



Poids lourd hybride roulant sur l'eHighway près de Darmstadt (Allemagne) - alimentation par caténaies. © Siemens

BAT

# La route électrique : une alternative crédible au tout batteries

**L**a recharge en continu des véhicules, le long des autoroutes, semble encore à certains relever de la science fiction. Pourtant, trois systèmes d'*Electric Road System* (ERS) sont aujourd'hui en cours de test. Ils pourraient permettre, après validation, d'étendre la mobilité électrique par batteries aux transports de marchandises sur longues distances sans avoir à emporter des masses trop importantes de batteries. Un défi qui, s'il est relevé, apporterait une contribution importante à la décarbonation des poids lourds en Europe.



**Servan Lacire,**  
responsable Mobilités  
Équilibre des Énergies



**Jean-Pierre Hauet,**  
président du Comité  
scientifique  
Équilibre des Énergies

Depuis 10 ans, le véhicule électrique s'est imposé dans le marché des véhicules particuliers. L'industrie s'est mise en marche et en parallèle aux giga-usines de batteries, tous les mois de nouveaux modèles de véhicules électriques arrivent sur le marché.

Avec un certain décalage dû à ses contraintes propres et à l'éventail de ses types de véhicules et modes d'exploitation, le transport routier de marchandises et de passagers a aussi entamé sa décarbonation en s'appuyant sur le développement des batteries pour les véhicules particuliers.

Sans conteste, les solutions batteries s'imposeront pour les transports locaux et régionaux. Elles sont également en lice pour les transports sur longues distances, grâce notamment au développement des bornes de recharge à haute puissance.

Pour autant, l'hydrogène et le bioGNV n'ont pas dit leur dernier mot et des incertitudes demeurent sur la disponibilité à long terme des matériaux pour batteries, sur le déploiement d'infrastructures de recharge en disponibilité et en nombre suffisant et sur la réalisation des promesses d'évolution des batteries en termes de coût, de durabilité, de capacité et de rapidité de la recharge.

Depuis plus d'une dizaine d'années, plusieurs groupes de recherche ou acteurs économiques ont imaginé et étudié des systèmes de recharge en roulant (*Electric Road Systems* - ERS) comme extension aux solutions tout batteries et comme alternative à l'hydrogène. En 2021 un groupe de travail, placé sous l'égide de la Direction générale des infrastructures, des transports et des mobilités (DGTIM) a conclu à l'intérêt de promouvoir ces solutions.

## Les principes de la route électrique

Trois solutions sont en lice pour recharger les véhicules en roulant, avec des degrés de maturité différents : l'alimentation par caténaires, le rail affleurant la chaussée ou encore, le transfert d'énergie électrique par induction à partir de bobines logées dans la couche de roulement.

Les bénéfices attendus sont la réduction de la masse des batteries embarquées et donc l'augmentation de la charge utile des véhicules, l'économie de matériaux rares comme le cobalt et la réduction des besoins en zones de recharge en échange de l'immobilisation d'une quantité limitée de cuivre ou d'aluminium.

Les coûts impliqués et la coexistence avec d'autres usagers orientent ces solutions vers les autoroutes ou voies express, concédées ou non, plutôt que vers les nationales ou les départementales. Les poids lourds étant supposés conserver une autonomie de 250 km, une absence de système ERS sur plusieurs dizaines de kilomètres, est acceptable. Même dans une vision long terme, le taux d'équipement ne devrait pas dépasser 70 à 80 % pour éviter les ponts, les tunnels, les échangeurs ou les zones trop éloignées des réseaux de distribution d'électricité.

De plus, les solutions rail et induction pourraient être rendues accessibles aux véhicules particuliers et permettre de s'affranchir soit des véhicules hybrides, soit des véhicules dotés de très grosses batteries, augmentant par là-même le bénéfice pour la collectivité et ce d'autant plus que les poids lourds ne circulent pas les jours de pointe des véhicules particuliers.

