Confédération, nous aurons besoin d'environ 90 TWh d'énergie renouvelable supplémentaire pour remplacer les produits fossiles.

C'est beaucoup si l'on considère que nos besoins en énergie se monteront à environ 200 TWh par an. Et nous aurons besoin de beaucoup plus de courant électrique, surtout pour la mobilité individuelle et les pompes à chaleur. Un développement accéléré de la filière photovoltaïque devrait nous permettre de produire entre 15 et 24 TWh. L'énergie éolienne pourrait également apporter une contribution nettement

plus conséquente, mais les problèmes d'acceptation auxquels se heurte la filière devront être levés. Malheureusement, le courant ainsi produit ne sera pas disponible de manière prévisible, ni quand nous en aurons besoin. En raison des fluctuations quotidiennes, mais surtout saisonnières, nous devons stocker cette électricité.

Il est déjà question de l'arrêt forcé des installations photovoltaïques en été, quand la surproduction fait que les prix de l'électricité deviennent négatifs. Les possibilités de stockage local par les particuliers sont limitées, et nos réseaux ne sont pas conçus pour une production fluctuante et décentralisée. Il faudra donc réaliser des investissements dont les coûts seront élevés, et nous aurons intérêt à optimiser, mais aussi à élargir l'éventail des options



Le tunnel ferroviaire du Gothard à Göschenen. Source : iStock

techniques. Nous devons avoir la possibilité de stocker l'électricité bon marché sous forme chimique, car nous aurons toujours besoin de carburants et de combustibles pour la mobilité et les utilisations industrielles. La production de carburants de synthèse pour l'aviation et ses 200 000 vols par jour ou pour le trafic lourd et la navigation et leurs énormes besoins de carburants bon marché représente à elle seule une tâche immense.

Pour la transition de notre système énergétique, nous aurons besoin de sources d'énergie renouvelables stockables (d'une saison à l'autre) et transportables, mais aussi exploitables au mieux sur l'infrastructure existante. Les carburants de synthèse issus de circuits fermés en font partie. Les calculs basés sur les perspectives éner-

gétiques 2050+ de la Confédération montrent que les besoins en carburants durables en Suisse se situent dans une fourchette de 30 à 60 TWh par an. Si nous parlons de concepts Power-to-X, c'est parce qu'une pluralité de solutions sera nécessaire. X désigne des gaz (H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, méthane, ...), mais aussi des agents énergétiques liquides (méthanol, éthanol et hydrocarbures supérieurs), et l'utilisation de la chaleur industrielle pour le chauffage fait également partie du concept. Enfin, la répartition inégale du rayonnement solaire local et saisonnier évoquée plus haut nous oblige à prévoir une proportion considérable d'importations.

#### **Une chance unique pour l'économie suisse**

Une diversification technique et logis-

tique d'une telle ampleur peut sembler complexe, mais elle augmente la résilience grâce à la diversité. Aujourd'hui, des solutions systémiques, qui passent par le contrôle (internet des objets, capteurs) et l'exploitation optimisée des données par l'intelligence artificielle, s'imposent pour parvenir à un système énergétique renouvelable, efficace et résilient. Il y a là une opportunité unique pour notre économie, car nous avons une longue expérience dans la mise au point, la production industrielle et l'exportation de solutions systémiques complexes. Nous sommes passés maîtres dans la diversification technique innovante, l'hydroélectricité classique, le couplage chaleur-force, les batteries, l'hydrogène, les carburants de synthèse, mais aussi dans la diversification de nos filières



dans l'avenir. Lorsque le tunnel ferroviaire du Gothard a été ouvert en 1882, l'électrification des chemins de fer s'est rapidement imposée comme une nécessité pour s'affranchir du charbon importé. La première ligne ferroviaire électrifiée en Suisse a été le tramway Vevey-Montreux-Chillon en 1888. L'électrification de la ligne du Gothard a été achevée dès 1924. Bien entendu, la volonté première était de remplacer le charbon venu de l'étranger par de l'hydroélectricité indigène. Mais rapidement, ce choix a permis à l'industrie locale de réaliser des innovations remarquables dans la construction de

locomotives, de les exporter et de contribuer ainsi à la prospérité générale. Le courage d'innover s'est avéré payant à long terme, malgré la césure de la Première Guerre mondiale et le marasme économique qu'elle a provoqué.

Le système énergétique du futur exige la mise en place rapide d'une pluralité de solutions (dont les technologies à émissions négatives) et constitue une chance unique pour notre société. Pour que l'innovation avance, il faut une volonté politique et collective. À nous de relever ce défi ensemble!



« La transition énergétique est un projet intergénérationnel que nous devons mener à bien ensemble. »

Prof. Dr. Gian-Luca Bona

d'importation et des possibilités technologiques. Nos universités, nos instituts de recherche et nos start-ups innovantes ont produit une pluralité de solutions techniques qui ne demandant qu'à être industrialisées et financées pour renforcer durablement notre place économique.

Mais pour l'instant, ces opportunités ne sont guère exploitées. Les investisseurs et les grandes entreprises internationales se disent découragés par les contraintes bureaucratiques et le climat d'investissement qui règnent en Suisse, et préfèrent investir dans le Power-to-X à l'étranger. Notre société d'abondance aurait-elle perdu toute capacité de saisir les opportunités quand elles se présentent ?

Un exemple tiré de l'histoire suisse démontre qu'il vaut la peine d'investir

**Le professeur Gian-Luca Bona** a été directeur de l'Empa de 2009 à mai 2022 et professeur de photonique à l'EPFZ et à l'EPFL. De 2019 à mai 2022, il a été membre du Conseil des EPF en tant que représentant des quatre institutions de recherche du domaine des EPF. Tout au long de sa carrière dans la recherche universitaire et dans l'industrie, Gian-Luca Bona s'est engagé en faveur d'un transfert des connaissances et des innovations technologiques durables qui profite à la société tout entière.

# 24 Le Power-to-X n'est pas un joujou, c'est la clé du tournant énergétique

Si les technologies Power-to-X restent coûteuses et la mobilité hydrogène balbutiante, Martin Osterwalder, entrepreneur et pionnier de l'hydrogène, reste convaincu que sans énergies alternatives, la Suisse n'atteindra pas ses objectifs climatiques. Dans le cadre d'une longue interview, il fait le point sur les défis auxquels se heurte sa branche, les politiques biaisées et sa vision d'un marché de l'hydrogène vaste et diversifié.

Interview : Avenergy Suisse

**Pour commencer, une question générale : que représente pour vous le Power-to-X ? Quel est son potentiel, où en sommes-nous aujourd'hui ?**

Le Power-to-X n'en est qu'à ses débuts, surtout pour l'utilisation à l'échelle industrielle. La technologie est au point, son exploitation commerciale paraît envisageable. La question qui se pose est : cette exploitation peut-elle un jour être rentable ?

**Vous ne semblez pas très optimiste.** Je suis lucide. Si nous voulons – ou devons – décarboner le système énergétique, il faudra donner toute leur place aux technologies Power-to-X. L'avenir

nous dira quelle technologie va finalement s'imposer – les avancées de la recherche dans les années à venir vont être déterminantes.

Ce qui est clair, c'est que nous allons sortir d'un système énergétique en ruban très centralisé pour aller vers un système décentralisé et fluctuant. Ce qui pose de multiples défis. Nous allons vivre des périodes où l'éolien et le solaire fourniront beaucoup d'énergie – et des phases où l'énergie renouvelable sera pratiquement indisponible. La grande question de la stratégie énergétique est de savoir comment stocker l'énergie produite en été pour l'hiver ? Et pour ça, je ne vois pas d'autre solution que le Power-to-X.

**Vous êtes un pionnier de l'hydrogène en Suisse, vous exploitez deux stations-service à hydrogène. Comment se fait-il qu'une entreprise qui vient du commerce des énergies fossiles se soit engagée si tôt dans ce domaine ?**

Cela a beaucoup à voir avec notre ADN d'entreprise familiale. Le groupe Osterwalder a été fondé en 1855. Aujourd'hui, la sixième génération est à la tête de l'entreprise. On pense automatiquement « long terme » et on se demande quoi faire pour assurer la pérennité de l'entreprise.

Nous avons compris très tôt que l'énergie fossile ne durera pas éternellement. Le point de bascule arrive, mais nous ne savons pas quand. C'est



Site de production d'hydrogène à St.Gall. Source : Goupe Osterwalder



« Notre vision a toujours été de rendre l'hydrogène largement accessible. »

Martin Osterwalder

**Martin Osterwalder** est membre du Conseil d'administration et Co-CEO du groupe Osterwalder. Cet expert en finances et controlling diplômé est entre autres président de l'association de promotion Mobilité H2 Suisse. Le groupe Osterwalder est une entreprise familiale suisse riche en tradition, fondée en 1855, dont le siège est à Saint-Gall. Elle est aujourd'hui présente dans l'énergie (avec notamment le réseau de stations-service AVIA, le mazout, les lubrifiants, la mobilité hydrogène, l'e-mobilité), la technique du bâtiment, l'immobilier et le nettoyage de canalisations.

pourquoi nous avons décidé, il y a un moment déjà, d'investir ailleurs. L'énergie, Nous aurons toujours besoin d'énergie et nous savons comment la distribuer. Cette compétence peut facilement s'appliquer à d'autres technologies.

Et nous sommes convaincus que l'électromobilité ne pourra pas couvrir tous les besoins et que d'autres technologies seront nécessaires. L'hydrogène va se faire une place, plus ou moins importante, c'est l'avenir qui nous le dira.

**Quelle expérience faites-vous avec vos deux stations-service à hydrogène ? Le parc de véhicules est plutôt réduit.**

C'est vrai. Nous avons espéré que le développement serait plus rapide, surtout pour les utilitaires. La demande augmente, mais plus lentement que prévu.

**Comment fonctionne une station-service à hydrogène ?**

En principe, comme une station-service conventionnelle. Il y a une cuve



d'hydrogène sur place. Le remplissage prend à peu près le même temps que pour le diesel ou l'essence. Elle est exploitée comme les autres stations-service et n'affiche donc pas de surcoûts importants.

**Vous venez de l'évoquer, le développement des véhicules à hydrogène piétine. Pour les poids lourds, qu'est-ce qui coince ?**

Il y a une clientèle potentielle, surtout dans le domaine commercial, mais la guerre en Ukraine a entraîné une forte hausse du prix de l'électricité. Quand nous avons démarré, le prix de l'électricité était de 40 francs par mégawatt-heure. Il a atteint les 200 et actuellement il tourne autour de 100 – c'est nettement plus élevé que dans nos projections avec des répercussions directes sur le prix de l'hydrogène. Le coût global d'un véhicule à hydrogène est aujourd'hui nettement supérieur à celui d'un diesel.

