EXPERTISES

AVRIL 2018

Bilan transversal de l'impact de l'électrification par segment

PROJET E4T

RAPPORT

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

IFP Energies nouvelles

En partenariat avec :

REMERCIEMENTS

Fabrice LE BERR, IFP Energies Nouvelles

Joris MELGAR SOSSA (R103), IFP Energies Nouvelles

Cyprien TERNEL, IFP Energies Nouvelles

Anne BOUTER (R141), IFP Energies Nouvelles

François BADIN, IFP Energies Nouvelles

CITATION DE CE RAPPORT

IFP Energies Nouvelles 2018. Bilan transversal de l'impact de l'électrification par segment : PROJET E4T**.** ADEME. 21 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne www.ademe.fr/mediatheque

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 1566C0051

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : IFP Energies Nouvelles

Coordination technique - ADEME : PASQUIER Maxime
Direction Villes et Territoires Durables/Service Transports et mobilité

TABLE DES MATIERES

Résumé 4
1. Contexte du projet 5
2. Démarches et hypothèses 6
2.1 Démarche globale adoptée dans E4T 6
2.2 Hypothèses 7
2.2.1 Hypothèses organiques 7
2.2.2 Hypothèses GMP 8
2.2.3 Hypothèses véhicule 8
2.2.4 Hypothèses d'usages 9
3 Analyse segment par segment 10
3.1 Petit véhicule urbain (segment A) 10
3.2 Le véhicule cœur de gamme (segment C) 12
3.3 Le véhicule haut de gamme (segment D) 14
3.4 Le véhicule utilitaire (VUL) 15
3.5 Le bus (12m) 15
3.6 Le poids lourd de livraison urbain 18
4 Conclusion / Perspectives 19
Index des tableaux et figures 21
Sigles et acronymes 21

Résumé

Ce document livre une synthèse des principaux résultats du projet « Etude Economique, Energétique et Environnementale pour les technologies du transport routier français » (E4T), segment par segment, permettant une analyse des grandes tendances sur l'électrification en cours de mise en place ou de développement. Globalement, cette synthèse montre que, hormis pour le segment du véhicule poids lourd long routier, la motorisation conventionnelle (essence ou Diesel) sera fortement concurrencée en 2030, que ce soit du point de vue de son coût total de possession (TCO) ou de son impact environnemental (émissions de Gaz à Effets de Serre (GES) et polluants). La diffusion de ce type de motorisation devrait donc fortement se ralentir d'ici 2030. L'architecture Mild Hybrid 48V (MHEV 48V), poussée au maximum de ses performances, pourrait être une solution très intéressante pour concurrencer les solutions Full Hybrid actuelles (HEV) à dérivation de puissance. Les véhicules hybrides rechargeables (PHEV) semblent les solutions les plus pertinentes du point de vue de l'impact sur les émissions de GES, grâce à leur batterie de taille limitée parfaitement adaptée à l'usage majoritaire du véhicule. Leur rentabilité économique, sans aide à l'achat, reste néanmoins un verrou pour favoriser leur déploiement. Enfin, les véhicules électriques (BEV) sont des solutions efficaces pour réduire la pollution locale et les émissions de GES, d'autant plus si elles sont très utilisées (à l'instar des bus) de façon à amortir l'impact de la fabrication de la batterie par l'usage. Néanmoins, la rentabilité économique de ces solutions reste limitée actuellement (ou le devient grâce aux aides à l'achat) mais devrait le devenir d'ici 2030 avec la réduction annoncée du coût des batteries. Enfin, la tendance actuelle à l'accroissement de la taille de batteries pour augmenter l'autonomie sur les véhicules électriques, est préjudiciable pour l'impact GES de la filière électrique. Ce point devra faire l'objet d'une attention particulière à l'avenir.

Abstract

This document presents a summary of the main results of the project "Economic, Energetic and Environmental Study Road Transport Technologies in France" (E4T), segment by segment, allowing an analysis of major trends in electrification. Overall, this synthesis shows that, except for the long-haul truck segment, conventional motorization (petrol or diesel) will struggle with more competitive technologies in 2030, whether from the point of view of its total cost of ownership (TCO) or its environmental impact (Greenhouse Gas (GHG) and pollutant emissions). The diffusion of this type of motorization should therefore slow down considerably by 2030. The Mild Hybrid 48V architecture (MHEV 48V), pushed to the maximum of its performances, could be a very interesting solution to compete with the current Full Hybrid solutions (HEV). Plug-in Hybrid Vehicles (PHEVs) seem to be the most relevant solutions from the point of view of the impact on GHG emissions, thanks to their limited size battery perfectly adapted to the majority use of the vehicle. Their economic profitability, without purchase subsidy, remains nevertheless difficult to reach. Finally, battery electric vehicles (BEV) are effective solutions to reduce local pollution and GHG emissions, especially if they are intensively used (like buses) to compensate the environmental impact of battery manufacturing by vehicle use. Nevertheless, the economic profitability of these solutions is currently limited (or becomes viable only thanks to purchase subsidy) but should become so by 2030 with the announced reduction in batteries cost. Finally, the current trend to increase the size of batteries to improve electric vehicles range is detrimental to GHG impact. This point should be consider wisely in the future.

1. Contexte du projet

Depuis quelques années désormais mais surtout depuis l'organisation de la COP21 et les récentes annonces du plan climat pour 2040 de Nicolas Hulot, la France, avec ses partenaires européens, est lancée dans une quête ambitieuse pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) et particulièrement de CO_2. Le transport, premier secteur émetteur de GES en France avec presque 30% des émissions totales du pays, est donc un secteur qui devra encore accroître ses efforts pour réduire son impact sur le changement climatique de même que sur la qualité de l'air au travers d'une réduction des émissions polluantes.

Pour un constructeur commercialisant des véhicules légers en Europe, un seuil d'émissions sur l'ensemble de sa flotte est fixé depuis 2014, impliquant des pénalités si le constructeur ne le respecte pas (Figure 1). Ce seuil, fixé actuellement à 130 g/km de CO_2 sur l'ancien cycle d'homologation NEDC, passera à 95 g/km à partir de 2020, puis 81 g/km dès 2025 et enfin 66 g/km dès 2030 (UE). Ces seuils, de plus en plus sévères, obligent les constructeurs à intégrer davantage d'innovations sur leurs véhicules et motorisations. L'amélioration du rendement des moteurs thermiques, comme le recours à l'électrification, sont deux solutions actuellement fortement travaillées pour atteindre ces objectifs ambitieux. Néanmoins, les futures cibles post 2020, combinées à une perte de vitesse des motorisations Diesel, pourtant faiblement émettrices en CO_2, vont contraindre les constructeurs à encore davantage accélérer leurs efforts. Dans ce contexte, l'électrification, tendance annoncée depuis longtemps maintenant, ne devient plus une option mais une obligation pour pouvoir répondre aux enjeux climatiques et de santé publique.

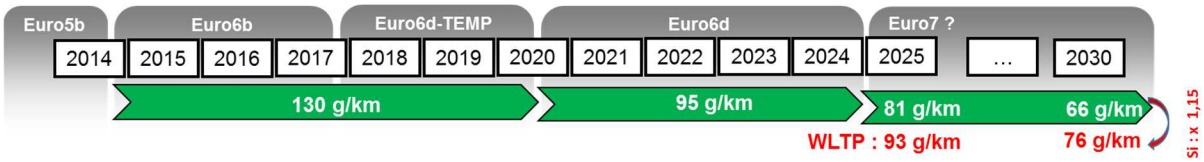


Figure 1 : objectifs d'émissions de CO_2 (en g/km) pour une flotte de véhicule d'un constructeurs. Objectif fixé sur cycle NEDC (avec équivalence pour le cycle WLTP à partir de 2025) - Sources : COM(2017) 676 final, European Commission, 08/11/17 ; Annexes

Les autres secteurs du transport (véhicules utilitaires, poids lourds de livraison ou long routiers, bus…) ne sont pas en reste dans cette quête à la réduction des émissions de CO_2, d'autant plus que ces véhicules sont généralement utilisés par des professionnels pour lesquels le poste carburant est primordial pour la rentabilité de leur activité. La réduction de la consommation est un argument de vente qui est donc toujours travaillé activement. Depuis 2010, le secteur du poids lourd réduit d'environ 1% ses émissions de CO_2 par an et souhaite accélérer encore ses efforts (objectif de 2,5%/an aux Etats-Unis entre 2018 et 2027), en travaillant sur l'amélioration du véhicule (SCx notamment) ainsi que sur l'efficacité de la motorisation. Le secteur du bus a, depuis quelques temps, engagé le virage de l'électrification en adoptant des solutions hybrides dans de nombreuses agglomérations et en souhaitant désormais aller plus loin avec le bus tout électrique.