## Trois solutions avec des avantages et des inconvénients

### L'alimentation par caténaires

L'alimentation par caténaires est une solution éprouvée sur les trains et les tramways. Elle est, sur le plan purement technologique, la plus mature et a fait l'objet d'expérimentations en Allemagne, en Suède et aux Etats-Unis mais reste encore à évaluer dans un fonctionnement en milieu ouvert avec un parc de poids lourds d'origine hétérogène important, en particulier en ce qui concerne l'usure et le risque d'arrachement des caténaires.

De leur côté les exploitants d'autoroute soulèvent l'impossibilité de faire atterrir les hélicoptères de la protection civile et la difficulté de pouvoir redresser les poids lourds couchés avec des grues, deux situations assez fréquentes, semble-t-il.

### Les solutions rail

Dans les solutions rail, les véhicules sont alimentés à partir d'un rail découpé en segments mesurant entre un et une dizaine de mètres. Il faut soit deux rails (solution Alstom), soit un rail découpé en segments d'un mètre (solution ElonRoad). Les segments ne sont mis sous tension que lorsqu'un véhicule roule dessus, par une communication entre le véhicule et l'infrastructure.

Cette solution permet le transfert de puissances importantes et les tests unitaires, y compris en route ouverte ont montré une bonne résilience aux conditions hivernales.



Expérimentation de la solution rail ElonRoad sur 1 km à Lund (Suède).

© ElonRoad

Les principales incertitudes portent sur les surcoûts de réfection de la couche de roulement, les conditions de sécurité pour les motards mais aussi sur le risque de dégradation de la liaison avec le reste de la chaussée.

### La route à induction

Le principe de la route à induction (*In-Road Inductive Charging System*) consiste à transférer l'énergie sous forme d'un champ électromagnétique variable émis à partir de bobines insérées dans le sol vers une ou plusieurs bobines situées sous le châssis du véhicule. Plusieurs industriels développent leur solution, incompatibles entre elles à ce stade, en particulier la société israélienne Electreon et l'institut Vedecom.

Cette solution présente a priori de gros avantages : les bobines n'interfèrent pas avec le trafic et peuvent même être enfouies de façon suffisamment profonde pour ne pas gêner la rénovation de la couche de roulement.

Cependant les puissances actuellement transmises sont inférieures aux puissances nécessaires, même si des solutions permettant de dépasser ces valeurs sont annoncées.

Des tests ont été faits ou sont en cours en Suède, en condition de circulation normale sur route ouverte, en France, à Dubaï, en Allemagne, en Israël, en Italie, aux Etats-Unis et en Corée du Sud, mais sur des techniques différentes (Electreon, VEDECOM, OLEV/KAIST).

Un point de vigilance est l'échauffement de la couche de roulement par la chaleur engendrée par les enroulements qu'il faudra valider par des installations en grandeur réelle.

Comme le rail cette solution est aussi adaptable à des véhicules particuliers.

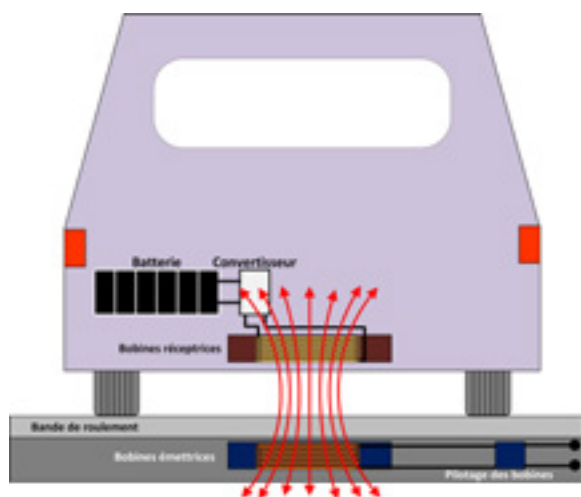


Schéma de principe de la solution par induction.

Source : auteurs.

