

Le bassin houiller lorrain, un territoire qui s'intéresse de longue date à l'hydrogène

Par Gilbert PITANCE

Président du conseil de l'IUT de Moselle-Est et premier directeur d'ALPHEA

Les régions dotées d'une industrie lourde et, à ce titre, fortes consommatrices d'énergie ont toujours travaillé sur le long terme, s'appuyant notamment sur des études prospectives. L'une d'elles, la Lorraine, a vécu la fin de ses activités sidérurgiques et charbonnières.

La naissance de la production d'électricité nucléaire à Cattenom a suscité l'engagement d'une réflexion sur la production massive d'hydrogène, une réflexion menée dans le cadre d'une cellule de veille technologique et de différents essais et études réalisés dès 1995.

Sa proximité avec l'Allemagne voisine a permis à la région Lorraine d'initier des contacts fructueux avec des organismes poursuivant le même but qu'elle, celui du développement d'une filière hydrogène.

Les données collectées et l'élan donné par l'association ALPHEA ont permis, malgré l'arrêt de l'activité de cette structure en 2017, d'opérer un rebond dans le cadre de la mise en œuvre des stratégies nationales Hydrogène respectives de la France et de l'Allemagne, notamment en proposant à l'espace transfrontalier considéré une activité de remplacement lors de l'arrêt de l'une des dernières centrales au charbon encore en activité en France, celle de Émile-Huchet à Saint-Avold (en Moselle).

Le 3 mai 1996, a été inauguré, à Forbach, le pôle Hydrogène ALPHEA, organe exécutif de l'Association lorraine pour la promotion de l'hydrogène et de ses applications, inscrite au registre du commerce depuis janvier 1986. La volonté des acteurs était de lancer en Moselle-Est, et plus généralement en Lorraine, une véritable filière hydrogène en substitution des activités en déclin liées au charbon, dont la fermeture était programmée.

Les membres fondateurs de cette association furent la région Lorraine et le district de Forbach, EDF-GDF, les houillères du bassin de Lorraine et Usinor-Sacilor. Un des faits initiateurs de cette démarche était d'utiliser l'électricité fatale de la centrale nucléaire de Cattenom pour produire massivement de l'hydrogène par électrolyse et utiliser celui-ci dans la mobilité et les nouvelles applications industrielles, telles que la sidérurgie.

Cette initiative avait pour but de combler un vide français vis-à-vis du Canada, de l'Allemagne, du Japon et des États-Unis à travers le développement de l'hydrogène-énergie en Moselle et de répondre ainsi au grand projet « Euro Québec Hydro Hydrogen Pilot Project », qui prévoyait de produire massivement de l'hydrogène dans le nord canadien et de le transporter sous forme liquéfiée jusqu'à Hambourg. Des contacts réguliers furent initiés avec la fondation allemande LBST (Ludwig Bolkow System Technik).

ALPHEA a rapidement trouvé sa place dans le monde de l'hydrogène ; elle a d'ailleurs été invitée à intervenir dans le cadre d'un séminaire franco-russe organisé en 1996 à l'Académie des sciences.

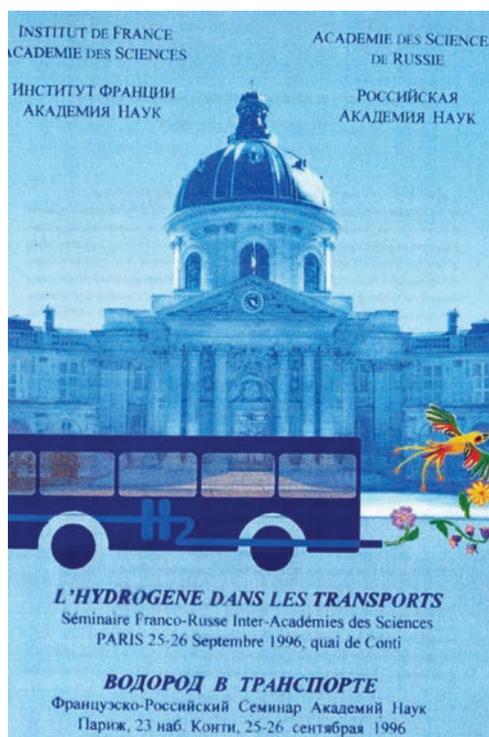


Figure 1 : Affiche annonçant le séminaire franco-russe organisé en septembre 1996 sur la thématique « L'hydrogène dans les transports ».

