

Guide Bus électriques

TOUTES LES INFORMATIONS POUR CONVERTIR SA FLOTTE

SEPTEMBRE 2021



en partenariat avec



Edito & remerciements

La décarbonation du secteur des transports fait l'objet d'un fort soutien politique à l'échelle européenne, nationale et locale. Face à la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre et d'améliorer la qualité de l'air y compris pour les transports en commun, le bus électrique, qu'il soit à batterie ou à pile à combustible (hydrogène), est aujourd'hui une réelle opportunité pour les territoires et opérateurs de transports publics.

Des pas de géants ont été franchis ces dernières années avec des avancées technologiques majeures en matière de recharge, de disponibilité de catégories de véhicules ou d'autonomies pour des bénéfices en matière environnementale et de confort de conduite qui ne sont plus à démontrer. De plus, l'autobus électrique est déjà compétitif sur le temps d'exploitation des véhicules par rapport à leur équivalent thermique. Il est vrai qu'électrifier une flotte de bus requiert une approche différente de l'utilisation de carburants traditionnels mais cette différence s'inscrit pleinement dans le contexte de transition énergétique et climatique que nous vivons et qui va s'accroître dans les années à venir, sans au final créer des contraintes supplémentaires.

Ce livre blanc délivre toutes les informations nécessaires pour que les acteurs du transport en commun puissent envisager sereinement de brancher leurs flottes d'autobus.

Il permettra à chacun d'accélérer sur le chemin de l'électrification du transport au service du collectif et de l'environnement.

Antoine Herteman

Président de l'Avere-France

Nous remercions les contributeurs à ce guide, qui nous ont permis d'avoir des données exploitables et de confronter les points de vue :

ABB, AIRE, ALLEGO, AUTO RECHARGE, BLUEBUS, BLUE SOLUTIONS, BORNES SOLUTIONS, BOUYGUES ENERGIES & SERVICES, CHARGEPOINT, EBUSCO, EDF, ELECTRISE, ENEDIS, ENGIE, EV BOX, FORSEE POWER, FRANCE HYDROGENE, HEULIEZ, IES SYNERGY, INNOGY, IVECO, KALLISTA ENERGY, MOBELEC, NEOT, NICE COTE D'AZUR, PROVIRIDIS, PVI, RATP, RENAULT TRUCKS, REUNIR, SDIS86, SOLSTYCE, SPIE, TOTALENERGIES, VILLE DE PARIS, VOLVO.

Coordination du rapport confiée
à **Colombus Consulting**.

Table des matières

1. Un cadre réglementaire propice et un marché dynamique qui accélèrent l'électrification des bus	7
1.1 Un cadre réglementaire incitatif amené à se renforcer dans les années à venir	8
1.2 Des bus électriques partout en France : cartographie 2019-2020	10
1.3 La France, 2 ^{ème} parc de bus européen et seulement 11 ^{ème} pour les bus électriques	12
1.4 Un marché malgré tout dynamique, avec de nombreux appels d'offres à grande échelle en France métropolitaine et dans les DROM-COM	14
2. De nombreux bénéfices reconnus pour les technologies électriques	15
2.1 Des bénéfices climatiques incontestables	16
2.2 Des répercussions positives sur la santé publique	17
2.3 Un confort indéniable pour les conducteurs, passagers et populations environnantes	18
2.4 Une maintenance allégée des bus et des infrastructures	18
3. Comment fonctionne un bus électrique ?	19
3.1 Qu'est-ce que le bus électrique ?	20
3.2 Qu'est-ce qu'un système batterie ?	21
3.3 Les technologies de cellules électrochimiques : des autonomies pouvant être conservées à 80% après 15 ans d'utilisation	23
3.4 Le cycle de vie des batteries	24
3.5 Technologie batterie + hydrogène	25
4. Comment se recharge un bus électrique à batteries ?	26
4.1 Les stratégies de recharge pour les bus électriques à batteries et hydrogène	27
4.2 Comment choisir sa solution de recharge ?	28
4.3 Un cas particulier : le Trolleybus	33

5. Une offre étoffée de bus électriques européens	34
5.1 De nombreux modèles de bus électriques Made in Europe	36
5.2 Le retrofit, une autre manière d'électrifier les bus	38
6. Un coût total de possession avantageux sur le temps d'exploitation	39
7. Les aides au déploiement et au financement des bus électriques	41
8. Les véhicules font l'objet de mesures de sécurité renforcées	44
8.1 Des bus certifiés avec un très haut niveau d'exigence au niveau du véhicule et de la batterie	45
8.2 Une réglementation de sécurité à appliquer aux dépôts	45
8.3 Bonnes pratiques pour optimiser la sécurité lors de la recharge	46
9. Focus sur les autocars électriques : transport de voyageurs longue distance	48
9.1 Parc d'autocars en France et Ile-de-France	49
9.2 Profil des autocaristes	50
9.3 Les caractéristiques des lieux de remisage	50
9.4 Les autocars électriques existants	50
9.5 Aides à la transition des infrastructures des dépôts	51
Glossaire	52

Synthèse

Depuis 2015, la loi de transition énergétique pour la croissance verte impose une proportion minimale de véhicules à faibles émissions lors du renouvellement d'une flotte publique de transports en commun. Ainsi les opérateurs de services de transport public avec un parc de plus de 20 autobus et autocars, doivent, lors d'un renouvellement, acquérir ou utiliser des autobus et autocars à faibles émissions dans une proportion minimale de 50 % depuis le 1er janvier 2020 puis en totalité à partir du 1er janvier 2025.

De nombreuses villes et régions françaises ont déjà adopté les bus électriques à batterie ou pile à combustible portant le parc français à près de 600 bus électriques (batterie et hydrogène)¹. Aujourd'hui majoritairement concentrées en Ile-de-France, à Strasbourg et dans la métropole Aix-Marseille-Provence, les flottes de bus électriques (batterie et hydrogène) continuent de se développer grâce à des technologies de plus en plus performantes, et en amélioration exponentielle dans l'hexagone et dans les DROM-COM.

Bien que la France soit l'un des leaders en nombre de véhicules, un ralentissement a été perçu en 2020 (en nombre d'immatriculations) face à ses voisins européens.

Les bénéfices environnementaux, sur la santé publique via les réductions d'émissions de gaz à effet de serre, de la pollution sonore, sur l'amélioration de la qualité de l'air et sur le confort des conducteurs, passagers et populations à proximité ne sont plus à prouver. A cela s'ajoute un cycle de vie des bus électriques six fois moins émetteur qui les place aujourd'hui en pole position vis-à-vis des véhicules thermiques fossiles (diesel ou gaz).

Il est aujourd'hui plus rentable d'opter pour un renouvellement de sa flotte de bus en choisissant les modèles électriques.

Les constructeurs de véhicules européens proposent aujourd'hui des offres de bus permettant de répondre à toutes les contraintes des collectivités (climatiques, topographiques, démographiques). Les fabricants de batteries quant à eux, ont su développer des technologies de haute qualité permettant de limiter le nombre et le temps de recharge dans une quête d'optimisation du temps et de l'énergie. Enfin, des infrastructures de recharge adaptées à chaque besoin permettent de s'assurer de la bonne recharge des véhicules en dépôt ou sur la ligne.

Ce guide, à destination des collectivités et des acteurs de la mobilité décarbonée, permet à chacun d'appréhender avec les bonnes clés de compréhension l'électrification de ses flottes de bus comme l'ont déjà fait plusieurs dizaines de collectivités.

¹ Voir infographie page 11 de ce guide

1. Un cadre réglementaire propice et un marché dynamique qui accélèrent l'électrification des bus



1.1 Un cadre réglementaire incitatif amené à se renforcer dans les années à venir

La loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) : un texte fondateur

Depuis 2015, la loi de transition énergétique pour la croissance verte impose une proportion minimale de véhicules à faibles émissions² lors du renouvellement d'une flotte publique de transports en commun. Ainsi les opérateurs de services de transport public avec un parc de plus de 20 autobus et autocars, doivent prévoir, lors d'un renouvellement, d'acquérir ou d'utiliser des autobus et autocars à faibles émissions dans une proportion minimale de 50 % depuis le 1er janvier 2020 puis en totalité à partir du 1er janvier 2025.

Principe général de la LTECV sur les véhicules à faibles émissions : « plus un territoire est urbain, plus les critères définissant les véhicules à faibles émissions sont stricts afin de garantir un renouvellement des flottes le plus écologique possible tout en tenant compte de la densité de la population exposée aux émissions polluantes locales. »³

La loi d'orientation des mobilités (LOM) : la décarbonation des transports routiers

La loi d'orientation des mobilités, promulguée le 26 décembre 2019, vient compléter la LTECV pour notamment répondre à l'urgence environnementale et climatique « qui appelle à changer nos comportements et à nous déplacer différemment ». Cette loi met l'accent sur « les transports du quotidien » avec entre autres les mesures suivantes sur les véhicules lourds.

² Critères fixés par le décret n° 2017-23 du 11 janvier 2017

³ A noter par ailleurs que la directive « Véhicules propres » entrera en application le 2 août 2021 par l'intermédiaire d'un décret qui renforcera les objectifs de la LTECV.

⁴ LOM art. 73

⁵ A noter que le projet de loi Climat et Résilience, adopté le 20 juillet 2021, a fixé la fin de vente des véhicules lourds utilisant majoritairement des énergies fossiles à 2040.

⁶ Transposition de la directive (UE) 2019/1161 modifiant la directive 2009/33/CE relative à la promotion de véhicules de transport routier propres et économes en énergie, dite directive « véhicules propres » (LOM art. 74) Une telle ordonnance devrait être prise avant le 26 décembre 2021.

⁷ Art. L.224-8 code de l'environnement

⁸ A compter du 1er janvier 2021, dans un délai de deux ans, lorsque les normes de qualité de l'air ne sont pas respectées de manière régulière, mais également, que les transports terrestres sont à l'origine d'une part prépondérante des dépassements sur le territoire.

Verdissement des flottes

L'État français a pris, au travers de la LOM, des engagements de décarbonation complète des transports terrestres⁴ d'ici 2050⁵. Pour cela le Gouvernement est autorisé⁶, par ordonnance, à fixer des obligations progressives dans le temps d'une proportion minimale de véhicules à faibles émissions parmi les véhicules acquis ou pris en location ou dans le cadre de contrats de services.

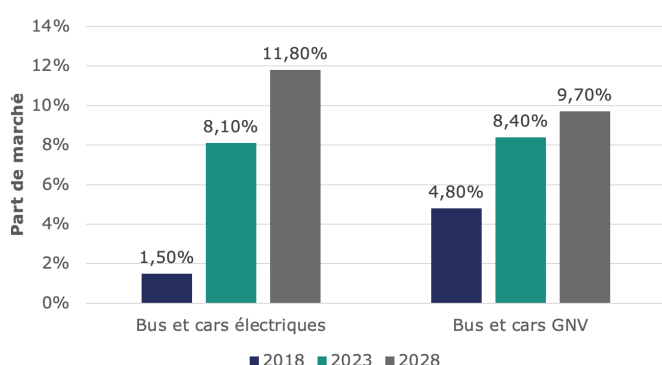
Enfin, si la loi d'orientation des mobilités n'a pas renforcé les obligations de verdissement des parcs de véhicules lourds⁷ de l'État et des collectivités territoriales, elle a acté une obligation de reporting. Depuis le 1^{er} janvier 2021, il est nécessaire de rendre public le pourcentage d'autobus et d'autocars à faibles émissions parmi les véhicules ayant fait l'objet d'un renouvellement durant l'année précédente.

Zones à faibles émissions mobilité

Les zones à circulation restreinte (ZCR) sont devenues des zones à faibles émissions mobilités (ZFE-m) et leur instauration est obligatoire⁸. Les communes ou leur EPCI pourront s'appuyer sur le dispositif des vignettes Crit'air pour restreindre la circulation à certaines catégories de véhicules, notamment les autobus.

La programmation pluriannuelle de l'énergie : des perspectives de développement

Publiée le 23 avril 2020, elle fixe la trajectoire de développement du parc des véhicules routiers électrifiés. Toutes technologies confondues, les routes françaises devront compter 21 000 véhicules lourds à faibles émissions fin 2023 et 65 000 fin 2028 et en particulier 2 200 autobus et autocars électriques en 2023 et 5 900 en 2028.



Evolution des parts de marché des véhicules à faibles émissions au sein des ventes de véhicules neufs

Source : PPE 2019-2023 2024-2028



Le Pacte Vert de l'Union européenne : l'Europe se met en ordre de marche pour une électrification massive des transports

L'ensemble des actions prises par l'Union européenne s'inscrivent dans le cadre de l'accord de Paris sur le Climat⁹ qui vise à limiter

le réchauffement de la planète à un niveau inférieur à 2°C. Le Pacte vert européen vise la neutralité carbone d'ici 2050. S'agissant plus spécifiquement du volet « mobilité durable » du Pacte vert, la Commission européenne propose plusieurs pistes d'actions, en particulier via le renforcement de la production et le déploiement des mobilités propres ainsi que des infrastructures de recharge ou de ravitaillement connexes avec un objectif d'un million de stations de recharge et ravitaillement d'ici 2025 pour 13 millions de véhicules à faibles et très faibles émissions, tout en renforçant également les normes existantes sur les polluants atmosphériques.

Un renforcement des normes avantageant les technologies électriques

Le Paquet Mobilité Propre renvoie à un ensemble de propositions de la Commission européenne présentées entre 2017 et 2018 et relatives au renouvellement des politiques des transports portant sur les normes et infrastructures attendues dans les prochaines années ainsi que sur la question d'une mobilité propre, connectée et sécurisée. Ces propositions sont très largement reprises par les objectifs du Pacte vert européen.

La Commission européenne vise ainsi 30 millions de véhicules propres en circulation d'ici 2030 et que la quasi-totalité des voitures, camionnettes, bus et autres véhicules lourds soient zéro émission d'ici 2050.

La Commission européenne prévoit d'ici les trois prochaines années de réviser les normes CO₂ sur l'ensemble des véhicules (voitures, camionnettes, camions et bus) ainsi que les normes sur les émissions de polluants atmosphériques dans le cadre de la future norme Euro VI. Elle prévoit également de réviser les réglementations sur le poids et le dimensionnement des véhicules lourds, ainsi qu'un investissement massif dans les batteries et l'hydrogène¹⁰ pour le secteur du transport routier.

9 Adopté le 12 décembre 2015 lors de la Conférence de Paris sur les changements climatiques (COP21) par les 195 délégations présentes
10 http://www.avere-france.org/Site/Article/?article_id=7615&from_espace_adherent=0

Enfin, la Commission européenne entend également accroître le déploiement des infrastructures de recharge et de ravitaillement en carburants alternatifs avec notamment la révision de la directive AFID (Alternative Fuels Infrastructure Directive). La majorité de ces réformes a été présentée par la Commission européenne à l'été 2021. Des aides européennes devraient également être annoncées.

La normalisation des points de recharge pour bus électriques

La directive 2014/94/EU (AFID) a été adoptée le 22 octobre 2014, en revanche la Commission européenne a adopté un règlement délégué le 17 juin 2021, pris en application de la directive AFID, visant à établir des standards pour les points de recharge pour les bus électriques.

En résumé, les points de recharge utilisant le courant alternatif (AC) devront être équipés de chargeurs de 'Type 2', ceux utilisant le courant direct (DC) devront être équipés de chargeurs de type 'Combo 2' et les standards EN 50696 devront être respectés vis-à-vis des rechargements par pantographe.

