

# BUS À HAUT NIVEAU DE SERVICE DE L'AGGLOMÉRATION PAU BÉARN PYRÉNÉES

**PAU** Béarn  
Pyénées  
Communauté d'Agglomération



**Pau Porte des Pyrénées**  
Syndicat mixte des transports urbains

Présentation du matériel roulant jeudi 31 août 2017





*L'agglomération de Pau Béarn Pyrénées fait le choix de **l'innovation hydrogène** pour une solution "**zéro émission**" et transforme un mode de transport quotidien en **un projet environnemental et humain.***

## **François Bayrou**

*Président de la Communauté d'agglomération Pau Béarn Pyrénées*

*Maire de Pau*

---



*Au travers du choix d'une motorisation innovante, le Syndicat Mixte des Transports Urbains de l'agglomération paloise donne tout son sens à **la vocation environnementale de la mobilité collective.***

## **Nicolas Patriarche**

*Président du Syndicat Mixte des Transports Urbains*

*Vice-président de la Communauté d'agglomération Pau Béarn Pyrénées*

## Pau équipera sa future ligne de Bus à Haut Niveau de Service de bus électriques à hydrogène

**Au terme d'une procédure de dialogue compétitif avec différents fournisseurs de véhicules, le Syndicat mixte des Transports Urbains de l'agglomération Pau Béarn Pyrénées a retenu une solution de bus à traction électrique dont l'électricité sera générée à bord du véhicule par une pile à hydrogène. L'hydrogène sera également produit sur place, à partir d'électrolyse de l'eau.**

Pour mener à bien ce projet, un contrat a été conclu avec un groupement composé du fabricant de bus VAN HOOL, et des fournisseurs d'énergie ENGIE, via sa filiale GNVert, et ITM Power :

- **ENGIE**, mandataire du groupement et sa filiale **GNVert** apporteront leur savoir-faire pour l'exploitation de la station pendant les 15 années du contrat.
- **Van Hool**, fournira le véhicule « Exquicity », bus articulé de 18 mètres, et assurera un service de maintenance intégrale, comprenant notamment la formation du personnel de la STAP, qui doit s'approprier cette nouvelle technologie ;
- **ITM Power**, construira l'unité de production et de distribution de l'hydrogène vert par électrolyse ;

**Si de nombreux de bus à hydrogène circulent depuis près de 20 ans maintenant, en Europe et dans le monde, ce choix constitue une première en France.**

**Il s'agira également d'une première mondiale** : la première ligne de transports collectifs en site propre (TCSP), ou Bus à Haut Niveau de Service (BHNS) de 18 mètres, équipée de bus articulés à hydrogène.

L'acquisition de la flotte de 8 véhicules « zéro émission » et de l'infrastructure de production et de distribution d'hydrogène représentent un investissement de 13,5 M€. Près de 7 M€ de subventions régionales et européennes sont d'ores et déjà acquises notamment dans le cadre des programmes développés par le Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking.

S'agissant de l'émergence d'un nouveau vecteur énergétique, l'hydrogène implique des enjeux politiques à différentes échelles territoriales qui dépassent le simple choix du matériel roulant pour le BHNS. Le choix de Pau peut fortement contribuer à la création d'un environnement favorable au développement de la filière hydrogène en France.

**Avec ce choix, Pau s'inscrit pleinement dans son projet de métropole moderne au cadre de vie privilégié, et contribue aux objectifs de la Loi de Transition Énergétique et de la COP21.**

# Sommaire

**P5** LE CHOIX DE  
L'INNOVATION  
HYDROGÈNE,  
UNE SOLUTION  
"ZÉRO ÉMISSION"

---

**P12** L'HYDROGÈNE,  
UNE TECHNOLOGIE  
MAÎTRISÉE ET SURE

**P16** PRODUIRE DE  
L'HYDROGÈNE "VERT":  
VERS LA CRÉATION D'UNE  
VÉRITABLE FILIÈRE LOCALE  
D'AVENIR, AU SERVICE DE LA  
TRANSITION ÉNERGÉTIQUE  
ET DU TERRITOIRE

---

**P18** HISTOIRE ET AVENIR  
DES TRANSPORTS  
ÉLECTRIQUES  
À HYDROGÈNE  
UNE SOLUTION PERFORMANTE  
QUI SE DÉPLOIE EN EUROPE  
ET DANS LE MONDE

---

**P22** PRÉSENTATION  
DES COLLECTIVITÉS,  
DES ENTREPRISES  
DU GROUPEMENT  
ET PARTENAIRES

# LE CHOIX DE L'INNOVATION HYDROGÈNE, UNE SOLUTION "ZÉRO ÉMISSION"



# Le mode de transport d'une capitale humaine

## Pau équipera sa future ligne de Bus à Haut Niveau de Service de bus électrique à hydrogène

Pau est une capitale moderne qui s'est donnée pour ambition majeure de privilégier un développement humain harmonieux, la qualité de vie, et le respect de l'environnement.

Pour développer et accomplir cette ambition, il est nécessaire d'assumer une forte volonté politique en faisant des choix qui soient résolument innovants, et à la fois fondés sur des critères solides tant en termes économiques que techniques.

Les transports en commun sont les artères de ce cœur battant de la ville humaine que nous voulons développer. Construire une ligne de bus en site propre, à « haut niveau de service », devait donc s'envisager en recherchant la solution à la fois la plus vertueuse et la plus performante : une solution « zéro émission » pour la ville et les citoyens, mais qui soit aussi en mesure de répondre aux exigences techniques et économiques de l'agglomération et de l'exploitant.

C'est donc à l'issue d'un long travail d'étude de nos équipes depuis 2015, puis d'une consultation publique lancée en 2016 pour l'acquisition du matériel roulant et de son approvisionnement énergétique que le choix d'une solution électrique hydrogène s'est imposé. **Pour mener à bien ce projet enthousiasmant, c'est le groupement ENGIE (exploitation de la station), Van Hool (véhicules), ITM Power (unité de production de l'hydrogène vert) qui a été retenu.**

Les bus électriques à hydrogène se déploient dans le monde depuis une dizaine d'années, notamment en Europe du Nord et en Italie, ainsi qu'aux Etats-Unis. Les grands pays asiatiques leaders de l'économie mondiale sont aussi engagés sur cette voie : Japon, Corée et Chine. En Chine, la subvention pour l'achat d'un bus H<sub>2</sub> est 9 fois plus élevée que celle pour un bus électrique... Le chinois Zhongshan Broad-Ocean Motor est devenu en 2016 le plus gros actionnaire du leader Canadien Ballard, fabricant de piles H<sub>2</sub> pour bus en vue de produire et commercialiser 10 000 systèmes en Chine, et le chinois Blue-G a fait quant à lui l'acquisition de 1 000 systèmes Hydrogenics pour bus en juin 2017 !

**Le nouveau transport de l'agglomération paloise inauguré en 2019 sera quant à lui le 1<sup>er</sup> bus électrique pile à hydrogène en France, et le 1<sup>er</sup> basé sur cette technologie d'avenir en format 18 mètres pour exploiter une ligne à Haut Niveau de Service. Ce sera donc le premier BHNS hydrogène au monde.**



## LE VÉHICULE EXQUICITY DE VAN HOOL



personnalisation propre à Pau encore à l'étude

### Un projet au service de la qualité de vie urbaine

La création de la ligne BHNS et le choix d'un matériel roulant « zéro émission » vont projeter l'agglomération dans un futur plus durable, en contribuant de façon significative à l'amélioration de la qualité de vie urbaine à Pau.

Tout d'abord parce que les aménagements urbains réalisés dans le cadre de ce projet BHNS vont rénover et transformer positivement le visage de la ville par l'aménagement de pistes cyclables, la mise en accessibilité des espaces publics, la régénération et le renforcement végétal, la remise à neuf des voiries et des réseaux, et enfin la création de parcs relais (P+R).

Le choix d'un bus dit à « Haut Niveau de Service » signifie le déploiement d'un réseau de transport fiable et accessible à tous, qui permet au voyageur de vivre une expérience inédite du transport collectif (confort, utilités à bord, sécurité). L'attractivité d'un tel bus est de nature à transférer davantage de trafic urbain du véhicule particulier vers le transport en commun, en réduisant les émissions polluantes et en fluidifiant le trafic.