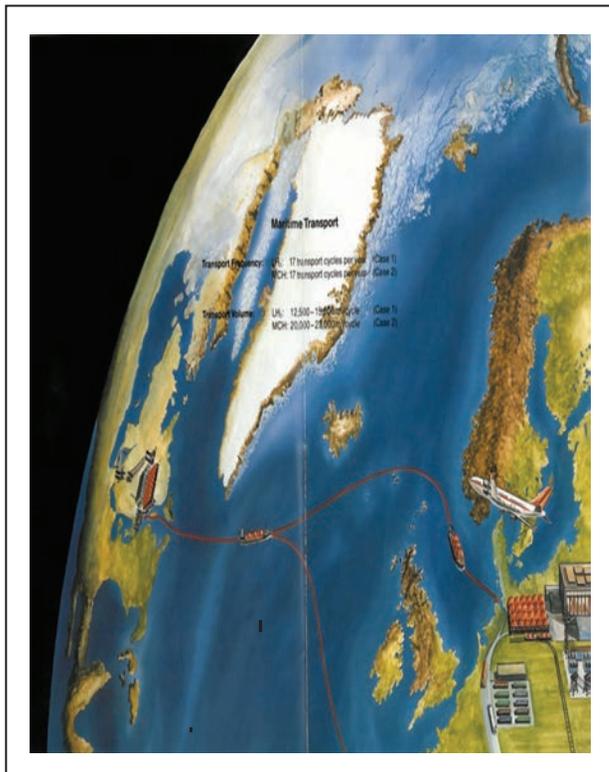


Figure 2 : Itinéraire prévu pour le transport de l'hydrogène liquide via l'Atlantique Nord dans le cadre de l'Euro Quebec Hydro Hydrogen Pilot Project – Source : LBST.

Les travaux d'ALPHEA, qui s'appuyaient sur un effectif de trois à cinq personnes, portaient sur la veille technologique, l'acculturation des entreprises à l'hydrogène et la préparation de dossiers d'innovation.

De nombreuses entreprises ont rejoint ALPHEA, qui, en 2014, présentait la configuration restituée dans la Figure 3 ci-après.

ALPHEA Hydrogène a aussi compté parmi ses membres, notamment : Renault, laSNCF, GRTgaz, Airbus Groupe, CEA, IFP EN, France Télécom, AREVA et Buderus.

Les activités d'ALPHEA ont été stoppées au bout d'une vingtaine d'années par manque de financement et l'absence d'une locomotive industrielle au niveau local. En 2017, l'association a dû mettre fin à ses activités.

Des projets innovants ont néanmoins été initiés par ALPHEA Hydrogène

2004 : La pile à combustible pour bornes interactives – PACBI

Le projet PACBI avait pour finalité d'apporter la démonstration de la faisabilité du fonctionnement en milieu urbain d'une borne interactive de stationnement équipée d'un système à pile à combustible de faible puissance.