**Y a-t-il d'autres obstacles ?**

Oui, des obstacles technologiques. Beaucoup de constructeurs ont hésité à mettre des camions à hydrogène sur le marché. Et s'il n'y a pas de véhicules, ils ne sont pas mis en service. Beau-

coup se sont très vite concentrés sur des solutions à batterie, l'hydrogène a été laissé pour compte. Nous nous attendions à une percée plus rapide des piles à combustible. Aujourd'hui, nous pensons qu'il faudra attendre 2027/28 pour que de grands constructeurs proposent des camions H<sub>2</sub> en grande série.

**Combien coûte actuellement le kilogramme d'hydrogène en station-service ?**

Actuellement, environ 17 francs par kilo. Cela permet de parcourir environ 100 kilomètres. À titre de comparaison, l'essence se situe entre 12 et 13 francs les 100 kilomètres. L'hydrogène est donc actuellement plus cher. Lorsque nous avons commencé, le prix était à environ 12 francs – les coûts étaient comparables.

**Où vous procurez-vous votre hydrogène ?**

Nous le produisons nous-mêmes. En collaboration avec SN Erneuerbare Energie AG et SAK, nous exploitons une installation d'électrolyse qui est intégrée au système Hydro Spider. Nous y remplissons des citernes qui sont livrées à nos stations-service.

**Donc pas de pipeline ?**

Pas encore – mais nous étudions la possibilité de réaliser quelque chose de ce genre.

**Si vous vous projetez dans les cinq à dix prochaines années, où voyez-vous le marché de l'hydrogène en Suisse ?**

Je suis convaincu qu'à long terme, les professionnels du transport et de la logistique ne pourront pas tout miser sur la batterie électrique – tout simplement parce qu'elle ne se prête pas à certaines utilisations. Je pense que dans dix ans, une part importante des flottes sera équipée de piles à combustible.

Mais l'hydrogène n'est pas seulement nécessaire pour la mobilité, il est également employé dans des applications industrielles, par exemple les processus à haute température. Nous voyons également un potentiel dans les applications fixes comme la cogénération ou le remplacement des chauffages. L'hydrogène jouera un rôle central dans le couplage des secteurs.

**Le groupe Osterwalder est-il présent dans ces domaines ? Vos clients uti-**



Station-service et camion à hydrogène à St.Gall. Source: Groupe Osterwalder

### **lisent-ils de l'hydrogène en dehors de la mobilité ?**

Oui, deux de nos clients industriels utilisent l'hydrogène comme gaz inerte. Avec la société Hälgi, nous avons aussi soutenu le projet « NEST » de l'EMPA – un bâtiment alimenté en électricité et en chaleur par des piles à combustible. L'EMPA y étudie l'impact de ce projet sur le réseau électrique. Le bâtiment dispose également d'une installation photovoltaïque sur le toit – un cas d'école pour le stockage saisonnier de l'énergie.

### **À l'avenir, envisagez-vous plutôt des utilisations stationnaires ou des utilisations dans la mobilité ?**

Les deux. Notre vision a toujours été de permettre le plus grand nombre d'utilisations possibles pour l'hydrogène. La mobilité était un point d'entrée facile – nous avons une grande expérience dans ce domaine. Mais il n'a jamais été question de nous y limiter.

### **La politique s'intéresse à l'hydrogène, la Confédération a adopté une stratégie hydrogène. Qu'en pensez-vous ?**

Le maître-mot, c'est l'égalité de traitement entre technologies. L'Office fédéral de l'énergie a tendance à privilégier l'électromobilité, on le voit au niveau des lois, des réglementations et de la répartition des subventions. Nous nous battons pour que l'hydrogène ne soit pas pénalisé.

### **Pouvez-vous donner un exemple concret ?**

La garantie d'origine, par exemple. L'hydrogène y est actuellement désavantagé. Nous ne demandons pas un traitement de faveur, juste des conditions équitables, les mêmes règles du jeu que pour les autres motorisations alternatives, l'électrique ou les biocarburants.

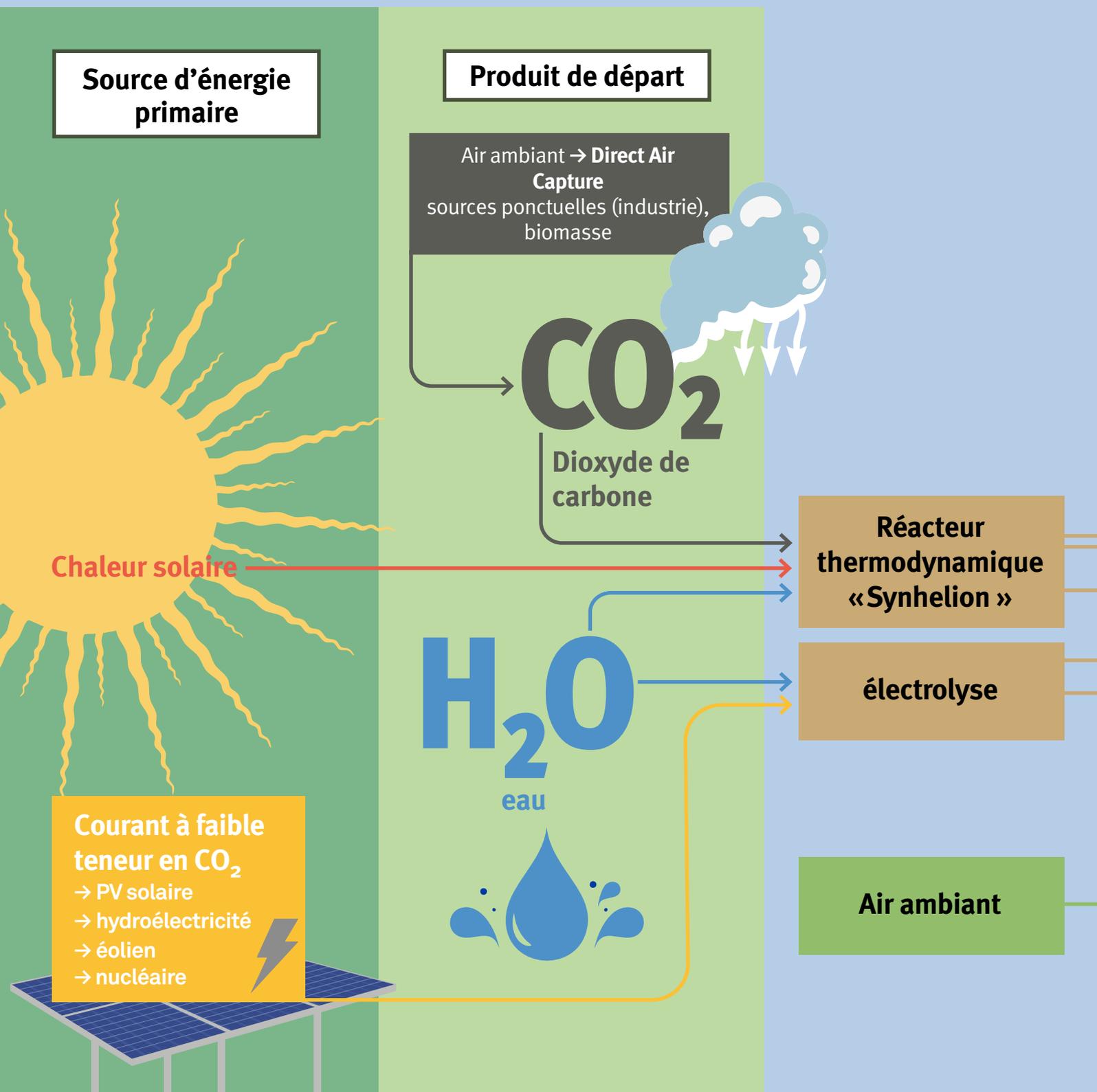
### **Hydrogène vs électromobilité – concurrence ou complémentarité ?**

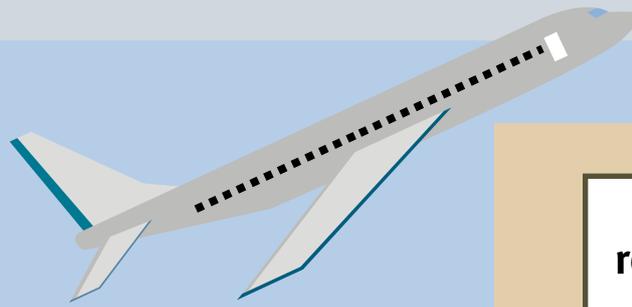
Très clairement : complémentarité. Je ne suis pas du tout contre la mobilité électrique – au contraire : avec AVIA Volt, nous sommes présents dans ce domaine avec une entreprise forte. Mais aucune technologie ne convient à la totalité des utilisations. Plutôt que « toute l'une et toute l'autre », ce sera « l'une n'exclut pas l'autre ».

# Power-to-X

## Le terme Power-to-X désigne ...

... un ensemble de technologies qui transforment l'électricité (power) en agents énergétiques stockables. Dans ce contexte, «power» s'applique tant au courant électrique issu de sources renouvelables faiblement émettrices de CO<sub>2</sub> qu'au solaire thermique. Cette énergie primaire sert à produire de l'hydrogène à partir d'eau par électrolyse ou par d'autres procédés. L'hydrogène peut servir d'agent énergétique, mais aussi être transformé en combustibles ou en carburants gazeux ou liquides par d'autres procédés qui font intervenir le CO<sub>2</sub> atmosphérique ou l'azote.





## Produits intermédiaires

**O<sub>2</sub>**  
oxygène

**C**  
carbone

**H<sub>2</sub>**  
hydrogène

**N<sub>2</sub>**  
azote

## Produits finis

Les produits obtenus par Power-to-X sont des carburants et des combustibles renouvelables appelés e-fuels – leur production exige de l'électricité – ou RENBO (renewable fuels of non-biological origin).