En complément, la chasse aux véhicules polluants, engagée par certaines agglomérations (Londres, Paris…), tend à accélérer l'introduction de nouvelles motorisations faiblement émettrices localement. Ce type d'annonce, combiné avec le durcissement permanent des normes de pollution, à l'affaire du « Diesel-Gate » (affaire Volkswagen fin 2015) ou à la fin annoncée de la fiscalité avantageant le carburant Diesel en France, a précipité la chute des ventes de motorisations Diesel au profit des motorisations essence et probablement hybrides ou électriques à l'avenir.

Dans ce contexte, bouleversant pour le secteur transport, où de nouvelles solutions technologiques, partiellement ou totalement électrifiées, vont devoir répondre à des enjeux de santé publique et de changement climatique, tout en répondant à des enjeux économiques et d'approvisionnement en matériaux potentiellement critiques, il devient indispensable de se doter d'outils d'analyse prospective de façon à évaluer objectivement certaines tendances afin d'aider à la prise de décision et au déploiement des solutions prometteuses. Ces outils doivent notamment intégrer les spécificités des différents secteurs du transport, que ce soit pour les usages ou les évolutions technologiques envisagées. Ils doivent notamment intégrer certaines tendances annoncées, comme la standardisation du réseau 48V ou le déploiement d'infrastructures de recharges.

Dans cet objectif, IFPEN et ADEME ont collaboré sur le projet E4T (Etude Economique, Energétique et Environnementale pour les Technologies du transport routier français) afin de développer un certain nombre d'outils, pour mener des analyses énergétiques, économiques et environnementales. Ces outils ont atteint un certain niveau de maturité permettant désormais de renforcer les feuilles de route jusqu'à un horizon 2030. L'étude E4T a notamment validé certaines

tendances déjà bien engagées, comme la baisse des consommations énergétiques grâce à l'apport de l'hybridation et de l'électrification, mais aussi l'amélioration des rendements des motorisations conventionnelles et les efforts réalisés sur le véhicule. Le projet a aussi permis d'évaluer la viabilité économique des véhicules électrifiés d'ici 2030, afin d'estimer leur rentabilité du point de vue du TCO (coût total de possession) fonction de leur définition technique et des aides apportées à la filière. Du point de vue de l'analyse de cycle de vie (ACV), l'étude E4T a mis en avant l'adéquation nécessaire entre usage et niveau d'électrification (dimensionnement des batteries) sous peine de ne pas obtenir les gains environnementaux escomptés. Elle a aussi mis en lumière certains systèmes technologiques potentiellement plus bénéfiques pour l'environnement que les véhicules électriques à forte autonomie, grande tendance actuelle dans ce secteur. Ce point délicat a été renforcé par une analyse poussée et détaillée de la ressource en lithium, avec une probable criticité du lithium d'ici 2050 si les véhicules électriques (BEV) venaient à se développer massivement.

Cette synthèse a pour objectif de mettre en avant les grandes conclusions du projet, secteur par secteur, afin de pouvoir consolider les feuilles de route et les orientations sur chaque secteur. Cette synthèse n'évoquera pas néanmoins certains points spécifiques, comme l'impact environnement de l'électrification sur certaines émissions ou critères hors GES, ou la criticité du lithium à horizon 2050. Pour plus d'informations, le lecteur pourra se reporter aux rapports détaillés du projet évoquant ces différentes problématiques.

2. Démarches et hypothèses

2.1 Démarche globale adoptée dans E4T

Afin d'apporter des clés de compréhension des principales orientations en cours ou à venir sur le secteur du transport, le projet E4T a tout d'abord réalisé une évaluation systématique de la consommation énergétique des véhicules pour les différents secteurs analysés dans le projet (Figure 2), à savoir :

- Le segment des véhicules légers, avec 3 gammes de véhicules : urbain (segment A), cœur de gamme (segment C) et haut de gamme (segment D)
- Le segment des véhicules utilitaires (de type Renault Master)
- Les segments des poids lourds, intégrant les véhicules de livraison à dominante urbaine et les grands routiers
- Enfin le segment des bus (12m)

Figure 2 : Segmentation du secteur transport étudiée dans le projet E4T

Chaque segment a été décomposé suivant différentes motorisations intégrant des taux d'électrification variables, du véhicule thermique au véhicule tout électrique, en passant par le véhicule hybride (plusieurs schémas et taux d'hybridation analysés) et le véhicule hybride rechargeable. Chaque organe de la motorisation (moteur thermique, moteur électrique, batterie…) a été modélisé du point de vue énergétique, en prenant en compte les grandes tendances et améliorations à venir d'ici 2030. De la même manière, chaque véhicule a été modélisé en prenant en compte une vision prospective sur ses grandes caractéristiques (aérodynamiques et frottements des pneumatiques) et sur sa masse (allègement carrosserie et châssis, impact de l'amélioration de la densité de puissance et d'énergie des organes électrifiés). Ces modèles ont permis d'évaluer la consommation d'énergie (carburant et électricité) sur différents cycles d'usages.

Après cette première approche énergétique du réservoir à la roue, chaque type de véhicule et groupe motopropulseur (GMP) a ensuite été évalué suivant des considérations économiques, en évaluant le coût total de possession (TCO), et environnementales, en suivant une approche d'analyse de cycle de vie (ACV) intégrant la production de l'énergie mais aussi la fabrication du véhicule.

L'ACV a été réalisée conformément aux normes ISO 14040 & 14044 à l'aide du logiciel commercial d'ACV SimaPro®. La base de données utilisée est Ecoinvent v.3.1. La modélisation choisie est par défaut « *allocation, recycled content* ».

Enfin, une partie de ces éléments a été intégrée dans une analyse globale de la criticité du lithium dans un modèle mondial (non évoquée dans cette note).

Une synthèse des différentes hypothèses prises en compte dans ces différentes étapes est résumée par la suite.

2.2 Hypothèses

2.2.1 Hypothèses organiques

Dans le projet E4T, chaque organe du GMP (moteur thermique, moteur électrique, batterie…) a été modélisé selon plusieurs critères, de façon à bien prendre en compte l'impact de ces différents composants et de leurs évolutions sur le plan énergétique, économique et environnemental. D'abord, chaque composant a été modélisé suivant une approche énergétique classique, permettant de prendre en compte son efficacité intrinsèque dans la chaîne de traction évaluée. Dans cet objectif, des cartographies de consommations spécifiques ou de rendements pour les organes convertisseurs de puissance (comme le moteur thermique ou la machine électrique) ont été utilisées, de même qu'une modélisation de la tension à vide et de la résistance interne pour la batterie. Associée à ces hypothèses, une prise en compte de la densité de puissance ou d'énergie des différents organes a aussi été prise en compte, de façon à bien évaluer la masse totale du GMP suivant les deux horizons de temps considérés (aujourd'hui et 2030). Dans cet intervalle temporel, des améliorations significatives de performances ont été prises en compte pour les organes clés : une augmentation entre 6 et 10 points de rendement maximum sur le moteur thermique, une multiplication par deux des densités de puissance ou d'énergie des organes électriques (moteur électrique et batterie notamment). A titre d'exemple, la densité d'énergie des cellules de batterie, fixée à 150 Wh/kg aujourd'hui (hypothèse raisonnable) est doublé pour 2030 (300 Wh/kg).

Le coût de fabrication de ces organes a ensuite été évalué de manière systématique pour permettre d'évaluer le prix de vente du véhicule. A titre d'exemple, un scénario sur l'évolution du prix des batteries est proposé en figure 3.