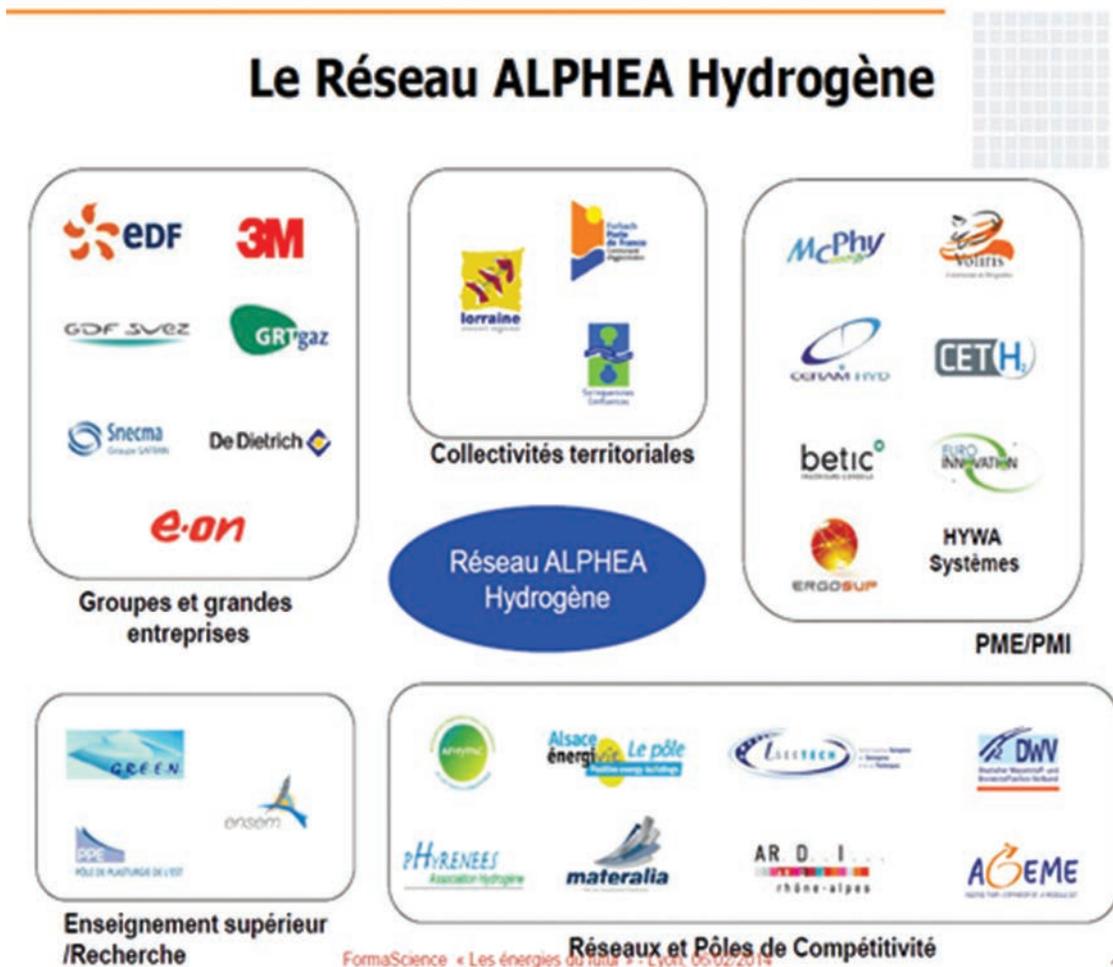


Figure 3 : Les entreprises et autres structures composant le réseau ALPHEA en 2014.

Étaient associés dans ce projet : ALPHEA, France Télécom, Paxitech, Technolia, A3SI-ENSAM et le laboratoire GREEN.

Sur la base d'un cahier des charges technique élaboré par l'ensemble des partenaires, un module à pile à combustible de faible puissance (environ 40 kWe) a été développé en vue de son intégration, avec son système de stockage, dans la borne de stationnement et un autre l'a été pour l'alimentation externe de celle-ci. Ce dernier a permis d'étudier une solution d'alimentation externe potentiellement applicable à un groupe de plusieurs bornes.

La borne a été construite et testée avec succès en laboratoire, mais elle a été jugée commercialement inadéquate pour son installation en ville.

2010 : contribution d'ALPHEA à des travaux sur les aspects réglementaires du développement de l'hydrogène-énergie

ALPHEA Hydrogène a animé, avec l'Ademe et l'Association française de l'hydrogène, Réglementat'Hy'on, un groupe de travail sur les aspects réglementaires du développement de l'hydrogène-énergie et des piles à combustible. Ces travaux ont abouti à la publication de la brochure « Pourquoi une réglementation adaptée à l'hydrogène-énergie ? ».