### Agents énergétiques liquides (P2L) Hydrocarbures divers

e-diesel  
e-SAF, e-kérosène  
e-essence  
e-méthanol

### Agents énergétiques gazeux (P2G) p.ex.

e-méthane  
gaz naturel de synthèse

### Agents énergétiques décarbonés

e-ammoniac  
e-hydrogène

## Utilisation en remplacement des produits fossiles

### Avantages:

polyvalence, drop-in, transport et conservation longue durée sur infrastructures existantes

#### Carburants

- aviation
- navigation
- TP publics, trains
- poids lourds
- engins de chantier, machines agricoles
- utilitaires
- voitures de tourisme, motos

#### Chaleur

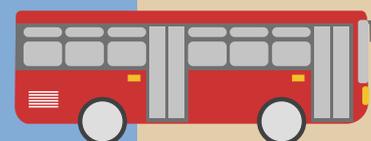
- procédés industriels haute température
- chauffage à distance/pics de consommation
- chauffage domestique au fioul, au gaz

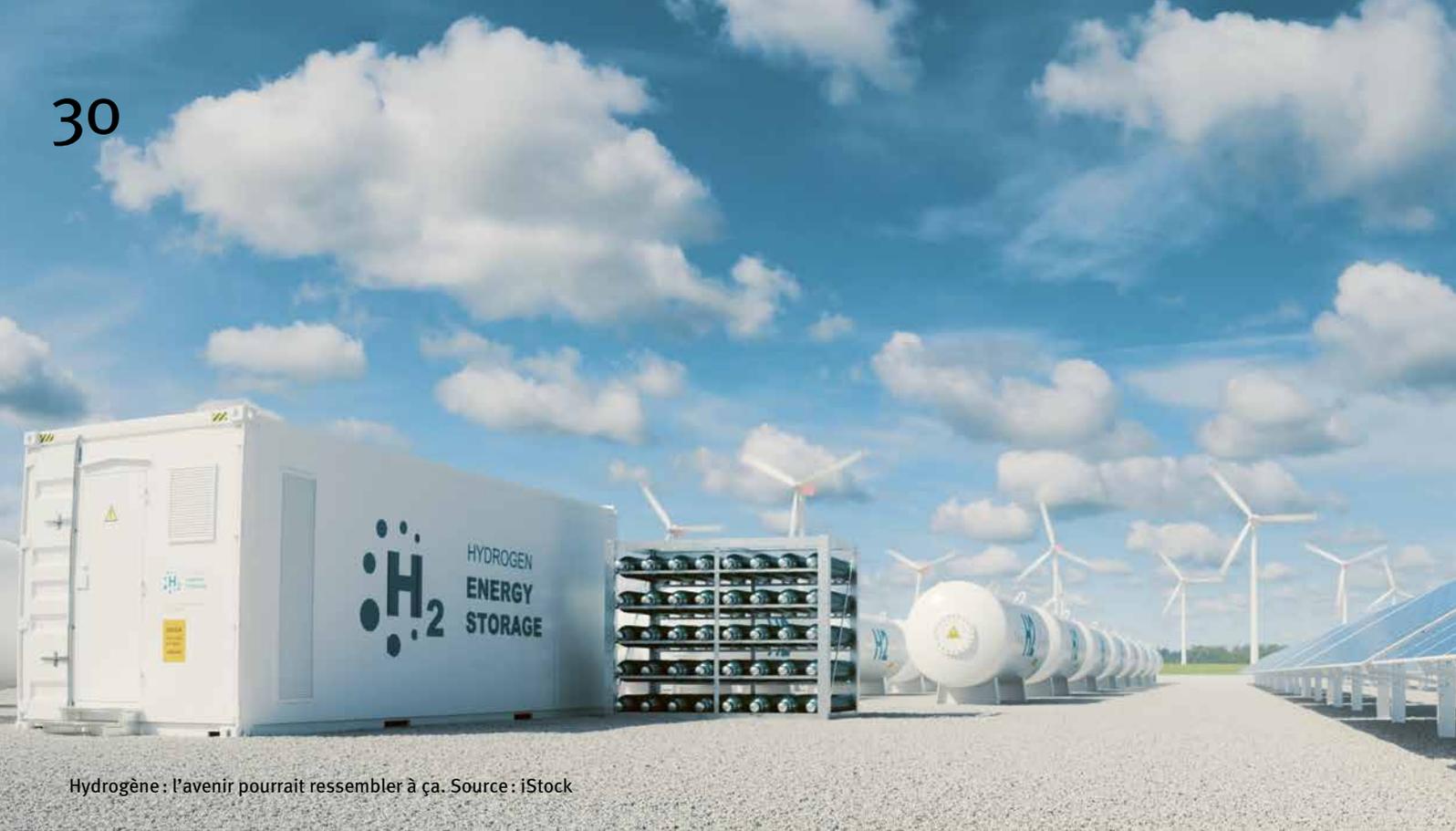
#### Courant électrique

- déficit hivernal
- centrale de secours
- génératrice de secours

#### Chimie/industrie

- substitution de matières premières d'origine fossile





Hydrogène : l'avenir pourrait ressembler à ça. Source : iStock

# Industrie tech' : les opportunités de la transition énergétique

L'industrie technologique suisse joue un rôle clé dans la transition énergétique et le développement de technologies nouvelles. Swissmem s'engage pour des conditions-cadres optimales et promeut des solutions innovantes telles que les technologies Power-to-X. Les P2X Days 2024 ont montré que les entreprises développent dès aujourd'hui de nouveaux champs d'activité et contribuent à la neutralité climatique. L'objectif est clair : un approvisionnement énergétique durable, compétitif et sûr pour l'avenir.

par Roger Sonderegger, Swissmem

Avec plus de 1400 entreprises membres, Swissmem est un acteur qui compte. Il représente un secteur, le **secteur technologique** suisse, dont les entreprises réalisent un chiffre d'affaires total de plus de 90 milliards de CHF, soit environ 7% du produit intérieur brut de la Suisse. Plus de 80% en valeur des biens et services produits sont exportés, principalement vers l'UE, les États-Unis et la Chine. L'association a son siège à Zurich et des bureaux à Winterthour et Lausanne. Elle a pour mission de maintenir la pérennité, la prospérité et la capacité d'innovation de ses membres.

Plus de 330 000 personnes sont employées dans l'industrie tech et grâce à l'esprit d'innovation et à la compétitivité globale des entreprises, ce chiffre se maintient à ce niveau depuis de nombreuses années : on ne saurait donc parler de désindustrialisation. Pour qu'il en aille de même à

l'avenir, Swissmem s'investit auprès des autorités et du monde politique pour assurer à ses membres des conditions-cadres optimales. Mais les entrepreneurs sont également appelés à être vigilants et à faire les choix stratégiques qui garantiront la réussite durable de leurs entreprises, un élément important étant l'identification et l'exploitation d'**opportunités commerciales** dans de nouveaux secteurs d'activité.

En raison des changements climatiques, la communauté internationale a acquis la conviction que de grands efforts doivent être entrepris pour réduire de manière significative les émissions de gaz à effet de serre et s'engager sur **la voie du zéro carbone**. Les objectifs concrets varient selon les pays et les économies, mais ces objectifs ne pourront être atteints qu'en combinant une grande **ouverture technologique** et une forte **capacité d'innovation**.

Les nouvelles technologies énergétiques sont une pièce importante du puzzle pour parvenir au «zéro net». Il s'agit notamment **des technologies Power-to-X**, qui permettent de produire de l'hydrogène (H<sub>2</sub>) ainsi que des dérivés apparentés ou des carburants synthétiques (SAF – Sustainable Aviation Fuels). Les technologies P2X offrent également des solutions pour le stockage d'agents énergétiques chimiques ainsi que pour le transport d'énergies renouvelables ; enfin, l'ensemble du système énergétique peut être connecté grâce au couplage des secteurs, et les technologies de type CCUS (captage, stockage et utilisation du carbone) en font également partie.

#### Développer de nouveaux secteurs d'activité

Dans la phase actuelle, de nombreuses entreprises internationales restent présentes dans le secteur pétrolier et gazier, ce qui leur permet de réaliser de bonnes affaires ; pour les raisons mentionnées, cela ne durera pas éternellement, de sorte que la plupart des **entreprises qui ont une orientation stratégique** sont à la recherche de **nouvelles opportunités commerciales**. La **transition énergétique** et les nouveaux besoins du marché qui en découlent, qu'ils soient privés, publics ou mixtes, exigent de nouvelles technologies et applications, ce qui



« Les nouvelles technologies énergétiques sont une pièce importante du puzzle pour parvenir au «zéro net». »

Roger Sonderegger

Roger Sonderegger est chef de secteur chez Swissmem et secrétaire du secteur «New Energy Systems». Swissmem soutient les entreprises membres avec de nombreuses prestations de service et un grand engagement politique pour des conditions cadres optimales. De plus, Swissmem propose de nombreuses plateformes d'échange pour élargir les connaissances et le réseau de ses membres. Enfin, l'ensemble formé par les associations sectorielles, la recherche et la science s'inscrit lui aussi dans ce réseau au sens large. De ce fait, Swissmem entretient des échanges réguliers avec les hautes écoles, avec les hautes écoles spécialisées et d'autres organisations, tant en Suisse qu'à l'étranger.

crée de nouvelles opportunités commerciales pour les différents acteurs.

Vu l'intérêt que suscite la transition énergétique et le grand besoin d'information dans la branche technologique, Swissmem a organisé la première édition des **P2X Days en 2024**, en collaboration avec **Avenergy** et le réseau **P2X SPIN** au JED Schlieren, près de Zurich.

Non contente de jeter un coup d'œil sur ce qui se passe en Allemagne et particulièrement dans le Bade-Wurtemberg et d'évaluer ses propres stratégies hydrogène pour l'industrie gazière et l'infrastructure H<sub>2</sub>, Swissmem a tenu à présenter lors du P2X Congress Day des exemples représentatifs d'entreprises engagées dans la transition énergétique et qui peuvent faire état de premiers succès. Les « Use Cases » de **Burckhardt-Compression**, de **SWISS** avec

**Synhelion**, de **V-ZUG** en tant que partie du **Tech-Cluster Zoug** ainsi que de **Voegtlin-Meyer** en sont une illustration.

#### **Atteindre plusieurs objectifs en même temps**

On sait aujourd'hui que le **trilemme énergétique exige de concilier** sécurité de l'approvisionnement, prix permettant de rester compétitifs et durabilité. Il est difficile, voire impossible, d'atteindre chacun de ces objectifs à 100 %, tout l'enjeu consistant à présenter aux acteurs du marché les meilleures solutions dans ce contexte contradictoire.

Les entreprises membres de Swissmem s'intéressent fortement au thème de **l'énergie** et aux développements futurs à **double titre**. D'une part, elles sont **consommatrices d'énergie** et ont des attentes claires en ce qui concerne le trilemme énergétique.

D'autre part, les entreprises de l'industrie technologique ont une forte capacité d'**innovation**, elles font avancer les nouvelles technologies et veulent pouvoir **exporter** une bonne partie de leurs biens et services pour garantir la pérennité de leurs résultats. Nous sommes très heureux d'être partenaire d'Avenergy et d'avoir des intérêts et des valeurs partagées, mais aussi de promouvoir les nouvelles technologies et l'esprit d'entreprise.