Chaque organe a aussi été évalué du point de vue de son impact sur l'écosystème environnemental, notamment sur les émissions de CO_2 provenant de sa fabrication.

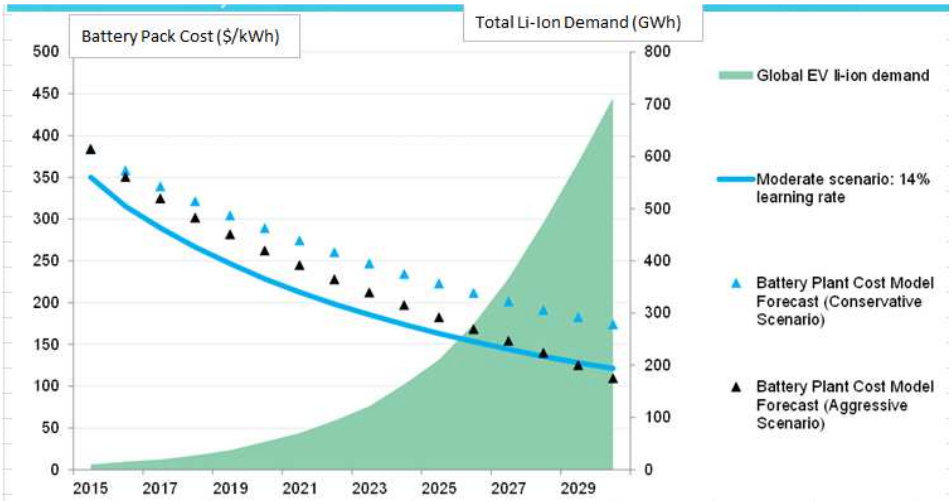


Figure 3 : Scénarios de l'évolution du prix des batteries (cellules + pack) entre 2015 et 2030 (source : BNEF)

2.2.2 Hypothèses GMP

Afin de pouvoir réaliser une évaluation la plus exhaustive possible des architectures électrifiées, jusqu'à 10 architectures GMP ont été prises en compte sur les différents segments évalués dans le projet. Les GMP conventionnels (essence et Diesel), systématiquement équipés de la fonction Stop & Start en 2030, ont été déclinés dans une version « Mild Hybrid 48V » (MHEV 48V, hybridation de type parallèle avec une tension limitée à 48V, Figure 4). 3 architectures de véhicules « Full Hybrid » haute tension (HEV) ont été modélisés en version non rechargeable : hybridation parallèle (pour véhicules légers, bus et poids-lourds), hybridation série (pour bus et poids-lourds) ainsi que hybridation à dérivation de puissance (de type Toyota Prius, uniquement déclinée sur le segment des véhicules légers). Cette architecture hybride, fonctionnant à haute tension, a été évaluée avec une motorisation uniquement essence pour les véhicules légers, et uniquement Diesel pour les bus et les poids-lourds. L'hybridation rechargeable (PHEV) a été modélisée sur le segment des véhicules légers et véhicules utilitaires, avec une architecture hybride série pour le segment des petits véhicules urbains, deux architectures parallèle et à dérivation de puissance pour les catégories plus élevées (segments C et D) et enfin une architecture hybride parallèle pour le véhicule utilitaire. Enfin, chaque segment (à l'exception des poids-lourds longs routiers) a intégré une ou deux versions de véhicules électriques, se différenciant par l'autonomie apportée par la batterie (autonomie modérée ou grande autonomie).

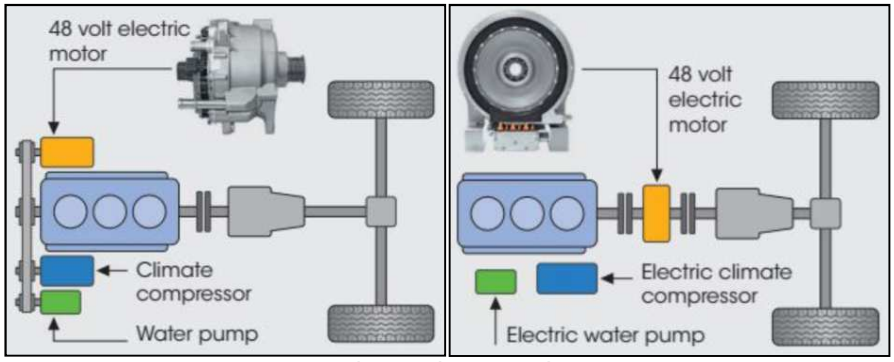


Figure 4 : architecture hybride parallèle utilisée sur les véhicules MHEV fonctionnant en 48V
A gauche : type P0 (machine électrique non débrayable) pour les véhicules actuels
A droite : type P2 (machine électrique débrayable et permettant un fonctionnement tout électrique) pour les véhicules 2030

2.2.3 Hypothèses véhicule

Chaque véhicule a été modélisé suivant une approche classique, prenant en compte sa masse « à vide » (sans passager ni chargement), la masse additionnelle embarquée (moyennée suivant l'usage), des caractéristiques aérodynamiques (surface frontale et coefficient de pénétration dans l'air) et les

frottements des pneumatiques. La masse du GMP a été calculée grâce à la connaissance de l'architecture GMP embarquée dans le véhicule et la masse de chaque composant.

Une évolution de ces différents paramètres a été prise en compte entre aujourd'hui et 2030. Le projet E4T a notamment considéré une évolution modérée de la masse à vide des véhicules légers (moins de 5%) mais plus ambitieuse sur les autres segments (autour de 15%). De la même façon, une évolution modérée des caractéristiques aérodynamiques a été considérée pour le segment des véhicules légers (réduction du Cx de 10%) mais pouvant aller jusqu'à 30% pour le long routier. Le coefficient de frottement des pneumatiques a été amélioré de 20% pour l'ensemble des segments.

Afin d'évaluer le prix de vente neuf des différents véhicules de l'étude (y compris en 2030), une approche bottom-up a été utilisée. Le coût des technologies spécifiques de chacun des véhicules a ainsi été ajouté au coût du châssis et de la carrosserie, ces coûts dépendant du segment considéré (voir Figure 5). D'autres postes ont également été modélisés, comme les frais d'infrastructure, les charges de personnel, les frais de marketing, du réseau commercial... Le coût de l'énergie (carburant, électricité) a aussi été pris en compte ainsi que son évolution supposée entre aujourd'hui et 2030.

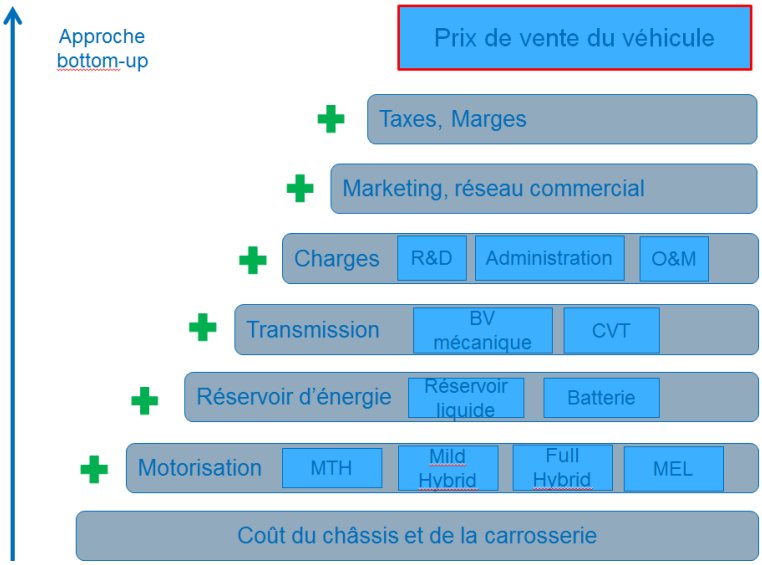


Figure 5 : Représentation de l'approche bottom-up utilisée pour déterminer les prix de vente des véhicules

La durée de vie des véhicules a été fixée à 10 ans pour les véhicules légers et à 12 ans pour les autres segments, à raison de 12 000 km/an pour les véhicules urbains, 15 000 km/an pour les véhicules légers des autres segments, 16 200 km/an pour les véhicules utilitaires, 31 000 km/an pour les poids lourds de livraison, 40 000 km/an pour les bus et enfin 62 500 km/an pour les poids lourds « long routier ». Sauf précision spécifique, on ne considèrera qu'une seule batterie par véhicule sur la durée de vie proposée.