Le préambule de cette brochure indique : « Ce document est le fruit de la volonté de plusieurs acteurs de la filière hydrogène-énergie et piles à combustible qui se sont organisés dans un groupe de travail nommé Réglementat'Hy'on ». Ce groupe de travail a été intégré à la plateforme nationale HyPaC, dont le comité de direction a réaffirmé l'importance prioritaire de cette action réglementaire.

Ce rapport a été élaboré à partir de retours d'expérience : à cette fin, un questionnaire a été spécifiquement mis au point et envoyé à certains coordinateurs de projets qui s'étaient déjà déroulés ou étaient en cours sur le sol français. Complémentaire du rapport de l'INERIS intitulé « Points réglementaire et normatif sur l'hydrogène en 2009 » (DRA-09-101596-02693A), ce document illustre par des exemples concrets les problèmes d'inadéquation de la réglementation française alors en vigueur par rapport aux nouvelles technologies de production, de stockage et d'utilisation de l'hydrogène-énergie et des piles à combustible. Les textes réglementaires spécifiques à l'application de ces technologies dans le domaine maritime et le domaine fluvial ont fait l'objet d'études menées par un groupe de travail dédié, créé dans le cadre de la mission Hydrogène Pays-de-Loire. Certains résultats des travaux de ce groupe figurent dans le rapport Réglementat'Hy'on.

Ce rapport propose des recommandations en matière d'actions à engager pour faire évoluer la réglementation. Il se veut être le point de départ de futurs travaux qui seront à mener en concertation avec les différents acteurs concernés : ministères, instances réglementaires et normatives, organismes certificateurs, organismes de contrôle, services de sécurité et d'incendies, assureurs, industriels, etc.



Figure 4 : Page de couverture du rapport élaboré par le groupe de travail Réglementat'Hy'on.

Sur la même période, le projet Horizon Hydrogène énergie (H2E), lancé en 2009 pour se réaliser sur une durée de sept ans. Doté d'un budget de plus de 180 M€, ce projet a rassemblé dix-neuf partenaires industriels et académiques et a visé à contribuer à l'émergence d'une filière hydrogène-énergie durable et compétitive en France et en Europe.

Ce programme était composé de plusieurs lots, dont l'un concernait le contrôle périodique des réservoirs pour en déceler d'éventuels défauts. L'objectif était de proposer des critères d'acceptation-rejet pour un contrôle par émission acoustique capable d'identifier les réservoirs ayant subi une réduction de leurs performances mécaniques. Ce projet a été mené par l'Institut de soudure, Georgia Tech Lorraine et le Centre de recherche en automatique de Nancy.

2012 : Stockage solide de l'hydrogène, le projet HYDOR

Le groupe E.ON a porté ses efforts de recherche et développement sur le stockage d'énergie avec la mise en œuvre d'un démonstrateur commercialisé par McPhy Energy sur le site de la centrale Émile-Huchet à Saint-Avoid (en Moselle). Il s'agit de tester un nouveau procédé de stockage de l'hydrogène sous forme solide dans des conditions industrielles.

L'unité de stockage, qui peut contenir jusqu'à 4 kg d'hydrogène, est adossée aux équipements de la tranche thermique au charbon de 600 MWe fonctionnant sur le site. Il s'agit d'une technologie innovante de stockage de l'hydrogène sous forme solide, à savoir sous forme d'hydrures de magnésium.



Figure 5 : L'unité de stockage de l'hydrogène implantée sur le site de Saint-Avold.

2013 : Lancement d'une étude nationale sur les véhicules fonctionnant à l'hydrogène

L'initiative « Mobilité Hydrogène France » est portée par un consortium rassemblant vingt et un partenaires des secteurs de l'énergie et des transports, qui sont : Air Liquide, Alphéa Hydrogène, AREVA, CEA, CETH2, EDF, GDF SUEZ, GRTgaz, IFPEN, INEVA-CNRT, Intelligent Energy, ITM Power, Linde, Michelin, McPhy Energy, pôle Véhicule du futur, PHyRENEES, Solvay, Symbio FCell, Tenerrdis et WH2. Y participent également des experts du FCH-JU (Fuel Cells & Hydrogen Joint Undertaking), de l'Ademe, du Commissariat général à la stratégie et à la prospective (CGSP) et de la direction générale de l'Énergie et du Climat (DGEC).