# Des opportunités commerciales pour l'industrie

33

Le Power-to-X permet de stocker l'énergie renouvelable, mais le transport et l'utilisation sont possible grâce aux compresseurs. Une technologie clé pour des débouchés prometteurs.

Veronika Schelling, Burckhardt Compression



« Les technologies nécessaires à la transition énergétique sont disponibles et offrent une base solide pour des développements durables. »

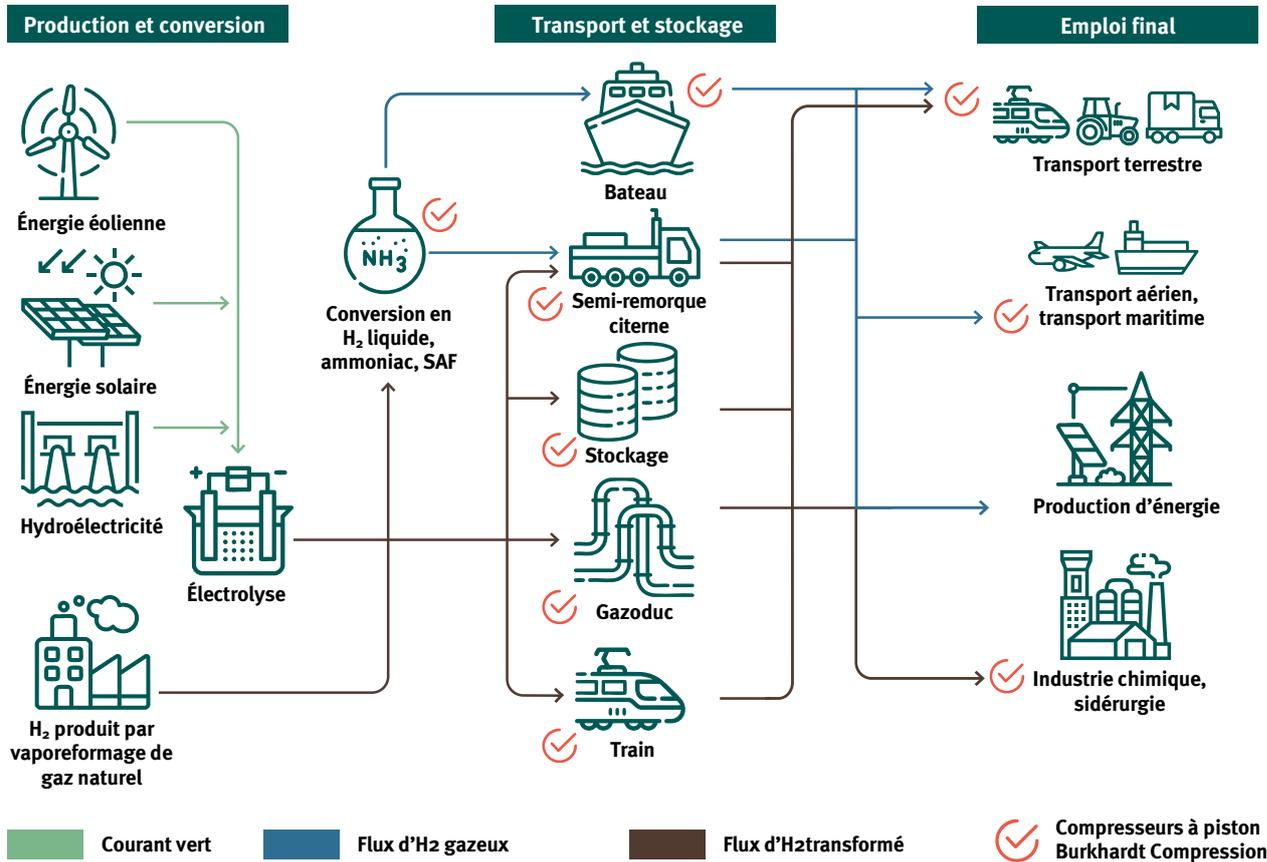
Veronika Schelling

**Veronika Schelling** (MSc EPFZ) entre en 2010 chez Sulzer Chemtech. Elle débute dans l'unité construction d'installations pour biopolymères, puis devient application manager en systèmes de séparation. Elle entre chez Burckhardt Compression en 2021 pour se consacrer aux énergies renouvelables et à l'hydrogène. En qualité d'Hydrogen Mobility & Energy Leader, elle est responsable d'une équipe d'experts en charge de la stratégie, du développement commercial et de la gestion de produits pour systèmes de compression d'hydrogène dédiés à la mobilité et aux applications énergie globales.

La transition énergétique n'a pas seulement besoin d'électricité, elle a aussi besoin de molécules vertes. Pour transporter et stocker efficacement de grandes quantités d'énergie renouvelable, l'électricité doit impérativement être transformée en molécules stockables. Et pour le transport et stockage de molécules, et plus particulièrement de molécules gazeuses, les compresseurs sont incontournables. La transition énergétique amorcée au niveau mondial représente une opportunité commerciale pour des entreprises comme Burckhardt Compression, spécialisées dans les métiers de l'énergie.

Burckhardt Compression a une vision claire : proposer des solutions de compression de pointe pour un avenir énergétique durable. Concrètement, cela signifie qu'en 2027, au moins 40 % des compresseurs installés par nos soins serviront à des applications destinées à la transition énergétique. Cette stratégie souligne l'engagement de l'entreprise en faveur de la durabilité et sa position forte sur un marché en évolution rapide.

On appelle Power-to-X la transformation d'électricité en d'autres formes d'énergie ou en composés chimiques. La production d'hydrogène par électrolyse en constitue l'une des variantes majeures. Ce procédé produit de l'hydrogène gazeux à une pression de 1 à 40 bars maximum, une pression



Source : infographie Burkhardt Compression

trop faible pour le transporter ou le stocker. C'est là qu'interviennent les compresseurs à piston, car c'est la compression qui permet de transporter et de stocker l'hydrogène. Pour le transport, l'hydrogène est soit comprimé, soit transformé en hydrogène liquide ou l'un de ses dérivés – l'ammoniac, le e-méthane ou le e-méthanol. La liquéfaction de l'hydrogène ainsi que la production de ses dérivés sont des procédés haute pression qui exigent des compresseurs à piston, cœur de métier de Burkhardt Compression. Les compresseurs sont indispensables tant pour l'alimentation en hydrogène que pour le fonctionnement du processus et constituent un composant clé de la productivité et de l'efficacité.

Le transport et le stockage de l'hydrogène et de ses dérivés représentent une partie importante de la chaîne de valeur, car c'est là qu'une grande partie des coûts va être générée. Le bon choix de la technologie et du compresseur seront décisifs pour la réussite de l'ensemble d'un projet.

Burckhardt Compression fournit des solutions de compression adap-

tées aux installations de remplissage de semi-remorques citernes, au stockage et aux systèmes de pipelines. Pour toutes ces applications, l'entreprise propose une gamme de compresseurs à pistons à bagues sans lubrification. Grâce à sa présence à l'international et des décennies d'expérience dans la compression de l'hydrogène, l'entreprise peut présenter des projets de référence en service dans chacune de ces applications. La surveillance numérique, le suivi et la maintenance du parc installé sont assurés par la division Services de l'entreprise afin de garantir un fonctionnement optimal et une disponibilité maximale des installations.

#### Transport longue distance des gaz renouvelables – sur terre et en mer

Pour transporter de grandes quantités d'hydrogène sur de longues distances, les gazoducs sont la solution la plus efficace. Et, bonne nouvelle, une grande partie de l'infrastructure existante peut servir au transport de l'hydrogène. L'Union Européenne a lancé un grand projet de dorsale hydrogène (European Hydrogen Back-

bone) qui vise, à travers la coopération entre exploitants des réseaux gaziers, à créer un réseau de pipelines transnational de distribution d'hydrogène.

Différents corridors de livraison sont prévus pour amener l'électricité verte bon marché produite dans le sud et le nord de l'Europe vers les pays à forte demande.

Lorsqu'aucun gazoduc n'est disponible et que l'énergie renouvelable doit être transportée sur de très longues distances ou d'un continent à l'autre, d'autres vecteurs énergétiques existent. L'ammoniac vert (NH<sub>3</sub>), produit à partir d'hydrogène vert (H<sub>2</sub>) et d'azote (N<sub>2</sub>), est l'un des plus prometteurs. Le grand avantage de l'ammoniac est qu'on dispose d'une vaste expérience et d'infrastructures en place pour le produire et le manipuler. Son principal inconvénient est sa toxicité. Mais comme l'ammoniac est l'un des produits chimiques les plus couramment fabriqués et qu'il sert d'intrant pour de nombreux produits comme les engrais, les protocoles en matière de sécurité des installations de production d'ammoniac sont parfaitement rodés.

**Cinq corridors constituent l'ossature de la future dorsale européenne de l'hydrogène (EHB). Dès 2032, ils pourraient fournir un hydrogène abondant et bon marché.**

**Pour atteindre les objectifs de demande d'hydrogène du plan REPower EU en 2030, 5 grands corridors de gazoducs sont envisagés.**

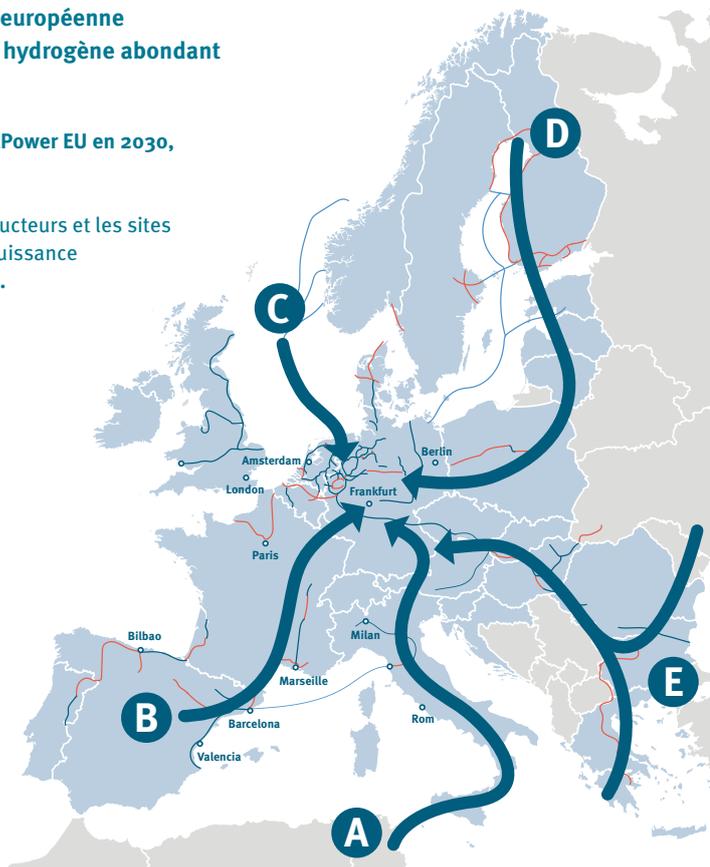
Dans un premier temps ces corridors doivent relier les sites producteurs et les sites consommateurs d'hydrogène au plan local avant de monter en puissance et de **relier l'Europe aux régions voisines à vocation exportatrice.**

Les engagements fermes pris pour le développement de cette infrastructure **vont permettre aux acteurs du marché d'accélérer la montée de l'offre et de la demande.**

#### Les cinq corridors de distribution d'hydrogène :

- Corridor A :** Afrique du Nord et Europe méridionale
- Corridor B :** Europe du Sud-Ouest et Afrique du Nord
- Corridor C :** Mer du Nord
- Corridor D :** Régions scandinaves et baltes
- Corridor E :** Europe de l'Est et du Sud-Est

Ces cinq corridors englobent les marchés domestiques et les marchés d'importation d'hydrogène et correspondent aux trois corridors d'importation identifiés par le plan REPower EU : un corridor méditerranéen (corridors A et B), un corridor Mer du Nord (corridor C) et un corridor passant par l'Ukraine (corridor E).