Enfin, le bus électrique à hydrogène est un bus « zéro émission » au point de fonctionnement : il n'émet qu'un peu de vapeur d'eau pure, aucun gaz à effet de serre, aucune particule polluante, et est vraiment silencieux. Pour le voyageur à bord, c'est aussi très confortable : silence, accélérations sans à-coups, aucune vibration de moteur ou de transmission. Sachant que l'hydrogène du BHNS sera produit localement au dépôt de bus par électrolyse de l'eau, il s'agit bien d'une solution très propre car cet hydrogène est renouvelable et décarboné.

### LES CARACTÉRISTIQUES DU BHNS DE L'AGGLOMÉRATION PALOISE

- Les bus seront fabriqués par Van Hool constructeur belge leader européen des bus à Piles H<sub>2</sub>.  
Leurs caractéristiques techniques :

|  |   |
|--|---|
| Constructeur                           | Van Hool  |
| Dimensions (en mm)                     | L x l x h = 18.6 x 2.5 x 3  |
| Autonomie                              | 240 km  |
| Type de véhicules                      | Exquicity - <a href="http://www.exquicity.be">http://www.exquicity.be</a> |
| Pile H <sub>2</sub>                    | FC Velocity HD100 de Ballard de 100kw                                     |
| Nombres de litres de diesel économisés | env. 31100 (par an/par bus)   |
| Emission                               | Zéro émission   |
| Nombre de bus                          | 8   |



## Pau, une agglomération engagée pour le climat

La communauté internationale se mobilise pour le Climat à travers la COP21 (Conference of The Parties). L'Europe engage de nombreuses actions en ce domaine. L'hydrogène est reconnu comme un vecteur stratégique de la transition énergétique. À ce titre, l'Europe supporte par exemple d'importants programmes de financement des technologies de l'hydrogène depuis une dizaine d'années, et a ratifié en 2014 une directive « carburants alternatifs » enjoignant les états membres à déployer notamment des infrastructures de recharge hydrogène. La France s'est dotée d'une Loi de Transition Énergétique, qui comporte un volet dédié aux transports en commun : le décret du 15 janvier 2017 catégorise les véhicules à faibles émissions, en mentionnant clairement les « véhicules électriques alimentés par une pile à hydrogène ».

Pau s'est engagée, et avec un grand volontarisme, dans ces initiatives stratégiques pour le climat. La Communauté d'agglomération Pau Béarn Pyrénées a depuis maintenant 10 ans déployé une véritable politique Énergie-Climat sur

son territoire. L'agglomération a ainsi été reconnue « **Territoire à énergie positive pour une croissance verte** » par le Ministère de l'environnement en 2015, et en 2016 a décidé de la mise en place d'un Plan Climat Air Énergie Territoire. La nouvelle stratégie de l'agglomération se structure notamment autour de la diminution des gaz à effets de serre, via la production d'énergies nouvelles et renouvelables, et l'élaboration d'un Plan Local d'Urbanisme Intercommunal.

Par ailleurs, le SMTU, en partenariat avec TIGF ( Transport et Infrastructures Gaz de France) et l'Université de Pau et Pays de l'Adour a élaboré un projet de développement intitulé « électromobilité intégrée : l'hydrogène comme vecteur de développement de la mobilité propre et d'intégration des réseaux énergétiques » dans le cadre de l'Appel à Projet National « Territoires Hydrogène ». Ce projet a été labellisé par le gouvernement en octobre 2016.

**Ainsi, en complète cohérence avec les stratégies nationales et européennes, Pau choisit d'être un acteur engagé et à la pointe des solutions climat et de la transition énergétique. Le projet de bus BHNS électrique à hydrogène est de ce point de vue emblématique. Il est soutenu par des programmes de financements régionaux et européens qui confortent la pertinence de ce choix.**



## La volonté de déployer des bus propres « zéro émission »

Le BHNS doit s'inscrire dans le développement d'une ville apaisée, durable, au service des citoyens tout en étant respectueuse de l'environnement. Dans la mesure où de nouvelles solutions innovantes peuvent répondre pleinement à cette ambition tout en apportant les garanties techniques et économiques nécessaires à une exploitation quotidienne et sur le long terme, le choix de véhicules silencieux, sans aucune émission de polluants et de gaz à effet de serre devait s'imposer naturellement.

Face à la multiplicité croissante des solutions innovantes que développent les constructeurs aujourd'hui, il était nécessaire de consulter largement ceux-ci, sans a priori technologique, avec pour fil conducteur des spécifications fonctionnelles claires, engageantes sur les conditions économiques d'investissement et d'exploitation, et sur la fiabilité du service à long terme.

Pour ce faire, dès le début de l'année 2016, la Communauté d'Agglomération Pau Béarn Pyrénées et le Syndicat Mixte des Transports urbains (SMTU) engagent une étude de marché approfondie auprès de tous les constructeurs de véhicules, afin de recenser les différentes solutions technologiques disponibles d'ici 2019. Cette étude est menée à bien avec enthousiasme et compétence par nos services internes, qui ont aussi rencontré les constructeurs chez eux ou dans des salons européens de transports publics.

## Un dialogue compétitif pour faire émerger la meilleure solution possible

À l'automne 2016, l'agglomération et le SMTU optent pour une procédure de dialogue compétitif, portant sur la fourniture des véhicules et des systèmes d'approvisionnement énergétique associés à la solution proposée.

La formule du dialogue compétitif permet à l'acheteur public de dialoguer avec les industriels sur leurs solutions tout au long de la procédure légale d'achat public, tout en élaborant et fixant progressivement un cadre de responsabilités partagées entre le fournisseur et l'acheteur.

Ainsi, les règles du jeu sont clairement fixées : s'assurer qu'une solution performante sur le plan environnemental est viable financièrement et fiable techniquement. Les critères de jugement se décomposaient comme suit :

Fiabilité technique  
et performances d'exploitation : 50%

Coût total de possession du véhicule  
sur sa durée de vie (15 ans) : 30%

Performances environnementales  
et esthétiques : 20%

12 candidats se sont déclarés pour recevoir un cahier des charges particulièrement complet et exigeant, grâce à l'étude de marché préalablement réalisée. Sur cette base, 6 offres ont été reçues par le SMTU dans le cadre formel légal de ce dialogue compétitif.

## Un choix final entre deux solutions technologiques

Au terme de ce dialogue compétitif, la procédure s'est achevée avec deux offres finalistes en compétition. Ces deux offres présentaient l'intérêt d'évaluer deux solutions technologiques différentes pour un bus « zéro émission ». On entend ici par zéro émission le fait de ne produire aucune émission polluante sur le parcours (bruit, gaz à effet de serre, notamment CO<sub>2</sub>, et particules polluantes).

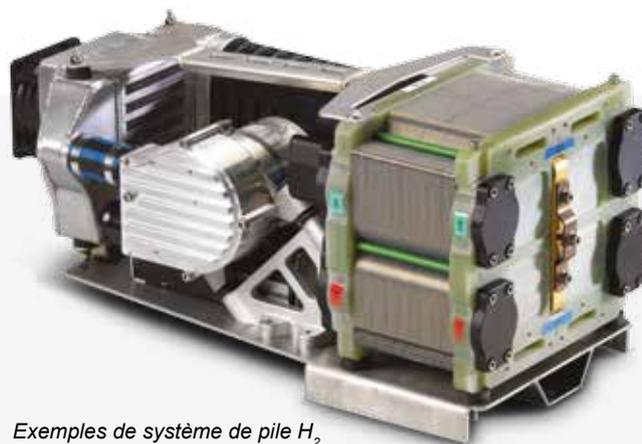
La différence entre les deux solutions électriques provient de la manière dont on stocke l'énergie pour alimenter le véhicule en électricité.

Ainsi, la première solution proposait un bus électrique équipé de batteries avec un système de recharge en bout de ligne (à chaque terminus) par pantographe.