Cette vision qui est partagée par vingt autres organismes, a pour objectif de produire par l'ensemble des partenaires un plan chiffré, économiquement compétitif et étayé de déploiement d'une infrastructure privée et publique d'hydrogène sur la période 2015-2030. Cette étude s'inscrit dans la continuité du débat national sur la transition énergétique.

À noter que les acteurs privés et publics concernés aux niveaux régional, national et international, qui sont fédérés au sein de l'Association française de la filière (AFHyPaC), laquelle est placée sous l'égide des ministères de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, vont élaborer, sur la base de données partagées, des scénarios de déploiement synchronisé de véhicules à hydrogène et de stations de ravitaillement (voir les Figures 6 et 7 de la page suivante).

2014 : Chauffage urbain EPILOG

Inauguré à Forbach, en Lorraine, le projet Epilog, soutenu par l'Ademe dans le cadre de l'appel d'offres Titec et porté par GrDF, repose sur l'expérimentation en conditions réelles de chaudières à pile à combustible au gaz naturel. Idéale pour une utilisation dans l'habitat, cette technologie innovante a vocation à permettre une réduction des factures d'électricité et de chauffage.

Source de chaleur, cette technologie innovante, qui permet de fournir de l'eau chaude et même un peu d'électricité, promet des réductions conséquentes des factures de consommation d'énergie des ménages, des économies de l'ordre de 40 %. Partant de cette promesse, le projet est né d'un constat simple : la pile à combustible a atteint une maturité suffisante pour sortir des laboratoires et faire l'objet de tests en « conditions réelles ».

Trois sites ont été retenus. Le premier module a été installé dans un gymnase, le second dans un établissement recevant du public, en l'occurrence une crèche de quartier, et le dernier dans un ensemble de deux logements collectifs de 120 m².

2017 : Le projet FaHyence conduit à Sarreguemines

FaHyence est le fruit d'un partenariat entre EDF, EIFER, McPhy, Symbio Fcell et la communauté d'agglomération de Sarreguemines Confluences (CASC). Au niveau national, d'autres projets sont finalisés ou en cours d'élaboration : ainsi, HyWay est opérationnel depuis l'été 2018 sur le site du CEA de Grenoble, deux autres projets sont en développement à Rodez et Nantes.

Opérationnelle depuis le 6 avril 2017, la station de recharge d'hydrogène FaHyence de Sarreguemines est la première station en Europe à produire sur site de l'hydrogène par électrolyse à partir de l'électricité renouvelable fournie par EDF lors des pics de production. Cet électrolyseur est couplé à une station hydrogène d'une capacité journalière de 40 kg représentant les besoins en alimentation de 20 à 25 véhicules par jour pour des charges à des pressions de 350 à 420 bars.

Afin d'assurer une utilisation régulière de la station, une dizaine de véhicules circulent actuellement dans l'agglomération : des Kangoo ZE électriques, propriété de la CASC, ont été équipés par la société Symbio d'une pile à combustible qui fonctionne comme un prolongateur d'autonomie.

Ce sont des piles à combustible à membrane polymère (PEMFC) qui consomment de l'hydrogène pur et n'émettent donc pas de gaz à effet de serre. Les autonomies observées sont de l'ordre de 350 km, dont 200 km assurés grâce à une batterie Li-ion de 33 kWh et 150 km grâce à une PEMFC à hydrogène de 5 kW.

La station de recharge, sans être en accès libre, est ouverte à tous les véhicules aussi bien français qu'étrangers roulant à l'hydrogène, après avoir formulé une demande d'autorisation auprès de l'agglomération.



Figure 6 : H₂ Mobilité France, le plan de développement des véhicules roulant à l'hydrogène.

Avantage non négligeable de cette expérimentation : le plein d'hydrogène est totalement gratuit. De ce fait, se sont rajoutés à la flotte captive de la CASC neuf utilisateurs supplémentaires achetés par des partenaires et des particuliers allemands et belges, qui se sont réjouis de pouvoir remplir sans déboursier un euro le réservoir de leurs véhicules à Sarreguemines.