Source : ehb



À l'avenir, nous verrons de plus en plus de projets globaux dans lesquels l'hydrogène vert sera transporté sous forme d'ammoniac-énergie depuis les régions de production vers les régions à forte demande comme l'Europe, le Japon ou la Corée du Sud. Tout au long de cette chaîne de valeur, Burckhardt Compression est présent avec des solutions qui vont de la production de panneaux solaires à

la consommation finale de l'hydrogène en passant par la synthèse de l'ammoniac.

Pour l'industrie suisse, les technologies hydrogène et Power-to-X sont une opportunité.

L'industrie suisse voit s'ouvrir d'importantes opportunités dans le domaine du Power-to-X et des applications hydrogène. Les technologies nécessaires à la transition énergétique

sont disponibles et offrent une base solide pour des développements durables. Tout l'enjeu consiste maintenant à les déployer à grande échelle pour tirer pleinement parti de leur potentiel et faire baisser les coûts. Grâce à des investissements et des coopérations ciblées, la Suisse peut jouer un rôle de premier plan dans ce secteur en plein essor et concilier intérêt économique et durabilité écologique.



#### Projet de référence Burckhardt pour l'injection d'hydrogène dans un pipeline

Pipeline d'hydrogène reliant le site de production de Botlek, Rotterdam (NL) à Anvers (B), au nœud de distribution et aux consommateurs finaux en France. En service depuis 2009.

3 systèmes de compresseurs en parallèle, hydrogène pur, 22-100 bar, 6052 kg/h Compresseurs à piston 6BA sans lubrification, puissance moteur 4,8 MW chacun

# L'hydrogène a trouvé sa place dans notre entreprise

Reto Huber est directeur des services cars postaux de l'entreprise Vögtlin Meyer. Dans notre interview, il explique pourquoi l'hydrogène est l'un des carburants du futur, comment la pile à combustible a fait la preuve de sa fiabilité, en quoi elle est supérieure à l'électromobilité – et le rôle essentiel d'une production d'énergie au niveau régional.

Interview : Avenergy Suisse

## **Monsieur Huber, quel est exactement votre rôle chez Vögtlin Meyer ?**

Je suis directeur de Vögtlin-Meyer CarPostal. Nous exploitons actuellement 36 véhicules et je dirige une centaine de collaborateurs. Outre l'exploitation de CarPostal, je suis également responsable des stations-service Vögtlin-Meyer et je suis membre de la direction générale. Notre entreprise a une longue tradition et mon rôle est à la fois d'assurer la direction opérationnelle et de poser des jalons stratégiques pour l'avenir, notamment en ce qui concerne la mobilité durable.

## **Nous sommes ici aujourd'hui parce que vous exploitez, entre autres, un car postal à pile à combustible ?**

Oui, exactement, nous avons actuellement un véhicule à hydrogène en service. Il est pleinement intégré à notre plan de desserte et donne entière satisfaction.

## **Pourquoi se donner la peine d'intégrer une nouvelle motorisation dans**

## **le fonctionnement au jour le jour de l'entreprise ?**

Il faut remonter un peu en arrière. Quand je suis arrivé chez Vögtlin-Meyer en 2013, nous avions déjà cinq cars postaux à hydrogène. Quand j'ai pris mes fonctions, je ne vous cache pas que j'avais des doutes. Je pensais au Zeppelin d'antan, le Hindenburg, celui qui pris feu en 1937, bref, j'étais franchement sceptique. L'hydrogène avait alors pour moi une image assez négative en termes de sécurité. Mais ces doutes se sont vite dissipés quand j'ai mieux compris la technologie.

## **Avez-vous toujours des craintes en matière de sécurité ?**

Non, pas du tout. L'hydrogène est beaucoup plus léger que l'air. En cas de fuite, il s'échappe et se volatilise dans l'air, ce qui minimise le risque d'accumulation et d'inflammation. De plus, les réservoirs et les systèmes sont aujourd'hui si sophistiqués qu'ils répondent aux normes de sécurité les plus strictes. Après des années d'exploitation, nous n'avons jamais rencontré le moindre problème.

## **Vous dites qu'en 2013, cinq véhicules fonctionnaient à l'hydrogène alors qu'il n'y en a plus qu'un aujourd'hui. Pourquoi ?**

Ces cinq véhicules faisaient partie du projet CHIC (Clean Hydrogen in European Cities), une initiative de l'UE visant à promouvoir les moteurs à hydrogène dans les transports publics. Un certain nombre de villes et d'entreprises y participaient. Dans notre cas, le projet s'est déroulé en collaboration avec la Poste suisse qui a fourni les véhicules. À l'échéance, la Poste s'est retirée du projet et la plupart des véhicules ont été réformés ou réaffectés.

## **Qu'est-ce qui a été déterminant pour le choix de votre entreprise de garder des véhicules à hydrogène ?**

Après avoir observé le premier ravitaillement, j'ai compris à quel point le système était pratique et efficace. Le ravitaillement en hydrogène prend le même temps que pour un véhicule diesel, soit environ cinq à sept minutes. Pour le fonctionnement en exploitation, rien ne change. À cela s'ajoute



Les premiers cars postaux à hydrogène circulent déjà sur nos routes. Source : photo d'entreprise

une grande autonomie qui nous permet une énorme flexibilité d'utilisation. Cela m'a convaincu que l'hydrogène est une technologie qui a toute sa place dans notre quotidien tout en offrant une vraie valeur ajoutée.

#### **N'est-ce pas aussi le cas pour les bus électriques ?**

Non, c'est différent. Nous exploitons également deux cars postaux électriques, et il y a des différences notables. Avec les véhicules électriques, les tournées des chauffeurs doivent souvent être interrompues parce que leur autonomie est limitée. Nous atteignons au maximum 222 kilomètres avant la recharge – qui prend de 30 minutes à plusieurs heures suivant le point de recharge. Le véhicule à hydrogène, en revanche, roule pendant 700 kilomètres sans interruption. C'est une énorme différence, surtout pour les transports publics, où la fiabilité et la ponctualité sont décisives. C'est pourquoi je suis convaincu que l'hydrogène est la technologie de l'avenir, en particulier pour les véhicules lourds et les transports publics.

#### **Vous avez dit qu'un plein de carburant permet de parcourir environ 700 kilomètres. C'est comparable à un véhicule diesel ?**

Oui, l'autonomie est à peu près la même. Nos cars postaux diesel peuvent également parcourir environ 650 à 700 kilomètres, suivant le trajet et la charge, ce qui fait que l'hydrogène est une vraie solution de rechange, qui ne nécessite aucune adaptation en termes de planification d'utilisation.

#### **Le car postal à hydrogène assure-t-il toutes les dessertes ?**

Oui, absolument. Il circule sur l'ensemble du réseau, par exemple en direction de Döttingen, de Habsbourg ou sur des trajets encore plus longs dans tout le canton d'Argovie. En revanche, nos cars postaux électriques ne peuvent être utilisés que sur des trajets plus courts. Sinon, nous nous heurtons aux contraintes de l'autonomie et des temps de recharge.

#### **J'ai l'impression que vous êtes un partisan de l'hydrogène, mais que la**

#### **mobilité électrique vous séduit moins ?**

Je me borne à faire une comparaison objective. Comme nous utilisons les trois types de motorisations (diesel, hydrogène et électrique), je peux comparer directement leurs avantages et inconvénients. Chaque mois, je reçois des rapports détaillés sur les coûts d'exploitation, les temps d'arrêt, l'autonomie, etc. Tout est transparent. Et il s'avère que l'hydrogène est plus performant dans de nombreux domaines, notamment par rapport à la mobilité électrique. Je ne dis pas que les véhicules électriques sont fondamentalement mauvais – ils ont leur raison d'être –, mais dans notre domaine d'utilisation, l'hydrogène constitue aujourd'hui une meilleure solution.

#### **Envisagez-vous d'agrandir votre flotte de véhicules à hydrogène ?**

Oui, absolument. L'année prochaine, huit nouveaux cars postaux à hydrogène viendront s'y ajouter. Notre objectif à long terme est de convertir l'ensemble de notre flotte, sauf quatre véhicules qui continueront à fonction-



Faire le plein d'hydrogène : ce sera bientôt possible à Brugg (AG). Source : photo d'entreprise

ner à l'électricité. D'ici 2030, nous souhaitons remplacer la majorité de nos véhicules diesel par de l'hydrogène.

#### **Pourquoi ces quatre véhicules, qui constituent un cas à part ?**

À Windisch, nous disposons d'une station de recharge pour pantographes spécialement conçue pour les bus électriques. Pour les lignes à courte distance, de cinq kilomètres au maximum, l'électromobilité reste un bon choix parce que les véhicules peuvent y être rechargés rapidement. Il faut toujours

évaluer quelle technologie est la plus appropriée pour quel domaine d'utilisation. Pour la majorité de nos trajets – surtout les courses les plus longues – le diesel ou l'hydrogène sont parfaits.