La composition matière des différents véhicules a été fixée suivant différentes références bibliographiques, en tenant compte de l'allègement précédemment évoqué.

2.2.4 Hypothèses d'usages

Pour les véhicules légers, la consommation a d'abord été évaluée sur cycles d'homologation (le cycle NEDC mais aussi le nouveau cycle WLTC davantage représentatif de l'usage) et des usages réels et spécifiques (usage urbain embouteillé, usage urbain fluide, usage extra-urbain et autoroutier). Pour les autres segments, des cycles réels d'utilisation ont été pris en compte, représentatifs par exemple d'une utilisation à Paris ou à Lyon pour les bus.

A noter que seuls les usages réguliers et quotidiens des véhicules, accessibles à l'ensemble des architectures considérées (notamment électriques) ont été analysés, afin de pouvoir comparer l'ensemble des configurations entre elle. Les usages exceptionnels, comme les longs trajets pour partir en vacances par exemple, ont été exclus de cette étude car difficilement accessibles pour les véhicules électriques à autonomie limitée. C'est la raison pour laquelle, tenant compte de cette hypothèse, seuls des cycles de moins de 50 km ont été pris en compte pour les véhicules légers, afin de pouvoir comparer des véhicules à dominante thermique avec des véhicules à dominante électrique. Seule l'hypothèse d'une recharge systématique journalière a aussi été prise en compte pour les PHEV et BEV.

Concernant le mix énergétique, il a été choisi de se focaliser sur la France et son mix spécifique, très fortement décarbonné grâce notamment à l'utilisation d'énergie nucléaire.

3 Analyse segment par segment

Une analyse des principales conclusions, segment par segment, est proposée ci-après.

3.1 Petit véhicule urbain (segment A)

Le petit véhicule urbain est un segment conditionné essentiellement par le prix d'achat du véhicule et contraint du point de vue de l'intégration du GMP. Seules 4 architectures GMP ont été considérées sur ce segment : le véhicule conventionnel (uniquement essence), le véhicule MHEV (dans l'hypothèse d'un déploiement généralisé de ce type d'architecture à horizon 2030), le véhicule électrique, sans ou avec prolongateur d'autonomie. Dans ce dernier cas, le prolongateur d'autonomie a été spécifié avec une puissance suffisante pour permettre de garantir des performances pertinentes même batterie vide et donc de limiter le dimensionnement de la batterie afin d'apporter uniquement 50 km d'autonomie environ. Ce dimensionnement au plus juste permet d'assurer une utilisation du véhicule en tout électrique sur une grande partie des trajets quotidiens.

Concernant la masse du véhicule, il apparaît que, pour une batterie de taille raisonnable assurant une autonomie de l'ordre de 200 km, le véhicule électrique est fortement pénalisé par la batterie (de l'ordre de 250 kg par rapport à un véhicule conventionnel). En 2030 et compte-tenu des évolutions envisagées sur la densité d'énergie et de puissance des organes électriques, le surpoids du véhicule électrique sera équivalent à celui du véhicule avec prolongateur d'autonomie et reste limité à moins de 100 kg par rapport à un véhicule conventionnel essence.

Du point de vue de la consommation, le véhicule conventionnel thermique devrait réduire sa consommation d'environ 1l/100 entre aujourd'hui et 2030 en passant sous la barre des 4l/100 km sur cycle WLTC. L'hybridation 48V apporte, sur ce segment, une amélioration significative de la consommation, permettant un gain supplémentaire d'environ 1l/100 km par rapport à la version conventionnelle, mais surtout en limitant de manière significative la surconsommation en usage urbain, notamment embouteillé (limitée à 4l/100 km sur MHEV à comparer aux 9 l/100 km pour son équivalent conventionnel). La consommation des véhicules fortement électrifiés (PHEV et BEV) passe de 15 kWh/100 km à 10 kWh/100 km (-30%) grâce aux progrès significatifs sur le véhicule et la masse des organes électriques (batterie et systèmes électriques).

Sur un usage urbain spécifique à ce type de véhicule, et grâce à l'aide à l'achat de 6000 euros actuellement distribuée, le véhicule électrique est une solution pertinente économiquement pour l'utilisateur (voir Figure 6). En 2030, et même sans aide à l'achat, cette conclusion reste valable, même si la solution véhicule électrique est talonnée de près par la solution MHEV qui offre l'intérêt d'un investissement initial moindre mais ne disposant pas de fonctionnalité tout électrique, probablement intéressante en 2030 en ville. A noter que dans l'hypothèse d'une course à l'autonomie telle qu'actuellement engagée pour le véhicule électrique, ce dernier pourrait perdre de son attractivité. En effet, un véhicule électrique avec une batterie de l'ordre de 60 kWh (lui conférant plus de 500 km d'autonomie) sera très difficilement valorisable du point de vue TCO et investissement initial. Cette solution reste la moins pertinente économiquement comparée à toutes les autres architectures GMP évaluées.

La solution BEV avec prolongateur d'autonomie n'est jamais bien positionnée économiquement, pénalisée à la fois par le coût du moteur thermique et de la batterie. Néanmoins, cette solution, proche d'un véhicule purement électrique en termes de fonctionnalités et de performances sur la plupart des usages quotidiens de distance limitée, présente un réel intérêt du point de vue de la réduction des GES. En effet, grâce à sa taille de batterie raisonnable (6 kWh), il se positionne mieux que le véhicule électrique (même à autonomie limitée à 200 km). Il offre, de plus, une autonomie sans recharge beaucoup plus élevée que le véhicule électrique, grâce au prolongateur, permettant une utilisation plus polyvalente du véhicule.

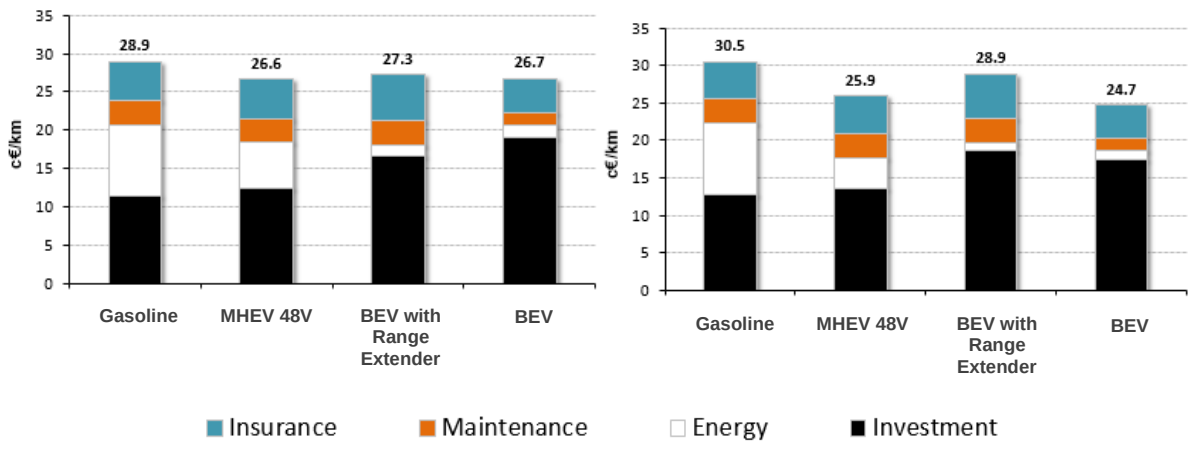


Figure 6 : TCO de véhicules de segment A en 2015 (à gauche) et 2030 (à droite) sur le cycle urbain