FaHyence fait partie du projet européen H2ME FCH-JU, qui vise à déployer 49 stations-services à hydrogène et à produire 1 400 véhicules utilisant ledit gaz. À côté de l'électro-mobilité et du biométhane, l'hydrogène est le troisième axe du volet Mobilité durable de FaHyence. Il reste un laboratoire d'observation privilégié et un démonstrateur de procédés.

L'appropriation par les utilisateurs ne semble pas avoir posé de problème. L'aspect classique de la station et un mode opératoire de remplissage semblable à un

approvisionnement conventionnel ont permis de limiter au minimum les phases de l'apprentissage des utilisateurs. Certes, des améliorations peuvent encore être apportées dans l'ergonomie du raccordement et dans les interactions avec l'utilisateur, mais force est de reconnaître que le système reste d'une grande simplicité d'utilisation. Comparées aux nombreuses heures nécessaires à la recharge des véhicules électriques conventionnels, les quatre minutes nécessaires pour effectuer un plein d'hydrogène semblent anecdotiques.

La station comporte un électrolyseur alcalin d'une capacité de production d'hydrogène de 1,8 kg/h, ce qui nécessite de consommer environ 50 litres d'eau par kilogramme d'hydrogène produit. À cela s'ajoute une station de compression à deux niveaux : un premier niveau allant jusqu'à 30 bars et un second équipé d'un système de refroidissement allant jusqu'à - 20°C, permettant d'atteindre des pressions de 420 bars.



Figure 7 : Les membres du consortium H₂ Mobilité France.

Le projet FaHyence – cette initiative portée par l'agglomération de Sarreguemines, territoire à énergie positive pour la croissance verte – s'inscrit au cœur du plan Climat que la CASC met en œuvre en partenariat avec McPhy Energy, EDF, l'institut EIFER (European Institute for Energy Research, laboratoire commun à EDF et à l'Université de Karlsruhe en Allemagne), l'association Alpha Hydrogène et Haskel.

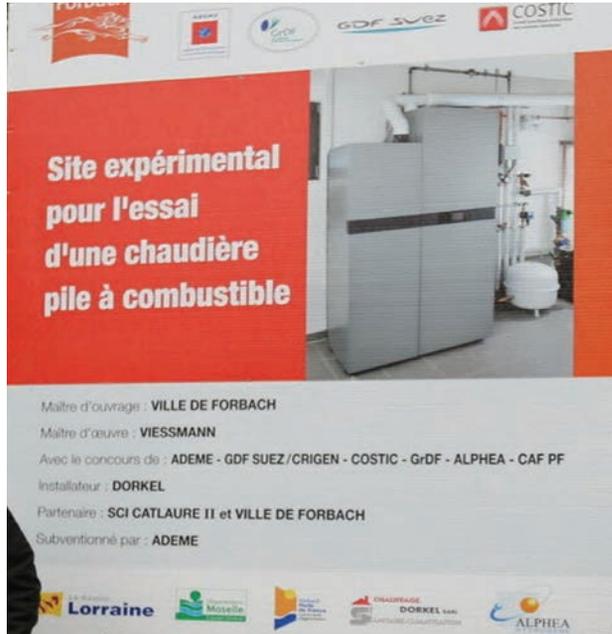


Figure 8 : Depuis 2014, un test national est mené à Forbach concernant trois chaudières fonctionnant à l'hydrogène, grâce à une pile à combustible.



Figure 9 : FaHyence, la première station de production d'hydrogène en France connectée à un électrolyseur.

2019 : Lancement de DINAMHySE

La fin de l'activité de l'association ALPHEA en 2017 n'a pas signé l'arrêt du développement de projets. En effet, le travail notamment d'acculturation effectué par cette association a créé un climat qui a permis de maintenir un esprit de veille technologique et ainsi d'être

très réactif lors de l'arrêt de la tranche Charbon de la centrale Émile-Huchet à Saint-Avold. La concomitance de la décision d'arrêt de cette centrale qui marquait la fin définitive de l'activité charbon en Lorraine et la publication le 9 septembre 2020 de la stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France ont permis de profiter de l'impulsion donnée pour proposer la création d'activités Hydrogène dans le bassin mosellan.