#### **Le voyageur remarque-t-il une différence quand il voyage dans un car à hydrogène ?**

Oui, c'est sûr. Il est nettement plus silencieux qu'un bus diesel, ce qui améliore le confort. La climatisation fonctionne mieux en été et le véhicule peut être chauffé efficacement en hiver sans

que l'autonomie n'en souffre. Les véhicules électriques sont souvent équipés de chauffages au diesel ou de systèmes qui consomment beaucoup d'énergie pour le préchauffage avant le départ. Ce n'est pas le cas avec l'hydrogène – la pile à combustible fournit de l'énergie en continu, quelles que soient les conditions extérieures.

#### **Comment se présente la comparaison en termes de coûts ? Combien coûte un plein d'hydrogène par rapport au diesel ?**

Le contribuable que je suis souhaite pouvoir travailler de la manière la plus économique possible. Ce qui est déterminant, c'est le prix au kilomètre dans le calcul des coûts complets. Actuellement, le prix du diesel est d'environ 87 centimes par kilomètre, celui de l'hydrogène de 1,30 franc et celui de la mobilité électrique de 4,30 francs. Cela peut paraître surprenant au premier abord, mais pour les véhicules électriques, il faut ajouter des coûts d'acquisition élevés, l'entretien et surtout l'infrastructure de recharge. Si nous électrifions l'ensemble de notre flotte, il faudrait investir de 1,8 à 1,9 million de francs rien que dans l'infrastructure de recharge. Pour l'hydrogène, les coûts des stations-service sont plus gérables, surtout si nous produisons et faisons le plein directement sur place, comme cela est prévu.

#### **Où est-ce que votre car postal à hydrogène fait le plein ? Vous avez votre propre station-service ?**

Actuellement, nous faisons le plein auprès de l'entreprise Messer à Lenzbourg, à une quinzaine de kilomètres d'ici. Mais à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2026, ce sera ici même, à Brugg, ce qui représente un grand pas vers l'indépendance.

#### **D'où provient l'hydrogène que vous allez ravitailler à Lenzbourg ?**

L'entreprise Messer le fabrique dans sa propre unité de production. Le processus de fabrication exact dépend de différents facteurs, mais Messer est un fournisseur reconnu de gaz industriels et nous garantit un approvisionnement fiable.

### À l'avenir, tous vos véhicules seront ravitaillés ici, à Brugg. Comment ça marche ?

Nous avons un projet passionnant sur ce site. Près de chez nous, Axpo exploite une centrale au fil de l'eau sur l'Aar. L'électricité qui y est produite alimente une nouvelle installation de production d'hydrogène construite à quelques centaines de mètres seulement de notre dépôt. L'hydrogène est ensuite acheminé directement vers notre nouvelle station-service via un pipeline – plutôt des petits tubes que des gros tuyaux. L'Aar alimentera donc indirectement notre flotte. De l'électricité au ravitaillement en passant par la production d'hydrogène, tout se fait dans un périmètre très restreint – c'est

non seulement efficace, mais aussi un grand avantage écologique.

### L'installation de production vous appartient-elle ou appartient-elle à Axpo ?

L'installation appartient à Axpo, nous ne sommes que l'acheteur final. Mais nous avons un contrat d'achat exclusif qui nous garantit un approvisionnement régulier. Ce partenariat profite aux deux parties !

### Quelle est l'importance de la sécurité d'approvisionnement dans la décision de passer à l'hydrogène ?

La sécurité d'approvisionnement est essentielle. La sécurité à 100% n'existe pas, mais la production qui se fait à

proximité augmente considérablement notre indépendance. Par rapport à l'électromobilité, où nous dépendons du réseau électrique et de sa stabilité, je vois là de grands avantages. À quoi s'ajoute notre expérience du programme CHIC : à l'époque, nous avons parcouru 1,7 million de kilomètres avec les cars postaux à hydrogène sans problème notable. Cette fiabilité est un argument de poids, surtout si l'on considère que dans le transport public, nous devons garantir une qualité de service élevée.

### Que pensent les autres exploitants de cars postaux de l'hydrogène ?

Ils manifestent un intérêt grandissant ! Une entreprise de la région, qui exploite de nombreux bus électriques, m'a récemment fait part de son intention de revenir à l'hydrogène. En hiver, leurs bus électriques n'avaient pas assez d'autonomie. Ils ont donc dû mettre en place un horaire supplémentaire, donc plus de véhicules et de chauffeurs – ce qui fait grimper les coûts. Un autre opérateur du canton de Zurich, qui a récemment ouvert une nouvelle halle pour l'électromobilité, m'a dit lors de sa visite qu'il était en train de préparer un éventuel passage à l'hydrogène. La tendance est en faveur de l'hydrogène, notamment parce que l'expérience montre que c'est une technologie qui marche.

### Pourquoi ne pas continuer à rouler au diesel ?

Je suis favorable à une évolution des mentalités en matière d'émissions et de climat – c'est une évidence. Mais il faut avancer par étapes, sans se précipiter. Un calcul global des coûts et des avantages est décisif, et l'hydrogène s'en sort actuellement très bien. Le diesel n'aura pas d'avenir à long terme, du moins pas dans les transports publics soumis à des exigences en matière de durabilité de plus en plus strictes. L'hydrogène nous donne la possibilité de réduire les émissions sans compromettre l'exploitation et la rentabilité. La voilà la réponse : durabilité et pragmatisme doivent aller de pair.



« Je suis convaincu que l'hydrogène est la technologie de l'avenir, en particulier pour les véhicules lourds et les VO. »

Reto Huber

**Reto Huber** est directeur des cars postaux de Voegtlin-Meyer à Brugg et membre de la direction. Voegtlin-Meyer AG est une entreprise familiale de tradition, gérée par ses propriétaires, dont le siège est à Windisch et qui existe depuis plus de 112 ans. Fondée en 1912 par Jakob Voegtlin en tant que commerce de charbon, l'entreprise s'est développée au fil des décennies pour devenir un prestataire polyvalent. Aujourd'hui, l'éventail de ses métiers comprend la distribution de combustibles et de carburants, l'exploitation d'un réseau de stations-service de plus de 35 sites, des services de cars postaux ainsi que des services d'élimination des déchets. Dans le domaine de la mobilité durable et des transports publics, Voegtlin-Meyer innove en mettant en œuvre des cars postaux à hydrogène.

# 40 Comment créer un transport aérien durable ?



L'aviation doit être défossilisée, mais le défi est de taille. Alors que d'autres modes de transport sont de plus en plus électrifiés, les alternatives réalistes aux carburants liquides pour les vols long-courriers font défaut. Les Sustainable Aviation Fuels (SAF) sont la clé pour réduire les émissions, mais la production actuelle est loin d'être suffisante pour couvrir les besoins.

La première installation au monde de production de carburant d'aviation durable a été mise en service en Allemagne en 2024.  
Source: Synhelion SA



## « Transformer durablement le transport aérien nécessite de nouvelles technologies qui soient évolutives, efficaces et économiques. »

Dr. Philipp Furler

par Philipp Furler, CEO et cofondateur de Synhelion

Pour transformer durablement le transport aérien, il faut de nouvelles technologies qui soient évolutives, efficaces et économiques. C'est là qu'intervient Synhelion : en créant la première installation industrielle au monde de carburants solaires, l'entreprise a montré que les carburants durables sont possibles. La prochaine étape sera celle de la montée en production pour avancer résolument sur la voie d'une aviation défossilisée.

### Une nouvelle réalité pour l'aviation : le recours au SAF devient obligatoire

Le temps de l'expérimentation des carburants durables est révolu, les réglementations font du SAF la nouvelle réalité de l'aviation. Avec des initiatives comme ReFuelEU Aviation, l'UE impose des quotas obligatoires de SAF : le quota démarre à 2% en 2025 et la part de carburants durables devra atteindre 70% d'ici 2050. Des réglementations similaires sont mises en place dans le monde entier afin d'accélérer la montée en puissance du SAF sur le marché. Aujourd'hui, la question qui se pose

aux compagnies aériennes et aux fournisseurs de carburant n'est plus celle d'adopter ou non le SAF, mais celle de la généralisation de son utilisation. En conséquence, le marché du SAF est en croissance constante, mais sa disponibilité reste faible. En 2024, la production mondiale de SAF s'élevait à un peu moins de 2 millions de tonnes par an, soit environ 0,5% de la demande totale de kérosène.

On estime que d'ici 2050, la demande mondiale de SAF atteindra environ 200 millions de tonnes par an. Une augmentation massive de la production est donc nécessaire.

### Les lacunes dans l'approvisionnement : un marché qui offre des opportunités

Aujourd'hui, la production de SAF repose presque exclusivement sur la technologie HEFA (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids), qui transforme des huiles alimentaires usagées ou des graisses animales. Or, la disponibilité limitée de ces matières premières freine la production de SAF. À long terme, le HEFA-SAF ne pourra couvrir qu'environ 5 à 10% des besoins mondiaux. Il en résulte un écart croissant entre l'offre et la demande, d'où la nécessité de disposer d'alternatives industrialisables pour combler cet écart et assurer l'approvisionnement. Et c'est là qu'intervient la technologie Sun-to-Liquid de Synhelion, qui permet de produire des carburants synthétiques renouvelables à partir d'énergie solaire durable. Cette technologie peut monter en production de façon quasi illimitée et sera déterminante pour défossiliser le transport aérien à long terme.

### De la théorie à la pratique : Synhelion pose de nouveaux jalons

Synhelion produit des carburants synthétiques renouvelables au service d'une mobilité durable. L'entreprise produit du kérosène, du diesel et de l'essence solaires qui peuvent remplacer directement les combustibles fossiles. Ces carburants solaires referment le cycle du CO<sub>2</sub>, car ils n'émettent lors de leur combustion que la quantité de CO<sub>2</sub> utilisée pour leur fabrication. De plus, ils sont entièrement compatibles avec l'infrastructure mondiale existante en matière de carburants, du stockage au transport, en passant par les moteurs à combustion et les moteurs d'avion. Les carburants solaires sont particulièrement adaptés aux secteurs des transports où l'électrification

**Dr. Philipp Furler** est CEO et co-fondateur de **Synhelion**. Synhelion est une entreprise suisse de cleantech qui produit des carburants solaires afin de permettre une mobilité neutre en CO<sub>2</sub>. L'entreprise a développé une technologie unique qui utilise la chaleur solaire à haute température pour produire des carburants synthétiques. Les carburants synthétiques produits par Synhelion – comme l'essence solaire, le diesel ou le kérosène – sont durables et compatibles avec les moteurs à combustion et les propulseurs traditionnels. Philipp Furler est titulaire d'un doctorat en génie mécanique de l'EPFZ. En 2018, il a obtenu son Executive MBA à l'Université de Strathclyde. Le Dr Furler a plus de dix ans d'expérience dans la chimie solaire à haute température et la technologie des réacteurs. Philipp Furler a cofondé Sunredox, une spin-off de l'EPFZ qui a fusionné avec Synhelion en 2018.