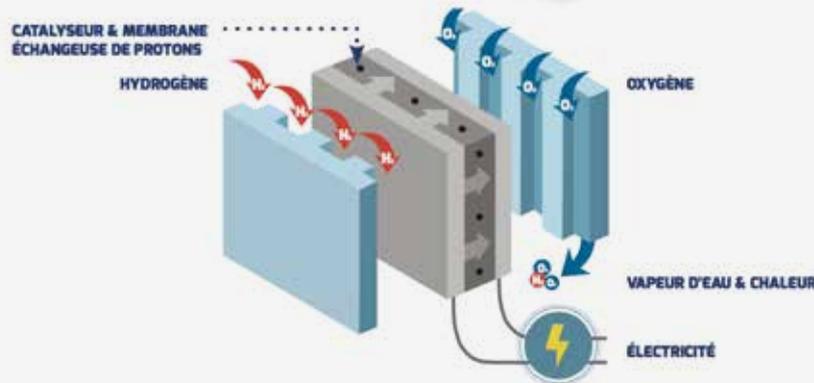
La seconde solution proposait un stockage d'hydrogène, converti en électricité à bord du véhicule grâce à une pile à hydrogène : cette technologie, utilisée depuis les années soixante dans les programmes spatiaux en lieu et place des batteries, se déploie de plus en plus dans les transports. Au moment où le véhicule en a besoin, la pile à hydrogène combine l'oxygène de l'air avec l'hydrogène stocké dans le véhicule pour produire de l'électricité. C'est une réaction électrochimique, ce n'est pas un moteur thermique : le véhicule ne « brûle » jamais d'hydrogène.

## L'HYDROGÈNE, UN CHOIX DE RAISON POUR LE BHNS DE PAU

**La pile à hydrogène est une solution fiable, dont les modalités d'exploitation sont comparables à celles des bus classiques. Son principe a été inventé au milieu du 19<sup>ème</sup> siècle, mais il faudra attendre le milieu du vingtième siècle, avec les missions Apollo, pour que les premières piles soient développées et utilisées.**



Exemples de système de pile H<sub>2</sub>



Le premier bus à hydrogène a quant à lui été mis en service en 1992, et depuis 2009, une centaine de bus à hydrogène ont parcouru en Europe 8,4 millions de kilomètres au 1<sup>er</sup> janvier 2017. Les leaders mondiaux des piles à hydrogène pour bus (les Canadiens Ballard et Hydrogenics) ont conclu des accords capitalistiques avec des constructeurs chinois pour produire et déployer des milliers de systèmes en Chine. Le bus à hydrogène sera le transport en commun de référence pour les jeux Olympiques de Tokyo en 2020.

Plus flexibles que les solutions de bus électriques à captation, les bus à hydrogène ne nécessitent pas des arrêts obligatoires en ligne pour être ravitaillés en énergie. Ils disposent d'une autonomie suffisante pour assurer une journée de service. Les bus électriques à batterie qui se rechargent au dépôt n'ont pas l'autonomie suffisante requise. La recharge électrique en bout de ligne par captation est moins adaptée aux particularités de la ligne BHNS de Pau.

En effet, pour pouvoir rouler, les bus électriques à captation sont assujettis aux infrastructures de la ligne comme un trolleybus ou un tramway. Il est ainsi exclu de dévier le circuit, ce qui posait un problème sur la ligne BHNS de Pau, notamment pour aller desservir des événements exceptionnels sur le secteur du Zénith ou du Stade d'eaux vives. Le passage aux stations de recharge est obligatoire, ce qui rendait aussi impossible d'amener le BHNS à la Gare pendant le Grand Prix de Pau sans prévoir des stations de recharges supplémentaires.

Par ailleurs, la compatibilité de recharge des bus standards de 12 mètres et des bus articulés de 18 mètres n'est pas démontrée aujourd'hui, la mutualisation du parc et le panachage des constructeurs n'est pas toujours possible car il n'existe aucune normalisation du système de recharge rapide aujourd'hui (type de pantographe, bras articulé,

connectique etc.). A l'évidence l'évolution de la flotte de bus en cas d'évolution du service et de prolongation de la ligne poserait des difficultés.

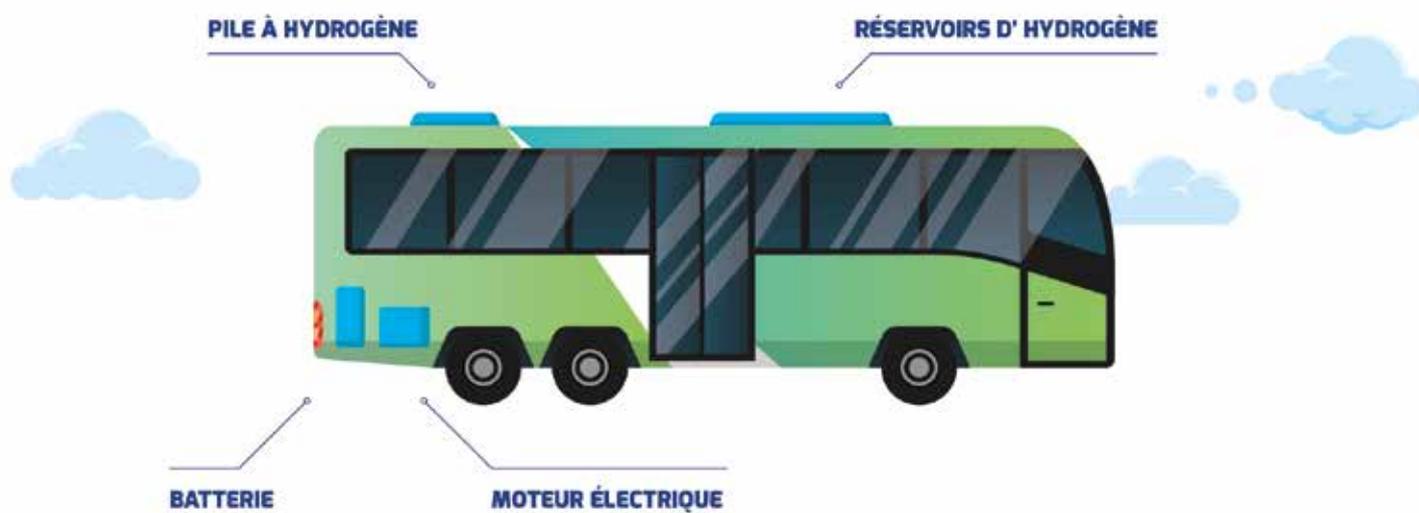
En termes d'investissement la solution hydrogène s'avère au moins équivalente à celle de l'électrique batteries avec captation, le support financier de l'Europe et de la Région Nouvelle Aquitaine permettant de gommer le différentiel de coût qui existe encore à ce jour entre des systèmes batteries bénéficiant d'une très grande économie d'échelle en termes de production industrielle, et les systèmes piles à hydrogène qui n'ont pas encore atteint les mêmes volumes. Mais les études économiques, notamment de l'Europe (European Alternative Powertrains, 2010) prévoient une baisse de coût de plus de 70% pour les piles à hydrogène d'ici à 2025-2030, qui bénéficiera aux prochaines générations de véhicules.

Pour les bus à hydrogène, il n'existe qu'une seule norme de recharge mondiale, la norme SAE-J issue du monde du gaz industriel (transcrite aussi en norme ISO). Tous les connecteurs des véhicules et toutes les stations hydrogène de tous les constructeurs sont compatibles selon le type pression (350 ou 700 bars).

L'efficacité du bus électrique à captation en service commercial est toute relative. En condition réelle d'exploitation, pour des raisons de difficultés de circulation par exemple, un véhicule qui se trouve « désheuré » par rapport à sa marche théorique, ne peut plus espérer résorber tout ou partie de son retard en jouant sur les temps de battement aux terminus – comme cela se fait habituellement sur tous les réseaux dans l'exercice de régulation en ligne – car il lui faudra encore stationner pendant la durée nécessaire de sa charge.