### Les aspects économiques

Équilibre des Énergies a estimé le coût de revient d'un système ERS à partir des données de trafic disponibles sur les tronçons d'autoroute A7/A9 et des informations recueillies auprès de concepteurs de solutions, de maîtres d'œuvre d'infrastructures routières et d'électriciens.

À ce stade, seul l'ordre de grandeur est à retenir pour évaluer la faisabilité des solutions. Les coûts évolueront avec la maturation des systèmes et la compétition entre les acteurs, tandis que les expérimentations en grandeur réelle pourront faire apparaître des éléments qui n'ont pas été encore identifiés.

### Application aux autoroutes A7/A9

Tab. 1 : Estimation du prix du service rendu en 2030 et du TCO, en €/km, pour des trajets longues distances (> 500 km)

| en €/km parcouru                                                                   | Hydrogène (horizon 2030) | Batteries (horizon 2030) | Induction | Caténaires | Rail |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------|------------|------|
| Estimation du prix de vente du service (marge incluse et hors surcoût du véhicule) | 0,48                     | 0,47                     | 0,48      | 0,41       | 0,35 |
| Coût total de possession (TCO)                                                     | 0,79                     | 0,78                     | 0,78      | 0,70       | 0,64 |

Nota 1 : Ces chiffres n'incluent pas le péage, que l'on peut en moyenne estimer à 0,26 €/km et qui s'ajoute dans tous les cas.

Nota 2 : Les calculs qui précèdent ont été effectués dans l'hypothèse d'un prix de l'électricité de 93 €/MWh.

### L'analyse en TCO donne un avantage à la route électrique et plus spécifiquement à la solution rail.

Les solutions ERS bénéficient du coût réduit de l'équipement du véhicule : les batteries sont de taille limitée et l'équipement du véhicule lui-même reste relativement accessible. De plus la capacité d'emport du véhicule est identique à celle d'un véhicule diesel et la structure du véhicule n'a pas à être renforcée pour supporter le poids des batteries.

### La problématique du déploiement

#### La validation des choix techniques

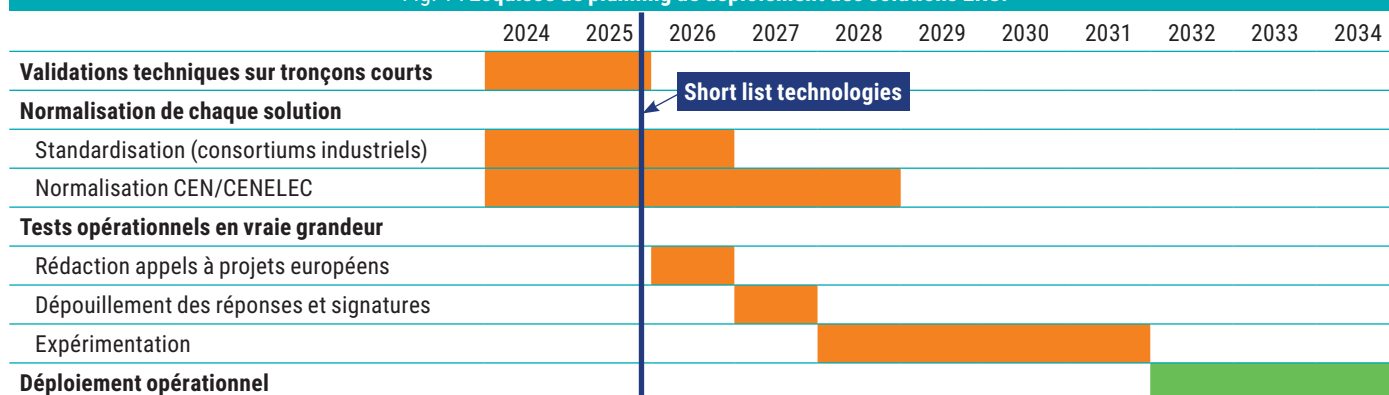
Chacune des solutions nécessite encore des tests pour valider les techniques de base dans des conditions se rapprochant des conditions opérationnelles. Ce sera le but des appels à projets lancés par différents pays européens dont la France en 2022.