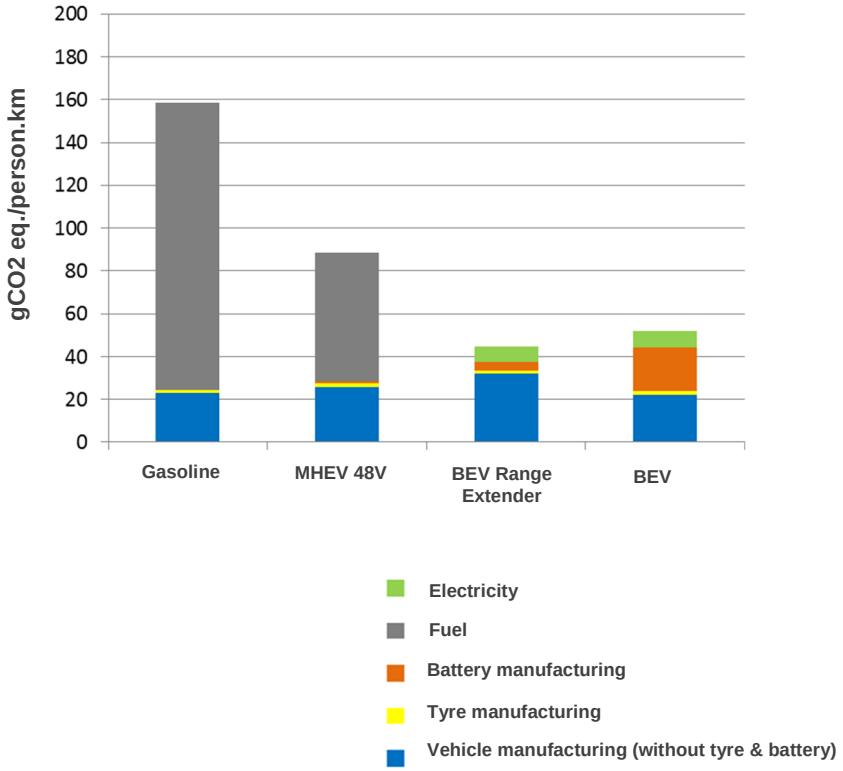


Figure 7 : Impact sur le changement climatique d'une personne utilisant son véhicule de segment A en 2030 en usage urbain

Finalement, et compte tenu des évolutions attendues sur le fonctionnement des centres villes (péages ou interdiction aux véhicules polluants, facilités de stationnement pour le véhicule électrique), il semble que l'avenir du petit véhicule urbain soit promis au véhicule électrique. Néanmoins, et compte-tenu de la tendance actuelle à accroitre la taille de la batterie pour accroitre l'autonomie du véhicule électrique, ce dernier pourrait être fortement concurrencé à l'avenir par des solutions MHEV (du point de vue TCO) ou des solutions PHEV (du point de vue de l'impact environnemental), qui offrent toutes les deux une autonomie sans recharge beaucoup plus élevée que le BEV.

3.2 Le véhicule cœur de gamme (segment C)

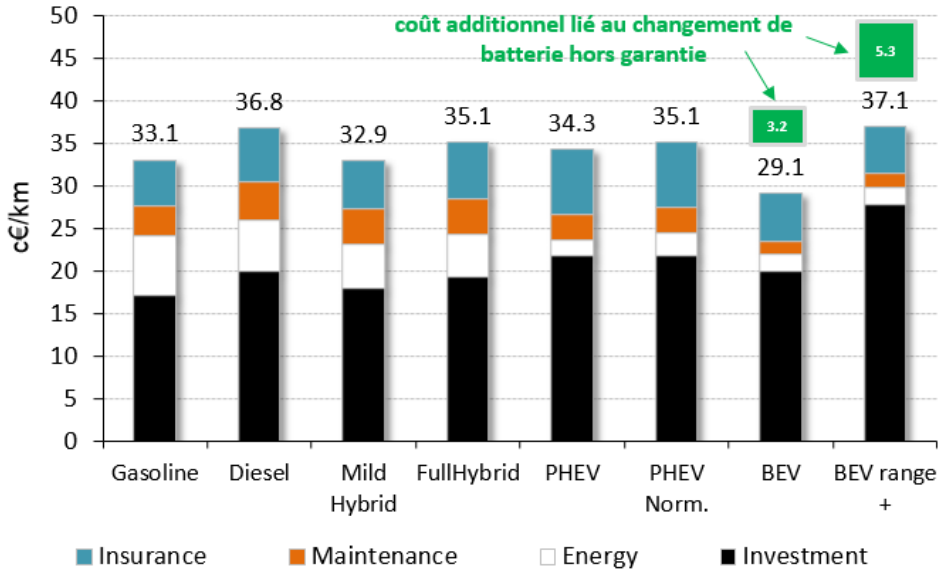
Le cœur de gamme (véhicule de segment C) est actuellement un segment pour lequel le compromis coût / prestations est important car destiné aux familles qui sont généralement très regardantes sur ces deux critères. Pour ce segment, 10 architectures ont été analysées :

- Le véhicule essence ou Diesel, décliné en version Stop & Start et MHEV
- Les véhicules HEV et PHEV, déclinés en architectures hybrides parallèle et à dérivation de puissance
- Enfin le véhicule électrique (en version autonomie modérée et grande autonomie).

Sans surprise, la masse du véhicule est directement liée à son taux d'hybridation et à la taille de la batterie. On notera néanmoins que, à horizon 2030, les masses des véhicules considérés (hors BEV à autonomie étendue) sont très proches (moins de 120 kg entre la masse du véhicule thermique et la masse du véhicule électrique), grâce aux évolutions substantielles attendues sur le poids des différents organes électriques.

Sur ce segment et pour les motorisations intégrant un moteur thermique, l'architecture hybride à dérivation de puissance est véritablement la plus intéressante du point de vue énergétique, limitant les consommations autour de 4l/100km actuellement sur l'ensemble des conditions d'usage, mêmes urbaines. Cette conclusion renforce le choix de nombreux taxis d'utiliser ce type d'architecture intégrée dans les Toyota PRIUS par exemple. En 2030, les écarts entre les différentes architectures hybrides se resserrent, avec une consommation entre 3 et 4l/100 km sur cycle WLTC. L'avantage de la transmission à dérivation de puissance est moins prononcé, notamment au regard de sa complexité par rapport à une hybridation légère type MHEV, mais conserve un avantage du point de vue de la consommation sur cycle urbain, notamment embouteillé. Cette tendance au rapprochement des consommations s'explique, entre autres, par l'amélioration des rendements des moteurs thermiques et l'amélioration de la densité de puissance des machines électriques. La consommation électrique des véhicules fortement électrifiés (PHEV et BEV) varie entre 10 et 15 kWh/100km suivant les architectures et les cycles de conduite évalués.

Du point de vue du coût total de possession, le véhicule thermique est bien plus rentable en version essence qu'en version Diesel, pour un kilométrage moyen de 15 000 km par an



(

Figure ***8***). Comme pour le segment A, l'hybridation légère (MHEV 48V) semble une très bonne alternative et représente même une meilleure solution en 2030 que les véhicules thermiques et hybrides en terme de TCO. Malgré un investissement initial conséquent, dû notamment à une aide à l'achat limitée à 1000€ actuellement, le TCO du véhicule hybride rechargeable reste proche de celui des autres véhicules hybrides, même en reprenant la procédure WLTC qui augmente la probabilité d'occurrence de cycles sollicitant le moteur thermique. De ce fait, l'architecture HEV (non rechargeable) ne semble

donc pas bien positionnée en 2030, coincée entre les deux architectures à potentiel, le MHEV et le PHEV, intéressantes par leur TCO et leurs fonctionnalités (le PHEV permettant une conduite en tout électrique en zone urbaine qui pourrait être fortement valorisable en 2030).

A partir d'un kilométrage annuel de 12 000 km/an, les véhicules électriques représentent une très bonne solution économique comparée à toutes les autres solutions de motorisation, que ce soit à l'heure actuelle (grâce à l'aide à l'achat) ou en 2030 (sans aide à l'achat mais avec une réduction significative du coût des batteries). Néanmoins, cette rentabilité n'est possible que si la batterie est de taille limitée (assurant environ 250 km d'autonomie). En effet, une batterie de taille deux fois plus importante (permettant de doubler l'autonomie) rend le véhicule peu pertinent économiquement comparé aux autres architectures. Ces conclusions sont aussi à modérer en cas de remplacement de la batterie.