Les passages au point de recharge sont obligatoires (sous réserve d'une panne en ligne) et la responsabilisation du personnel de conduite s'avère ainsi essentielle pour la réussite du service. L'exploitation de la ligne risquait de s'avérer complexe. Eu égard au haut niveau de service attendu au quotidien, il pouvait s'avérer nécessaire d'augmenter le nombre de véhicule en lignes, et des bus thermiques de secours en cas de panne sur l'infrastructure de recharge. Les contraintes de logistique de la solution de recharge en ligne d'un bus électrique à batterie entraînent donc des reports de coûts vers l'exploitant et une baisse de la production en exploitation (de près de 25%).

A contrario, les coût d'exploitation de l'hydrogène n'impactent pas la production du service. Le choix de l' $H_2$  entraîne en revanche un report sur les coûts de maintenance. L'hydrogène a donc au final l'avantage de permettre d'envisager une exploitation plus performante et plus souple, très comparable aux bus classiques, sans infrastructure en ligne additionnelle, sans bus supplémentaire de secours par rapport à la charge normale du réseau.



Dans le bus hydrogène, la pile à hydrogène produit directement l'énergie électrique qui alimente le moteur électrique.

# L'HYDROGÈNE, UNE TECHNOLOGIE MAÎTRISÉE ET SURE



## L'hydrogène, le vecteur énergétique de l'avenir

L'hydrogène représente 92% des atomes présents dans l'univers. Il est aussi l'élément chimique le plus présent sur terre, le principal constituant des étoiles et des planètes géantes, et représente 10% du poids d'un être humain.

Sa forme moléculaire est le dihydrogène ( $H_2$ ), que l'on trouve le plus souvent à l'état gazeux, et sa densité énergétique est trois fois plus importante que celle du pétrole

Cela est confirmé depuis 2013, la Terre produit du gaz hydrogène à l'état naturel ! Ce gaz pur est donc une énergie primaire renouvelable, mais qui n'est quasiment pas exploitée aujourd'hui. Partout ailleurs sur notre planète, la molécule est présente combinée sous de multiples formes à d'autres molécules, ce qui induit de nombreuses manières de la capter et de l'utiliser

Combiné avec l'oxygène de l'air grâce à une pile  $H_2$ , il permet de produire de l'électricité et de la chaleur en ne rejetant que de l'eau pure

L'hydrogène est utilisé depuis des décennies dans l'industrie, mais aujourd'hui, notamment grâce à l'avènement des piles à hydrogène, il devient un véritable vecteur énergétique, complémentaire de l'électricité, et qui va contribuer à la transition énergétique : **c'est l'énergie hydrogène**

**Jules Verne avait rêvé d'un futur où l'hydrogène serait la principale source d'énergie ... Pau Béarn Pyrénées s'engage dans la transition énergétique pour un monde durable, et l'hydrogène en fait partie !**

## La sécurité

L'hydrogène est une énergie maîtrisée. Élément clef de la sécurité, les réservoirs à hydrogène sont soumis à des contraintes d'homologation plus poussées que n'importe quel autre réservoir de stockage d'énergie : ils subissent des tests au feu, des tirs à balles réelles, des milliers de cycles de remplissage, des crash tests, et doivent résister à trois fois la pression de service, soit 1050 bar pour les réservoirs 350 bar des bus, et 2100 bar pour les réservoirs 700 bar des voitures... Comme disent les pompiers de l'Ecole Nationale Supérieure des Officiers de Sapeurs-Pompiers (l'ENSOSP est responsable du programme européen HyResponse de formation des pompiers aux techniques d'intervention sur l'hydrogène), « toute énergie porte sa part de danger, la question est de savoir comment la maîtriser, et l'hydrogène n'est ainsi ni plus ni moins dangereux que l'essence ou le gaz naturel ». Une connaissance qui a ainsi amené les pompiers de La Manche (SDIS 50) à s'équiper de véhicules d'intervention électriques à hydrogène plutôt qu'à batteries ! (Voir le reportage sur les pompiers de La Manche :

**youtube : hydrogène énergie - les pompiers de la Manche transportés par hydrogène).**



Même si l'usage de l'hydrogène n'est pas sans risque, les risques sont maîtrisés et réglementés depuis longtemps par de nombreuses normes et applications industrielles. L'Ademe a publié en 2015 des guides de recommandations dans le cadre de déploiement de stations et de flottes de véhicules.

## Produire de l'hydrogène

L'approvisionnement et le stockage de l'hydrogène nécessitent une logistique bien pensée. La distribution se fait à 350 bars pour les bus et 700 bars pour les véhicules légers. Tout comme le GNV, il faut prévoir des solutions de secours en cas de panne de la station d'approvisionnement. Ainsi, dans le cas du BHNS de Pau, le doublement des équipements de compression a été prévu, ainsi que la livraison par camion-citerne en cas de panne de l'électrolyseur du dépôt.

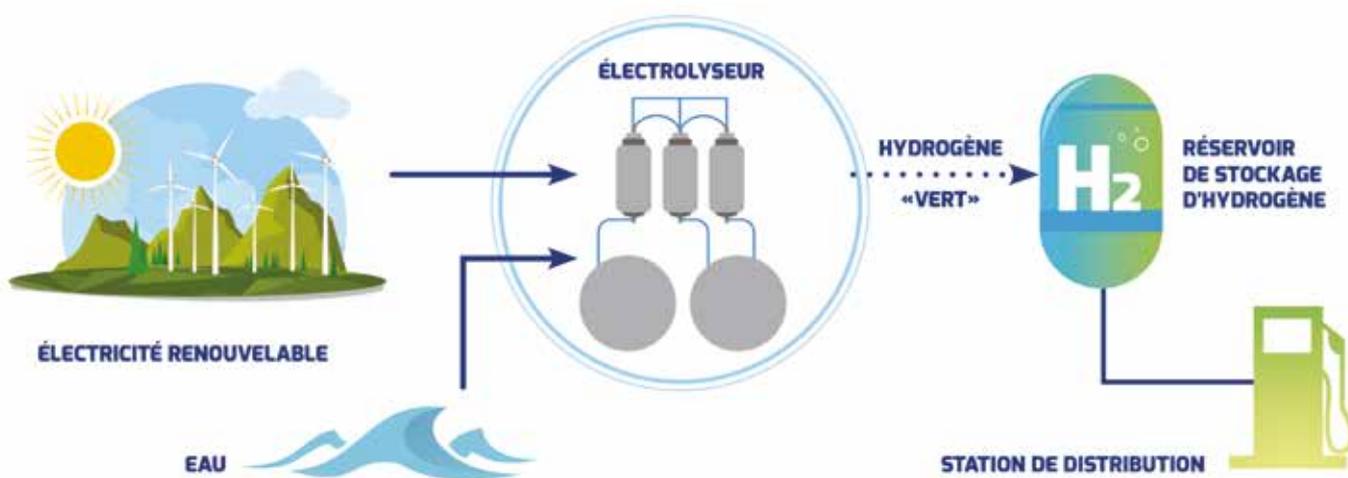
La pertinence du choix de la pile à hydrogène n'est véritablement complète que si cet hydrogène a été produit sans générer des gaz à effet de serre. Ce que l'on appelle communément l'hydrogène (mais plus exactement pour les chimistes, le dihydrogène) est présent partout dans notre environnement, presque tout le temps combiné à d'autres atomes, à commencer par l'oxygène (O), cet oxygène qui, associé à deux atomes d'hydrogène constitue l'eau (H<sub>2</sub>O).

Du fait de cette universalité, il existe de très nombreuses manières de produire de l'hydrogène. La plus commune a une origine historique : il faut beaucoup d'hydrogène pour désulfurer le pétrole, aussi les raffineries ont toujours été équipées de systèmes de reformage de gaz pour casser les molécules de méthane disponibles sur place (CH<sub>4</sub>), libérant l'hydrogène dont elles avaient besoin pour enlever le soufre contenu dans les hydrocarbures. Ce faisant, le processus libère des molécules de carbone, gaz à effet

de serre. L'hydrogène issu de reformage de méthane est abondant et peu cher, mais il n'est pas neutre pour l'atmosphère.

