



---

**Commission économique pour l'Europe****Comité des transports intérieurs****Groupe de travail des transports par chemin de fer****Soixante-treizième session**

Genève, 25-27 novembre 2019

Point 11 de l'ordre du jour provisoire

**L'innovation dans le transport ferroviaire****L'utilisation de carburants de remplacement  
dans les chemins de fer****Note du secrétariat****I. Mandat**

1. Le Groupe de travail se souviendra peut-être qu'à sa soixante-douzième session, un atelier s'est tenu sur l'innovation dans les chemins de fer. Dans le prolongement de ce débat, le secrétariat a établi une note sur l'innovation en lien avec l'utilisation de carburants de remplacement dans le secteur du transport ferroviaire. On trouvera dans le présent document un résumé des principaux types de carburants de remplacement et des contextes dans lesquels ils sont testés et utilisés.

**II. Introduction**

2. Les avancées technologiques sont d'une importance cruciale dans tous les secteurs. Historiquement, l'une des principales avancées dans le secteur des transports a été l'avènement du moteur diesel qui remplaçait le moteur à vapeur. Aujourd'hui, la traction ferroviaire est assurée environ à 56 % par l'énergie électrique et à 44 % par des moteurs diesel.

3. Même si la construction de lignes exclusivement pour véhicules à moteur diesel est beaucoup moins chère, les coûts sur le cycle de vie (y compris les coûts sociaux et environnementaux) font que la solution la plus souhaitable, à condition de disposer des ressources nécessaires, est la construction de lignes électrifiées.

4. Bien que le transport ferroviaire soit le mode de transport le plus respectueux de l'environnement, il est toujours possible de l'améliorer et d'en augmenter l'efficacité. C'est pourquoi de nombreux opérateurs, organisations et pays mènent des recherches et financent des programmes axés sur les futurs carburants de remplacement, dont le principal objectif est d'éliminer les moteurs diesel du secteur. Le présent document passe en revue les principaux carburants de remplacement suivants :



- Les gaz naturels liquéfiés (GNL) et les gaz naturels comprimés (GNC) qui représentent une solution à court terme et qui sont dans l'ensemble moins efficaces que les autres solutions, mais aussi plus économiques pour l'instant ;
- Les packs multiples de batteries (*Battery Electric Multiple Unit – BEMU*), qui se présentent comme une solution à moyen terme ne nécessitant pas d'investissements infrastructurels très importants ;
- La production de piles à combustible et hydrogène (PCH), qui préfigure un avenir sans émission de gaz à effet de serre mais exige de lourds investissements, tant sur le plan technique que sur le plan financier, dans la mesure où cette technologie nécessitera la mise en place d'infrastructures de rechargement et de distribution différentes.

### III. Contexte

5. L'Union européenne, les États-Unis d'Amérique, le Canada et la Fédération de Russie sont les principaux pôles d'innovation pour les carburants de remplacement. Les États-Unis d'Amérique, le Canada et la Fédération de Russie privilégient les GNL et les GNC car ils ont accès à des ressources gazières, dont le coût est plus faible que celui du pétrole et peuvent ainsi réaliser d'importants bénéfices.

6. L'Allemagne et l'Autriche se concentrent essentiellement sur les BEMU, des essais ayant été effectués en Allemagne en 2018 et en Autriche en 2019. Les essais effectués en Allemagne pourraient conduire à l'exploitation commerciale de ce type de traction dès décembre 2021. D'autres pays comme l'Inde, l'Australie et la Nouvelle-Zélande prévoient aussi de mettre ce type de train en service.

7. De nouvelles technologies basées sur l'hydrogène sont mises au point en Allemagne, au Royaume-Uni et en France. Les chemins de fer allemands ont récemment lancé deux trains qui en sont équipés, et ce type de traction devrait être introduit en France d'ici à 2022. Le Royaume-Uni met également au point cette technologie dans le cadre du projet national HydroFLEX, dans le but de parvenir à un niveau d'émissions zéro dans les vingt ou trente prochaines années pour le transport de voyageurs.

### IV. Gaz naturels liquides – Gaz naturels comprimés

8. L'évolution récente de la technologie d'extraction du gaz a permis de réduire considérablement le prix de cette matière première, ce qui accroît son attractivité pour le secteur ferroviaire.