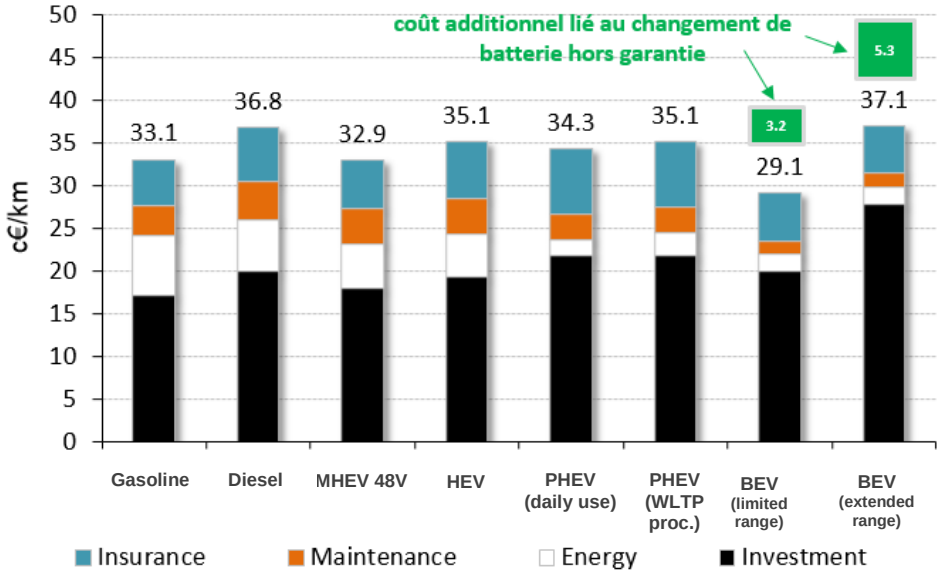
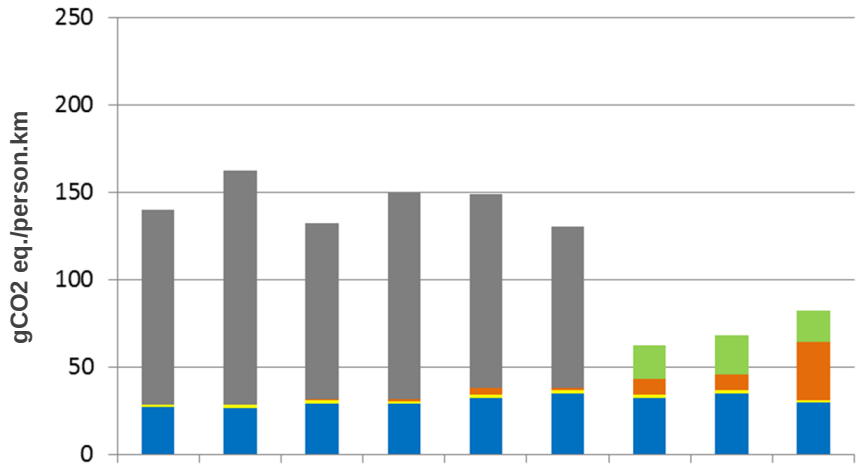


Figure 8 : Comparaison des TCO de véhicules de segment C en 2030 sur le cycle WLTC

D'après la Figure 9, le bilan environnemental des différents véhicules s'améliore nettement entre 2015 et 2030. On remarque notamment que le véhicule MHEV présente un bilan environnemental comparable aux architectures HEV avec un TCO faible. Comme pour le segment A, le PHEV reste la solution la plus écologique, grâce à ses faibles émissions de GES à l'usage et sa batterie de taille limitée comparée au véhicule électrique. Cette conclusion est d'autant plus vraie si le véhicule électrique est à forte autonomie (non représenté sur les graphiques en Figure 9) car il se retrouve d'autant plus pénalisé par l'impact de la fabrication de sa batterie de taille conséquente.



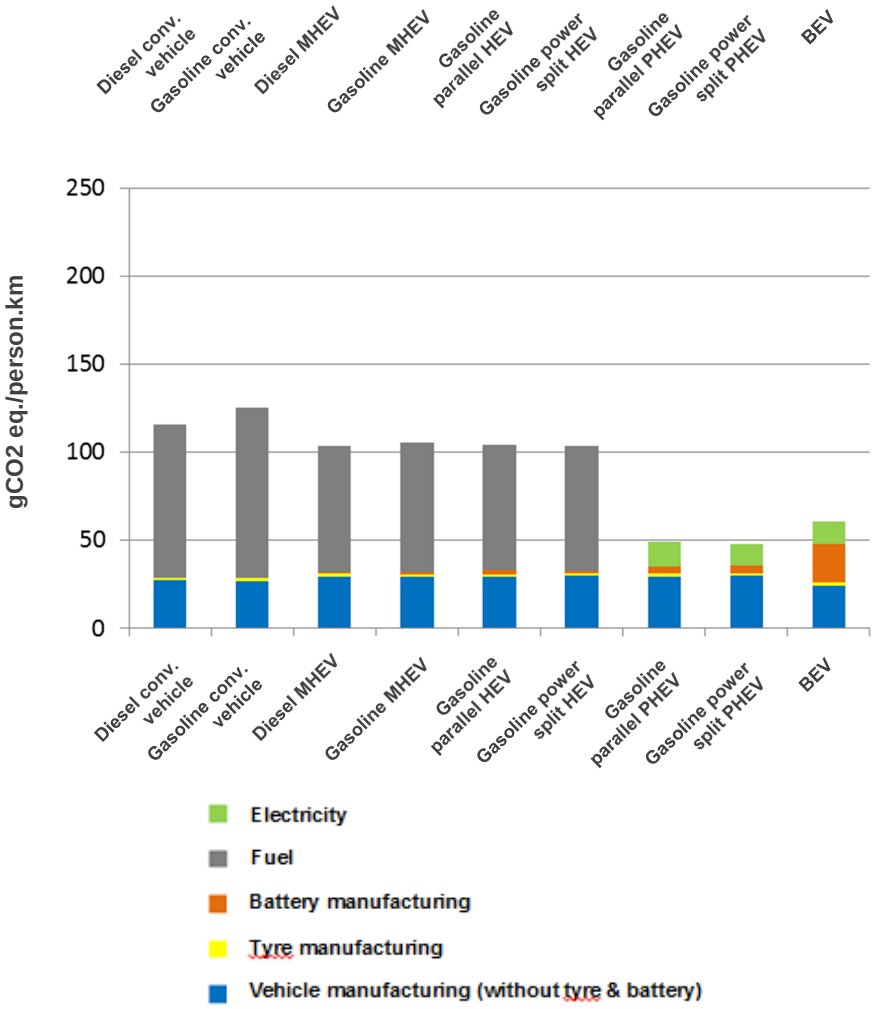


Figure 9 : Impact sur le changement climatique d'une personne utilisant son véhicule de segment C en 2015 (en haut) et 2030 (en bas) sur le cycle WLTC

Finalement, l'architecture hybride à dérivation de puissance, la plus déployée actuellement grâce au succès de la Toyota PRIUS, et qui reste la plus intéressante énergétiquement sur l'ensemble des conditions d'usage, pourrait à l'avenir être fortement concurrencée par une architecture MHEV optimisée et présentant un meilleur compromis coût / efficacité. Par ailleurs, et même si elle souffre actuellement de son coût d'investissement élevé, l'architecture PHEV pourrait aussi tirer son épingle du jeu, grâce à un bilan environnemental très positif (si utilisé correctement avec recharges régulières) et sa capacité à fonctionner en tout électrique sur plusieurs dizaines de kilomètres. Comme sur le segment A, le véhicule électrique intégrant une batterie de taille modérée reste une solution très intéressante économiquement et écologiquement, que ce soit pour les GES et les émissions locales, mais avec une autonomie limitée à 250 km. La tendance actuelle à l'augmentation de la taille des batteries semble par contre préjudiciable pour l'accessibilité du véhicule électrique et son bilan environnemental, même s'il s'avère un argument d'achat important pour les personnes les plus aisées qui souhaitent s'équiper de ce type de véhicule.