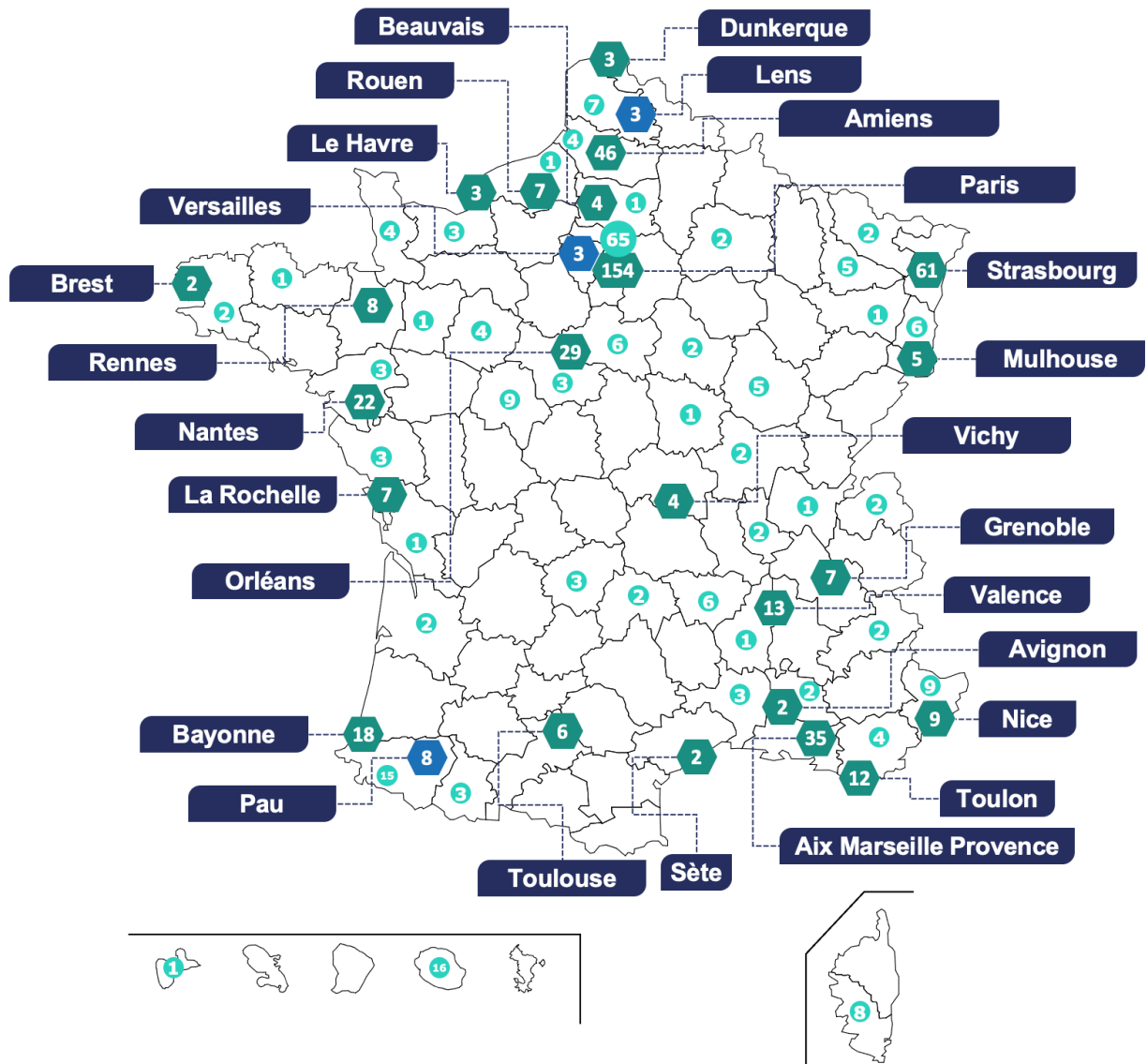
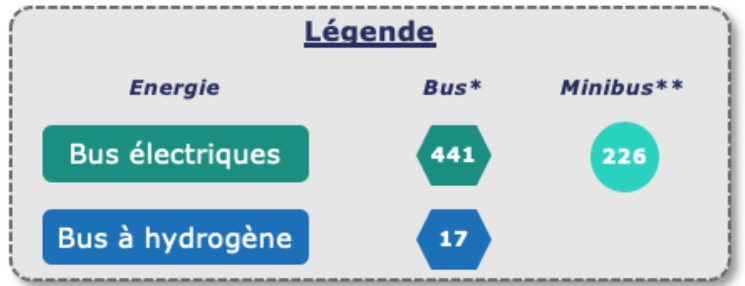
Ce règlement délégué entrera en application dans deux ans, le temps que l'ensemble des acteurs se conforment à ces normes techniques.

1.2 Des bus électriques partout en France : cartographie 2019-2020

La France connaît un fort développement de bus électriques avec un volume multiplié par 3 entre 2018 et 2019 (de 95 à 285¹¹). Ces nouvelles flottes électriques couvrent désormais une grande partie du territoire, aussi bien les villes moyennes, intermédiaires que les grandes métropoles. Du fait de la variété d'offres, de modèles et de technologies, le bus électrique à batterie ou pile à combustible démontre son apport pour la transition énergétique sur tous les territoires. Les minibus couvrent une encore plus grande partie du territoire. Cela s'explique par un déploiement antérieur et un niveau de complexité des infrastructures moindre.



¹¹ ACEA : Rapport 2020 : Buses by fuel type (https://www.acea.auto/files/ACEA_buses_by_fuel_type_full-year_2020.pdf)



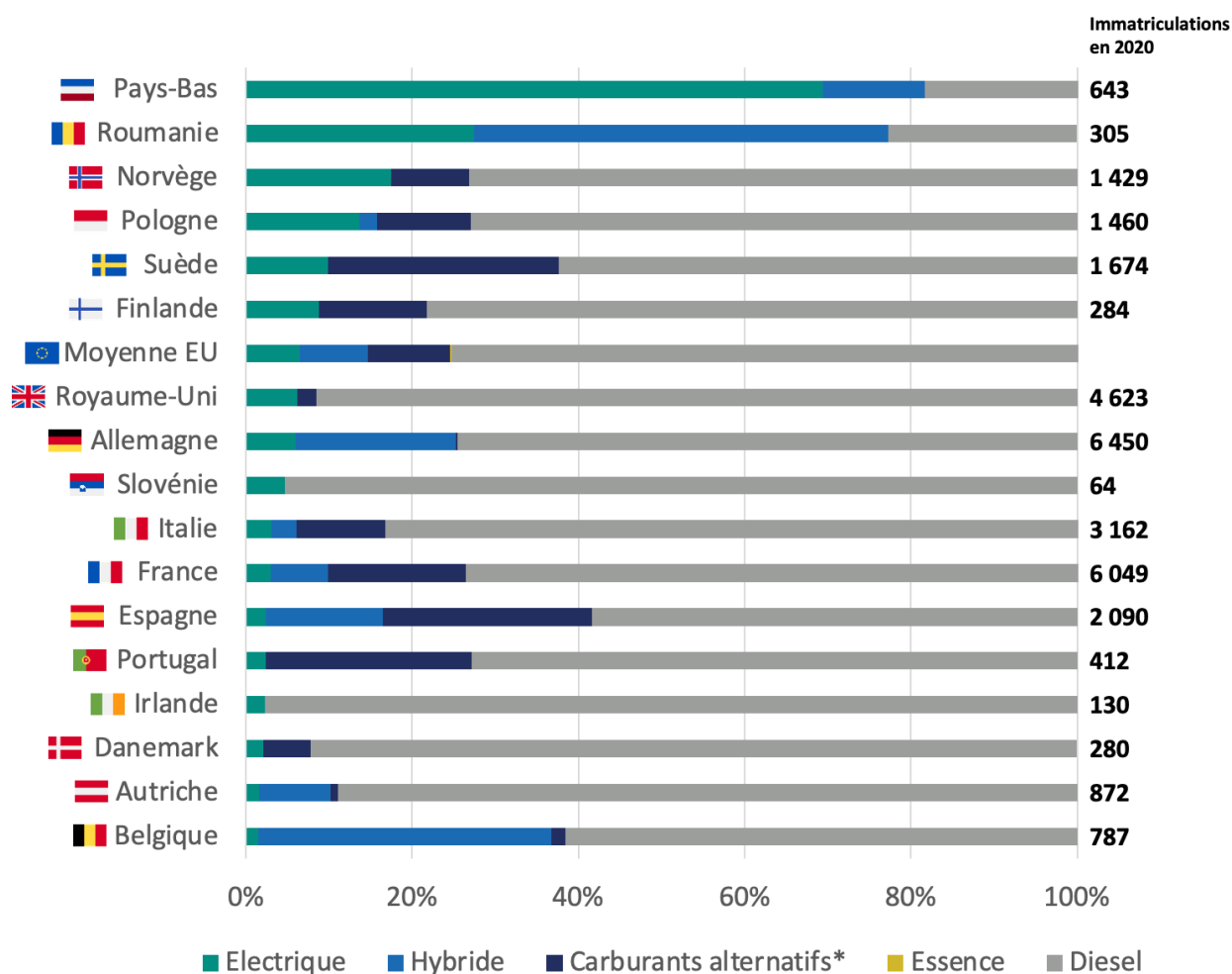
Sources : *Dossiers thématiques transbus.org - 2020 & Livre blanc de France Hydrogène : Comment déployer des bus électriques à hydrogène en France – 2019*

¹² *Inclus les livraisons de bus électriques (à batterie ou à hydrogène) de tous types de technologies à partir de 8 mètres (midibus)

** Inklus les livraisons de bus électriques (à batterie ou à hydrogène) de tous types de technologies de 6 mètres (minibus) regroupés par Régions

1.3 La France, 2^{ème} parc de bus européen et seulement 11^{ème} pour les bus électriques

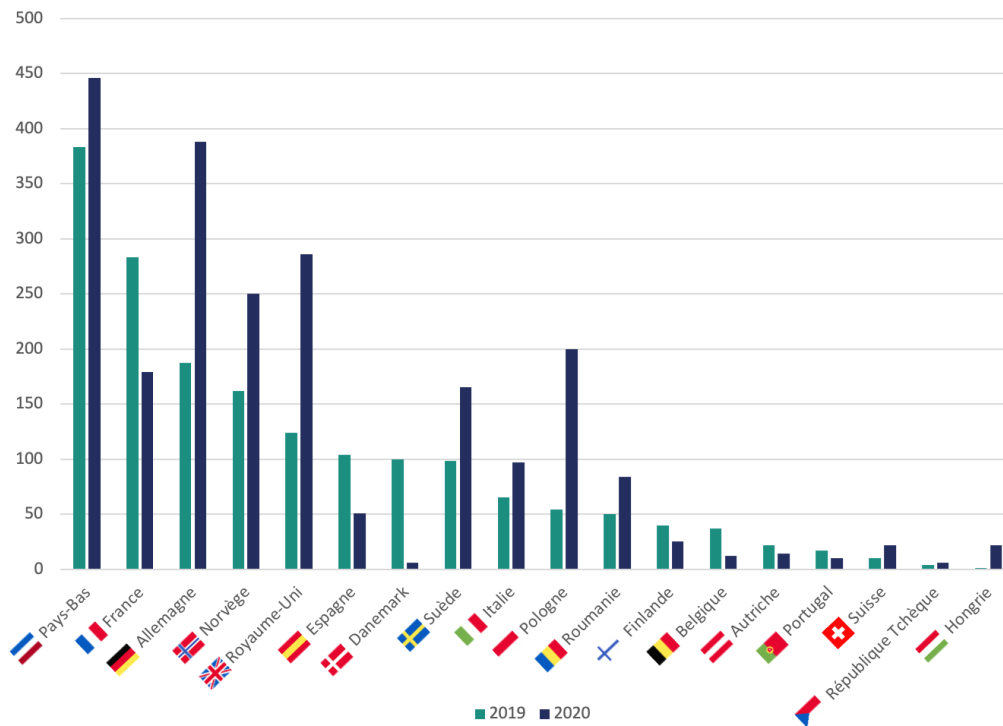
Avec 6 049 bus enregistrés en 2020, la France représente le 2^{ème} parc d'autobus européens, un levier de réduction d'émission liée au transport non négligeable. Avec 179 immatriculations, elle n'arrive que 11^{ème} en proportion de bus électrique, avec 3% de ses immatriculations, soit moitié moins que la moyenne de l'UE à 6% et très loin derrière les Pays-Bas, leader en 2020, avec près de 70% de ses immatriculations.



Bus électriques en Europe : qui sont les leaders en 2020 ?

Sources : European Automobile Manufacturers Association – Medium and heavy buses new registrations by fuel type in the EU in 2020 et IEA

*GPL, GNV, Hydrogène et autres carburants alternatifs



Immatriculations de bus électriques par pays en 2019 et 2020

Sources : *European Automobile Manufacturers Association – Medium and heavy buses new registrations by fuel type in the EU in 2020*

En 2019 la France est arrivée en deuxième position (Europe élargie) des nouvelles immatriculations de bus électriques avec 283 immatriculations. Cependant, l'année 2020 connaît une chute importante avec seulement 179 immatriculations et une sixième place, loin derrière les Pays-Bas avec 446 immatriculations. Ainsi, malgré une certaine avance de la France en 2019, 2020 marque un coup d'arrêt des immatriculations en France, à contre-courant des autres pays européens leaders.

1.4 Un marché malgré tout dynamique, avec de nombreux appels d'offres à grande échelle en France métropolitaine et dans les DROM-COM

Les collectivités locales et les opérateurs publics sont soumis au Code des Marchés Publics pour l'achat des bus électriques. Elles peuvent avoir recours à des centrales d'achats, alternatives à l'appel d'offres :

La Centrale d'Achat du Transport Public (CATP) référence de nombreux véhicules en étant elle-même soumise au Code des Marchés Publics pour le matériel et les services qu'elle référence. Elle propose aux acheteurs publics une expertise métier en matière de conseil et d'exécution des achats de produits et de services. Par ailleurs, elle propose aux collectivités membres des solutions de financements avec l'AFL.

L'Union des groupements d'achats publics (UGAP) propose également une offre complète de bus électriques 100% batterie ou hybrides hydrogène.




En 2016, Marseille était la première ville française à lancer une ligne 100% électrique. La RTM (Régie des Transports Métropolitains) a annoncé en 2020 qu'elle électrifierait l'ensemble de sa flotte d'ici à 2035 (environ 630 bus) à un rythme de 50 bus par an renouvelés.

En juillet 2021, la RATP (Régie autonome des transports parisiens) a annoncé l'acquisition de 450 nouveaux bus électriques. Ceux-ci venant s'ajouter aux 800 annoncés en avril 2019.

Témoignage IDFM et RATP

IDFM et la RATP sont des acteurs incontournables de la transition énergétique et souhaitent faire de l'Île-de-France une métropole exemplaire en matière de transports publics urbains routiers très bas carbone. Avec le plan Bus2025, la RATP s'est engagée, dès 2014, dans une évolution technologique et écologique majeure avec l'objectif de convertir majoritairement son parc de bus à l'électrique à l'horizon 2025. L'entreprise, avec le concours de IDFM, va disposer d'un parc 100% vert : en complément des 1100 autobus hybride-électrique déjà en service, les autobus qui seront renouvelés avant 2025, parmi les 4800 bus de la flotte actuelle, seront à 50% électriques et à 50% au biogaz. A moyen terme, le bilan carbone de la RATP sera réduit de 50% sur son réseau de surface. En terme d'émissions de polluants et de nuisances sonores, la mise en œuvre de ce programme constitue une avancée considérable en matière d'environnement dans la région capitale.