On peut aussi produire de l'hydrogène avec des bactéries qui agissent sur les eaux usées ou la biomasse, par photo-électrolyse, par catalyse de métaux, etc. Il y a aussi de grandes quantités d'hydrogène dit « fatal », ou encore « coproduit », qui résultent de procédés industriels divers, tels que l'industrie du chlore et de l'ammoniaque. Le plus souvent, cet hydrogène est brûlé dans l'atmosphère. En Europe aujourd'hui, on coproduit suffisamment d'hydrogène fatal pur dans l'industrie pour alimenter en théorie 300 000 véhicules à hydrogène par an. En 2007, le bassin de Lacq produisait encore 5 tonnes/j d'hydrogène fatal, non valorisé. De quoi faire fonctionner 230 bus électriques à hydrogène de 18 mètres, chaque jour.

**Mais la méthode la plus commune et efficace à ce jour pour produire de l'hydrogène « vert » en grandes quantités, sur n'importe quel site, est l'électrolyse de l'eau.** Ce procédé garantit la production d'un hydrogène 100% pur, sans aucune émission de polluant d'aucune sorte. Il faut de l'électricité, et de l'eau. Le procédé de conversion implique une certaine perte d'énergie, qui varie en fonction de la technologie d'électrolyse employée (de 10 à 40% de perte). Mais cette perte est compensée par un avantage décisif, du point de vue de la transition énergétique : en effet, les électrolyseurs peuvent produire de l'hydrogène dans les périodes horaires où il y a une faible demande électrique... et possiblement un fort gisement d'énergie renouvelable qui autrement ne serait pas valorisé, du fait que le réseau électrique français n'a pas assez de demande au moment de cette capacité de production renouvelable !



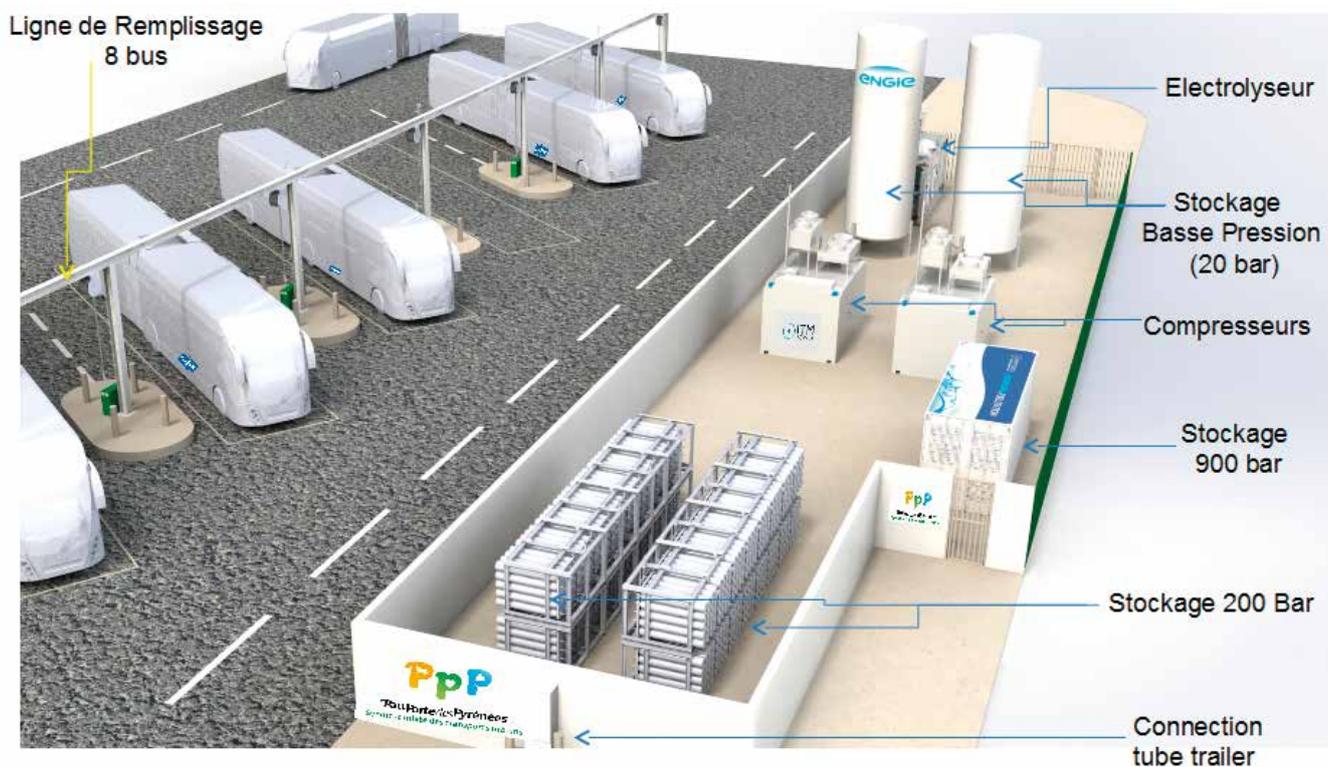
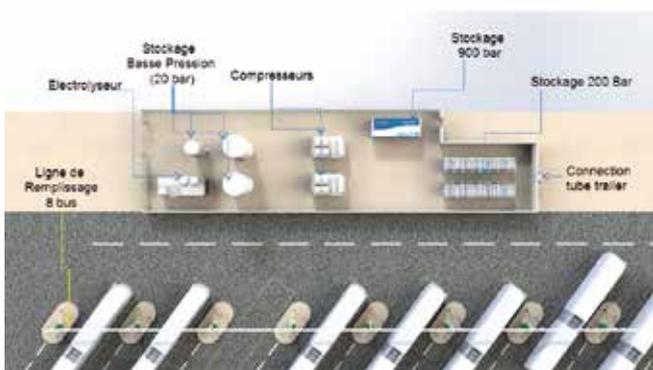
Production d'hydrogène « vert »

## Une station de production et de distribution d'hydrogène à Pau

À Pau, l'hydrogène sera produit sur place, au dépôt de bus, par un électrolyseur alimenté par le réseau électrique : ce sera un hydrogène « vert ». Les piles à hydrogène quant à elles ne contiennent aucune matière polluante et sont recyclables à plus de 95%.

Le SMTU a acquis en 2015 un terrain de 44 479 m<sup>2</sup> dans la continuité du dépôt de bus actuel.

Des études pour l'implantation de la station hydrogène, en collaboration avec les services de l'état sont en cours.



Visuels : schéma d'implantation de la station.

# PRODUIRE DE L'HYDROGÈNE

**"VERT"** : VERS LA CRÉATION  
D'UNE VÉRITABLE FILIÈRE LOCALE D'AVENIR,  
AU SERVICE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE  
ET DU TERRITOIRE



## Vers la création d'une véritable filière locale d'avenir, au service de la transition énergétique et du territoire

L'hydrogène est considéré par les énergéticiens, et par l'ADEME (note de positionnement stratégique en février 2016, et dossier complet consacré à l'hydrogène en mars 2017), comme le chaînon manquant de la transition énergétique, car c'est un formidable vecteur de stockage des énergies renouvelables ! Il peut être produit localement, n'importe où sur le territoire, notamment auprès de la station de distribution, et donc sans nécessiter de capacités de transport. C'est aussi un moyen efficace d'apporter beaucoup de flexibilité au réseau électrique, en « lissant » la charge du réseau sur 24 heures.

Le choix de produire l'hydrogène directement sur site est cohérent avec la politique de développement durable de l'agglomération paloise et la stratégie énergétique française. C'est un atout supplémentaire pour permettre de soutenir le développement de la filière hydrogène, que le nouveau ministre de la transition écologique et solidaire, par ailleurs parrain du bateau Energy Observer (doté d'une pile à hydrogène), entend correctement réévaluer, comme il l'a déclaré lors d'une audition au Sénat le 12 juillet dernier.

## L'H<sub>2</sub> un nouveau vecteur énergétique

L'hydrogène ce n'est pas seulement la mobilité et le stockage des énergies renouvelables. On trouve déjà sur le marché des recharges à hydrogène pour l'électronique portable via un câble USB, qui restent toujours opérationnelles. Peut-être avez-vous déjà voulu utiliser une petite recharge à batteries pour votre téléphone portable, en vous apercevant au moment où vous en avez besoin que rechargée plusieurs semaines auparavant, elle s'était déchargée entre-temps...

