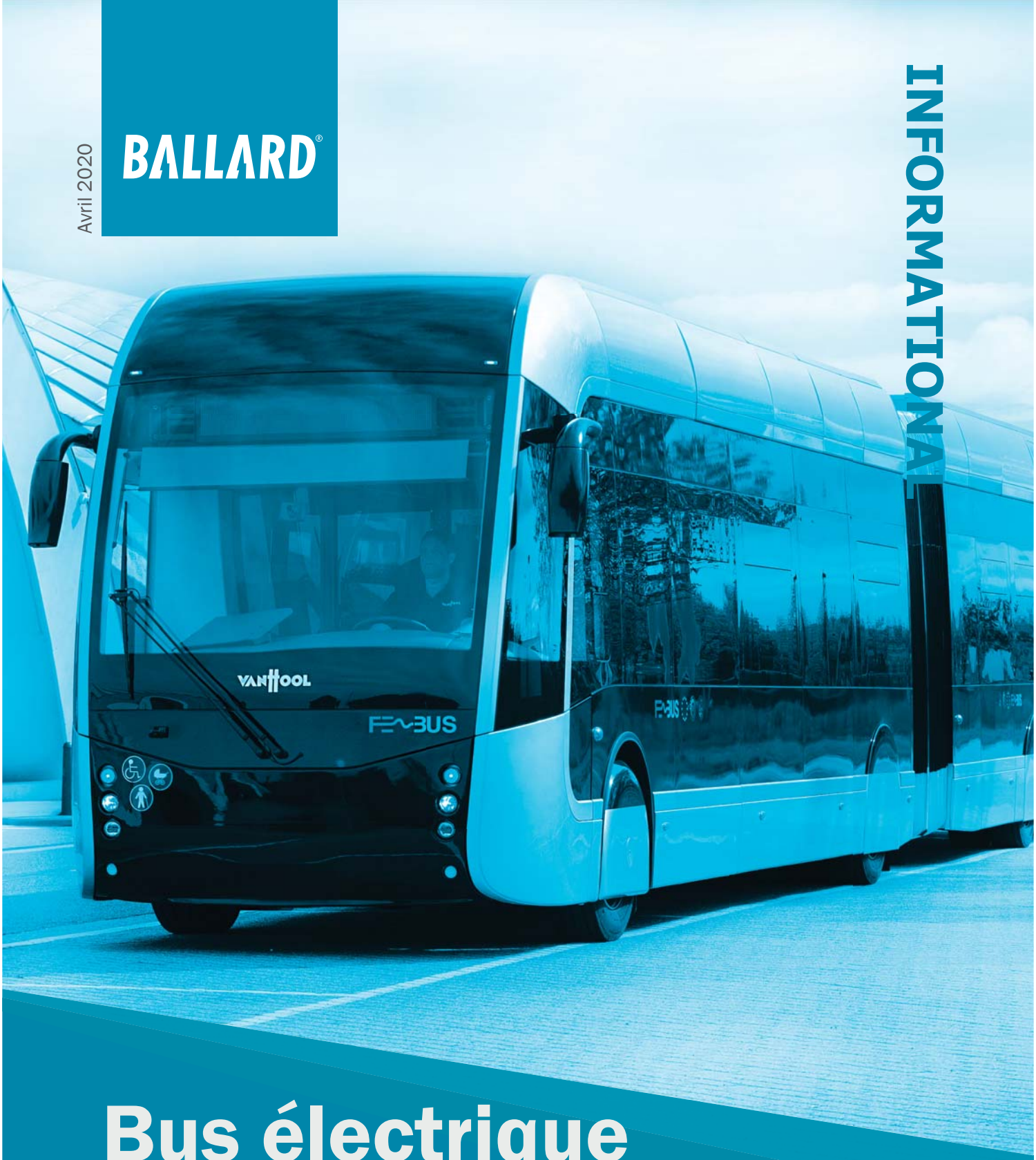
Avril 2020

BALLARD®

INFORMATIONNEL



Bus électrique à hydrogène

Une proposition de valeur attractive pour les bus à émission zéro en France

Bus électrique à hydrogène zéro émission pour la France

Des bus électriques à hydrogène Van Hool sont en service entre Versailles et Jouy-en-Josas

Sommaire

La France a reconnu l'importance du transport durable. Sachant que la mobilité est un facteur clé de la pollution de l'air, il existe une pression énorme pour réduire les émissions de CO2. La preuve en est l'interdiction de la vente de véhicules diesel et à essence à partir de 2040 et la stratégie de mobilité propre proposée dans la «Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte». Les villes françaises mènent également des initiatives pour réduire les émissions locales, comme l'ambition de Paris d'interdire les véhicules diesel dès 2023.