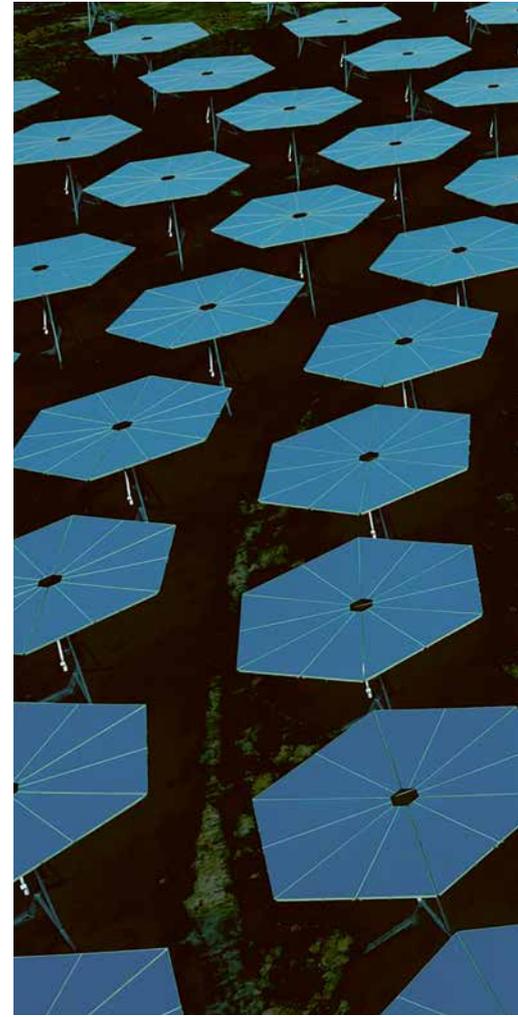
touche à ses limites. Ils offrent une solution évolutive et renouvelable pour l'aviation et pour d'autres secteurs du transport qui dépendent des carburants liquides. Il ne faut pas opposer les différents secteurs du transport entre eux, car la production de carburants synthétiques implique toujours la production de kérosène, d'essence et de diesel.

L'un des principaux avantages de la technologie de Synhelion réside dans l'utilisation de l'énergie solaire. Le soleil est l'une des sources d'énergie renouvelable les moins chères et les plus largement disponibles. Grâce à cette caractéristique, la production de carburants solaires peut être déployée au niveau mondial – ce qui contribue non seulement à la réduction

des émissions de CO<sub>2</sub>, mais aussi à la sécurité énergétique mondiale et à l'indépendance vis-à-vis des carburants fossiles.

Synhelion a réussi le passage de la recherche à la production industrielle. En 2024, la première installation industrielle au monde de production de carburant solaire, DAWN, a été inaugurée en Allemagne. La prochaine étape passera par la mise en service des premières installations de production commerciales et compétitives, RISE et SHINE.

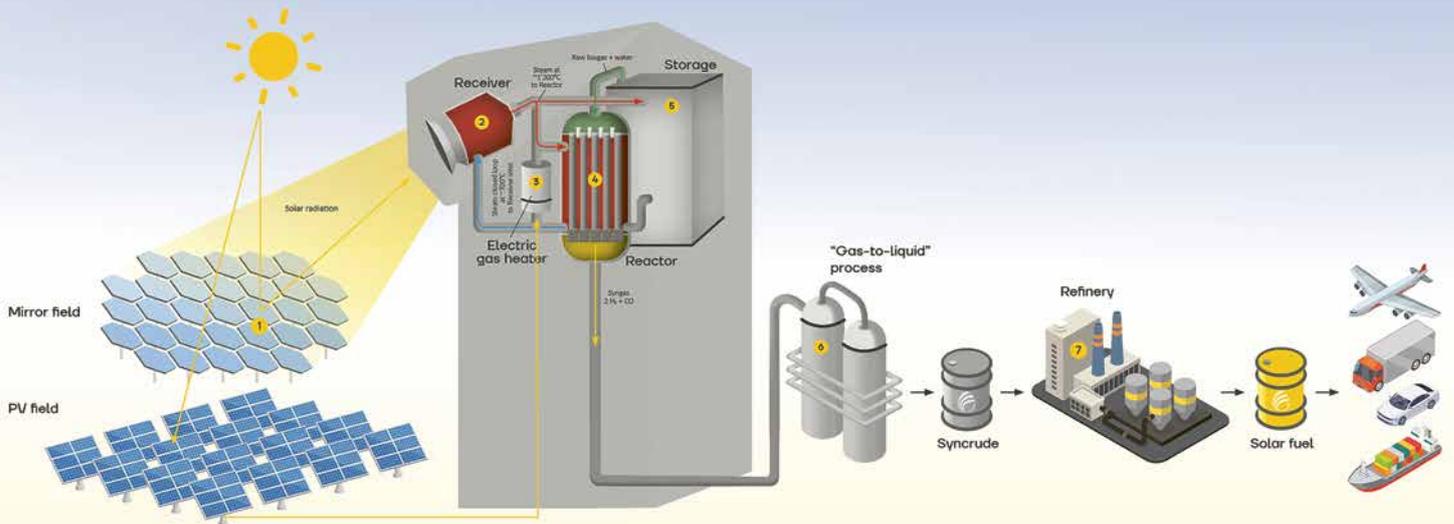
La mise au point est achevée – la technologie est opérationnelle et peut être déployée dans le monde entier. Pour atteindre les objectifs zéro net, c'est le bon moment pour investir dans la mise en place de capacités de



Source: Synhelion SA

## How DAWN produces solar fuel

Synhelion



1 Solar radiation is reflected by the **mirror field** and concentrated onto the solar receiver.

2 The **solar receiver** converts solar radiation into high-temperature process heat.

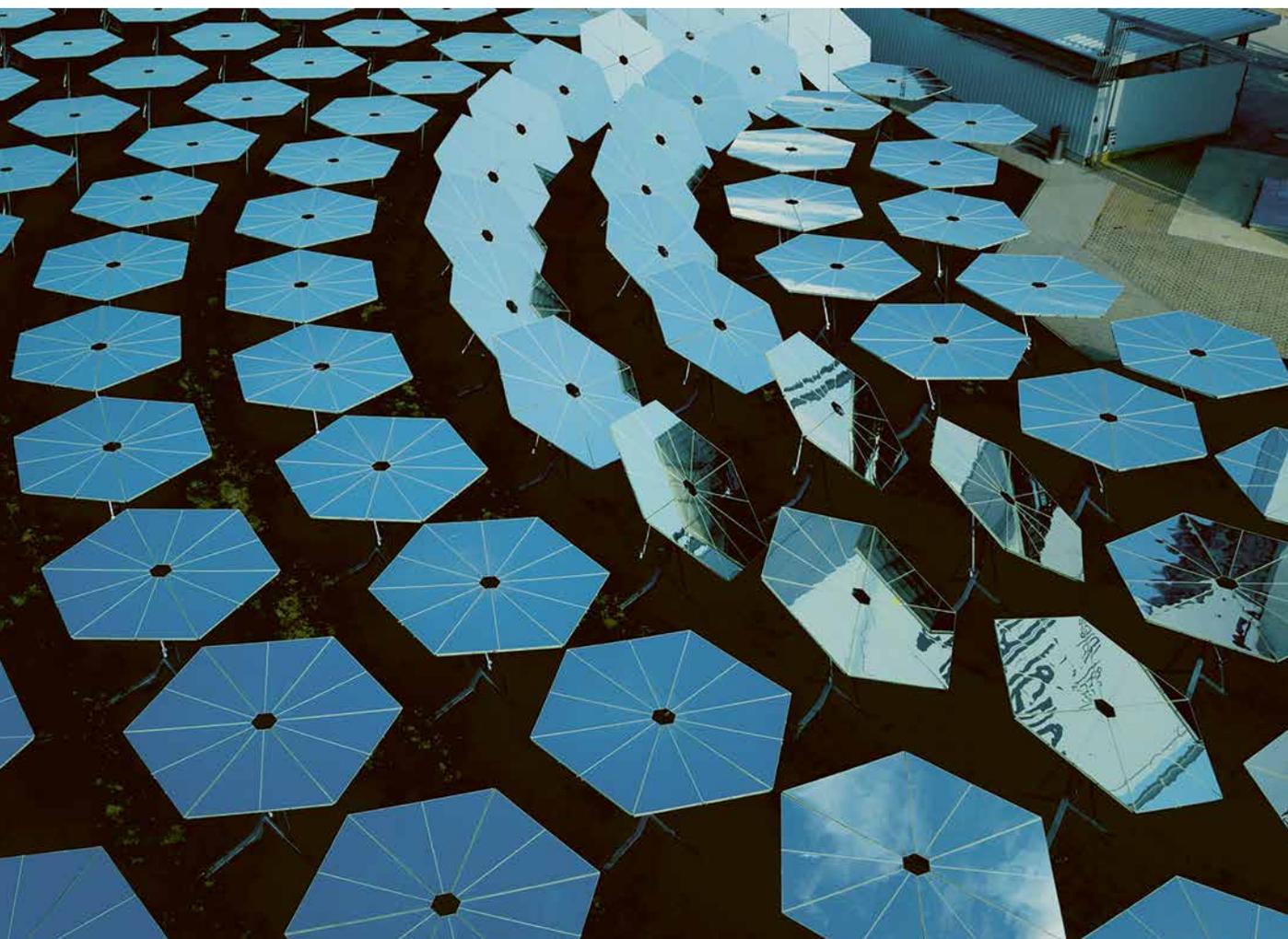
3 Alternatively, the high-temperature process heat can also be generated with a specially developed **electric gas heater** powered by renewable energy from PV.

4 Part of the generated heat is fed to the **reactor** that produces syngas, a mixture of H<sub>2</sub> and CO.

5 The other part of the heat is stored in the **thermal energy storage** during sunny hours to enable continuous 24/7 operation.

6 A **Fischer-Tropsch unit** turns the syngas into synthetic crude oil (**syncrude**).

7 The syncrude is fed into a **refinery** to obtain the final product: **solar fuel** in the form of certified jet fuel, diesel, or gasoline.



Le champ de miroirs capte le rayonnement solaire. Source : SYNHELION SA

production à grande échelle. Ce n'est qu'en agissant avec détermination dès maintenant que le passage aux carburants durables pourra devenir une réalité.