Les applications dites stationnaires ont elles aussi un très grand potentiel. L'alimentation sécurisée en électricité de bâtiments sensibles en est un exemple. Le 18 août dernier, Bloom Energy a annoncé le déploiement de 37 Mégawatts de générateurs d'électricité piles à hydrogène pour 12 Datacenters en Californie et à New-York. Un autre exemple, particulièrement intéressant pour la transition

énergétique, est la cogénération. Une pile à hydrogène produit de l'électricité, de la chaleur, et de l'eau pure. Ce n'est donc pas étonnant que les Japonais, après Fukushima, aient décidé de déployer massivement ces systèmes pour les maisons individuelles et les bâtiments collectifs. Plus de 200 000 systèmes ont été déployés à ce jour, et ce grand programme porté par le gouvernement japonais, appelé EneFarm, a pour ambition d'équiper 5 millions de foyers à son terme. Depuis cette année, l'industriel Allemand Viessmann commercialise ce système en Europe.

L'hydrogène est donc un formidable vecteur énergétique, complémentaire de cet autre vecteur énergétique qu'est l'électron, car en passant de l'un à l'autre et vice-versa, il deviendra possible de véritablement déployer le système énergétique durable du futur, maximisant la production et la consommation locales, dans tous les types d'applications utilisant de l'énergie : nomadisme, applications stationnaires, mobilité et transports.

## La décentralisation de la production d'énergie à l'échelle d'un territoire vers une indépendance énergétique adaptée au besoin d'un territoire

Le territoire a un historique fort ans le domaine du gaz, avec Total et TIGF, et de nombreuses compétences spécialisées. L'hydrogène est un autre gaz, aux multiples usages possibles, et aux grandes vertus écologiques pour réussir la transition énergétique. Son développement par les usages, notamment les transports, est d'abord un bénéfice direct pour les citoyens, en termes de santé publique et de qualité de vie, et pour la transition énergétique, en favorisant la production et la consommation locales d'énergie. Mais c'est aussi un vecteur de développement économique, d'accompagnement des mutations industrielles, et d'excellence pour le territoire en capitalisant sur des compétences historiques pour développer de nouvelles compétences, de nouveaux métiers.

Territoire dont le développement économique est historiquement lié aux énergies, PAU ville moderne et résolument innovante pour devenir la CAPITALE de la mise en œuvre de la transition énergétique : la capitale où il fait bon respirer et vivre la ville autrement.

# HISTOIRE ET AVENIR DES TRANSPORTS ÉLECTRIQUES À HYDROGÈNE :

UNE SOLUTION PERFORMANTE QUI  
SE DÉPLOIE EN EUROPE ET DANS LE MONDE

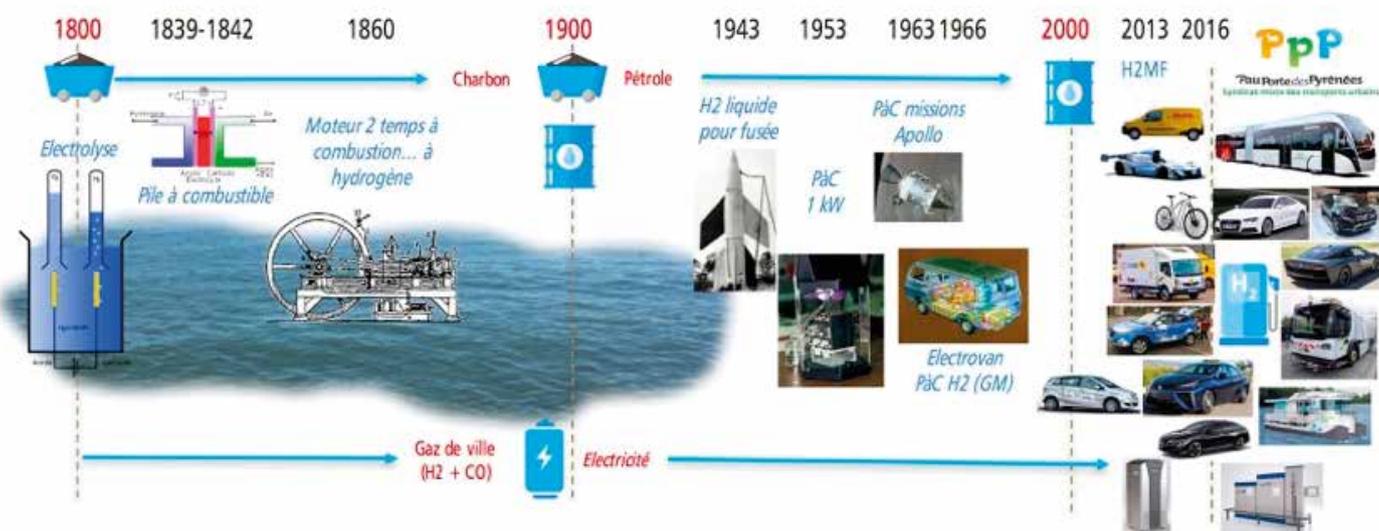


# Les transports électriques à hydrogène : une solution performante qui se déploie en Europe et dans le monde

L'électrolyse de l'eau, et son contraire, la pile à hydrogène, sont des processus électrochimiques inventés il y a déjà fort longtemps, en 1800 pour l'électrolyse, en 1849 pour la pile à hydrogène. Mais les premières applications concrètes ne voient le jour qu'au début des années soixante, et dans les transports.

General Motors fait rouler en 1966 le premier prototype de véhicule électrique doté d'une pile à hydrogène. À l'ère du tout pétrole, en l'absence d'une maturité technologique suffisante et d'une demande sociétale forte pour des transports plus écologiques, les véhicules électriques, qu'ils soient à batteries ou à pile à hydrogène ne se développent pas.

Aujourd'hui, il semble que toutes les conditions soient réunies pour que les véhicules électriques prennent enfin leur essor. Bénéficiant des très importants investissements réalisés ces dernières décennies dans les technologies de batteries, pour toutes sortes d'applications à commencer par l'électronique grand public, la mobilité électrique à batteries a commencé à prendre une dimension industrielle dans l'automobile. À la fois technologie concurrente et complémentaire (on peut l'hybrider avec des batteries pour bénéficier simultanément des avantages spécifiques de chacune des technologies), la pile à hydrogène reste très marginale dans les véhicules électriques « légers » telles que les voitures particulières, bien que certains constructeurs, tel que le numéro 1 mondial Toyota, considèrent que c'est la seule solution qui à terme permettra de remplacer complètement les véhicules thermiques.



De fait, les avantages de l'hydrogène sont nombreux :

- L'hydrogène est l'atome le plus présent dans l'univers, inépuisable.
- C'est un vecteur énergétique de stockage de long terme des surplus d'électricité renouvelable, ce qui est l'une des raisons pour lesquelles des énergéticiens aussi importants que Engie s'y intéressent autant.
- La recharge d'un véhicule hydrogène s'effectue en quelques minutes seulement, et l'autonomie qu'il procure est proche de celle d'un véhicule thermique.

- Les systèmes hydrogène sont plus compacts et moins lourds que les systèmes batteries à quantité d'énergie utile équivalente.
- La pile à hydrogène coproduit de l'électricité et de la chaleur, ce qui en fait une excellente solution non polluante pour la cogénération des bâtiments.
- L'énergie disponible dans un stockage gazeux ne diminue pas avec le temps hors utilisation du véhicule, contrairement aux batteries, et reste toujours la même quelles que soient les conditions de température extérieure, là aussi contrairement aux batteries, très sensibles à ce facteur (excès de froid ou de chaleur).

# L'hydrogène et la mobilité

Ces atouts font que l'hydrogène et les piles à hydrogène sont particulièrement bien adaptées aux véhicules lourds.

Un camion de marchandises par exemple devrait emporter plus de charge en batteries qu'en fret de marchandises pour atteindre les performances attendues de ce type d'usage, rendant impossible toute rentabilité du transport. Avec une pile à hydrogène par contre, c'est tout à fait possible, et des constructeurs de camions sont en train de développer de telles solutions (par exemple Scania en Europe, Nikkola aux Etats-Unis).