Il ne fait aucun doute que l'avenir des transports en commun sera sans émission. Les organismes et opérateurs de transport en commun en France sont appelés à trouver des moyens d'améliorer la qualité de l'air dans leurs communautés tout en maintenant la qualité du service. Les villes et les autorités de transport en commun ont le choix de la technologie à déployer. Les opérateurs de transport en commun peuvent envisager deux solutions de bus électriques zéro émission : le bus électrique à hydrogène (FCEB) ou le bus électrique à batterie (BEB).

Le FCEB est un bus électrique qui offre tous les avantages du BEB tout en facilitant le déploiement à grande échelle. Le FCEB alimenté en hydrogène est la seule technologie zéro émission qui permet d'associer les flottes de véhicules diesel à une flexibilité d'itinéraire complète, à un temps de ravitaillement court et à une utilisation similaire de l'espace de dépôt.

Avec plus de 15 ans sur la route et des millions de kilomètres en exploitation commerciale, les FCEB ont prouvé leur performance. Les FCEB ont démontré leur fiabilité pendant de longs cycles journaliers de conduite en toutes saisons dans des régions géographiques difficiles. Plus de 3 000 bus à pile à combustible ont été livrés à des opérateurs de véhicules de transport en commun partout dans le monde. Aujourd'hui en France, il existe environ 16 bus électriques à hydrogène en fonctionnement, dont les bus Van Hool alimentés par des piles à combustible Ballard à Versailles et à Pau.

Le potentiel de croissance est immense, avec des incitations financières disponibles au niveau régional, national et européen pour soutenir le déploiement de bus électriques à hydrogène et de stations de ravitaillement en hydrogène. L'analyse effectuée par Deloitte China et Mckinsey & Company montre qu'un certain nombre de solutions hydrogène peuvent devenir compétitives d'ici 2030. Le retour sur investissement est clair, les véhicules à hydrogène devraient être moins coûteux à exploiter que les véhicules électriques à batterie et à moteur à combustion interne d'ici 10 ans.

Lisez ce qui suit pour en savoir plus sur les avantages des FCEB à émission zéro pour les transports en commun en France.

Le transport en commun propre propulsé par l'hydrogène renouvelable améliorera la qualité de l'air dans nos villes

Introduction

Le changement climatique est l'une des questions les plus importantes de notre époque, exigeant une action aujourd'hui. Le transport est responsable de 30% des émissions de CO2 en France,[1] alors que la demande de transport augmente. Pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris, y compris limiter la hausse de la température mondiale bien en dessous de 2°C, il est essentiel que les transports soient décarboné.

La France a accepté le défi de la transition vers un transport en commun zéro émission. En juillet 2015, le gouvernement français a donné mandat aux villes françaises de remplacer les bus diesel polluants par des alternatives plus propres. La réglementation est la plus stricte pour Paris et les 22 agglomérations environnantes, ainsi que pour le centre d'autres agglomérations de plus de 25 000 habitants, qui ne doivent déployer que des bus à émission zéro.[2]

Fort d'une expérience de millions de kilomètres en exploitation commerciale et de plus de quinze ans sur la route dans différents environnements, le FCEB est sans aucun doute la seule solution zéro émission qui réponde aux exigences opérationnelles des organisations de transport en commun et des opérateurs de bus.

Le gouvernement français, reconnaissant les contributions environnementales, opérationnelles et économiques de l'économie hydrogène, a établi une feuille de route sur l'hydrogène. Les cibles pour le déploiement de solutions zéro émission pour le transport comprennent:

- D'ici 2023, 5 000 véhicules utilitaires légers, 200 véhicules lourds (bus, camions, trains, bateaux) et 100 stations de ravitaillement en hydrogène.

- D'ici 2028, jusqu'à 50 000 véhicules utilitaires légers, 2 000 véhicules lourds et 400 stations de ravitaillement en hydrogène.[3]

AFHYPAC, Mobilité Hydrogène France et UGAP se sont fixés un objectif encore plus ambitieux avec le plan «1000 Bus Hydrogène», appelant au déploiement de 1 000 FCEB d'ici 2023.[4]

Un soutien financier est disponible auprès de l'Union Européenne et de la France. À partir de 2019, 100 millions d'euros ont été alloués à la mise en œuvre du plan français de déploiement de l'hydrogène. L'engagement du gouvernement français à soutenir le développement et le déploiement de l'infrastructure pour l'hydrogène contribue à définir une voie vers un avenir faible en émissions et durable pour le pays.

SOURCES:

[1]NVG Global News
[2]Rapport sur les Stratégies d'Achat Conjoint de Bus à Pile à Combustible
[3]Ministry of Ecological and Solidary Transition
[4]FuelCellWorks
[5]McPhy

Avantages du Bus Électrique à Hydrogène

Le FCEB offre un transport zéro émission abordable sans compromis sur les performances des véhicules. Le FCEB est la seule technologie zéro émission à offrir un véhicule adapté à tous les environnements et contraintes de fonctionnement (performance en côte, vitesse sur autoroute, et longue distance).