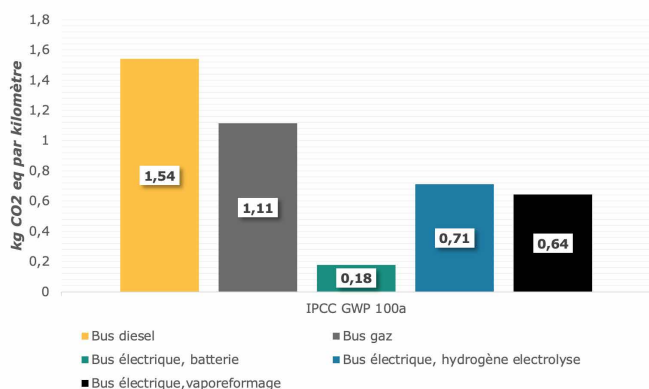
2. De nombreux bénéfices reconnus pour les technologies électriques



2.1 Des bénéfices climatiques incontestables

De nombreuses études de cycle de vie ont été réalisées ces dernières années. Plus récemment, les études de Carbone 4 et EDF sont sans appel¹³ : si les bénéfices de la motorisation gaz sont supérieurs à ceux du diesel, les bus électriques à batteries et ceux à hydrogène émettent moins de CO₂. Le mix décarboné de l'électricité produite en France permet également d'afficher des performances supérieures au mix moyen européen.

Ainsi, en France, la meilleure solution est l'autobus électrique, ou l'autobus à hydrogène 100% renouvelable. La phase intensive d'usage rend l'impact de la fabrication des équipements spécifiques (batteries, piles à combustible, réservoirs) très faible. A noter que pour un bus à hydrogène produit avec l'électricité du réseau, le poids carbone se traduit par une empreinte globale 80% supérieure à l'autobus électrique à batterie (438 contre 244 gCO₂e/km). Néanmoins, toutes ces motorisations restent 3 à 4 fois moins émissives que les autobus diesel ou GNV, plombés par les émissions liées à l'usage très importantes. La différence est même de l'ordre de 1000 gCO₂e/km entre un autobus électrique et un autobus diesel/GNV.



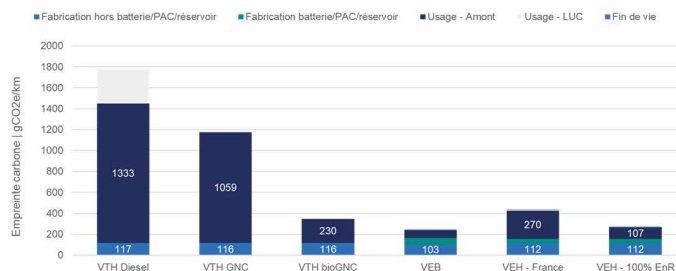
Comparaison des émissions de CO₂ en fonction de la technologie utilisée (en France)

Source : Etude ACV réalisée par EDF (2020)¹⁴

¹³ Étude Analyse du Cycle de Vie, EDF (2020), et « Carbone 4 : Quelles motorisations alternatives pour le climat ? » Carbone 4 (2020)

¹⁴ Par défaut, le nombre de kilomètres parcourus par le bus sur sa durée de vie est fixé à 700 000.

¹⁵ Il s'agit d'un premier niveau de modélisation (faite en partie par le cabinet de conseil EVEA), basée sur un travail d'analyse bibliographique, destinée à être reprise et améliorée en continu dans le cadre des travaux internes de développement du groupe EDF sur le sujet de la mobilité électrique.



Empreinte carbone moyenne sur la durée de vie d'un autobus vendu en 2020 en France

Source : Analyses Carbone 4 - Transport routier : quelles motorisations alternatives pour le climat ? - 2020

Le bilan GES (en France) d'un bus équipé de la technologie électrique à batterie, ramené à un kilomètre parcouru est situé entre 144 et 177 gCO₂e contre plus de 1000 gCO₂e pour un bus GNV.

“Le bus électrique à batterie est très certainement la meilleure solution sur l'indicateur de CO₂ de l'ACV ; en France tout particulièrement grâce à notre mix électrique, décarboné à 97%.”

Mickael BURONFOSSE

Ingénieur – chercheur à EDF R&D, et auteur de l'étude ACV

Technologie de Bus	Bus thermique		Bus électrique					
	Thermique		Bus équipé de batteries		Bus équipé d'une pile à combustible			
	Bus Diesel	Bus Gaz	Bus Batterie FR	Bus Batterie UE	Electrolyse		Vaporeformage	
gCO ₂ e par km parcouru	1916	1114	177	789	712	2674	1324	642

Bilan GES des différentes technologies de bus étudiées en cycle de vie par kilomètre parcouru

Source : EDF, 2020¹⁵

L'étude ACV d'EDF précise par ailleurs les aspects ci dessous :

- La R&D d'EDF possède un premier modèle ACV générique de 4 technologies de bus.
- Les bus électriques (batterie et hydrogène) ont de meilleures performances énergétiques que les technologies thermiques dès lors que le mix de production de l'hydrogène (électrolyse) et de la recharge est bas carbone.
- Le bus électrique à batterie est la meilleure solution sur l'indicateur changement climatique. Le bus électrique à hydrogène via l'électrolyse bas carbone est aussi une bonne solution.
- Le module EcoInvent de production d'hydrogène par vaporeformage (à droite sur le tableau page précédente) mérite des approfondissements.

2.2 Des répercussions positives sur la santé publique¹⁶

“La pollution atmosphérique et sonore engendrée par les transports provoque de nombreux problèmes de santé, les principaux responsables étant le transport routier et les véhicules à moteur diesel. L'Union européenne et ses États membres ont entamé l'adoption d'une série de mesures destinées à réduire l'impact des transports sur la santé.”

Agence européenne pour l'environnement

En 2016 l'Agence européenne pour l'environnement met en évidence la corrélation entre les conditions météorologiques spécifiques et les niveaux élevés d'émission de polluants donnant lieu à des épisodes de pollution.

Les transports routier, aérien, maritime et ferroviaire contribuent à l'augmentation de

ces niveaux de pollution et sont en partie responsables de la mort prématurée de plus de 400 000 personnes par an.

L'exposition aux particules fines en suspension dans l'air a causé environ 960 000 décès prématurés en 2000, par suite de maladies cardio-pulmonaires dans la grande majorité des cas. Faute de nouveaux efforts de lutte contre la pollution atmosphérique, 3,1 millions de décès prématurés annuels sont à prévoir en 2030, tandis que le nombre des victimes des cancers pulmonaires serait multiplié par quatre.¹⁷

Émissions de particules

Les émissions des polluants¹⁸ via les gaz d'échappement des véhicules thermiques peuvent engendrer des problèmes de santé spécifiques touchant les organes, le système nerveux et le sang.

Impact du bruit sur la santé

Le bruit produit par un bus ou un camion est estimé entre 75 et 85 dB(A) en fonction de son poids (contre 55 à 70 dB(A) pour un véhicule particulier). La réduction des nuisances sonores passe par deux grandes familles d'action¹⁹ :

- action sur la circulation
- action sur le type de véhicule

Dans ce cadre, le passage à des véhicules électriques est considéré comme un excellent moyen de réduire les décibels. En effet, en ville où la vitesse de roulement est à 50 km/h, un véhicule électrique émet un bruit de moteur fortement réduit par rapport à un véhicule thermique. Une proportion de véhicules électriques ou hybrides de 30 à 50 % dans le parc permettrait de réduire le bruit de 1,5 dB(A) en milieu urbain, soit l'équivalent d'une réduction de trafic de l'ordre de 30%.

Législation en vigueur

La législation européenne actuelle en matière de transport, de qualité de l'air et de bruit se penche sur le problème de la pollution atmosphérique

¹⁶ <https://www.eea.europa.eu/fr/signaux/signaux-2016/articles/le-transport-et-la-sante-publique>

¹⁷ <http://les.cahiers-developpement-durable.be/outils/particules-fines/>

¹⁸ Oxydes d'azote, des particules (PM10 et PM2,5), des oxydes de soufre, du monoxyde de carbone et plusieurs métaux lourds comme le cadmium, le plomb et le mercure

¹⁹ <https://www.bruitparif.fr/pages/En-tete/700%20Accompagner/700%20PPBE%20en%20IdF/600%20Les%20solutions%20techniques%20pour%20lutter%20contre%20le%20bruit/880%20Lutter%20contre%20le%20bruit%20routier%20-%20Ma%C3%A9triser%20le%20trafic.pdf>

et du bruit dans l'environnement dans le but d'améliorer la santé humaine et de protéger l'environnement. Les normes d'émission européennes réglementent les émissions de polluants de différents types de véhicules.

2.3 Un confort indéniable pour les conducteurs, passagers et populations environnantes

La majorité des retours d'une enquête clients menée par la RATP en 2016 étaient très positifs sur la motorisation électrique en termes de nuisances sonores et d'avantages environnementaux perçus par les usagers. Cette étude a montré que les bus électriques étaient particulièrement appréciés : confort acoustique, secousses et vibrations à bord réduites, etc. Une réduction des nuisances sonores en ville est également remontée suite au renouvellement de la flotte thermique actuelle (tant pour les bus électriques à batterie qu'à hydrogène). La réduction des nuisances est particulièrement notable à proximité des arrêts de bus ou dans les nombreux terminus où les autobus stationnent plusieurs minutes.

Les conducteurs apprécient la motorisation électrique pour les raisons ci-dessus.

2.4 Une maintenance allégée des bus et des infrastructures

La maintenance des bus électriques est facilitée grâce à un nombre limité de pièces à réviser et à changer selon la période déterminée par les constructeurs. Des formations existent pour faciliter la montée en compétences des agents de maintenance.

Le coût de la maintenance d'un bus électrique est près de 2 fois inférieur à celui des GNV, et demeure le plus faible face aux autres technologies (Diesel compris) : 75 803 €HT pour un bus diesel, 128 998 €HT pour un bus GNV et 64 000 €HT pour un bus électrique.²⁰



²⁰ <https://www.banquedesterritoires.fr/sites/default/files/2019-02/Financement%20du%20investissement%20des%20flottes%20de%20materiel%20roulant-Web.pdf>



3. Comment fonctionne un bus électrique ?

3.1 Qu'est-ce que le bus électrique²¹ ?



Deux options technologiques électriques permettent au bus d'offrir zéro émission à l'échappement : les bus électriques à batterie et les bus électriques à pile à combustible / hydrogène, qui combinent réservoir d'hydrogène, pile à combustible et système batteries.

Pour rappel, un véhicule zéro émission est un véhicule sans moteur à combustion interne ou avec un moteur à combustion interne émettant moins de 1 g CO₂ / kWh ou moins de 1 g CO₂ / km. Le niveau d'autonomie peut varier en fonction de l'utilisation des systèmes de chauffage ou de climatisation.

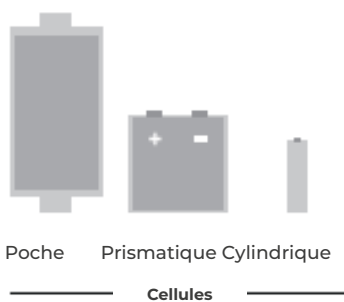
²¹ Dans certains cas, un chauffage additionnel peut être retenu avec des carburants bas carbone. Par cette définition, nous parlons de bus à zéro émission à l'échappement.

3.2 Qu'est-ce qu'un système batterie ?

Un système batterie est un ensemble de modules ou de packs batteries dimensionné pour apporter l'énergie et la puissance au véhicule. Dans le cas des bus, le système est dimensionné au plus près des besoins du véhicule, afin d'optimiser le poids du véhicule et la capacité d'accueil des passagers.

1 Cellules

Une cellule électrochimique est un dispositif capable soit de générer de l'énergie électrique à partir de réactions chimiques, soit d'utiliser de l'énergie électrique pour provoquer des réactions chimiques. Les cellules peuvent être constituées de différentes combinaisons d'électrochimie et emballées sous différentes formes.

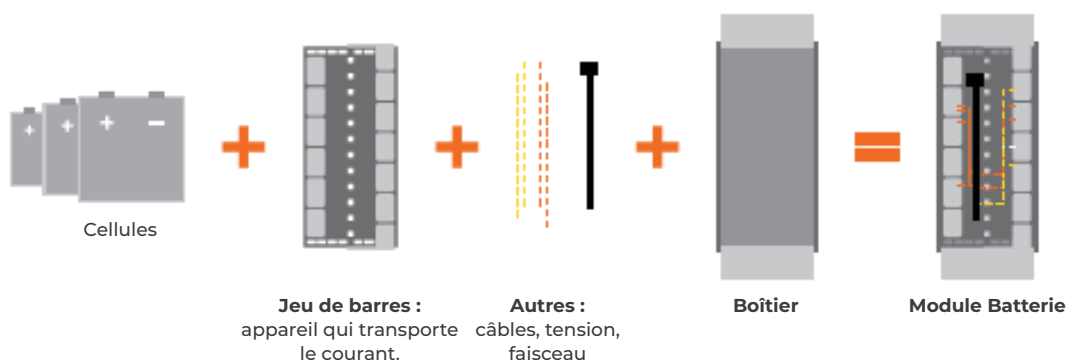


Les avantages des cellules lithium-ion



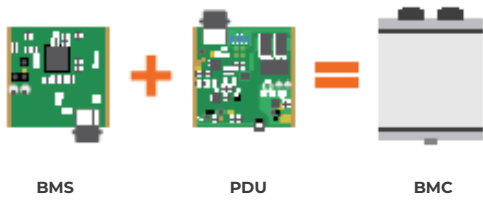
2 Module Batterie

C'est l'assemblage mécanique et électrique de cellules avec des composants tels que le jeu de barres, le boîtier et autres.



3 BMC

C'est une unité qui contient un BMS (la carte qui gère le système) et un PDU (la carte qui gère la distribution électrique).



BMS

PDU

BMC

Le système est appelé 'Batterie intelligente' grâce au BMS qui assure la sécurité et les opérations de la batterie



Surveillance de la **tension** et de la **santé** des cellules



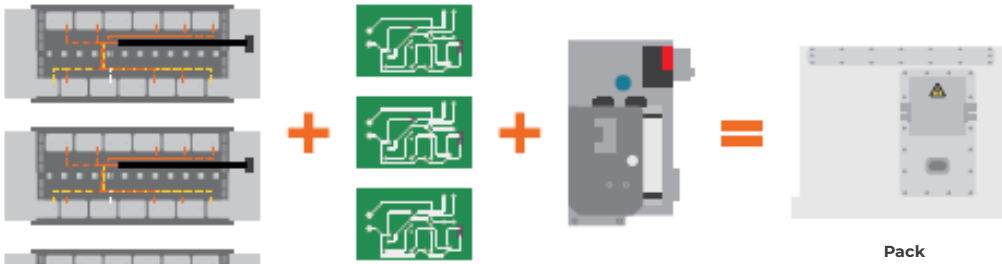
Estimation des **courants de charge/décharge** et de la **température** de la batterie.



Communication avec le Master BMS

4 Pack

Il est composé de plusieurs modules batteries connectés à plusieurs CMods et à un PDU



Plusieurs batteries

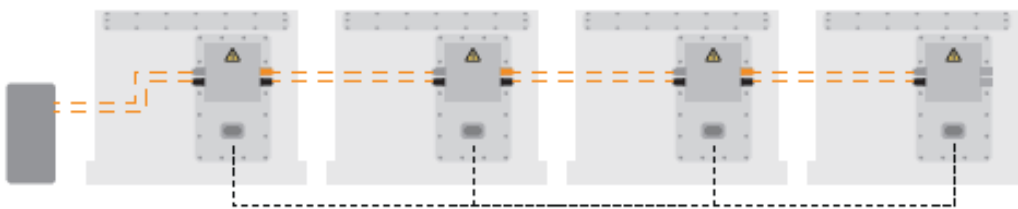
Plusieurs CMods : un CMod est une carte qui fournit la tension et la température des cellules au BMS, et équilibre les cellules en cas de besoin.