#### **Le scale-up commence maintenant**

La défossilisation du secteur du transport passe par une montée en puissance rapide de la production de carburants de synthèse. C'est pourquoi Synhelion a fait de l'évolutivité et de la rentabilité son credo. Notre solution est basée sur une énergie solaire bon marché, une source de carbone bon marché et un procédé particulièrement efficace. Grâce à ces facteurs clés, les coûts de production des carburants pourront à terme être réduits à 1 CHF par litre.

Les clients pionniers qui participent activement au changement sont un facteur de réussite décisif. Des entreprises comme SWISS, Pilatus Flugzeugwerke, le groupe AMAG, la Société de navigation du lac des Quatre-Cantons (SGV), l'aéroport de

Zurich ou les remontées mécaniques de Lenzerheide ont déjà signé des contrats d'achat de carburants solaires avec Synhelion. Cet engagement à long terme permet non seulement aux carburants renouvelables d'arriver sur le marché, mais constitue également un signal fort en faveur des mobilités durables. De ce fait, les carburants solaires ne sont plus une vision d'avenir mais une réalité et les entreprises qui agissent aujourd'hui seront les pionnières de la mobilité durable de demain.

La voie vers un transport aérien durable est toute tracée : la production de SAF doit être massivement augmentée pour atteindre les objectifs climatiques ambitieux du secteur. Avec la mise en production industrielle de carburant solaire, Synhelion démontre que le passage de la recherche à l'industrialisation a été réussi. L'enjeu consiste maintenant à faire avancer le scale-up et à créer à l'échelle mondiale un marché des carburants durables.

# 44 Décarbonation des processus haute température : une nouvelle approche grâce à la pyrolyse du méthane

La pyrolyse du méthane offre une possibilité prometteuse de production d'énergie décarbonée associée à une capture à long terme de CO<sub>2</sub>. L'Association pour la décarbonation de l'industrie s'est donné pour mission de faire passer cette technologie du laboratoire à la pratique, avec l'objectif clair d'un avenir durable et sans émissions.





## « La décarbonation de l'industrie, un défi de taille pour atteindre la neutralité carbone. »

Andreas Bittig

La première installation industrielle va démarrer en phase test dans le courant de l'été 2025.  
Source: sakowin green energy



par Andreas Bittig, Association pour la décarbonation de l'industrie

La décarbonation de l'industrie représente l'un des plus grands défis sur la voie qui mène à la neutralité climatique. Alors que l'électrification progresse dans le secteur de la mobilité et dans le bâtiment grâce aux pompes à chaleur, l'industrie – et plus particulièrement les processus à haute température – restent fortement émetteurs de  $\text{CO}_2$ . La solution pourrait venir d'une stratégie globale axée sur l'hydrogène, mais des obstacles infrastructurels, technologiques et économiques retardent sa mise en œuvre à grande échelle.

L'Association pour la décarbonation de l'industrie (VzDI/ApDI) poursuit une approche innovante qui utilise le méthane comme source d'énergie sans émettre de  $\text{CO}_2$  dans l'environnement.

### Naissance de l'initiative

L'initiative a été lancée en 2022 par l'Empa en qualité de partenaire scientifique, le site du Tech Cluster Zug et le fabricant d'électroménager V-ZUG dans le but de développer et de mettre en pratique des solutions faiblement émettrices pour les processus industriels. Le potentiel du procédé et l'ur-

gence à trouver de nouvelles pistes de décarbonation ont séduit une douzaine de nouveaux partenaires et débouché sur la création de l'Association pour la décarbonation de l'industrie, toujours en 2022. Aujourd'hui, les partenaires Accelleron, AMAG, AVAG, Empa, Holcim, le canton de Zoug, Metall Zug, Partners Group, Sakowin, SHL Medical, Siemens, Sika, Sulzer, Swiss Safety Center, Tech Cluster Zug, V-ZUG, VZ Depotbank et WWZ apportent un soutien humain, technique et financier à l'initiative.

### La pyrolyse du méthane

La pyrolyse du méthane est un procédé qui décompose le méthane ( $\text{CH}_4$ ) en hydrogène ( $\text{H}_2$ ) et en carbone solide (C) à haute température sans libérer de  $\text{CO}_2$ . L'hydrogène ainsi obtenu peut être utilisé directement comme source d'énergie.

La technologie a été testée avec succès en laboratoire, mais son industrialisation bute sur plusieurs obstacles :

- Obstacles technologiques : la pureté de l'hydrogène doit être garantie pour permettre des applications industrielles. Il s'agit notamment d'éviter autant que possible, au niveau du procédé même, la présence d'impuretés carbonées comme



Dès 2026, un premier client va être livré en Suisse. Source : sakowin green energy

l'acétylène ou les hydrocarbures aromatiques. Il en va de même pour le carbone, qui doit, pour de nombreuses applications, répondre à des exigences de qualité élevées.

- Recherche de partenaires et de composants : le développement d'une chaîne de production industrielle exploitée en continu exige des approches novatrices et des compétences poussées de la part des membres de l'association et de ses partenaires.
- Adaptation des infrastructures : les réseaux de distribution et infrastructures de processus existants doivent être adaptés pour fonctionner à l'hydrogène.

Malgré ces nombreux défis, la VzDI/ ApDI est optimiste : la première installation industrielle produisant 10 kg d'hydrogène par heure sera mise en service en phase test dès l'été 2025 et V-ZUG sera le premier client à être approvisionné en hydrogène dans le courant de l'année 2026.

#### **La valorisation du carbone : le facteur décisif**

L'objectif de l'initiative est l'utilisation complète de toutes les énergies et matières produites en tant que matériaux valorisables. La chaleur résiduelle sera destinée aux process industriels ou au chauffage, l'hydrogène servira d'agent énergétique pour les processus haute température. Pour chaque kilogramme d'hydrogène, on obtient environ trois kilogrammes de carbone. Pour assurer des débouchés exploitables à ces quantités de carbone issues d'une production à l'échelle industrielle, plusieurs pistes sont envisageables :

- le noir de carbone destiné aux applications industrielles
- le carbone en tant qu'additif pour le secteur du bâtiment

- le carbone en tant que composant élémentaire de l'humus pour une agriculture durable

Le défi consiste à ne pas brûler le carbone obtenu, sous peine de libérer à nouveau du CO<sub>2</sub>. Il faut au contraire s'assurer qu'il restera fixé de manière stable pendant des décennies ou même des siècles.

#### **Le carbone-matériau de construction : une approche prometteuse**

Une analyse des flux de matériaux industriels montre que les matériaux de construction tels que le béton, l'asphalte et les briques peuvent fixer de grandes quantités de CO<sub>2</sub> sur de longues périodes. Partant de ce constat, l'Empa, en collaboration avec certaines des entreprises citées, analyse

**Andreas Bittig** est directeur du secrétariat et chef de projet global de l'**Association pour la décarbonation de l'industrie (VzDI/ApDI)**. L'association entend être une plateforme neutre qui associe des acteurs venus du monde scientifique et économique. Cette étroite coopération permet de développer et de mettre en œuvre rapidement des innovations grâce à la somme des compétences réunies. Depuis la création de l'association en mars 2022, des étapes importantes ont été franchies, avec la mise en service d'un laboratoire, puis d'une installation d'essai dont le démarrage est prévu pour 2025. Dès l'été 2026, celle-ci devrait fournir de l'hydrogène, du carbone et de la chaleur résiduelle aux clients déjà mentionnés.



Par pyrolyse, le méthane est décomposé en hydrogène gazeux et en carbone solide. Source : sarkowin green energy

les matériaux de construction existants et nouveaux pour valoriser le carbone issu de la pyrolyse du méthane. L'un des produits les plus prometteurs est un béton léger déjà utilisé comme démonstrateur. Parallèlement, le carbone est testé comme liant pour les colles.

#### **Le carbone utilisé pour la reconstitution de l'humus et la protection du climat**

Outre son utilisation dans les matériaux de construction, le carbone offre également un grand potentiel dans les applications agricoles parce qu'il est l'un des composants de l'humus. Le carbone contribue à former des agrégats de sol qui présentent une meilleure aération et une meilleure circulation de l'eau. L'érosion s'en trouve réduite, le travail du sol facilité et la croissance des racines améliorée.

L'humus à haute teneur en carbone permet en outre de stocker de grandes quantités d'eau qui restent disponibles pendant de longues périodes. Les plantes sont ainsi mieux protégées contre le stress hydrique et les besoins en irrigation sont réduits – un avantage décisif face à l'augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes.

En outre, le carbone sert de source d'énergie aux micro-organismes du sol. Ceux-ci jouent un rôle clé dans la décomposition des matières organiques et la transformation des nutriments en formes assimilables par les végétaux.

De plus, le carbone peut fixer les métaux lourds, les pesticides et d'autres polluants dans le sol, ce qui réduit leur mobilité et leur biodisponibilité. Ceci contribue à la protection des eaux souterraines et réduit la pollution de l'environnement.

L'utilisation du carbone issu de la pyrolyse du méthane pour enrichir l'humus pourrait donc être une solution innovante pour capter le CO<sub>2</sub> à long terme tout en améliorant les terres agricoles.

#### **L'utilisation de l'infrastructure existante : un atout certain**

Les acteurs de l'Association suivent avec intérêt les stratégies de la Suisse et d'autres pays européens en matière d'hydrogène. Pour ne pas dépendre exclusivement de la construction, longue et coûteuse, d'un réseau hydrogène dédié, l'ApDI/VzDI envisage de se servir du réseau de gaz naturel existant pour la distribution du méthane.

La pyrolyse du méthane intervient

alors sur le lieu de consommation, l'hydrogène étant utilisé sur place et le carbone transformé en matière solide. Les coûts de transport de l'hydrogène sont ainsi fortement réduits. Quant au carbone solide, il peut être transporté à moindre coût via les réseaux ferroviaire et routier.

#### **Opportunité d'émissions négatives**

La VzDI tente de parvenir à des émissions négatives de CO<sub>2</sub> dans le cadre de projets partenaires à Zoug et à Oman. Ceux-ci consistent à prélever du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère ou sur une source industrielle et à produire de l'hydrogène par électrolyse dans des régions où l'énergie solaire et éolienne est abondante. Ce CO<sub>2</sub> et l'hydrogène sont ensuite méthanisés et le méthane ainsi obtenu est transporté vers le lieu de consommation par les infrastructures gazières existantes (méthaniers, gazoducs). Là intervient la pyrolyse qui permet d'utiliser l'énergie de l'hydrogène localement et de fixer le carbone à long terme. Ce concept permet des émissions négatives de CO<sub>2</sub> et peut ainsi contribuer de manière importante à la décarbonation de l'atmosphère.