3.3 Le véhicule haut de gamme (segment D)

Le segment haut de gamme a été analysé en suivant la même discrétisation que le segment cœur de gamme. Les conclusions sont comparables sur l'ensemble des points discutés dans le paragraphe précédent.

Sur ce segment, l'architecture hybride à dérivation de puissance est aussi la plus intéressante du point de vue énergétique, permettant de limiter la consommation autour de 4l/100km en 2030 sur l'ensemble des conditions d'usage (pour un véhicule de près de 2 tonnes !). Même si ce résultat est remarquable, il ne sera pas suffisant pour atteindre les futurs objectifs de CO_2, ce qui signifie que ce segment devra

être plus fortement électrifié (par une fonction recharge sur le réseau a minima) pour impacter positivement la flotte d'un constructeur. Sur un segment où l'acheteur est moins regardant sur le coût total de possession, cette fonctionnalité de recharge réseau et donc de capacité à fonctionner en mode « zéro émission » sur une durée prolongée, devrait donc se déployer massivement sur ces véhicules polyvalents garantissant une fonctionnalité électrique pour l'usage quotidien et un fonctionnement hybride optimisé le reste du temps.

3.4 Le véhicule utilitaire (VUL)

Pour cette étude, seule une motorisation thermique Diesel a été considérée pour les GMP conventionnels et hybrides, afin de conserver une certaine continuité par rapport aux tendances actuelles pour un segment où la consommation et le coût d'usage sont primordiaux. Du fait des faibles performances aérodynamiques du véhicule utilitaire, la consommation d'énergie à la roue augmente très fortement lorsque la vitesse du véhicule croit. Pour cette raison, le passage au véhicule tout électrique pourrait être problématique. En effet, la consommation électrique, très élevée en cycle autoroutier (plus de 60 kWh/100km), réduit l'autonomie du véhicule ou réduit la charge utile (d'environ 300 kg) par rapport à un véhicule conventionnel, deux points cruciaux pour les professionnels utilisant les véhicules utilitaires. Néanmoins, les progrès conséquents attendus sur les batteries et les systèmes électriques pourraient permettre de proposer des solutions intéressantes en 2030. Une solution PHEV semble, de ce point de vue, beaucoup plus pertinente. Une solution MHEV pourrait aussi être très pertinente pour réduire la consommation de ce type de véhicule en usage urbain (division par deux, par rapport à un véhicule conventionnel, sur certaines conditions embouteillées en 2030 avec un MHEV forte puissance).

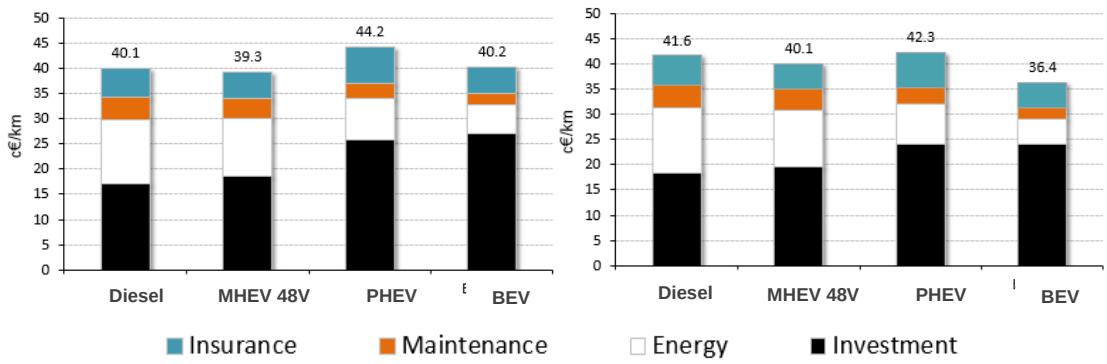


Figure 10 : Comparaison des TCO de véhicule utilitaires en 2015 (à gauche) et 2030 (à droite) sur le cycle WLTP

Pour un kilométrage annuel de 16 200 km et en comparaison avec un véhicule Diesel de référence (voir Figure 10), l'électrification des VUL semble une bonne solution du point de vue économique, d'abord par une hybridation MHEV qui pourrait se développer dès aujourd'hui (TCO inférieur de 0,8 c€/km par rapport à la référence Diesel) puis par une hybridation de type PHEV en 2030 afin de s'ouvrir les centres villes (probablement interdits aux véhicules Diesel à l'avenir) en offrant une fonctionnalité tout électrique sur un usage et kilométrage limité. A noter que la solution PHEV pourrait s'avérer plus économique en revoyant la motorisation thermique (en passant par exemple au moteur à essence). Cette solution, non étudiée ici, sera aussi à considérer à l'avenir.

Grâce à la réduction du coût des batteries, la solution tout électrique va devenir progressivement très intéressante économiquement, si elle permet de couvrir l'ensemble du rayon d'action du professionnel concerné. Cette solution est aussi la plus prometteuse du point de vue de l'impact GES, divisant par deux les émissions par rapport à une version conventionnelle Diesel sur cycle WLTC.

3.5 Le bus (12m)

A l'instar du VUL, seule une motorisation thermique Diesel a été considérée pour les GMP conventionnels et hybrides équipant le bus. Les deux architectures hybrides classiquement utilisées sur ce type de segment (parallèle et série) ont été analysées sur plusieurs cycles d'usage. Compte tenu des profils de sollicitation (nombreux arrêts et redémarrages), l'hybridation apporte des gains en consommation substantiels par rapport à une motorisation conventionnelle, de l'ordre de 40%. Les deux

architectures hybrides, comparables à l'heure actuelle, se différencieront dans les années à venir grâce aux progrès sur les systèmes électriques qui donneront un avantage à l'architecture hybride série. Cette architecture hybride série est aussi une transition intéressante vers le tout électrique, qui semble être la solution privilégiée par les grandes agglomérations et les pouvoirs publics, quand celle-ci sera devenue économiquement viable.

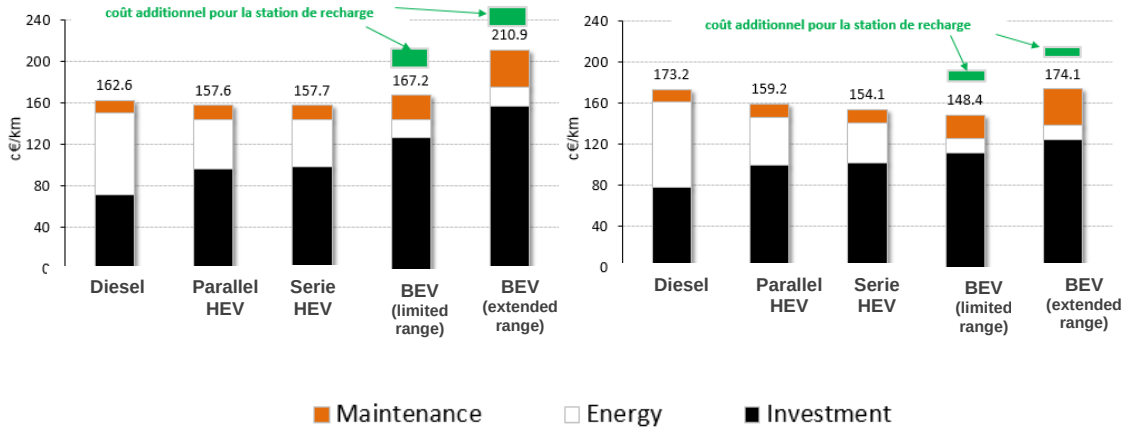


Figure 11 : Comparaison des TCO de bus en 2015 (à gauche) et 2030 (à droite) sur le cycle parisien

En effet, comme présenté sur la Figure 11 et pour un kilométrage annuel de l'ordre de 40 000 km sur une durée de possession de 12 ans[1], le bus tout électrique n'est pas aujourd'hui une solution économiquement intéressante, d'autant plus si l'on considère l'infrastructure de recharge associée[2]. Son TCO est notamment pénalisé par le coût d'investissement (lié au coût actuel de la batterie) et le coût de maintenance du bus. Le bus tout électrique est d'autant plus onéreux si l'on considère une batterie permettant de réaliser l'ensemble de la journée sans recharge intermédiaire (cas du bus électrique à autonomie augmentée). Le TCO des solutions hybrides est aujourd'hui plus intéressant que celui de la référence conventionnelle, avec une image écologique qui permet actuellement de déployer massivement ce type de solution.