PDU : C'est l'unité de distribution d'énergie qui contient le BMS, les fournisseurs en électricité, le capteur de courant et autres.

Pack

5 Système de batterie intelligent

Il est composé de plusieurs packs connectés à un Master BMS.

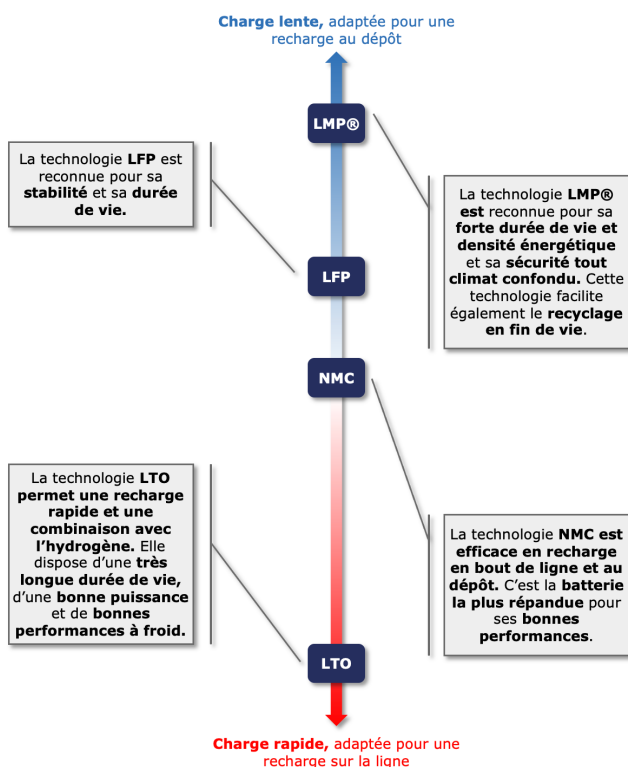


Master BMS : appareil utilisé dans les systèmes multi-chaînes pour rassembler toutes les données du BMC et pour servir de pont entre le BMC et le système client.

Les modules batterie sont constitués de cellules, qui contiennent l'énergie et/ou la puissance, d'un Battery Management System (le BMS, système de gestion de la batterie) pour gérer la communication entre les cellules, les modules/packs et avec le véhicule. Le tout est intégré dans une structure mécanique et permet de mettre les cellules dans une structure de protection. Selon le besoin et la technologie, un système de gestion thermique à air ou liquide est intégré.

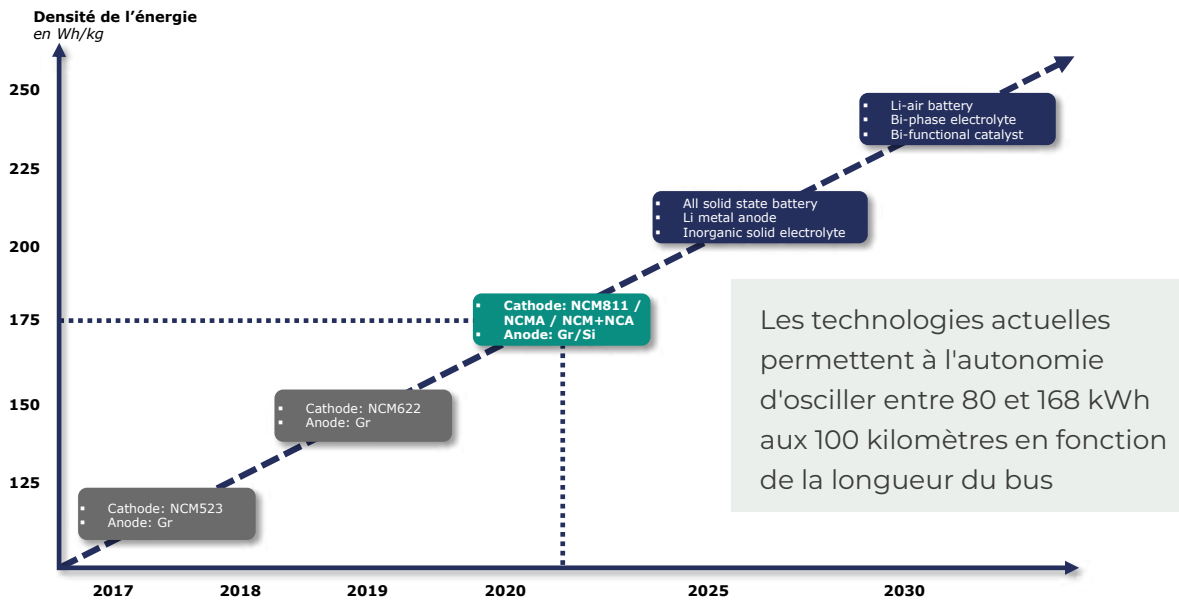
3.3 Les technologies de cellules électrochimiques : des autonomies pouvant être conservées à 80% après 15 ans d'utilisation

Plusieurs technologies de batteries coexistent actuellement. Chacune d'entre elles possède des avantages permettant de les utiliser dans des conditions spécifiques. Le schéma ci-dessous présente ces technologies en fonction de leur rapidité de charge.



La durée de vie de ces types de batterie peut aller jusqu'à 15 ans et varie en fonction du constructeur et du type de recharge (lente ou rapide). A noter qu'en fin de première vie, le système batterie bénéficie toujours d'environ 80% de sa capacité.

Le graphique ci-après montre l'évolution de la densité de l'énergie des technologies utilisées. On remarque que les performances croissent de manière exponentielle. Aujourd'hui, la densité de l'énergie est d'environ 150-200 Wh/kg, ce qui permet une autonomie répondant aux besoins des bus en conditions normales (autonomie moyenne de performance hiver / été sans prise en compte de la topographie avec un rapport de 1,45 Wh/kg par kilomètre soit entre 120 et 168 kWh/100 kilomètres pour un bus de 18 mètres, 1,15Wh/km pour un bus de 12 mètres).



Déploiement des technologies des batteries des véhicules électriques

Source : Avere-France sur base de l'étude HSBC 2019 (VW, BMW, LG Chem, Samsung SDI, BASF, HSBC estimates)

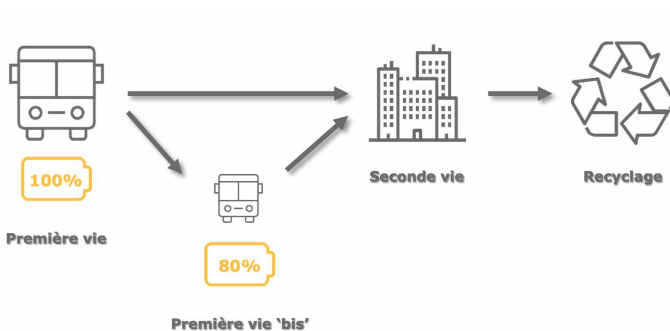
Comme le montrent les encadrés bleus sur le schéma ci-dessus, des technologies encore plus performantes sont en cours d'étude et permettraient d'augmenter considérablement l'autonomie des batteries en accroissant la densité de l'énergie stockée, bien que largement suffisantes à date pour l'utilisation en transports en commun.

Néanmoins, avant cette échéance, les Batteries LMP® (Lithium Métal Polymère) sont déjà, depuis plusieurs années, l'application concrète des batteries « tout-solide ».

3.4 Le cycle de vie des batteries

À l'issue de sa première vie dans un bus (entre 8 et 15 ans selon les technologies), la batterie dispose encore de 80% de ses capacités. Le principe de la seconde vie vient répondre au besoin d'optimisation de l'utilisation du produit afin de réduire son empreinte environnementale et augmenter sa valeur économique.

- La première vie : première installation à bord du bus
- La première vie 'bis' : affectation du bus à une ligne qui nécessite moins d'autonomie
- La seconde vie : elle concerne les batteries qui, à l'issue d'une première vie, vont être utilisées en stockage stationnaire d'énergie. Associées à la production d'énergie renouvelable (installation photovoltaïque ou éolienne) elles permettent un système de stockage d'énergie indépendant. Associées au réseau, elles permettent une solution de secours ou encore l'écrêtement des pointes de consommation.



Chaque type d'énergie dispose d'avantages et d'inconvénients. Il convient de choisir la technologie la plus appropriée aux contraintes opérationnelles.

La réglementation autour des secondes vies des batteries est en cours. Elle permettra d'assurer la durabilité des batteries, leur traçabilité tout au long de la chaîne de valeur ainsi que des règles harmonisées de remise en service. Aujourd'hui, 85% de la batterie est recyclée et jusqu'à 95% des métaux lourds la composant le sont. Les perspectives de vie bis et de seconde vie des batteries sont optimistes.

La batterie est en fin de vie lorsqu'elle ne répond plus aux exigences de stockage d'énergie de l'application pour laquelle elle est utilisée. La directive batterie 2006/66/CE (actuellement en cours de révision) impose aux constructeurs et intégrateurs d'accumulateurs d'assurer la fin de vie des véhicules et le recyclage des batteries. Toutes les batteries doivent être collectées et recyclées lorsqu'elles sont en fin de vie ou qu'elles ont été accidentées.

La France compte plusieurs organismes de recyclage dédiés aux batteries de véhicules : SNAM, Veolia, Blue Solutions...

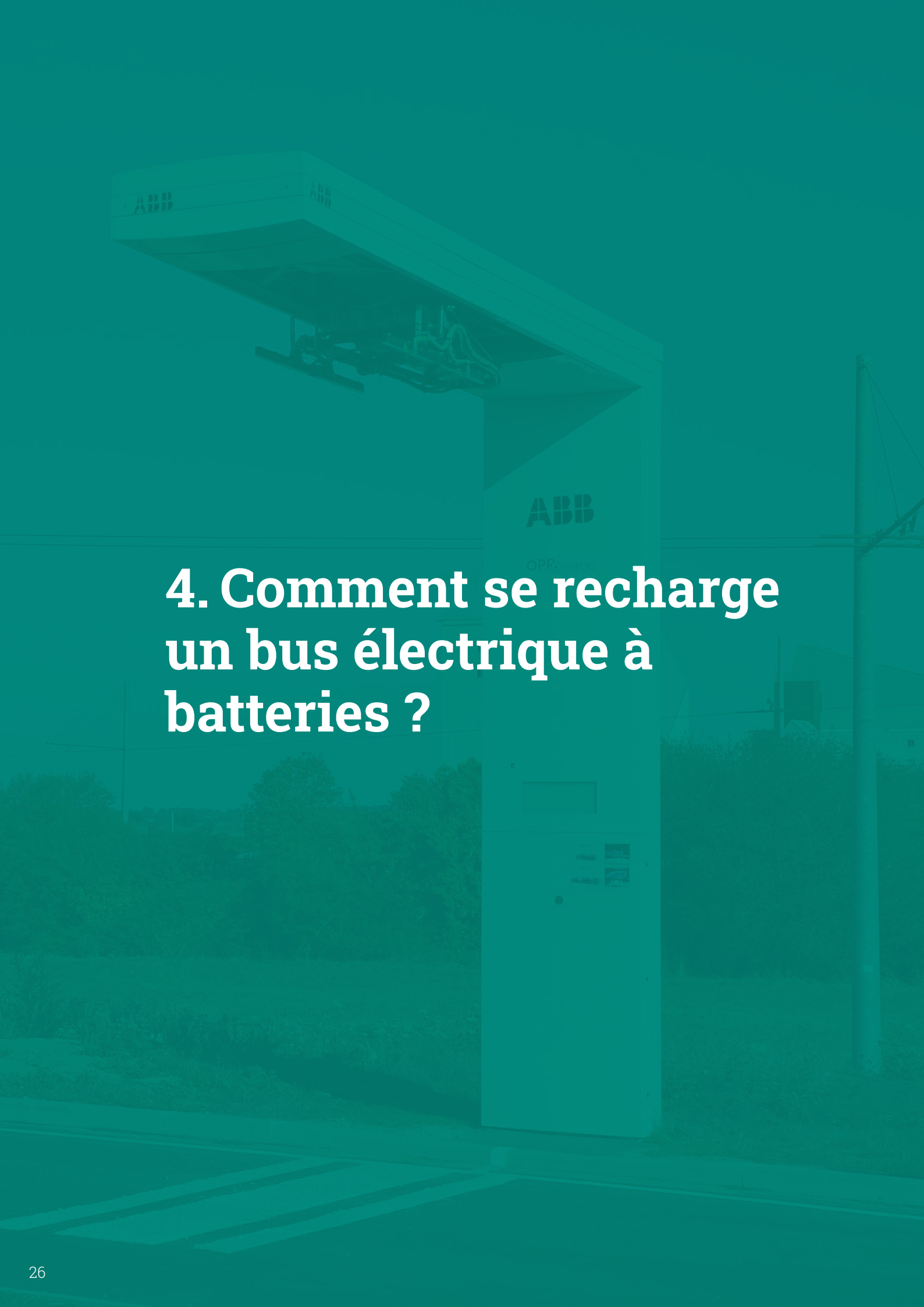
Une nouvelle réglementation batterie Européenne

Le projet est en cours de finalisation et permettra de suivre la vie de la batterie pour améliorer la production durable, (y.c. au démantèlement) avec des ambitions de collecte et de recyclage plus fortes tout en assurant une traçabilité à toutes les étapes de la production. Les aspects sociaux sont également intégrés et seront pris en compte pour asseoir une souveraineté industrielle européenne en gardant le soucis de l'empreinte carbone, de la durée de vie, et des aspects sociaux.

3.5 Technologie batterie + hydrogène

Un bus électrique à hydrogène est un bus électrique pour lequel l'énergie est produite directement à bord au sein d'une pile à combustible (PAC) qui combine le dihydrogène stocké dans les réservoirs, avec l'oxygène de l'air, pour produire l'électricité qui alimente le moteur électrique, procédé qui ne rejette qu'un peu de vapeur d'eau. Le véhicule est doté d'une batterie haute puissance de petite capacité intervenant typiquement sur des appels de puissance et par exemple pour récupérer l'énergie mécanique du freinage.

Un bus électrique à hydrogène est donc un bus électrique dont, contrairement à son équivalent à batterie, la majorité de l'énergie est stockée sous forme d'hydrogène plutôt que dans des batteries.

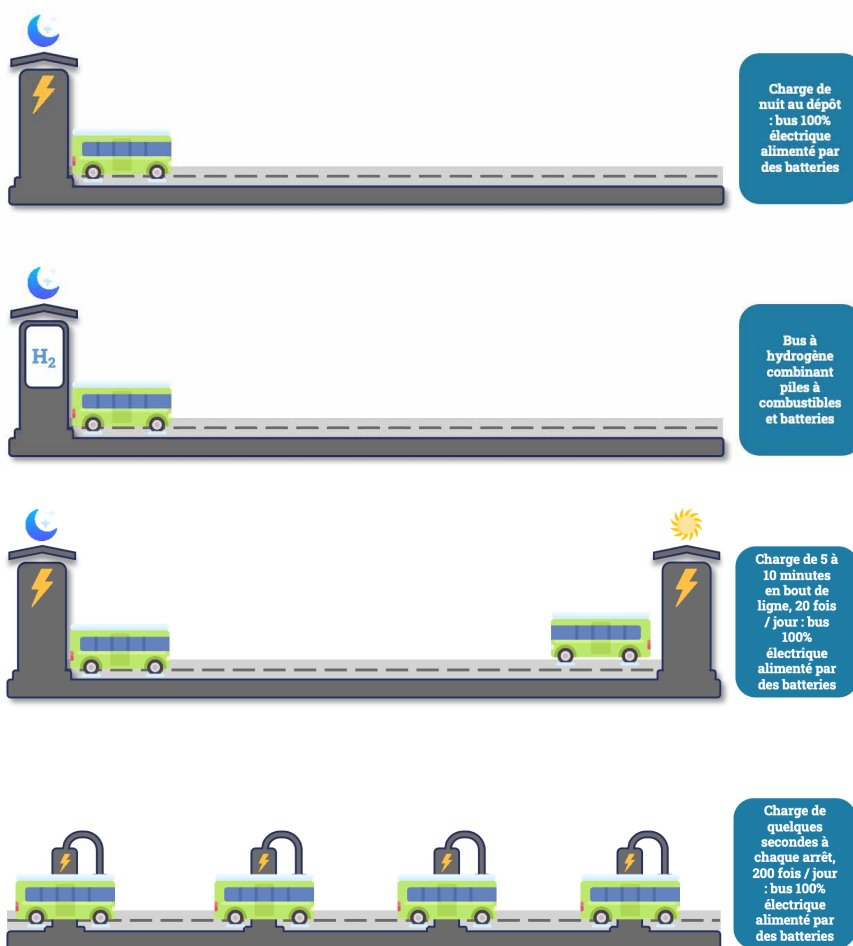


4. Comment se recharge un bus électrique à batteries ?

4.1 Les stratégies de recharge pour les bus électriques à batteries et hydrogène

Le bus électrique à batterie est un bus électrique alimenté uniquement par les batteries à bord du véhicule. Le système batterie est dimensionné pour répondre aux besoins du véhicule en énergie et en puissance selon la distance parcourue, la topographie et le climat et, selon les infrastructures de charge choisies.