Le FCEB effectue une journée complète de travail, même sur les routes les plus difficiles, et permet de remplacer les technologies conventionnelles au diesel ou au gaz naturel comprimé (ou GNV) par un ratio de 1:1. Cela signifie que le FCEB peut fonctionner sur toutes les lignes de bus urbains sans compromis pendant des services prolongés en hiver ou en été.

Solaris Urbino 12 bus électrique à pile à combustible à hydrogène

Transport zéro émission sans compromis sur les performances ou le fonctionnement.

Performance

Le FCEB offre les avantages de la performance de longue distance, le ravitaillement rapide et la flexibilité de route complète, en cohérence avec l'expérience des véhicules à moteur à combustion interne. Le FCEB peut parcourir plus de 450 km sur 18 heures avec un seul remplissage de 10 minutes la nuit. Cela contraste avec les limites du BEB qui est limité en 'autonomie, qui nécessite un long temps de recharge voire une infrastructure de recharge sur route, qui peut être limité à certains itinéraires et dont les performances peuvent être affectées par la température extérieure.

Fiabilité

Les milliers de FCEB circulant dans le monde ont prouvé qu'ils répondent aux besoins opérationnels des organismes de transport en commun et des opérateurs de bus. Les FCEB alimentés par les piles à combustible de Ballard ont parcouru plus de 20 millions de kilomètres en exploitation commerciale, ce qui équivaut à faire 500 fois le tour la terre, avec une disponibilité du système piles à combustible supérieur à 97%.

Les FCEB en France bénéficieront de la proximité de notre service après-vente européen qui assurera en partenariat avec notre client le maintien des flottes afin de garantir la plus haute disponibilité.

Durabilité

Le BEB et le FCEB ne produisent aucune émission directe au niveau de l'échappement. Cela améliore considérablement la qualité de l'air en milieu urbain. Cependant, un pourcentage plus élevé de leurs émissions totales pendant la durée de vie est en fait le résultat de leurs processus de fabrication et de fin de vie utile.

En tant que fournisseur de composants clés, Ballard s'est engagé dans la réduction des émissions totales des FCEB pendant leur cycle de vie. La fabrication d'un groupe motopropulseur électrique à pile à combustible (système de pile à combustible + batterie) génère 75 % moins d'émissions de GES que le groupe motopropulseur à batterie 100%.

De plus, Ballard propose à ses clients un programme de remise à neuf des cœurs de pile en fin de vie. La capacité de Ballard à remettre à neuf le cœur de pile et de récupérer plus de 95 % du platine signifie que beaucoup moins de déchets se retrouvent dans les sites d'enfouissement; le coût de cycle de vie et l'empreinte carbone en est automatiquement réduit.

Résilience

L'accès au transport en commun est considéré par beaucoup comme un service essentiel, en particulier dans les communautés défavorisées. Et, en cas d'urgence, les bus peuvent jouer un rôle vital dans le transport des blessés ou des malades.

La question se pose alors de savoir comment les flottes de BEB seront rechargées en cas de puissance prolongée. L'hydrogène stocké sur place au dépôt de bus permettra aux organismes de transport en commun d'éviter ce problème en faisant si besoin, plusieurs ravitaillements. Les FCEB peuvent également être utilisés comme générateurs d'énergie de secours lors de catastrophes naturelles.