De fait, c'est dans les véhicules lourds, qu'ils soient routiers, par rail, par mer ou fluviaux, que les piles à hydrogène sont en train de gagner leurs premiers galons. Un très bon exemple est le Coradia iLint de Alstom, dont le système de propulsion est assemblé à Tarbes, et qui est actuellement en test en Allemagne. Ce train régional à l'origine disposant d'une motorisation diesel et destiné aux milliers de kilomètres de voies ferroviaires non électrifiées dans chaque pays d'Europe, a été converti en train électrique pile à hydrogène par Alstom.

Naturellement, les bus et les cars sont des plateformes de choix pour les piles à hydrogène, quand les exigences des exploitants en termes de flexibilité d'usage et d'autonomie sont trop fortes pour les solutions à batteries.

De même, de très nombreux projets de bateaux sont en cours de développement, aux Etats-Unis, en Europe du nord, et même en France avec la DCNS. En juin 2017, le Navibus H2, un transporteur fluvial de passagers a été mis en service opérationnel sur l'Erdre à Nantes.

L'aéronautique n'est pas en restes, les constructeurs d'avions travaillent depuis longtemps sur des générateurs d'électricité auxiliaire destinés à soulager les moteurs

de la production d'électricité à bord, pour les consacrer seulement à la propulsion. Dans les petits avions de tourisme, c'est directement la propulsion de l'avion qui est visée, les premiers vols en Allemagne et en Ecosse étant prévus pour 2018. Quant aux grands drones, civils ou militaires, il s'agit là d'un champ d'application déjà en très fort développement.

À l'opposé des véhicules lourds, la pile à hydrogène séduit aussi pour la mobilité douce : la société Pragma, au Pays Basque, produit des vélos à assistance électrique hydrogène qui se rechargent en moins de 2 minutes et vous procurent plus de 100 kilomètres d'autonomie... et tout ce qu'il faut pour gravir les cols Pyrénéens !

Enfin, les véhicules particuliers et les véhicules utilitaires seront eux aussi promis à un essor important, dès lors que les stations de recharge se déploieront. Dès aujourd'hui, il faut savoir que la plus grande flotte de véhicules hydrogène déployée en Europe l'est en France, et ce sont des véhicules utilitaires de type Renault Kangoo électriques dotés d'un prolongateur d'autonomie pile à hydrogène ! Cette solution développée par Symbio, une jeune entreprise française dans laquelle ont investi Michelin et Engie, correspond bien aux besoins des professionnels, notamment de la livraison : une disponibilité opérationnelle garantie à toute heure, un grand rayon d'action, un coût de possession équivalent au diesel sur cinq années d'exploitation...

Dans le même ordre d'idée, pour les besoins professionnels exigeants, un très bon exemple de la supériorité du véhicule pile à hydrogène est démontré par la Société des Taxis Électriques Parisiens, avec son service Hype : des Hyundai ix35 Fuel Cell et des Toyota Mirai, toutes modèles de série produits par ces constructeurs asiatiques, démontrent que seule la solution pile à hydrogène permet de répondre aux fortes exigences professionnelles en matière de disponibilité et d'autonomie, tout en restant zéro émission.



© AFHYPAC



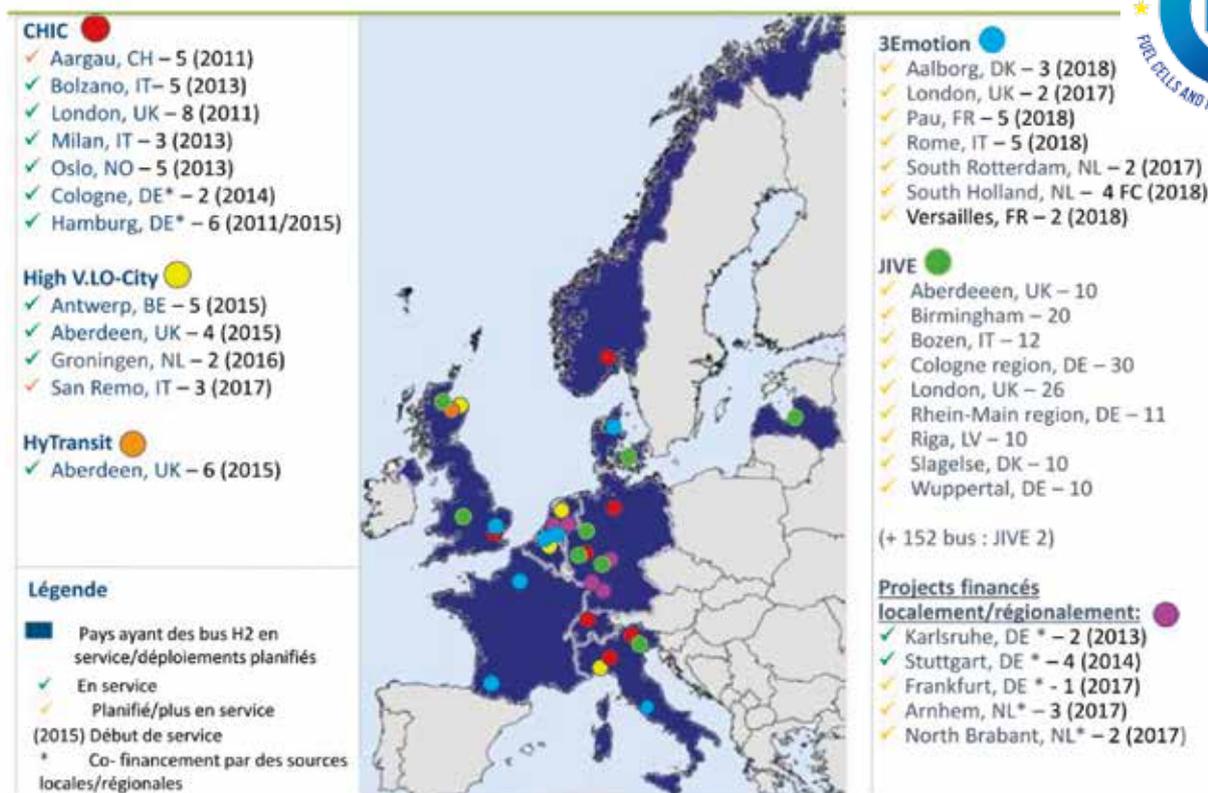
© PRAGMA

## Le bus électrique à hydrogène arrive enfin en France

Malgré ses avantages indéniables et sa maturité technologique, le bus à hydrogène n'a encore jamais été déployé en France, du fait des coûts importants encore liés à une technologie qui n'a pas encore atteint un niveau de production industrielle, du peu de soutien financier de l'état français contrairement à l'Allemagne ou aux pays du Nord de l'Europe, et du fait d'un désintérêt des constructeurs français pour cette technologie, bien que cela soit en train de changer.

Les retours d'expérimentation sont nombreux dans le monde. Les Etats-Unis, l'Amérique du Sud, le Canada, la Chine, l'Inde, le Japon et la Corée notamment ont lancé des programmes d'expérimentation, et pour certains, passent maintenant la vitesse supérieure pour déployer massivement.

En Europe, depuis 2009 plusieurs projets expérimentaux ont été menés pour évaluer, en conditions réelles d'exploitation, les performances des bus électriques à Pile à Hydrogène. Ils ont été financés par la Commission Européenne par le biais d'appel à projets organisés et pilotés par le FCH-JU (Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking). Un total de 83 bus (tous des 12m) est aujourd'hui en exploitation en Europe. Ces bus sont présents à travers 12 pays et 31 villes ou régions, et principalement dans les grandes métropoles européennes (Londres, Oslo, Cologne, Aberdeen) ainsi qu'aux Pays-Bas, en Belgique et en Italie. Aucun ne roule à ce jour en France. L'ensemble de ces bus ont parcourus 8.4 million de kilomètres au 1er janvier 2017. Près de 400 bus seront déployés d'ici à 2020 grâce à deux grands projets de déploiement (JIVE et JIVE2) soutenus par le FCH-JU. Quand la Chine peut procéder facilement à des achats massifs pour faire baisser les coûts des bus, l'Europe s'organise en consolidant un « groupement d'achat européen » visant à atteindre le chiffre de 1 000 bus électrique à hydrogène d'ici 2025.