9. Le succès du GNL et du GNC aux États-Unis a été dû en grande partie au fait que leur utilisation permettait d'échapper à de lourdes amendes et de ne pas devoir faire les investissements technologiques nécessaires pour se conformer aux réglementations strictes en matière de pollution atmosphérique et d'émissions de CO<sub>2</sub>. L'utilisation du GNL et du GNC permet de réduire de 30 % les émissions de carbone et de 60 % les émissions d'oxyde d'azote.

10. La Compagnie Florida East Coast Railway (FECR) a commencé à convertir au GNL son parc de locomotives en 2014 et a achevé l'opération en 2017. Indiana Harbor Belt Railroad à Chicago a elle aussi commencé à équiper ses locomotives de moteurs fonctionnant entièrement au GNC.

11. Les Chemins de fer russes (RZD) ont terminé à la fin de l'été 2018 les essais de leur prototype de locomotive à moteur électrique alimenté au gaz naturel liquéfié GT1h-002. La locomotive à double unité de 8,3MW a réussi à parcourir 636 km avec une charge de 7 000 tonnes sur le tronçon Surgut-Limbey, à une vitesse atteignant 100 km/h. RZD prévoit de disposer d'un parc total de 22 locomotives alimentées au GNL d'ici à 2023.

12. L'Espagne a récemment effectué des essais avec le GNL sur ce qui sera la première ligne de transport de passagers en service alimentée au gaz naturel en Europe. La coentreprise entre le principal opérateur ferroviaire espagnol RENFE, Gas Natural Fenosa et Enagás, a

équipé un train diesel de moteurs GNL, qui effectue actuellement des essais sur le tronçon Baiña-Figaredo. Ce projet s'inscrit dans la stratégie 2014-2020 de développement de matériel roulant utilisant des carburants de remplacement de l'Espagne.

13. Le GNL et le GNC ne constituent que les solutions à court terme dans la mesure où leurs émissions de carbone, même si elles sont très inférieures au diesel, ne sont pas nulles. Le coût de l'installation d'un équipement GNL/GNL dans les dépôts et de l'adaptation du matériel roulant ou de l'acquisition de matériel neuf alimenté par ces carburants serait très élevé au regard des avantages que cela représenterait en termes de réduction des émissions.

## V. Packs multiples de batteries (BEMU)

14. Les BEMU représentent une autre solution pour l'avenir en tant que solution de remplacement à la traction diesel. Trois grands constructeurs ont lancé des études et s'emploient à mettre à l'essai cette technologie.

15. L'Autorité des transports de Saxe Verkehrsverbund Oberelbe (VVO) a mis en service un BEMU de démonstration basé sur la technologie des bus et des métros légers. Il faut 7 à 10 minutes au train pour être complètement rechargé au moyen d'un pantographe connecté à une installation électrique aérienne. Il atteint une vitesse maximum de 160 km/h sous caténaire et de 140 km/h sans caténaire.

16. L'opérateur ferroviaire autrichien ÖBB a développé un BEMU à trois voitures appelé Cityjet eco, lui aussi actionné par une caténaire aérienne, qui peut atteindre une vitesse maximum de 140 km/h sur les lignes sans caténaire. Vingt-cinq unités de ce type vont être fabriquées au total.

17. Enfin, le California Air Resources Board, avec son programme d'installations de fret à zéro ou presque zéro émissions, aux États-Unis d'Amérique, est la première entité à couvrir le réseau de fret avec ses systèmes d'alimentation électrique à batterie. Le projet, qui est doté d'une subvention de 22,6 millions de dollars, consiste en une version hybride batterie/diesel destinée au transport des marchandises pondéreuses.

## VI. Production de piles à combustible et hydrogène (PCH)

18. C'est actuellement la technologie de l'hydrogène qui est la mieux à même d'améliorer la durabilité et l'efficacité à long terme de l'industrie ferroviaire. Les trains alimentés grâce à cette technologie tirent leur énergie de piles à combustible dans lesquelles les molécules d'hydrogène et les molécules d'oxygène sont combinées pour produire de l'électricité. L'énergie produite est ensuite utilisée pour alimenter le train ou stockée dans les batteries, si la quantité produite est supérieure aux besoins. Les seules émissions qui se dégagent sont faites de vapeur et d'eau.

19. L'Europe est le principal centre de recherche et d'application de cette technologie. À l'heure actuelle, la recherche dans ce domaine est menée par l'entreprise commune Shift2Rail (S2R JU) et par l'entreprise commune Piles à combustible et Hydrogène (FCH JU). De plus, trois États européens (Royaume-Uni, Allemagne, France) ont déjà lancé un projet similaire ou signé des contrats à cette fin.