Evolutivité de l'Infrastructure

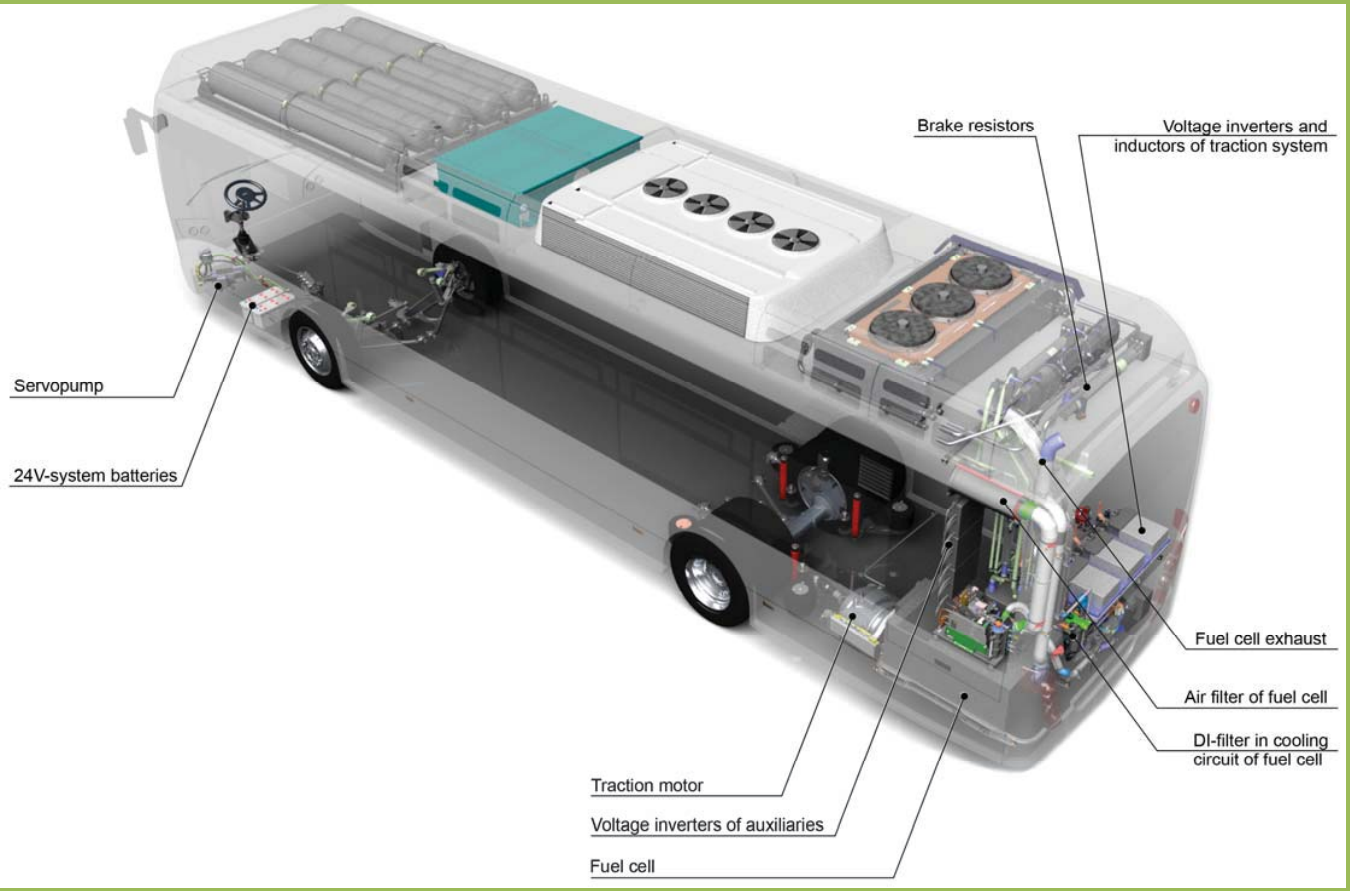
Lorsqu'on évalue et compare le CTP à des alternatives technologiques zéro émission, un facteur de coût critique est le coût de l'infrastructure et la façon dont il évolue à une échelle croissante.

Les coûts de l'infrastructure de ravitaillement en hydrogène pour une petite flotte de quelques FCEB sont initialement beaucoup plus élevés que les coûts de l'infrastructure de recharge pour les BEB. Cependant, le coût de l'infrastructure par bus devient rapidement moins cher pour les FCEB avec une flotte de plus en plus grande.

Les stations de ravitaillement en hydrogène des centres de transport en commun sont construites de façon à pouvoir passer de 10 à 100 autobus. Une station existante peut augmenter sa capacité avec un coût supplémentaire minimal en modernisant l'équipement de compression et de stockage et en ajoutant des distributeurs.

Les coûts d'infrastructure du BEB augmentent habituellement à mesure que la flotte augmente, en raison de l'introduction de chargeurs rapides dans le système et des mises à niveau du réseau (y compris les sous-stations électriques hors site) qui peuvent être nécessaires pour couvrir la charge accrue.

Un bus hydrogène est un bus électrique intégrant batterie et pile à combustible.



Composants clés d'un bus électrique à pile à combustible

Bus Électrique à Hydrogène

Un FCEB est un véhicule électrique qui comprend à la fois une pile à combustible et des batteries qui fonctionnent ensemble de façon harmonieuse pour fournir une puissance efficace zéro émission sans compromettre l'autonomie ou les exigences de service. Dans une telle architecture hybride, la pile à combustible fournit de l'énergie pour maintenir les batteries chargées, fonctionne avec les batteries pour fournir la puissance de traction de crête, et fournit l'énergie nécessaire pour les charges auxiliaires de bus.

Le module d'alimentation à pile à combustible à bord du bus génère efficacement de l'énergie électrique grâce à une réaction électrochimique ne laissant que l'eau et la chaleur comme sous-produits. L'énergie électrique est utilisée pour maintenir les batteries chargées et, comme un avantage supplémentaire, la chaleur des sous-produits est utile comme source d'énergie pour maintenir le confort des passagers et améliorer l'efficacité du véhicule. Les batteries permettent également de stocker l'énergie régénérée.