L'infographie ci-dessous illustre les différentes méthodes de charge des bus électriques à batterie et hydrogène.



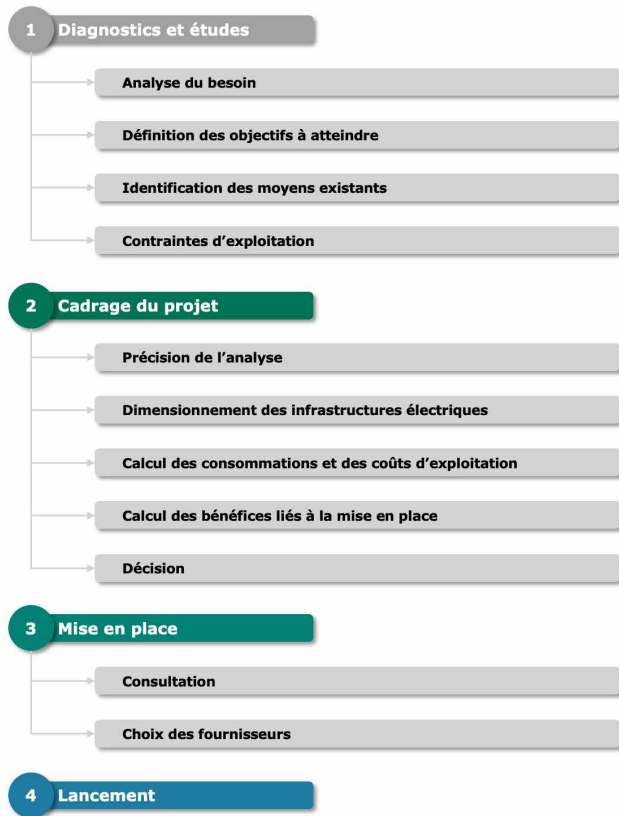
Les méthodes présentées ci-dessus ne sont pas exclusives et peuvent se combiner (exemple d'une recharge au dépôt le soir et par pantographe en journée - bien que cet exemple soit actuellement peu fréquent). La solution retenue sera en adéquation avec les besoins et contraintes de chaque acteur.

4.2 Comment choisir sa solution de recharge ?

Avant de se lancer dans le verdissement de sa flotte de bus, il est nécessaire de se poser quelques questions qui permettront de définir la bonne stratégie à adopter :

- **Quelle est la distance parcourue par mes bus, sur une journée classique ?** La réponse permettra d'orienter le choix de la technologie à utiliser et la densité de la batterie.
- **Quelle est la taille de ma flotte de bus ? Sont-ils toujours en activité en même temps ?** La réponse permettra de choisir le type de recharge à adopter (au dépôt, en bout de ligne, sur la ligne).
- **Quelle est la taille actuelle de mes bus, est-elle adaptée à court et à moyen terme ?** La réponse permettra de savoir si la flotte doit être répliquée à l'identique ou si des ajustements de taille sont à prévoir.
- **Les infrastructures de maintenance de ma flotte sont-elles aptes à être légèrement transformées ?** La réponse permettra de choisir le type de recharge à adopter (au dépôt, en bout de ligne, sur la ligne).
- **Les conditions climatiques de ma région peuvent-elles être extrêmes ?** La réponse permettra d'orienter le choix de la technologie à utiliser et la densité de la batterie.
- **Ai-je la possibilité d'installer des nouvelles infrastructures au niveau de chaque station ?** La réponse permettra de savoir si une recharge sur la ligne par pantographe est envisageable.
- **Existe-t-il une opportunité pour partager mes infrastructures de recharge avec d'autres utilisateurs (taxis, véhicules de tourisme avec chauffeur, poids lourds...) ?** La réponse permettra d'orienter la localisation et le type de bornes à installer.

Démarche d'accompagnement pour le choix de sa technologie de recharge



Plusieurs acteurs de la transition énergétique sont prêts à accompagner les collectivités dans le renouvellement de leurs flottes de véhicules. Ainsi, les collectivités peuvent être accompagnées par des acteurs privés pour faire l'étude de l'électrification des flottes de véhicules. Des spécialistes de l'assistance à maîtrise d'ouvrage peuvent également être associés pour faciliter la prise de décision.

Associer le GRD (Gestionnaire de Réseau de Distribution) le plus en amont possible permettra d'anticiper sur les solutions de raccordement : évaluation des coûts ainsi que des possibilités de pilotage de la recharge des bus afin d'optimiser la puissance de raccordement, identification d'éventuels travaux de déplacements d'ouvrage en lien avec le projet global, question d'une éventuelle alimentation de secours ...

Recharge au dépôt en charge lente

L'énergie est une ressource précieuse. Bonne nouvelle ! Les véhicules tout électriques sont les champions des économies d'énergie grâce au bon rendement de toute la chaîne de distribution d'électricité « du producteur à la roue ». L'infrastructure au dépôt est un maillon de cette chaîne vertueuse, elle présente plusieurs avantages : centralisation de l'infrastructure, maintenance facilitée, un seul raccordement au gestionnaire de réseau de distribution et maîtrise de la sécurité sur le site.

Les bus sont rechargés à leur emplacement pendant leur phase d'inactivité pour être prêts à leur début de service. La distribution électrique est gérée globalement pour lisser la puissance sur toute la période. L'intégration des énergies renouvelables et batteries de stockage favorise le verdissement de l'électrification et réduisent l'impact sur le réseau. Les plannings de services peuvent être pris en compte par un superviseur. Cette gestion est communément appelée « smart charging ». Les chargeurs sont groupés jusqu'à 4 permettant une gestion séquentielle.

La recharge « intelligente » au dépôt présente une réelle opportunité pour baisser les coûts et délais de raccordement au réseau des infrastructures de recharge au dépôt, les factures d'électricité à l'usage et ainsi réduire globalement le coût total de possession des véhicules.

La recharge au dépôt : quels changements ?

A l'inverse d'un véhicule diesel, hybride ou gaz, le plein de carburant ne s'effectuera pas en quelques minutes. La recharge de l'énergie va nécessiter entre 2 et 6 heures en fonction du véhicule et de la puissance de la borne de recharge installée en dépôt. L'organisation du dépôt pourra être néanmoins modifiée pour adapter la gestion du parc de véhicules à ces délais d'avitaillement.

24 Sources : IES Synergy

(1) Valeurs données à titre d'exemple

(2) Calcul approché du temps de charge

(3) Calcul approché du temps de charge incluant la finition (régénération, équilibrage des cellules)

	Hiver	Été	Hiver	Été
Puissance chargeur (kW) ⁽¹⁾	50 kW		100 kW	
Consommation moyenne kWh/Km ⁽¹⁾	1,5 kWh/Km	1,4 kWh/Km	1,5 kWh/Km	1,4 kWh/Km
Capacité batterie embarquée ⁽¹⁾	380 kWh			
% Utilisation ⁽¹⁾	80%			
Capacité batterie utile ⁽¹⁾	304 kWh			
Distance parcourue (km) ⁽¹⁾	203 km	217 km	203 km	217 km
Temps de charge (hh:mm) ⁽²⁾	06:04		03:02	
Temps de charge avec finition (hh:mm) ⁽³⁾	06:50		03:25	

24

Calcul estimé des temps de charge, ici pour un bus de 12 mètres, pouvant être facilement transposé à tous les véhicules électriques

Source : IES Synergy

Comment définir le nombre et le type de bornes adaptés à un dépôt ?

Le temps de recharge dépend du nombre de kilomètres à parcourir et donc de l'énergie à recharger (kWh). Le nombre optimal de bornes à installer pourra être calculé par des experts, tout en prenant en compte les perspectives d'évolution d'une flotte.

Raccordement par câble et prise type Combo CCS 2, pour une puissance de 24 à 180 kW sous tension de 150 à 920 V

La pose s'effectue au sol ou via un câble suspendu (par le plafond ou via un portique).

La recharge par prise Combo CCS 2 peut être un complément sur un bus équipé pour une recharge par pantographe.



Raccordement par pantographe montant ou descendant, pour une puissance de 100 à 600 kW sous tension de 150 à 920 V

La pose peut s'effectuer par le plafond ou via un portique. Dans certains cas, on privilégie la recharge rapide (par exemple 300 ou 450 kW) à l'arrivée, par pantographe, avant le stationnement. Les recharges par pantographes au dépôt complètent généralement un dispositif du même type pendant le service.

Une supervision « smart charging » avec intégration des plannings de bus permet une gestion globale de la puissance maximale sur le dépôt complet.



Recharge rapide et ultra-rapide en bout de ligne

La recharge en bout de ligne permet de récupérer de l'autonomie rapidement et donc de limiter la taille des batteries. Cette solution nécessitera un raccordement au terminus, d'une puissance importante étant donné les puissances associées pour une recharge en 10 à 15 minutes et avec la possibilité de pilotage.



Quand opter pour une infrastructure de recharge en bout de ligne ?

Pour bien choisir son infrastructure de recharge, il est important d'analyser sa flotte de véhicules électriques. Les premiers éléments clés sont la batterie, l'autonomie et le nombre de kilomètres précis par jour à parcourir. Ces informations permettront de déterminer le cas d'utilisation de recharge le plus adapté à l'activité.

Les facteurs géographiques, climatiques et le style de conduite sont également des facteurs ayant une influence sur la performance de la batterie. Le freinage régénératif permet par exemple d'augmenter son autonomie en la "régénérant" à mesure que le véhicule roule.

Les variables techniques à prendre en compte pour choisir une infrastructure de recharge

Une fois que le besoin de recharger en bout de ligne pour la flotte a été identifié, l'infrastructure de recharge peut être choisie. Il est nécessaire de s'assurer que la solution technique choisie soit adaptée à la stratégie de recharge et compatible avec les véhicules de la flotte. Pour cela, la lecture de la fiche technique constructeur des modèles de bus électriques de la flotte et de la fiche technique du constructeur de l'infrastructure de recharge est nécessaire.

	Chargeur 50kW	Chargeur 175kW
Puissance d'entrée requise (en kVA)		
Puissance d'entrée requise	54 kVA	177 / 184 kVA
Courant d'entrée nominal	77 A	253 / 263 A
Puissance maximale de sortie (en kW)		
Puissance maximale de sortie	50 kW	175 / 350 kW
Courant maximal de sortie	120 A	Jusqu'à 500 A
Tension de sortie	50-500 V	50 - 950 V

Différence de charge entre un chargeur 50kW et un chargeur 175kW

Les chargeurs aujourd'hui utilisés pour recharger les véhicules légers ont des puissances différentes de ceux rechargeant les bus et véhicules lourds. On peut d'ores et déjà prévoir la mise en place de chargeurs communs permettant une mutualisation des dépenses à l'installation et des coûts de maintenance.

Emplacement et rentabilité d'une infrastructure de recharge en bout de ligne

Tout comme les caractéristiques de sa flotte et des bornes de recharge, l'emplacement de la future station de recharge en bout de ligne est un choix stratégique à ne pas négliger. Les principaux facteurs à prendre en compte sont la puissance de raccordement, l'accessibilité et l'ouverture au public.

Afin de diminuer l'investissement, la station de recharge peut être ouverte aux conducteurs de véhicules électriques particuliers ou professionnels (autres flottes, taxis et VTC, etc.) en faisant payer la recharge. Par exemple, pour une flotte de bus rechargée en bout de ligne, les véhicules n'occuperont pas la station de recharge 24 heures sur 24, 7 jours sur 7. Tout en donnant la priorité à la flotte, la station peut être ouverte à la recharge publique afin d'attirer des conducteurs de véhicules électriques et de générer des flux supplémentaires de revenus. Il convient néanmoins de prendre en compte les exigences réglementaires spécifiques aux points de recharge ouverts au public.

Raccordement d'une station de recharge de bout de ligne au réseau électrique

Une fois l'emplacement de la station de recharge en bout de ligne sélectionné, il est nécessaire de se renseigner sur la puissance actuelle du site et ses possibilités d'augmentation. Lors du raccordement, il est conseillé d'opter pour un schéma évolutif de la station de recharge. Cela permet de pré-équiper les emplacements futurs des bornes de recharge additionnelles lorsque la flotte s'agrandira.

Point raccordement : Attention à bien prendre en compte les délais de raccordement (plusieurs mois, pouvant dans certains cas atteindre 9 mois en fonction de la typologie et état du réseau d'électricité et des autorisations administratives à obtenir). Une analyse détaillée et rigoureuse des besoins de la flotte permettra d'identifier efficacement la puissance de l'infrastructure nécessaire, tandis que des études de terrain permettront de sélectionner

l'emplacement afin de minimiser les coûts de raccordement. Par ailleurs, certaines aides pour limiter l'impact financier du raccordement sont détaillées dans le chapitre 'Les aides au déploiement et au financement des bus électriques' de ce guide.

Choix des chargeurs de la station en bout de ligne

Tout comme les véhicules et les batteries, les bornes de recharge et leurs performances changent d'un modèle à un autre. Les principaux critères ou exigences à prendre en compte lors du choix de l'infrastructure sont la robustesse, la puissance électrique et la conformité aux réglementations françaises et européennes.

Se faire accompagner par des experts tout au long de sa démarche

Le marché des bornes électriques est en plein boom et la multitude d'acteurs rend le choix d'un fournisseur difficile. Alors comment choisir ?

Il est préconisé de se tourner vers des acteurs spécialisés proposant des solutions clés en main telles que :

- Un portefeuille de bornes de recharge universelles, intelligentes et évolutives
- Des bornes de recharge capables de s'adapter à tous les projets d'électrification et tous les types de configuration
- Une analyse des puissances électriques
- Une analyse détaillée de la flotte et ses itinéraires
- Des solutions permettant de piloter facilement le parc de bornes électriques et la consommation électrique
- Des services associés tels que des contrats de maintenance, dossier de subvention du programme ADVENIR piloté par l'Avere-France ou encore des solutions de leasing ou bien des solutions intégrant un pack énergie verte.

En conclusion, pour bénéficier d'une solution de recharge complète, adaptée à sa flotte et à son activité, il est recommandé de s'entourer de fournisseurs capables d'offrir ces solutions complètes et sur mesure. Ainsi, s'appuyer sur des professionnels de la mobilité rend la recharge facile, sereine et agréable, simplifiant ainsi le passage à l'électrique.