Figure 10 : En 2013, un rapport parlementaire, avec comme co-auteurs le député-maire de Forbach, Laurent Kalinowski, et le sénateur, Jean-Marc Pastor, est élaboré au nom de l'Office d'évaluation des choix scientifiques et technologiques et intitulé « L'hydrogène vecteur de la transition énergétique ? ».

En janvier 2019, la création de DINAMHySE dans le cadre du pôle Véhicule du futur à Mulhouse a permis à la région Grand Est de répondre présente lors du lancement du plan national Hydrogène et d'apporter sa contribution à travers ce qui restait d'ALPHEA pour réaliser l'étude sur la création d'une filière Hydrogène en Moselle.

Ainsi, ALPHEA, pôle de compétences Hydrogène suivi par l'AFHY PAC créée en 1998, a balisé le chemin conduisant à la création de France Hydrogène en 2020.

Conclusion

On peut se demander pourquoi l'enthousiasme, ou plutôt l'emballement constaté à la charnière des années 2000 est retombé, avant de réapparaître aujourd'hui. Les raisons en sont nombreuses :

- La consommation d'énergie dans les transports et l'industrie, mais aussi celle nécessaire pour satisfaire les besoins de la vie courante ont continué à croître, malgré la prise de conscience croissante des impacts du réchauffement climatique. Ainsi, l'augmentation des déplacements et celle de la consommation des automobiles (climatisation, éléments de confort auxiliaires) ont neutralisé les progrès réalisés dans la réduction de la masse des véhicules et le rendement des moteurs.
- On n'a pas observé dans la décarbonation de l'industrie (chimie, sidérurgie, engrais) l'essor de solutions qui nécessitent une production massive et permanente d'hydrogène.

- Ont également joué le maintien à un niveau extrêmement bas du prix des hydrocarbures, sauf en périodes de tension (à titre d'exemple, en novembre 2021, le coût d'un litre d'essence raffiné hors taxe était voisin de celui d'un litre d'eau minérale), ainsi que les difficultés de mise en place de la taxe carbone.
- Le prix compétitif des turbines à gaz a installé durablement ces équipements dans les réseaux électriques.
- Le coût élevé des investissements hydrogène et le manque d'offres des constructeurs (piles à combustible automobile, stockage, stations de remplissage, etc.) n'ont donc pas incité au développement de la filière considérée.
- L'absence de visibilité et la crainte pour les opérateurs de devoir développer un réseau d'infrastructures de distribution sans qu'il y ait de consensus sur le mode à retenir pour l'alimentation des stations correspondantes (installe-t-on l'électrolyseur directement sur place ou alimente-t-on la station en hydrogène par camion ?), combinées à la faiblesse de l'offre d'automobiles à hydrogène, n'ont, elles aussi, pas joué en faveur du développement de la filière.

Aujourd'hui, les politiques nationales et européennes sont clairement affichées. La fin du moteur à combustion en Europe, qui doit être effective en 2035, va accélérer la transition mobilité et permettre l'émergence du segment de la mobilité intensive (bus, camions) qui semble être destiné à utiliser l'hydrogène. La situation géopolitique actuelle qui remet au goût du jour les questions de souveraineté technologique et d'indépendance énergétique va demander un effort d'imagination pour arriver à se passer des matériaux critiques et favoriser le développement des technologies et procédés nouveaux dans la production, le stockage et l'utilisation de l'hydrogène.

Mais, surtout, la prise de conscience des effets du réchauffement climatique alliée à une pédagogie grand public de la transition énergétique est et sera le fait déclencheur de l'avènement d'une société décarbonée.

Au niveau français, l'existence d'une électricité compétitive alliée à un réseau interconnecté n'incitait pas, du moins jusqu'à aujourd'hui, les opérateurs à miser sur le stockage de l'électricité sous forme d'hydrogène.