Il n'est pas nécessaire de brancher le bus pour recharger les batteries car l'hydrogène stocké dans le bus fournit la totalité du besoin énergétique quotidien du véhicule. Les autres éléments du bus (et notamment la chaîne de traction électrique, etc) sont identiques à ceux des bus électriques à batterie.

L'hydrogène offre une densité énergétique beaucoup plus élevée que les systèmes de stockage électriques tels que les batteries. Avec l'ajout d'un système de pile à combustible à hydrogène, le système de batterie peut être réduit en taille, ce qui diminue le poids global du système de propulsion et fournit de l'énergie pour les systèmes de chauffage et de refroidissement du bus. Cela améliore le rendement énergétique du véhicule et permet au véhicule de transporter plus de passagers.

Combustible Hydrogène: Solution Zéro Émission

Alimentation des flottes de bus électriques à hydrogène

Les déploiements dans le monde entier ont prouvé que les FCEB peuvent être alimentés en hydrogène de façon sécuritaire et efficace dans le dépôt. L'hydrogène est produit sur place ou transporté par camion à partir de la production centrale. La solution idéale dépend de la quantité d'hydrogène demandée et de l'emplacement physique du dépôt.

Les systèmes de ravitaillement en hydrogène sont évolutifs et il existe des solutions pour chaque véhicule à hydrogène. Il est également possible d'accroître la capacité de la station de ravitaillement afin de desservir des bus supplémentaires à mesure que le nombre augmente avec le temps.

Les fournisseurs d'hydrogène peuvent fournir de l'hydrogène livré à un prix fixe distribué à la pompe, par exemple, sur une période de 5 à 10 ans. Cela signifie qu'il n'y a pas d'investissement d'infrastructure pour l'opérateur de bus. Le prix cible est la parité diesel, qui est déjà réalisable dans quelques pays du monde.

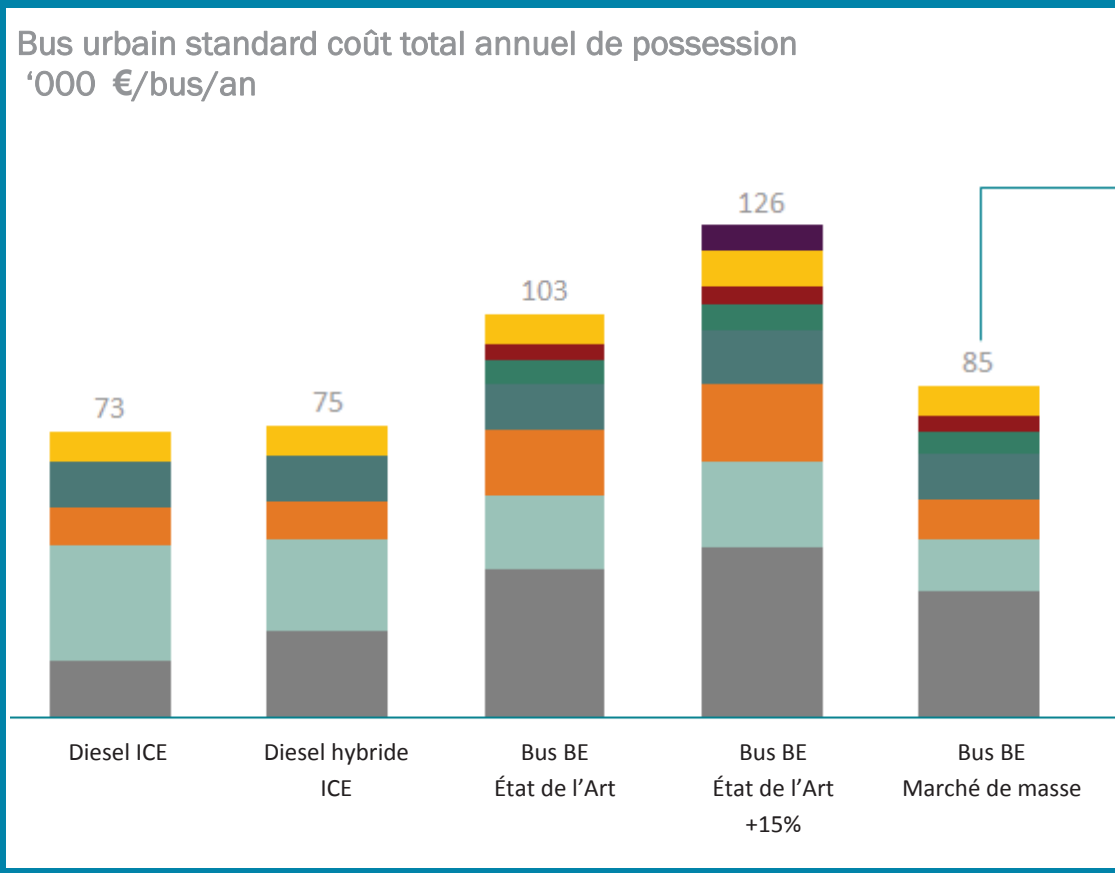
En France aujourd'hui, l'hydrogène est principalement produit à partir du pétrole et du gaz à usage industriel. Dans son plan énergétique, la France vise à décarboner la production d'hydrogène. L'hydrogène produit par l'électrolyse de l'eau alimentée par de l'électricité à faible teneur en carbone (renouvelable ou nucléaire) pourrait être une source de carburant de transport écologique à faible coût.