Recharge en gare (terminus ou station) par pantographe

La recharge en gare (terminus)/station, par pantographe (montant ou descendant), permet d'augmenter l'autonomie des bus et de limiter la capacité de leurs batteries. Cette recharge nécessite un temps d'arrêt de quelques secondes (pour une recharge Flash) à quelques minutes (de 3 à 10 mn pour une recharge par opportunité) :

La recharge Flash s'appuie sur des batteries de faible capacité et nécessite de recharger plus souvent (par exemple toutes les 2 ou 3 stations).

- La recharge en terminus (par opportunité) embarque des batteries plus importantes mais limite le nombre de points de charge aux terminus.
- L'implantation en domaine public présente des contraintes liées à l'empreinte physique des installations et à leurs raccordements au réseau électrique. Pour ces contraintes et leurs coûts, on limite au maximum le nombre de points de charge et la solution par pantographes aux terminus est privilégiée par rapport à la recharge flash en ligne.

Des solutions de stockage d'énergie peuvent être intégrées pour emmagasiner de l'énergie entre 2 recharges.

La sélection entre le pantographe montant ou descendant s'effectue en amont de chaque projet sur des critères objectifs.



Le smart charging et V2X : piloter la recharge voire réinjecter dans le réseau l'électricité d'une batterie d'un véhicule électrique

Lorsqu'un véhicule électrique est stationné, il dispose d'une certaine quantité d'énergie stockée dans sa batterie, qui pourrait être mise à profit. Les principes de Vehicle-to-Home (V2H), Vehicle-to-Building (V2B), et Vehicle-to-Grid (V2G) consistent à réinjecter l'électricité contenue dans la batterie dans, respectivement, le réseau électrique du foyer, de l'immeuble ou sur le réseau public de distribution d'électricité.

Le « smart charging » et le V2X désignent les technologies visant à optimiser la recharge ou la décharge d'un véhicule électrique de façon efficace et économique. Le pilotage de la recharge des véhicules électriques se fait majoritairement en contrôlant le moment et la vitesse de la recharge, depuis le réseau électrique vers le véhicule. Grâce aux technologies V2X, l'énergie accumulée dans les batteries des véhicules électriques peut aussi servir à réalimenter un bâtiment, un quartier ou le système électrique quand ces derniers en ont besoin. Dès lors, le véhicule devient un maillon actif du système électrique : il participe à son équilibre. Il contribue ainsi au développement des énergies renouvelables, car le kWh ainsi produit et non « consommé » de manière immédiate, peut être stocké.

Parmi les acteurs qui développent les technologies de « smart charging » et de V2X, l'entreprise Dreev, créée en 2019 par EDF Pulse Croissance et la start-up californienne Nuvve, propose une solution commercialisée par Izivia, filiale d'EDF, qui permet aux propriétaires de véhicules individuels :

- une gestion intelligente de la recharge et de la décharge des véhicules, notamment en fonction des signaux envoyés par le système électrique,
- une valorisation des services de flexibilité mis en œuvre grâce au stockage, pour participer à l'équilibre entre l'offre et la demande. Le bénéfice ainsi créé est ensuite partagé avec le client.

Ces exemples sur des véhicules individuels illustrent les futurs services qui seront proposés, à terme, par des prestataires dédiés aux exploitants et propriétaires de bus électriques dont les batteries sont aujourd'hui très largement supérieures à celles des voitures.

Le V2G permet de réinjecter sur le réseau l'électricité stockée dans les batteries lors de période de forte consommation et ainsi d'agir temporairement comme un producteur d'électricité, ces services étant rémunérés.

Le nombre de modèles de véhicules capables de réinjecter sur les réseaux reste encore relativement faible mais est amené à croître (certains bus scolaires utilisent déjà cette technologie aux Etats-Unis).

4.3 Un cas particulier : le Trolleybus

Le trolleybus est la version la plus ancienne de bus électrique. Il fonctionne grâce aux deux lignes aériennes de contact qui alimentent la traction.

Dans les versions récentes « In-Motion-Charging », des batteries assurent l'autonomie hors ligne. Il est ainsi éligible aux critères d'autobus zéro émission de la Directive Véhicule Propre.

L'avantage est qu'il n'a pas besoin de s'arrêter pour la recharge. Tandis que l'inconvénient est de devoir astreindre son parcours à suivre les lignes aériennes. Toutefois fonctionner sur batteries permet de s'affranchir de ces lignes, lors de déviations ou pour exploiter une portion du parcours sans investir dans les lignes aériennes.

Très développé en Europe de l'est, en Suisse, en Italie, le trolleybus est encore présent en France dans trois réseaux. Pour de nouveaux projets, il peut répondre à des besoins d'exploitation très intense, comme pour une ligne de Bus à Haut Niveau de Service (BHNS) électrique.





5. Une offre étoffée de bus électriques européens

Des constructeurs européens et internationaux proposent déjà une large gamme de bus adaptés aux besoins de leurs clients. Les modèles actuels vont de 6 à 24 mètres, se rechargent au dépôt ou via pantographe, et fonctionnent via une ou plusieurs batterie(s) ou à l'hydrogène.

Témoignage d'un industriel du secteur

Iveco France dispose d'un pôle d'excellence en matière d'électromobilité situé à Rorthais dans les Deux-Sèvres. Depuis 2015, année où le premier bus électrique a été produit, le site s'est préparé au virage de la mobilité électrique.

L'usine de Rorthais bénéficie d'une expérience de plus de 20 ans dans la production de véhicules hybrides et trolleybus. Elle dispose d'une piste d'essais électrifiée et d'installations industrielles, c'est pourquoi elle a été choisie pour devenir un grand site de production de véhicules électriques en France.

Pour ce faire, des investissements ont été réalisés tant en matériel qu'en formation afin d'assurer la production en très grand nombre de la gamme électrique.

En parallèle, les collaborateurs ont été spécialement formés et habilités aux opérations sur véhicules électriques, le site disposant ainsi d'un niveau de compétence optimal.

Aujourd'hui, le site de Rorthais produit une des gammes d'autobus électriques la plus complète du marché en termes de longueurs, de flexibilité batteries, de type de charge...), une gamme de bus labellisée Origine France Garantie qui a été enrichie en 2020 de 2 modèles midibus de 9,5 m et 10,7m. Pour sa production de véhicules électriques, l'entreprise fait appel à près de 130 fournisseurs et sous-traitants nationaux.

Grâce à ces installations industrielles, l'entreprise est capable de répondre aux attentes des métropoles en matière de transition énergétiques vers l'électromobilité, comme exigé par la Directive Véhicule Propre, en France comme pour exporter. C'est d'ailleurs déjà le cas avec plus d'une centaine de bus électriques exportés avec des ventes en Allemagne, Autriche, Pays-Bas, Norvège, Italie, Luxembourg.

L'ambition d'Iveco France est d'être un constructeur de premier plan pour le transport de personnes et un leader en matière de mobilité décarbonée, grâce son expertise et à son site industriel dédié à l'électromobilité.



5.1 De nombreux modèles de bus électriques Made in Europe

Avec plus de 70 modèles de bus construits par plus de 20 industriels européens, l'offre de bus européennes est étoffée. Il est alors possible pour les collectivités de lancer des appels d'offres respectant les règles des marchés publics. Les technologies 100% batterie, à hydrogène ainsi que la possibilité de recharger le véhicule au dépôt, en bout de ligne, ou sur la ligne permettront aux collectivités de choisir le ou les modèles les plus adaptés à leurs besoins.

Liste non exhaustive des modèles de bus à technologies 100% batterie ou à hydrogène construits par des industriels européens (Europe élargie)

Marque	Modèle	Dimension	Technologie de recharge		
			Hydrogène	100% batterie	
BlueBus	BlueBus 6	6m			
	BlueBus 12	12m			
	BlueBus 18	18m			
Bozankaya	Sileo S10	10m			
	Sileo S12	12m			
	Sileo S18	18m			
	Sileo S25	25m			
BYD	Midibus 8.7	8.7m			
	eBus 12	12m			
	eBus 18	18m			
BYD – ADL	Enviro200 EV	9.6m			
	Enviro200 EV	10.2m			
	Enviro200 EV	10.9m			
	Enviro200 EV	11.6m			
	Enviro400 EV	10.9m			
CaetanoBus	e.city Gold 10	10m			
	e.city Gold 12	12m			
	H2 City Gold 10	10m			
	H2 City Gold 12	12m			
Deltabus	Mark E	12m			
eBusco	Ebusco 2.2 - 12m LE/LF	12m			
	Ebusco 2.2 - 12.9m LE	13m			
	Ebusco 2.2 - 18m LF	18m			
	Ebusco 3.0	12m			
Hess	LightTram 19 DC	19m			
	LightTram 25 DC	24m			
Heuliez	GX 137C Elec	9m			
	GX 137L Elec	10m			
	GX 337 Elec	12m			
	GX 437 Elec	18m			
Iveco Bus	E-WAY Full Electric 9.5	9m			
	E-WAY Full Electric 12	12m			
	E-WAY Full Electric 18	18m			
	Urbanway 18	17.9m			<i>Trolleybus</i>
	Crealis 18	18.4m			<i>Trolleybus</i>

Marque	Modèle	Dimension	Technologie de recharge		
			Hydrogène	100% Batterie	
MAN	Lion's City E 12	12m			
	Lion's City E 18	18m			
Mercedes	eCitaro 12	12m			
	eCitaro 18	18m			
Otokar	e-Kent	12m			
Rafako	E-bus	8m			
Rampini	E60	6m			
	E80	8m			
Safra	Businova Electric	9m			
	Businova Electric	10m			
	Businova Electric	12m			
	Businova Fuell Cell	10m			
	Businova Fuell Cell	12m			
Scania	Citywide BEV	12m			
	Urbino electric 8.9	9m			
	Urbino electric 12	12m			
	Urbino electric 18	18m			
	Urbino electric 24	24m			
	Urbino 12 hydrogen	12m			
Temsa	Avenue Electron	12m			
	MD9 electricITY	9m			
Van Hool	A330 fuel cell 6W	12m			
	A330 fuel cell 8W	13m			
	Exqui.City18 fuel cell	18m			
	Exqui.City18 Trolley	18m			
	Exqui.City24 Trolley	24m			
VDL	Citea SLF-120 Electric	12m			
	Citea SLE-120 Electric	12m			
	Citea SLE-129 Electric	13m			
	Citea LLE-99 Electric	9m			
	Citea LLE-115 Electric	12m			
	Citea LLE-180 Electric	18m			
	Citea LLE-181 Electric	18.1m			
	Citea LLE-187 Electric	18.7m			
Volvo	7900 Electric	12m			
	7900 Electric Articulated	18m			
	7900 Electric Articulated	18.7m			
WrightBus	StreetDeck FCEV	10.6m			
	StreetAir	10.6m			

Témoignage d'un industriel du secteur

Les usines du Constructeur Bluebus sont installées à Ergué-Gaberic, tout près de Quimper, berceau historique des activités industrielles du Groupe Bolloré.

Le Groupe a donc décidé d'y investir massivement depuis plus de 20 ans, afin de créer en Bretagne une chaîne industrielle française qui produise non seulement des Bluebus, mais aussi leurs batteries électriques.

C'est pour cette logique d'intégration que les usines d'assemblage de bus 12 mètres et 6 mètres (minibus) sont localisées sur le même site industriel qui produit les batteries électriques LMP® « tout-solide » du groupe Bolloré. Cette proximité de fabrication évite de faire « voyager » les packs batteries ou leurs cellules sur des milliers de kms, ce qui améliore grandement le bilan carbone des Bluebus.

Au global, le site d'Ergué-Gaberic produit industriellement des batteries et des Bluebus depuis plus de 10 ans maintenant et dispose des certifications ISO 9001 et ISO14001.

Le personnel quant à lui a été recruté et formé par des programmes dédiés notamment basés sur l'architecture électrique du véhicule et de ses spécificités.

Pour cela, une zone de formation a été mise en place en amont de la ligne de production afin de développer les compétences et les bonnes pratiques du personnel par des opérations pratiques et des tests de validation.

Les lignes de production ont été pensées pour optimiser les performances sur le plan industriel tout en intégrant les contraintes de la Supply Chain Bluebus.

En complément, des solutions innovantes ont également été déployées pour garantir la qualité de la production et la meilleure ergonomie des postes de travail.

Pour assurer une fiabilité optimale, avant toute livraison des tests de véhicule sont réalisés sur site et sur voie ouverte.

Enfin, un espace de charge regroupant les bornes « référentes » sur le marché est dédié aux tests de compatibilité afin de garantir à nos clients leurs exigences d'interopérabilité.

5.2 Le retrofit, une autre manière d'électrifier les bus

Le retrofit est une activité qui répond aux enjeux du développement durable et aux principes de l'économie circulaire.

Désormais en France, tous les véhicules thermiques de plus de 5 ans (voitures, véhicules utilitaires, camions, bus et cars) ainsi que les 2 et 3 roues motorisés de plus de 3 ans, pourront faire l'objet d'une transformation électrique 100% batterie ou hydrogène. Ce sont ainsi l'ensemble des mobilités qui peuvent être décarbonées.

Compte tenu des surcoûts inhérents au retrofit, il s'avère particulièrement adapté à certains types de véhicules avec des aménagements très spéciaux, ou encore à certains types de parcs et d'utilisations.

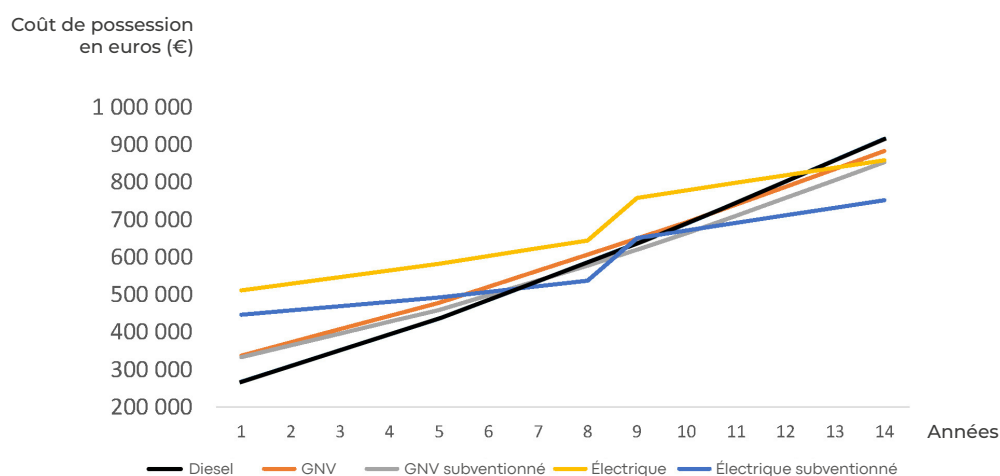
Cette activité a de nombreux atouts, puisqu'elle participe à la baisse des émissions du parc existant, à la réduction des déchets industriels, elle génère de la recherche et de l'innovation dans les technologies batterie et hydrogène ainsi que des emplois d'avenir locaux urbains et ruraux, et bien-sûr des économies pour les utilisateurs.²⁵

²⁵ <https://association-aire.org/index.php/le-retrofit/>



6. Un coût total de possession avantageux sur le temps d'exploitation

L'autobus est le premier type de véhicule lourd dont le coût total de possession devient compétitif par rapport aux véhicules Diesel depuis 2018 (avant subvention, sur 15 ans). Le graphique ci-dessous présente l'évolution du TCO en fonction de la technologie utilisée. On remarque que l'électrique subventionné (état actuel en France) devient compétitif vis-à-vis du Diesel au bout de 8 ans environ.