Six villes françaises ont démarré des projets en 2017 selon le consortium Mobilité Hydrogène France, et Pau sera la première à mettre en exploitation un tel bus sur une ligne aussi structurante et stratégique que le BHNS. C'est aussi une première mondiale pour un bus de cette longueur (bus articulé de 18 mètres), qui sera exploité sur une ligne à Haut Niveau de Service : le véhicule choisit doit ainsi répondre à un niveau de service d'excellence. Le projet de Pau bénéficie aussi d'une nouvelle génération de piles à hydrogène Ballard délivrant toute la puissance nécessaire à un tel bus (100 kW au lieu de 90 kW pour l'ancienne génération).

**Avec le BHNS électrique à hydrogène, Pau s'engage dans une voie d'avenir, pertinente, solide. En 2020, à Tokyo, 100 bus H<sub>2</sub> Toyota transporteront les passagers pour les Jeux Olympiques. Peut-être y aura-t-il des bus électriques à hydrogène en 2024 pour les Jeux à Paris...Mais ce qui est sûr, c'est qu'il y aura des bus H<sub>2</sub> à Pau dès 2019 !**

# PRÉSENTATION DES COLLECTIVITÉS, DES ENTREPRISES DU GROUPEMENT ET PARTENAIRES





La Ville de Pau et la Communauté d'Agglomération de Pau Béarn Pyrénées qui réunit 31 communes et 161 000 habitants forment l'une des principales agglomérations de la Nouvelle Aquitaine. Capitale du Béarn, Pau se distingue par de nombreux attraits naturels, économiques et historiques. Ville natale d'Henri IV dont elle abrite le château, Pau fait face aux Pyrénées dont les principales stations se situent à moins d'une heure. L'Océan Atlantique est également à 1h par l'autoroute. L'agglomération et les alentours abritent de très grandes entreprises parmi lesquelles le Centre de Recherche d'exploration production de Total (6<sup>ème</sup> centre R&D français), Safran, la coopérative Euralis, les miels Michaud (leader mondial du miel). Elle possède une université reconnue et classée 8<sup>ème</sup> en France pour la réussite des étudiants. L'agglomération compte 161 000 habitants et regroupe 31 communes. François Bayrou est Maire de la Ville et Président de l'Agglomération.



Le Syndicat mixte des transports urbains Pau Porte des Pyrénées a été créé le 2 avril 2010 modifié. Il est l'autorité organisatrice de la mobilité. Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2017, son ressort territorial couvre 37 communes et compte près de 183 400 habitants. Il regroupe la Communauté d'Agglomération Pau Béarn Pyrénées (31 communes) et les communes de Montardon, Morlaàs, Navailles-Angos, Sauvagnon, Serres-Morlaàs et Serres-Castet.



GNVERT distribue et commercialise du GNV (Gaz Naturel pour Véhicule) depuis 1998. Il offre ainsi des solutions de mobilité propre aux entreprises et collectivités locales souhaitant réduire leur impact environnemental.

Encore plus durable, le biométhane ouvre de nouvelles perspectives de croissance pour le GNV.

Produit à partir de déchets ménagers, agricoles et autres, le biométhane est une énergie renouvelable qui encourage et favorise la transition énergétique des territoires.

Utilisé comme combustible, il permet également une réduction de 97% des émissions de CO<sub>2</sub> par rapport au Diesel.

GNVERT a construit également 4 stations GNL depuis 2015 et exploite 3 stations hydrogène.

#### **Informations clés**

Situation: France

Cient: plus de 300 entreprises et collectivités locales

Stations: plus de 140 stations

Société : créée en 1998

Agenda: 30 nouvelles stations en projet

Chiffre d'affaires: 30 M€

Leader sur le marché de la plupart des carburants alternatifs: CNC, BioGNL, GNL, Hythane, Hydrogène



Van Hool est un fabricant belge indépendant de bus, cars de tourisme et véhicules industriels.

L'entreprise familiale, fondée en 1947, est basée à Koningshooikt (Belgique). La grande majorité de la production est destinée aux marchés européen et américain. Van Hool emploie environ 4,400 collaborateurs dans le monde entier, dont la plupart travaillent dans les centres de production de Koningshooikt (Belgique) et de Skopje (Macédoine).

Van Hool a été fondée en 1947 par Bernard Van Hool. Depuis 70 ans Van Hool est renommé pour la conception et la construction de produits de haute technologie sur mesure.

Van Hool a commercialisé une bonne cinquantaine de véhicules roulant à l'hydrogène (32 en Europe et 21 en Amérique du Nord) et par ailleurs, Van Hool a introduit un peu plus de 200 véhicules BHNS (Bus à Haut Niveau de Service) dans 13 pays européens et en Martinique.

Rôle dans le consortium : Producteur des 8 BHNS pile à hydrogène.





ITM POWER conçoit, fabrique et commercialise des systèmes de production d'hydrogène par électrolyse PEM. Créée en Juin 2001, la société est la première dans le domaine de l'hydrogène et des piles à combustibles à être cotée à la bourse de Londres (AIM) en 2004.

ITM Power possède un site de R&D et une usine d'assemblage à Sheffield, au Royaume-Uni, et des succursales en Allemagne, en France, et aux Etats-Unis.

ITM Power s'appuie sur sa technologie propriétaire d'électrolyseurs PEM pour offrir des solutions intégrées, clé en main pour la mobilité hydrogène, le stockage d'énergie (Power to Gas), la production de chaleur renouvelable et les procédés industriels.

ITM Power dispose actuellement de £24.06m de projets sous contrat plus £18,22m de contrats en phase finale de négociation, soit un total en portefeuille de £42,28m.

Rôle dans le Consortium:

- Fournisseur de station de ravitaillement hydrogène avec électrolyseur PEM
- Soutien d'Engie et VanHool dans la conception, le dimensionnement de l'électrolyseur et de l'équipement de ravitaillement H<sub>2</sub>.



Le FCH-JU (Fuel Cell Hydrogen Joint Undertaking) soutient les activités de recherche, de développement technologique et de démonstration (RDT) dans les technologies de l'énergie à base de piles à combustible et d'hydrogène en Europe. Son objectif est d'accélérer l'introduction sur le marché de ces technologies, en réalisant leur potentiel en tant qu'instrument pour la réalisation d'un système d'énergie bas carbone.

Pour soutenir les activités de RDT, le FCH-JU a défini un programme pluriannuel de financement (646 M€ pour 2014-2020) qui s'articule autour de 2 piliers : les transports et les systèmes énergétiques. Il organise chaque année des appels à projets.

C'est un partenariat Public privé qui regroupe :

- L'Union Européenne représentée par la Commission
- L'association « Hydrogène Europe » qui représente mes industriels européens du domaine
- L'association « N-HERGY » qui représente la communauté scientifique

Ce partenariat existe depuis 2008 et a été renouvelé en 2014 pour la programme cadre H2020.

Le FCH-JU finance à hauteur de 4.35M€ le déploiement des bus à hydrogène et de la station. Ce financement a été obtenu car le SMTU est partenaire de 2 projets Européens (3Emotion et JIVE2) qui ont été retenus suite à des appels à projets lancés par le FCH-JU.

« La mise en circulation de ces 8 nouveaux bus à hydrogène démontre surtout les efforts communs mis en oeuvre afin de commuter vers un mode de transport innovant, propre et confortable. Le FCH JU se félicite de voir que son soutien, via ses projets 3EMOTION et JIVE 2, permette à l'agglomération paloise de faire l'expérience d'un premier déploiement de bus à hydrogène, et de lui permettre ainsi de contribuer efficacement aux objectifs environnementaux fixés par l'Union Européenne »

Bart Biebuyck, Directeur Exécutif du FCH-JU



---

Crédit photos et illustrations : Ville de Pau - Getty - P. Martin-Barros - Seyia Consulting - Van Hool - SMTU - Pierre Jayet - Aphyac - ITM Power - Pragma

**CONTACT PRESSE** : Isabelle Deluga - [bhns@agglo-pau.fr](mailto:bhns@agglo-pau.fr) - 06 75 09 84 52