Coût Total de Possession

Coût des Bus Électriques à Hydrogène—Comparaison des Technologies de Bus

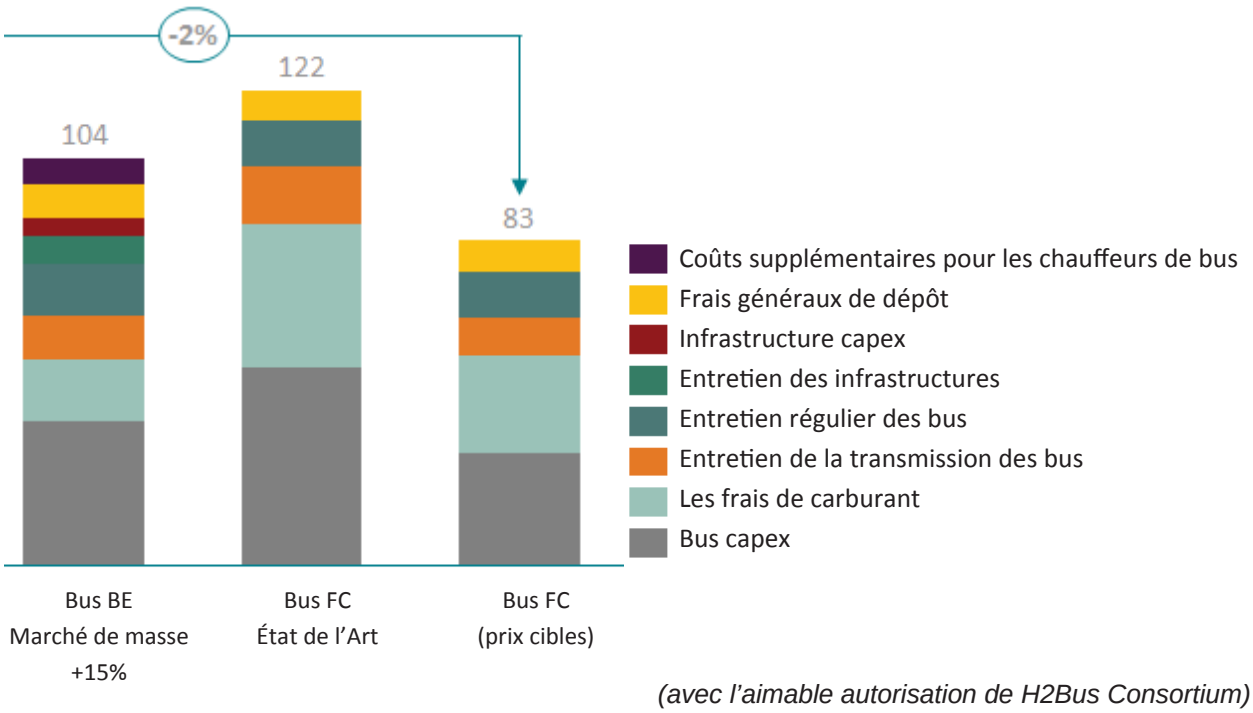
Bien que le FCEB coûte actuellement plus cher au kilomètre que le BEB ou le bus ICE conventionnel, il est appelé à devenir beaucoup moins cher au fur et à mesure que la technologie de fabrication évolue, que les économies d'échelle s'améliorent, que les coûts du combustible hydrogène diminuent et que l'infrastructure se développe. En effet, un récent livre blanc publié conjointement par Ballard et Deloitte estime de façon prudente que le Coût Total de Possession (CTP) des véhicules commerciaux à hydrogène diminuera de plus de 50 % au cours des 10 prochaines années. Il en résulte qu'en Europe, le coût total de posséder un FCEB sera moins élevé qu'un BEB d'ici 2024, sans subventions.

L'Europe a mené à bien une stratégie conjointe d'achat de FCEB. Ce modèle peut être très efficace pour accroître la demande là où des réductions de prix significatives peuvent être réalisées, accroître l'intérêt des fabricants de bus et favoriser la concurrence dans ce domaine.