Analyse des différences de coûts de possession : Diesel, GNV, GNV subventionné, Électrique et Électrique subventionné²⁶

Source : Forsee Power

Les subventions à l'achat pour les véhicules zéro émission stimulent une augmentation de la demande donc des volumes de production, ce qui permet de réduire davantage les coûts. Le TCO se base sur les investissements initiaux (CAPEX) et les coûts d'exploitation (OPEX).

Nous rentrons actuellement dans une phase de renouvellement des flottes nécessitant la continuité des aides à l'investissement aujourd'hui mis en place mais prenant fin dans les prochains mois. La filière recommande de prolonger ces aides à l'investissement (prime de la conversion, MoéBUS...).

²⁶ Les hypothèses complètes de cette analyse sont disponibles sur demande. Toutefois, on notera ci-dessous les plus importantes :

- Bus de 12 mètres
- Batterie électrique chargeant la nuit avec un chargeur de 50kW
- 65 000 kilomètres par an
- Vitesse moyenne de 10 km.h-1
- Prix d'achat des bus : Diesel 230k€, GNV 280k€ et électrique 548k€ (renouvellement de la batterie au bout de 8 ans compris)
- Coûts d'installation des infrastructures pour bus électriques estimés à 50k€

7. Les aides au déploiement et au financement des bus électriques



De nombreuses aides à l'achat des véhicules électriques et hydrogènes, ainsi qu'au déploiement des infrastructures permettent de réduire les investissements et le financement des flottes de véhicules électriques destinées au transport de personnes. Le tableau ci-dessous récapitule les aides majeures mises en place au niveau national et européen. D'autres financements européens pourraient intervenir rapidement.

Aides à l'installation des infrastructures	MoéBUS	Financement jusqu'à 10 % dans travaux, dans une limite d'un million d'euros	Travaux d'électrification liés à l'installation de bornes électriques, modification ou mise en conformité des ateliers de charge électrique.		
	Loi d'orientation des mobilités	Jusqu'à 75 % la prise en charge par le TURPE du raccordement pour des ateliers de charges affectés à des services de transport public routier de personnes	Sans limite de puissance	Demandes de raccordement réceptionnées par le GRD avant le 31 décembre 2022	<i>Arrêté du 12 mai 2020 (modifié par l'arrêté du 27 avril 2021)</i>
	TICFE (Tarif réduit de la taxe sur la consommation finale d'électricité)	0,50€ par MWh	Bus électriques ou hybrides rechargeables		<i>Article 266 quindecies C du code des douanes</i>

	Type d'aides	Bénéfices	Éligibilité	Facteur temps	Annexes
Aides à l'achat des véhicules	Bonus écologique pour les véhicules lourds	40% du coût d'acquisition TTC dans une limite de 30 000€ (augmentée du coût de la batterie si elle est prise en location)	Catégories M2 et M3 (transport de personnes de plus de huit places assises en complément du conducteur)	Jusqu'au 31 décembre 2022.	<i>Enveloppe maximale de 100 millions d'euros (Comité ministériel du développement et l'innovation des transports, 2020)</i>
	Suramortissement²⁷	2,6 - 3,5 tonnes : 20 % 3,5 - 16 tonnes : 60 % > 16 tonnes : 40 %	Véhicules lourds de plus de 3,5 tonnes fonctionnant au gaz naturel, au biométhane au carburant ED95, à l'électricité ou l'hydrogène	La loi Climat et Résilience (sous réserve de promulgation) a prolongé ce dispositif jusqu'en 2030.	
	MoéBUS (coûts d'acquisition d'autobus électriques et de travaux d'électrification)	- 30% du montant HT des cinq premiers bus - 15% du montant HT des cinq bus suivants - 5% sur tous les autres bus (jusqu'à 200 000€ d'aides)		D'ici fin 2021	<i>L'objectif du programme est le financement de 500 bus électriques et 50 dépôts.</i>
	Banque européenne d'investissement (BEI)	Financement jusqu'à 100% des coûts d'acquisition des bus et des infrastructures de recharges associées ainsi qu'un taux d'intérêt encadré, évoluant inversement à la variation du prix de l'électricité.	Collectivités territoriales et les autorités organisatrices de la mobilité		
	Aides régionales	Certains Conseils Régionaux peuvent apporter des aides au matériel roulant à différents types de bénéficiaires.			<i>Par exemple, les primes à l'acquisition versées par la Région PACA (2021-2023) sont de l'ordre de 15 000 euros pour l'achat d'un VE ou hybride de plus de 7 tonnes</i>
	NEoT	Services clés en main ("as-a-Service") de mise à disposition de batteries, véhicules et/ou infrastructures de charge électriques, avec financement de la totalité des investissements sur des engagements moyen et long-terme (5-15 ans) Engagement de performance des batteries sur l'ensemble de la durée du contrat (risque technologique).	Toute flotte de véhicules lourds (bus, cars, utilitaires, camions, bateaux, logistiques) zéro-émission (batterie, hydrogène), neufs et rétrofités et infrastructures de charge associées	-	<i>Solution compatible avec les subventions publiques et aides existantes.</i>

²⁷ « Le suramortissement pour l'achat de véhicules propres permet de bénéficier d'une déduction extra-comptable (charges sur le résultat fiscal de l'entreprise). Cette mesure concerne toutes les entreprises soumises au régime réel d'imposition (IS : impôt sur les sociétés - IR : impôt sur le revenu). Les collectivités territoriales en sont donc exclues. »

A person wearing a white protective suit and a white face mask is working in a laboratory. The person is leaning over a table, and their hands are near some equipment. The background is slightly blurred, showing laboratory shelves and equipment. The text "8. Les véhicules font l'objet de mesures de sécurité renforcées" is overlaid on the image in white. The person's suit has "FREE POWER" written on the back in black letters.

8. Les véhicules font l'objet de mesures de sécurité renforcées

La sécurité est au cœur du développement des systèmes de batteries pour véhicules électriques.

8.1 Des bus certifiés avec un très haut niveau d'exigence au niveau du véhicule et de la batterie

Les modules batterie sont constitués de cellules. Les cellules intégrées dans les batteries sont choisies auprès des plus grands fournisseurs (Toshiba, LG, Panasonic) pour la qualité, la performance et surtout pour leur exigence de sécurité. La batterie contient également un Battery Management System (le BMS, système de gestion de la batterie). Le tout est intégré dans une structure mécanique et permet de mettre les cellules dans une structure de protection.

Le BMS, véritable cerveau de la batterie, est un circuit électronique indispensable à l'utilisation des batteries lithium-ion. Il assure trois fonctions : la sécurité en prévenant les événements critiques, la performance en augmentant la durée de vie de la batterie et la communication en échangeant les données avec le système hôte (c'est cette fonction qui rend le système batterie intelligent).

Les batteries de très haute qualité sont développées en suivant des normes de développement pour des systèmes sécurisés. Le BMS s'assure que les conditions d'utilisation des cellules sont toujours conformes à la spécification et toujours dans le domaine sécurisé.²⁸

La certification ECE R100 Rev2 est une norme internationale pour véhicules électriques dont une section spécifique est dédiée aux bus et camions électriques et répond à une série de 9 tests, garantissant la sécurité des véhicules²⁹.

- Test de vibration
- Test de choc thermique et cyclage
- Test de choc mécanique
- Test d'intégrité
- Test de résistance au feu
- Test de protection contre le court-circuit
- Test de protection contre la surcharge
- Test de protection contre la surdécharge
- Test de protection contre la surtempérature

8.2 Une réglementation de sécurité à appliquer aux dépôts

La France est aujourd'hui le seul pays européen où une réglementation de ce type est mise en application. Des discussions sont en cours avec les différentes parties prenantes pour aligner la réglementation afin de s'accorder sur un modèle permettant d'assurer la sécurité de la population tout en laissant de la flexibilité aux collectivités locales lors de l'installation de leurs infrastructures de recharge.

L'arrêté du 3 août 2018 - entré en vigueur le 15 août 2018 - est applicable aux ateliers de charge contenant au moins 10 véhicules de transport en commun de catégorie M2 ou M3 fonctionnant grâce à l'énergie électrique. Il indique notamment qu'une distance d'isolement de 15 mètres entre l'aire de charge et les limites de l'établissement doit être respectée.

Pour pallier cette règle, trois options sont possibles :

- installer une paroi coupe-feu ;
- installer une paroi coupe-feu et un *sprinklage* ;
- assurer la sécurité intrinsèque au véhicule et le cas échéant la coupler aux systèmes de protection de l'établissement.

L'exploitation des ateliers, quant à elle, doit être supervisée par une personne formée à la manipulation des moyens de secours pendant les opérations de charge.

²⁸ Note d'information Forsee Power sur la sécurité des batteries Lithium-Ion

²⁹ L'essai feu n'est pas obligatoire pour les bus et camions lorsque les batteries sont situées à une hauteur > 1,5m (comme sur les toits des bus). Toutefois, certains fabricants de batteries comme Forsee Power testent conformément à la norme R100 toutes leurs batteries puisque celles-ci peuvent être placées à l'arrière du bus, sur le toit ou dans le plancher selon le véhicule.

Un système de détection automatique d'incendie entraînant l'arrêt automatique de la charge des véhicules doit être mis en place, ainsi qu'un dispositif de désenfumage et des moyens de lutte contre les incendies.

Les ICPE (Installation classée pour la protection de l'environnement) sont soumis aux classements des sites sous des régimes de déclarations ou d'autorisation suivant les cas (pour l'hydrogène, seuil à 1 tonne stockée), aux classements des sites en termes de pollution des sols et des eaux souterraines, à l'identification des risques de types amiante, pyrotechnique et plus globalement technologique.

Un décret paru au Journal Officiel de la République Française le 30 octobre 2019 modifie la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement vis à vis des ateliers de charge d'accumulateurs :

La nouvelle nomenclature définit les cas dans lesquelles une procédure de demande est nécessaire, à savoir :

1. Lorsque la charge produit de l'hydrogène, la puissance maximale de courant continu utilisable pour cette opération (puissance de charge délivrable cumulée de l'ensemble des infrastructures de l'atelier) étant supérieure à 50 kW
2. Lorsque la charge ne produit pas d'hydrogène, la puissance maximale de courant utilisable pour cette opération étant supérieure à 600 kW, à l'exception des infrastructures de recharge pour véhicules électriques ouvertes au public définies par le décret n° 2017-26 du 12 janvier 2017 relatif aux infrastructures de recharge pour véhicules électriques et portant diverses mesures de transposition de la directive 2014/94/ UE du Parlement européen et du Conseil du 22 octobre 2014 sur le déploiement d'une infrastructure pour carburants alternatifs.

Ces changements permettent de mieux prendre en compte les dangers nés des nouvelles technologies associées aux ateliers de charge d'accumulateurs.

8.3 Bonnes pratiques pour optimiser la sécurité lors de la recharge

Le SDIS (Service Départemental d'Incendie et de Secours) de la Vienne, référent en matière d'interventions d'urgence sur véhicules, a rédigé un protocole d'intervention³⁰. Ce dernier détaille - par type de véhicule (électrique, hybride, GNV, GPL, GNL, H2, thermique) - les actions d'urgence (dites 'intuitives') et les manipulations spécifiques (dites 'complexes') à effectuer en cas d'incident sur un véhicule. Deux grandes catégories de protocoles sont expliquées³¹ et permettent de sécuriser l'environnement et la population lorsqu'un véhicule thermique, électrique à batterie, à hydrogène, ou au gaz est impliqué.

Les protocoles présentent - pour tous types de véhicules - les principes généraux de gestion d'un incendie pour sécuriser, refroidir puis éteindre un feu. Pour les véhicules électriques, le risque principal est l'emballement thermique (130-150°C). Les pompiers mobilisés sur un feu de batterie chercheront donc à refroidir la batterie (source thermique), via deux lances à eau (dont une ciblant la batterie).

Une bonne pratique fournie par le SDIS consiste à s'assurer du parking des bus électriques en extérieur pour limiter les risques en cas de surchauffe de la batterie bien que les technologies aujourd'hui développées contiennent des dispositifs permettant d'empêcher toute situation d'urgence.

³⁰ <https://godr.sdis86.net/godr/godr-sr/index.html>

³¹ Pour les véhicules électriques et à hydrogène, ces procédures d'urgence sont également détaillées quant aux situations de véhicules en cours de chargement.





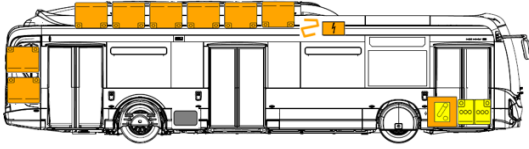
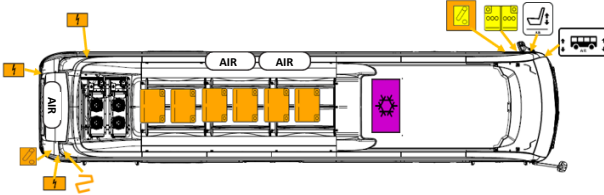











L'intervention des pompiers lors des accidents de la route suit la règle des 5S : Sécurisation du site, Sécurisation du véhicule, Secours à personne, Sécurisation des techniques de désincarcération et Sortie de la victime.

La règle des 5I, quant à elle, permettra de sécuriser le véhicule et la situation, puis d'intervenir : Identifier le type d'énergie, Inspecter les dégradations, Interdire le contact avec des éléments de la batterie, Isoler la source d'énergie puis Intervenir.

En complément de ces procédures, des fiches d'aide à la désincarcération (FAD) standardisées ont été intégrées à l'application *Euro RESCUE* développée par EURO NCAP et le CTIF (Comité technique international du feu) et permettent aux pompiers (mais également accessible à tous les utilisateurs) de décider plus rapidement des bonnes pratiques à effectuer en cas d'incendie - ou suite à un accident de la route - sur les véhicules électriques à batterie et à hydrogène.

“Plus de 1500 FAD sont actuellement présentes sur l'application. L'homogénéisation des pictogrammes utilisés pour identifier l'énergie embarquée sur les véhicules et un plus grand nombre de FAD (Fiches d'aide à la désincarcération) disponibles – notamment pour les bus – sur l'application Euro RESCUE permettrait de faciliter les interventions des pompiers, pour assurer la sécurité de la population.”

Lieutenant Colonel Gentileau
(SDIS 86 et EURO NCAP)

Réservé aux trous (version papier)		Heuliez Bus (GX 337 ELEC) mise en production en 2018						
								
								
								
		Batterie basse tension		Dispositif haute tension pour débranchement haute tension		Pack batterie haute tension		Câble d'alimentation haute tension
		Composant de haute tension		Réglage de l'air du siège par système pneumatique		Réservoir d'air		Contenu du réservoir à carburant Diesel
		Dispositif basse tension pour débranchement haute tension		Composant de climatisation		Contrôle de hauteur du bus avec châssis		

Heuliez Bus (GX 337 ELEC) – Fiche de secours

A blue electric bus is shown from a front-three-quarter view. The bus has 'HEULIEZ' on the front grille, 'Citéa' on the front bumper, and 'Citéa' on the side. Below the side 'Citéa' logo, it says 'Un service de Valence Romans' and '2019/2020'. The license plate is 'FH-875-FH'. The background is a dark, blurred outdoor setting.

9. Focus sur les autocars électriques : transport de voyageurs longue distance

Notons tout d'abord que la réglementation actuelle (Clean Vehicle, AFID, directive CO2) ne concerne pas encore les autocars ce qui a pour conséquence de réduire l'offre européenne face aux autocars asiatiques.

9.1 Parc d'autocars en France et Île-de-France

Au 1er janvier 2020, 99,4 % des autocars en circulation ont une motorisation diesel. Les autres motorisations sont très marginales, même si le nombre d'autocars roulant au GNV augmente depuis quelques années.