20. Shift2Rail JU est une entité née en 2009 de la coopération entre l'industrie ferroviaire européenne et coordonnée par l'UNIFE dans le but de créer un système de transports intelligent, vert et intégré. Elle est financée par le programme Horizon 2000. Ses principaux objectifs sont les suivants : réduire de 50 % de coût du cycle de vie du transport ferroviaire, doubler la capacité du système et accroître de 50 % sa fiabilité et sa ponctualité.

21. L'entreprise commune Piles à combustible et Hydrogène (FCH JU) est spécialisée dans la mise au point accélérée et l'introduction sur le marché de technologies basées sur l'hydrogène. Elle est elle aussi financée par le programme Horizon 2020. Les travaux entrepris dans le cadre de ces deux entités ont montré que, par rapport au diesel, la technologie des piles à combustible et à hydrogène est extrêmement compétitive en termes de coûts (à long terme) et ne produit aucune émission (si l'électrolyse est réalisée à partir de

ressources renouvelables). Trois scénarios ont été étudiés : hypothèse basse, neutre et haute. Selon les estimations, en 2030, les trains à hydrogène détiendront 11 %, 20 % ou 40 % des parts de marché (selon le scénario). Ils remplaceront le matériel à moteur diesel, qui représente actuellement 20 % du trafic en Europe et circule sur 40 % du réseau ferroviaire. Les études ont montré de quelle manière cette technologie entraînerait une décarbonation totale du transport ferroviaire sans qu'il soit nécessaire d'électrifier complètement le réseau, ce qui réduira l'impact visuel des chemins de fer ainsi que les coûts associés. C'est dans les corridors non électrifiés de plus de 100 km (où le coût est inférieur à 50 euros/MWh), de préférence à haute densité, desservant des zones rurales ou montagneuses, que les trains à hydrogène auront le plus grand avantage compétitif. Le coût initial des trains à hydrogène ainsi que leur coût total de possession (TCO) sera supérieur à celui des trains à moteur diesel ; en revanche, leur coût de maintenance sera beaucoup plus faible.

22. Ces estimations ne concernent toutefois que le transport de voyageurs. Le passage au secteur du fret sera plus difficile. Selon les précédentes études, il pourrait y avoir une autre solution : l'hybridation souple. Des trains de marchandises hybrides (Diesel/FCH) pourront transporter plus de 5 000 tonnes, atteindre une vitesse supérieure à 180 km/h et parcourir des distances de plus de 700 km.

23. L'Allemagne est le premier pays à mener des essais et à s'engager officiellement sur le marché de l'hydrogène. En septembre 2018, elle a mis en service deux trains FCH sur un tronçon reliant Cuxhaven et Buxtehude (100 km). Ces véhicules sont équipés de piles à combustible dans lesquelles les composants chimiques (hydrogène et oxygène) se combinent pour créer de l'énergie, laquelle est utilisée pour alimenter le train et stockée dans des batteries lithium-ion spécifiques présentes à bord. La vapeur et les sous-produits de l'eau sont ensuite libérés dans l'atmosphère, sans émission de gaz à effet de serre. Le train a une capacité de 300 passagers et peut atteindre une vitesse maximum de 140 km/h. Il peut parcourir jusqu'à 1 000 km avec un seul réservoir d'hydrogène, soit l'équivalent d'un réservoir diesel. Le Land de Basse-Saxe a commandé 14 trains supplémentaires qui seront livrés d'ici à 2021.

24. La principale compagnie ferroviaire française, la SNCF, a récemment dévoilé ses engagements pour 2035 en matière de baisse des coûts et de réduction des émissions de gaz. Le très attendu TGV2020 sera, selon la description qu'en a donné le Directeur du développement durable de la SNCF, 20 % moins cher à produire et à exploiter, aura une efficacité énergétique supérieure de 20 % et sera recyclable à 99 %. En plus de ces engagements, la SNCF prévoit de supprimer totalement le matériel roulant à moteur diesel d'ici à 2035 grâce à l'utilisation de la technologie FCH.

25. Des programmes similaires sont également menés dans d'autres pays, y compris le Royaume-Uni, comme indiqué ci-dessus.

## VII. Résumé et étapes suivantes

26. La présente note exposait les différentes formes de carburants de remplacement disponibles actuellement dans le secteur ferroviaire. Le Groupe de travail voudra peut-être réfléchir aux étapes suivantes, compte tenu de ce document et d'autres aspects de l'innovation dans le secteur ferroviaire.

---