Un exemple en est le consortium européen H2Bus, dont les membres travaillent ensemble pour déployer 1 000 FCEB zéro émission et les infrastructures connexes dans les villes européennes à des tarifs commercialement compétitifs. La solution FCEB de H2Bus devrait être l'option zéro émission la plus rentable disponible, avec un prix cible de bus standard à 400 000 €, un coût d'hydrogène compris entre 5 et 7 € par kilogramme et un coût de service de bus de 0,30 € par kilomètre. Comme la montre la figure ci-dessous, l'analyse du CTP confirme que le FCEB sera en concurrence avec le BEB.

Le coût total de possession est très sensible aux conditions locales telles que le coût de l'électricité ou de l'hydrogène, l'infrastructure disponible pour le ravitaillement, l'autonomie requise et le kilométrage. Les aspects économiques du FCEB bénéficient d'un coût d'électricité plus élevé en provenance du réseau électrique ou des exigences pour une plus grande autonomie et de la flexibilité des itinéraires. En fin de compte, le choix optimal de la technologie dépendra des préférences de l'opérateur des flottes en matière de flexibilité, de contraintes opérationnelles et de coûts d'infrastructure.



(avec l'aimable autorisation de H2Bus Consortium)

Écosystème de l'hydrogène et des piles à combustible en France

Un écosystème de partenaires industriels s'est réuni pour soutenir le déploiement des flottes de FCEB en France.

Production et Distribution d'hydrogène	**Engie** et **Air Liquide** lancent le projet Hygreen Provence, qui devrait produire annuellement 1 300 GWh d'électricité solaire et 10 440 tonnes d'hydrogène vert d'ici 2027. **Lhyfe** conçoit, fabrique et exploite des sites de production industrielle d'hydrogène vert. Les électrolyseurs alimentés par des énergies renouvelables produisent de l'hydrogène qui est ensuite transporté vers des stations de ravitaillement locales. **Hynamics**, filiale d'EDF, est responsable de l'offre d'hydrogène à faible teneur en carbone pour l'industrie et la mobilité. Hynamics crée de l'hydrogène à partir de l'eau, en utilisant des méthodes de production à faibles émissions de carbone. **McPhy,** conçoit et met en œuvre des systèmes hydrogène globaux en offrant des générateurs d'hydrogène propre et des solutions de stockage d'énergie.
Constructeurs de Bus	De nombreux constructeurs de bus européens proposent des FCEB comme une offre standard. Les bus à piles à combustible de Ballard sont fabriqués entre autres par **Solaris Bus & Coach, Van Hool NV, VDL Bus & Coach et Wrightbus.**
Financement public	En 2019, le **gouvernement français** a débloqué plus de 90 millions d'euros de fonds publics pour accélérer le développement du secteur de l'hydrogène en France. Les nouveaux appels d'offres lancés en mars 2020 soutiennent l'expansion du programme. L'appel à projets «**Ecosystèmes de mobilité hydrogène**», lancé par l'ADEME en octobre 2018, a permis de sélectionner 20 lauréats pour un financement d'environ 80 millions d'euros, dont 10 nouveaux projets en seconde clôture. Tous ces projets permettront de déployer plus de 43 stations-service hydrogène (pour un objectif de 100 en 2023) et 158 véhicules lourds (pour un objectif de 200 à 2023).
Financement privé	**NeoT Capital** est une société d'investissement qui aide ses clients à faire la transition vers une mobilité zéro et une énergie à faibles émissions de carbone. NEoT propose des solutions de financement et de service sur mesure pour les bus zéro émission et l'infrastructure de ravitaillement.

Chez Ballard, nous établissons des partenariats avec des intervenants européens de la chaîne d'approvisionnement et des écosystèmes, y compris des OEM de bus et des équipementiers d'hydrogène pour la production et la distribution d'hydrogène. Ensemble avec nos partenaires, Ballard peut offrir une solution complète de bout en bout. Le résultat final sera une efficacité d'installation et d'exploitation qui rendra la solution du bus électrique à hydrogène vraiment compétitive.

Étude de Cas: Bus Électrique à Pile Hydrogène pour Pau, France

Critère de Décision

La communauté urbaine de Pau-Béarn-Pyrénées en France réalise depuis 2016 un Plan Climat Air Energie pour son territoire, qui est centré sur les priorités de la gestion de l'énergie, du développement des énergies renouvelables, de l'amélioration de la qualité de l'air et du développement de la mobilité alternative.

En janvier 2017, la ville de Pau-Béarn-Pyrénées a lancé un appel d'offres public pour l'acquisition de huit bus articulés de 18 m afin d'assurer un transport durable sur ses lignes de bus BHNS («Bus à haut niveau de service»). Les solutions BEB et FCEB ont été évaluées. La comparaison des solutions ne s'est pas seulement limitée aux performances des véhicules, mais a également pris en compte les contraintes d'exploitation, l'infrastructure requise et le niveau de service attendu.

L'analyse a révélé qu'une solution BEB aurait nécessité l'achat d'un plus grand nombre de véhicules pour desservir les mêmes itinéraires. Pour répondre aux exigences opérationnelles, il faudrait:

a) 10 BEB avec charge en route ;
b) 14 BEB avec charge au dépôt pour la nuit, ou
c) 8 FCEB avec ravitaillement au dépôt.