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Gazole	64 440	64 550	65 250	64 700	65 490	66 700	67 220	66 920	68 630
GNV & autres gaz	40	40	40	40	40	60	90	120	250
Electricité	0	0	10	10	10	10	30	50	70
Essence	90	70	60	50	30	30	20	10	30
Autre	120	110	100	100	90	80	80	70	90
Total	64 690	64 770	65 460	65 890	65 650	66 880	67 440	67 180	69 050

Parc d'autocars en circulation en France au 1er janvier 2021³²

En France on compte 3 042 entreprises regroupant 101 916 salariés et exploitant près de 70 000 autocars. En moyenne les entreprises comptent 33 salariés et exploitent 23 autocars dont l'âge moyen est de 8 ans. Près de ¾ des autocars disposent de plus de 50 places.

La motorisation Euro 6 est la plus répandue au sein du parc des autocars (40,5 % du parc au 1er janvier 2020). Toutefois, une part importante des autocars en circulation est équipée de motorisation répondant aux normes 1 à 4, antérieures au 1er octobre 2009 (31 % du parc). Ainsi, la moitié du parc des autocars a été mise en circulation avant 2012.

A Paris en 2016, 48% des autocars en circulation en haute saison touristique sont immatriculés à l'étranger. Les autocars de tourisme sont utilisés pour le tourisme d'affaires (congrès, salons, événements d'entreprises), le tourisme de personnes étrangères ou françaises, qu'il s'agisse de groupes constitués (associations, fédérations, voyages organisés) ou d'individuels regroupés (excursions).

On notera par ailleurs qu'il existe d'autres autocars circulant en Ile de France : les lignes aéroportuaires et les lignes régulières de transport en commun en moyenne et grande couronne (lignes inscrites au plan de transports d'IDFM), le ramassage scolaire, le transport extra-scolaire, les lignes régulières nationales/européennes (gares routières, points d'arrêts informels dans Paris).

Sur les 12 379 autocars immatriculés en Ile de France, 98% roulent au diesel, 0,9% au GNV (116 autocars) et 0,4% en électrique (50 autocars).

³² <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/69-000-autocars-en-circulation-au-1er-janvier-2020>

Les autocars diesel disposent en majorité de vignettes Crit'Air 3 et 2 avec respectivement 26% et 55% des véhicules (10 061). Près de 50% des autocars immatriculés en Ile de France ont entre 1 et 5 ans.

A Paris et parmi les usagers du PASS Autocar (stationnement payant), on dénombre 80% de Crit'Air2 (C2) diesel soit des véhicules âgés au plus de 6 ans, 18% de C3 diesel, moins de 2% de C1 GNV et de CE électrique.

9.2 Profil des autocaristes

Le profil des autocaristes dépend du domaine des missions qu'ils effectuent. On estime qu'en Union Européenne, 80% des opérateurs sont des PME.

En France, les autocars sont exploités à 70% par les entreprises du secteur de transports de voyageurs et plus particulièrement celles du transport routier régulier de voyageurs.

Les lignes longue-distance

Ce sont des services librement organisés (SLO) avec des lignes nationales et internationales opérées actuellement en France par les opérateurs FlixBus et BlaBlaBus. Ceux-ci sous-traitent les voyages à de petites et moyennes entreprises de transport routier de voyageurs.

Les lignes régulières transport public

Ce sont les lignes urbaines et métropolitaines. Il n'y a pas de TPE sur ce segment, l'humain étant au cœur des opérations (conducteurs, réparateurs, chefs d'exploitation, fonctions supports), le nombre d'employés croît assez rapidement. Le transport public s'organise donc plutôt autour d'entreprises de 100-200 employés environ. L'activité des opérateurs s'articule entre transport scolaire et lignes régulières inscrites au plan de transport régional (IDFM en Ile de France).

Les cars de tourisme

Les entreprises du segment sont aussi bien des TPE que des PME. Celles qui survivent dans un contexte de crises répétées et de transition environnementale nécessitant des investissements importants font en général du tourisme et du transport public. De cette manière, elles se garantissent un cash-flow sur plusieurs années (contrats publics sur 4 à 6 ans), ce qui sécurise leur activité contrairement au tourisme qui rémunère à la mission (transport de groupes, accompagnement d'associations, de personnes âgées, congrès professionnels...).

9.3 Les caractéristiques des lieux de remisage

Les lieux de remisage correspondent à un atelier de réparation et un grand parc souvent non couvert, ceux-ci comportent beaucoup moins d'infrastructures que les dépôts de bus de transport public et l'avitaillement en carburant alternatifs nécessitera des investissements.

Selon les usages des autocars de tourisme, différents types de recharge pourraient être nécessaires ; de la recharge privée dans des sites de remisage, de la recharge publique pouvant se situer en stations-services ou bien en parkings.

L'équipement d'un site de remisage nécessite des raccordements électriques de forte puissance, impliquant une anticipation en lien avec le gestionnaire du réseau de distribution et éventuellement des coûts de raccordement très importants, en fonction de la puissance électrique et du linéaire de raccordement au réseau électrique. Par ailleurs, les délais de mise en œuvre ne sont pas à négliger.

9.4 Les autocars électriques existants

Contrairement aux bus, le marché des autocars électriques est relativement restreint et seuls deux constructeurs proposent des véhicules homologués en Europe, Yutong (Chine) et BYD (Chine).

L'autonomie de ces véhicules est suffisante pour une journée de tourisme métropolitain ou une ligne scolaire.

A ce jour, on compte une seule ligne régulière – Paris Amiens – exploitée avec un autocar électrique par Flixbus, depuis avril 2018. Par ailleurs en Ile de France l'opérateur Savac dispose de 12 autocars électriques pour effectuer du transport scolaire et extra-scolaire, depuis octobre 2017.

L'association Busworld³³ a produit récemment un comparatif montrant les différentes caractéristiques des énergies alternatives et thermique concernant la flotte d'autocars en Union Européenne.

	Autonomie	CAPEX	Coût total de possession (TCO)	Zéro émission	Maturité	Facilité d'utilisation	Disponibilité de l'énergie
Gaz Naturel (liquéfié ou comprimé)	++	+	+	-	++	+	+/-
Hybride rechargeable	+	-	+/-	+/-	+	-	+
Batterie électrique	-	-	+	++	+/-	-	-
Hydrogène (FC)	++	--	?	+	-	+	--

- Les énergies présentées sont le gaz naturel, l'hybride, l'électrique à batterie et l'hydrogène/pile à combustible (PAC).
- Les caractéristiques étudiées sont la distance parcourue (autonomie), l'investissement (CAPEX), investissement sur le cycle de vie du véhicule (TCO), les émissions (Zéro Émission), la maturité technologique, la facilité d'utilisation et la disponibilité de l'énergie en elle-même à l'heure actuelle.

On peut en déduire que le coût total de possession des autocars fonctionnant avec des batteries électriques est avantageux par rapport aux autres technologies, à l'instar de son niveau d'émissions. Toutefois, l'autonomie et la disponibilité de l'énergie pour des trajets longs rendent son utilisation plus adéquate sur des trajets d'une journée ou pour une ligne scolaire.

9.5 Aides à la transition des infrastructures des dépôts

Une entreprise exploitant une ligne régulière inscrite au plan de transport régional (IDFM en Ile de France) peut voir la transition de son dépôt financée dans le cadre de ses contrats mais cela nécessite du foncier disponible et d'en être propriétaire.

Ordre d'idée des coûts des véhicules et infrastructures :

- Autocar thermique : ±270k€
- Autocar GNV : ±300-350k€
- Autocar électrique : ±350-450k€
- Borne de recharge électrique pour recharger 1 autocar : au moins 50k€ (travaux et raccordement compris).

³³ <https://www.busworld.org/>

Glossaire

ACV (Analyse du cycle de vie) : L'analyse du cycle de vie est une méthode normalisée permettant de mesurer les effets quantifiables de produits ou de services sur l'environnement.³⁴

ADVENIR : Le programme ADVENIR piloté par l'Avere-France vise, grâce au mécanisme des CEE (certificats d'économie d'énergie), à compléter les initiatives publiques de soutien à l'électromobilité en cours.³⁵

AFID : Alternative Fuels Infrastructure Directive

AOM (Autorité Organisatrice de la Mobilité): Une autorité organisatrice de la mobilité (AOM) est une personne publique compétente pour l'organisation des mobilités au sein de son ressort territorial.³⁶

BEI : Banque Européenne d'Investissement

CATP : Centrale d'Achat du Transport Public

CO₂ : Le dioxyde de carbone, aussi appelé gaz carbonique ou anhydride carbonique, est un composé inorganique dont la formule chimique est CO₂.³⁷

CSPE : Contribution au Service Public de l'Electricité

EPCI : Etablissement Public de Coopération Intercommunale

EPIC : Etablissement Public Industriel et Commercial

Euro (norme) : La Norme euro a été mise en place par l'Union européenne en 1988 pour les véhicules lourds (norme Euro 0 à VI) , afin de limiter les émissions de polluants liées aux transports routiers.³⁸

GART : Groupement des autorités responsables de transport, il est constitué d'une équipe d'élus et de permanents pour mener à bien sa mission d'intérêt général, l'association agit en faveur du développement des transports publics et des modes alternatifs à l'usage individuel de la voiture.³⁹

GES : Les Gaz à Effet de Serre sont des gaz qui absorbent une partie des rayons solaires en les redistribuant sous la forme de radiations au sein de l'atmosphère terrestre, phénomène appelé effet de serre.⁴⁰

GNV (Gaz Naturel pour Véhicule) : Gaz naturel utilisé comme carburant pour les véhicules à moteur comme les automobiles, les autobus ou les camions. Le gaz naturel est constitué d'environ 97 % de méthane.⁴¹

³⁴ <https://www.ademe.fr/expertises/consommer-autrement/passer-a-l'action/dossier/lanalyse-cycle-vie/quest-lacv>

³⁵ <https://advenir.mobi/le-programme/>

³⁶ <https://www.gart.org/nos-adherents/quest-ce-qu-une-aom/>

³⁷ https://fr.wikipedia.org/wiki/Dioxyde_de_carbone

³⁸ <https://www.ecologie.gouv.fr/normes-euros-demissions-polluants-vehicules-lourds-vehicules-propres>

³⁹ <https://www.gart.org/nous-connaître/lassociation/>

⁴⁰ https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/gaz_a_effet_de_serre_ges.php4

⁴¹ https://fr.wikipedia.org/wiki/Gaz_naturel_pour_v%C3%A9hicules

GRD (Gestionnaire de réseau de distribution) : Le gestionnaire de réseau est chargé de la gestion d'un réseau public de distribution d'électricité ou de gaz naturel. Il en assure le développement, le fonctionnement et la maintenance.⁴²

Hydrogène vert : L'hydrogène vert est fabriqué à partir d'eau et d'électricité issue d'énergies renouvelables, permettant d'obtenir une empreinte carbone nulle.⁴³

H₂ : Le dihydrogène est l'élément chimique le plus simple, le plus léger et le plus abondant de l'univers. Il est composé de deux atomes d'hydrogène (H₂).⁴⁴

ICPE : Installations Classées Protection de l'Environnement

LFP : Lithium-fer-phosphate

LMP® (Lithium Métal polymère®) : technologie développée par BlueSolutions à électrolyte solide qui équipe les bus électriques du constructeur Bluebus.

LOM (Loi d'Orientation des Mobilités) : La loi d'orientation des mobilités entend supprimer les zones blanches de la mobilité (zones non couvertes par une autorité organisatrice de la mobilité) en accordant de nouvelles compétences aux collectivités territoriales pour organiser notamment des services tels que l'autopartage, le covoiturage, le transport à la demande.⁴⁵

LTECV (Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte) : La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) publiée au Journal Officiel du 18 août 2015, ainsi que les plans d'action qui l'accompagnent visent à permettre à la France de contribuer plus efficacement à la lutte contre le dérèglement climatique et à la préservation de l'environnement, ainsi qu'à renforcer son indépendance énergétique tout en offrant à ses entreprises et ses citoyens l'accès à l'énergie à un coût compétitif.⁴⁶

LTO : Lithium-titanate

MoéBUS : Programme CEE qui vise à « accompagner les collectivités ou entreprises privées, qui feraient le choix de l'électrique, à accélérer la conversion de leur parc de véhicules de transports collectifs thermiques vers des véhicules à faibles émissions plus efficaces énergétiquement d'ici fin 2021 ».

NMC : Lithium nickel-manganèse-cobalt

⁴² <https://pro.engie.fr/faq/tout-sur-l-energie/le-marche/grd>

⁴³ <https://pro.engie.fr/energie-mag/l-energie-et-vous/l-hydrogene-vert-une-nouvelle-opportunite-pour-la-transition-energetique#:~:text=L'hydrog%C3%A8ne%20est%20fabriqu%C3%A9,oxyg%C3%A8ne%20et%20de%20la%20chaleur.>

⁴⁴ <https://www.orygeen.eu/docs-actus/glossaire/hydrogene/>

⁴⁵ <https://www.vie-publique.fr/loi/20809-loi-du-24-decembre-2019-dorientation-des-mobilites-lom>

⁴⁶ <https://www.ecologie.gouv.fr/loi-transition-energetique-croissance-verte>

PAC : Pile à Combustible

Particules fines : Le mot « particule » englobe un ensemble de composés variés. On peut les classer de différentes façons selon leur origine, leur dimension, leur composition et leur mode de formation. Celles inférieures à 2,5 microns sont appelées «particules fines». ⁴⁷

PLU : Plan Local d'Urbanisme

PPRI : Plan de Prévention des Risques d'Inondations

PPE (Programmation Pluriannuelle de l'Energie) : Outils de pilotage de la politique énergétique créés par la loi de transition énergétique pour la croissance verte. ⁴⁸

RATP : La Régie autonome des transports parisiens (RATP) est un établissement public à caractère industriel et commercial de l'État assurant l'exploitation d'une partie des transports en commun de Paris et de sa banlieue. ⁴⁹

RTM : La Régie des Transports Métropolitains (RTM) exploite les réseaux de transports urbains ainsi que des services complémentaires de mobilité qui lui sont confiés contractuellement par la Métropole Aix-Marseille-Provence (AMP). ⁵⁰

Système batterie : Un système batterie est un ensemble de modules ou de packs batteries dimensionné pour apporter l'énergie et la puissance au véhicule.

TCO (Total Cost of Ownership) : Représente la somme totale qu'a dû dépenser le propriétaire d'un bien au cours du cycle de vie de ce dernier. Les coûts directs et indirects sont pris en compte. ⁵¹

TURPE : Le Tarif d'Utilisation des Réseaux Publics d'Électricité (TURPE) est un instrument visant à financer l'acheminement de l'électricité des centres de production aux lieux finaux de consommation, à savoir dans les entreprises, les collectivités ou chez les particuliers. ⁵²

UGAP : Union des Groupements d'Achats Publics

ZCR : Une Zone à Circulation Restreinte (ZCR) est une zone urbaine dont l'accès est réservé aux véhicules les moins polluants. ⁵³

⁴⁷ <http://les.cahiers-developpement-durable.be/outils/particules-fines/>

⁴⁸ <https://www.ecologie.gouv.fr/programmations-pluriannuelles-lenergie-ppe>

⁴⁹ https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9gie_autonome_des_transports_parisiens

⁵⁰ <https://www.rtm.fr/nous-connaître/qui-sommes-nous>

⁵¹ <https://www.daf-mag.fr/Definitions-Glossaire/TCO-245472.htm>

⁵² <https://opera-energie.com/turpe/>

⁵³ https://fr.wikipedia.org/wiki/Zone_%C3%A0_circulation_restreinte



Nous contacter

-  01 53 25 00 60
-  association@avere-france.org
-  Avere-France
Immeuble Emergence
5 rue du Helder
75009 Paris
-  <http://www.avere-france.org/>