L'étape suivante impliquera un changement d'échelle et l'équipement de tronçons d'une centaine de kilomètres et de flotte de poids lourds significative, soit un budget compris entre 250 et 450 M€ pour l'expérimentation d'une solution.

#### Déploiement des infrastructures

Dans son étude sur l'hydrogène, Équilibre des Énergies avait montré que le déploiement des infrastructures pouvait être progressif, avec des stations de ravitaillement au départ très espacées, puis une densification progressive du réseau de distribution.

Fig. 1 : Esquisse de planning de déploiement des solutions ERS.



Les solutions ERS imposent, pour bénéficier de la réduction de la dimension des batteries embarquées, que le système soit déployé dès le départ sur au moins 50 à 70 % du tronçon où il est exploité, ce qui implique d'emblée des investissements conséquents.

### Esquisse de planning

Compte-tenu des éléments qui précèdent, le planning le plus court ne donne pas un début de déploiement à grande échelle avant 2029/2030 et sous réserve qu'une impulsion soit donnée tant au niveau national qu'europpéen (voir figure 1).

### Conclusion

L'ERS présente aujourd'hui un intérêt certain pour parvenir à la décarbonation des transports de marchandises mais il ne pourra probablement émerger qu'après le

déploiement en première phase de poids lourds équipés avec des batteries. Cette seconde phase pourrait s'insérer dans le calendrier du projet de règlement modifiant le règlement (UE) 2019/1242 relatif au renforcement des normes de performance en matière d'émissions de CO<sub>2</sub> pour les nouveaux véhicules lourds, visant à parvenir à un taux minimal de décarbonation sur les véhicules neufs de 90 % en 2040.

Cependant, rien n'est acquis : nous sommes dans un monde qui change rapidement et une percée technologique dans les batteries pourrait remettre en question l'intégralité des conclusions du présent article. Néanmoins, il est indispensable pour l'Europe d'anticiper et de préparer dès maintenant une variante vertueuse au modèle « tout batteries » et une alternative aux modèles hydrogène ou bioGNV. Les délais de test, validation et adoption sont trop importants pour attendre l'échec d'un quelconque modèle. ●

## Projets retenus en 2023 dans le cadre de l'AAP du gouvernement français et sélectionnés par BPI France

### Charge as you drive

- Partenaires : Vinci Autoroutes Vinci Construction, Université Gustave Eiffel, Cerema, Hutchinson, Elonroad, Electreon
- Objectif : tester la recharge dynamique sur rail conducteur (Elonroad) et sur induction sur une autoroute ouverte à la circulation
- Des essais préalables sur piste fermée au CEREMA
- Deux tronçons de 2 km sur A10 :
  - Un tronçon induction Electreon (un poids lourd 40 t et un bus)
  - Un tronçon rail Elonroad
- 3 ans – 26 M€

### RED4Fret Equans

- Objectif : tester la recharge dynamique sur caténaire sur une autoroute ouverte à la circulation
- Un test prévu dans l'est de la France
- 2 km équipés avec deux véhicules hybrides caténaires/batteries
- Le dossier est en cours de contractualisation (attendue T4 2023) car le projet a été déposé en janvier 2023

### E-Road Mont Blanc

- Partenaires : Alstom, GREENMOT-Drive Innovation, FAAR-PRONERGY, Mersen, Université Gustave Eiffel et ATMB (Autoroutes et tunnel du Mont Blanc)
- Objectif : tester la recharge dynamique sur rail conducteur (Alstom) sur une autoroute ouverte à la circulation
- Des essais dès mi- 2024 sur piste fermée à Transpolis (500 m)
- Installation ensuite sur 1 km sur la RN 205 (mi 2025)
- VUL, un car et un camion 40 t