Compte tenu du nombre de véhicules et du coût global de l'infrastructure, les estimations du coût des solutions BEB et FCEB étaient très semblables pour les dépenses en capital et les dépenses d'exploitation.

En fin de compte, la Ville de Pau a choisi les FCEB en fonction de leur capacité à répondre aux exigences opérationnelles suivantes:

- Flexibilité pour prolonger l'itinéraire à certaines périodes de l'année;
- Résilience aux défaillances potentielles des infrastructures énergétiques;
- Sécuriser la marge de la gamme tout en étant soumis à des contraintes énergétiques supplémentaires telles qu'un hiver très froid/été très chaud.

Flotte de Bus Électriques à Hydrogène

La société Van Hool NV a été choisie pour fournir huit tram-bus Exquicity (Fébus), propulsés par les moteurs à pile à combustible de 100 kilowatts de Ballard FCveloCity®-HD100. Ces tout premiers tram-bus alimentés par piles à combustible ont été livrés à la Ville de Pau – Communauté d'Agglomération Pau Béarn Pyrénées en 2019 et sont exploités par la STAP (Société de Transport de l'Agglomération Paloise).

Les tram-bus hybrides à énergie propre utilisent des piles à combustible pour l'alimentation primaire et des piles au lithium pour l'alimentation supplémentaire en cas de besoin, la seule émission étant la vapeur d'eau. Chaque tram-bus, mesurant plus de 18 mètres de long, peut accueillir 125 passagers et parcourir plus de 300 kilomètres entre les ravitaillements en hydrogène. A ce jour la flotte a déjà parcouru 74 000 km en exploitation commerciale.

Prix décernés à FÉBUS

En novembre 2019, le jury national de la Marianne d'Or, premier concours civique en France, a décerné à Pau et Fébus son premier prix de l'innovation en matière de Développement Durable. Fébus a également remporté en 2018 le trophée de la transition énergétique dans la catégorie «Transport Durable». À Busworld 2019, Fébus a été couronné «meilleur bus au monde», gagnant le prestigieux «Grand Award Bus» ainsi que le prix de l'écologie.

Ravitaillement en Hydrogène

GNVERT, filiale d'ENGIE, a construit et exploite la station de ravitaillement en hydrogène des tramways-bus, qui produira de 174 à 268 kg d'hydrogène par jour. L'hydrogène est produit sur place à partir de l'eau à l'aide d'un électrolyseur. Dans un proche avenir, la puissance de l'électrolyseur sera fournie par des panneaux solaires à proximité. Sans émissions générées par la production d'hydrogène ou produites par les bus, il s'agit d'une solution de transport vraiment écologique, du puits à la roue.

Le moment est venu de mettre en place des bus à hydrogène zéro émission en France.

Conclusion

Avec des millions de kilomètres en service et plus de 15 ans sur la route dans différents environnements, le bus à pile à combustible répond aux exigences opérationnelles des organismes de transport en commun et des opérateurs de bus. Le bus à pile à combustible offre un remplacement 1:1 au bus diesel sans compromis sur les performances.

Les fabricants de piles à combustible, les constructeurs de bus européens, les fournisseurs d'hydrogène et les organismes gouvernementaux travaillent tous ensemble dans le cadre de programmes visant à apporter des bus à piles à combustible attrayants aux villes et aux opérateurs français. Les achats conjoints faciliteront la production en volume et offriront une solution abordable de transport en commun à émission zéro.

Aujourd'hui, le FCEB est :

Abordable — Offrir un coût de possession compétitif par rapport à un bus entièrement alimenté par batterie et à moins de 20% du coût d'exploitation des bus diesel.

De Haute Performance — Offrir la même commodité qu'un bus diesel pour les opérateurs de bus, sans exiger de compromis opérationnel (tels qu'une autonomie limitée, de longs temps de charge ou de recharge en route).

Sans émissions — Pratiquement silencieux, sans émissions de polluants atmosphériques et sans émissions d'échappement de dioxyde de carbone.

L'hydrogène offre une solution de ravitaillement évolutive et à l'épreuve de l'avenir, bien adaptée aux besoins des opérateurs de bus de transport en commun. L'hydrogène vert produit à partir d'énergie renouvelable ouvre la voie à un véritable transport en commun à émission zéro.

La solution FCEB à émission zéro est prête. La technologie est prête et durable, le prix est abordable, et il est maintenant envisageable de déployer des FCEB à grande échelle pour le transport en commun.

L’autre bus électrique

Pour en savoir plus sur le bus électrique à hydrogène et les solutions de ravitaillement en hydrogène:

zeroemissionbus.org

www.fuelcellbuses.eu

www.ballard.com