Par contre, en 2030, le bus tout électrique devrait approcher voire dépasser les niveaux de rentabilité des solutions hybrides, d'autant plus si l'on arrive à limiter la taille de la batterie par l'utilisation de recharges intermédiaires.

L'impact sur les GES des solutions électriques est particulièrement intéressant (Figure 12). En effet, l'impact de la batterie est très rapidement amorti par le nombre de kilomètres conséquents réalisés par ce type de véhicule. De plus, le cycle de roulage est particulièrement favorable à ce type de motorisation. Associé au fait que ce type de motorisation ne produit pas de polluants, le tout électrique semble une intéressante solution d'avenir.

[1] Un coût spécifique correspondant au changement de la batterie, irrémédiable sur les 12 ans et 480 000 km parcourus est rajouté.

[2] Un coût additionnel correspondant au prix de la borne de recharge (une par bus électrique est nécessaire) est intégré au TCO. L'analyse bibliographique montre qu'actuellement une telle borne coûte environ 50 k€. Nous faisons l'hypothèse que ce prix sera divisé par deux en 2030.

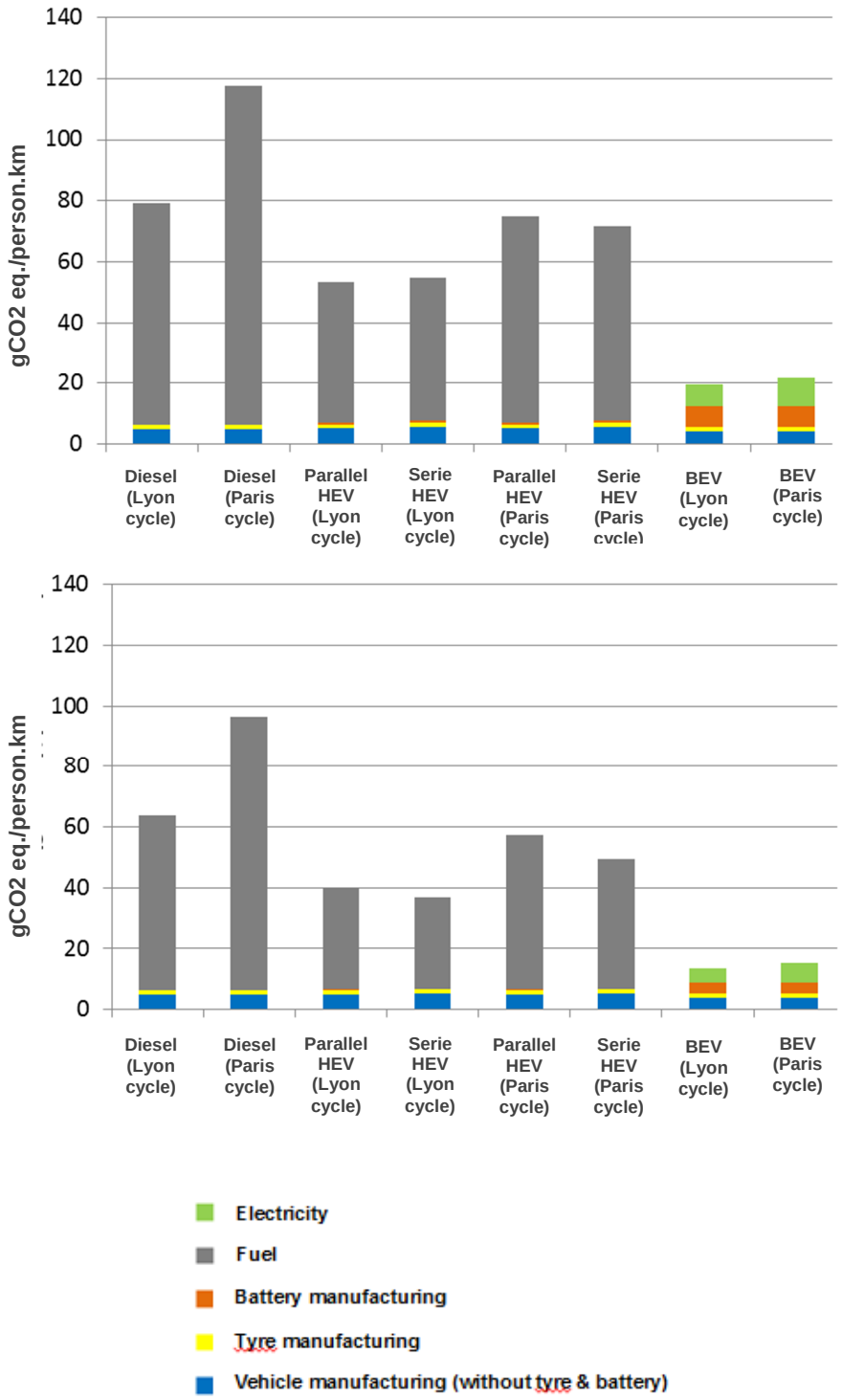


Figure 12 : Impacts sur le changement climatique d'une personne prenant le bus pour différentes technologies et différents cycles. Horizons temporels 2015(en haut) et 2030 (en bas)

En conclusion, la stratégie sur le segment bus semble assez simple pour l'exploitant et les pouvoir publics : déployer le plus vite possible les solutions les plus fortement électrifiées, en garantissant une rentabilité comparable aux versions conventionnelles et hybrides actuelles. Dans un premier temps, le déploiement de bus hybrides (architecture hybride série préférentiellement) semble une bonne transition pour aller vers le véhicule tout électrique pour lequel le déploiement d'infrastructures de recharge et le financement de celles-ci restent deux points cruciaux à traiter. Les gains en autonomie sur le véhicule tout électrique pourraient être conséquents à l'avenir, de l'ordre de 30% grâce aux progrès sur le véhicule et la motorisation.

3.6 Le poids lourd de livraison urbain

Les conclusions sur ce segment de véhicule sont très proches de celles réalisées pour le bus, d'autant plus que les motorisations sont généralement les mêmes entre les deux segments. Du fait de vitesses de déplacements plus élevées que pour le bus, les deux architectures hybrides série et parallèle offrent des gains en consommation très proches (de l'ordre de 20 à 30% par rapport au véhicule thermique équivalent). Le choix de l'architecture hybride pourrait donc être conditionné par les choix réalisés pour le bus et la nécessité d'avoir, sur ce type de segment, des fonctionnalités électriques étendues pour s'autoriser l'accès aux centres villes. Pour ces deux raisons, l'architecture hybride série semble être la plus pertinente, même pour ce segment. Comme pour le bus, les gains en consommation électrique des BEV devraient être conséquents d'ici 2030 (de l'ordre de 30%).

Néanmoins, pour un kilométrage annuel de 31 000 km et une durée de possession de l'ordre de 12 ans (intégrant un changement de batterie), l'analyse du TCO montre que les solutions hybrides et électriques ne sont, à l'heure actuelle, pas rentables si elles sont comparées à une solution conventionnelle (Figure *13*). C'est la raison pour laquelle les constructeurs de poids lourds (comme VOLVO) ont arrêté de proposer ce type de motorisation dans leur gamme. On remarque notamment que le véhicule tout électrique n'a aucun sens économique, sachant que sa charge utile est fortement limitée par la taille de la batterie.

A horizon 2030, il semble que les solutions hybrides et électriques rattraperont leur retard sur ce segment, d'autant plus poussées par l'interdiction probable des centres villes aux motorisations Diesel. Les solutions tout électriques sont les plus pertinentes du point de vue de la réduction des GES, deux fois moins émettrices qu'une version hybride série et trois fois moins qu'une version conventionnelle. Pour promouvoir l'électrification et proposer une électrification progressive de ce segment, une solution PHEV pourrait être intéressante à évaluer quand le coût des batteries aura suffisamment diminué.

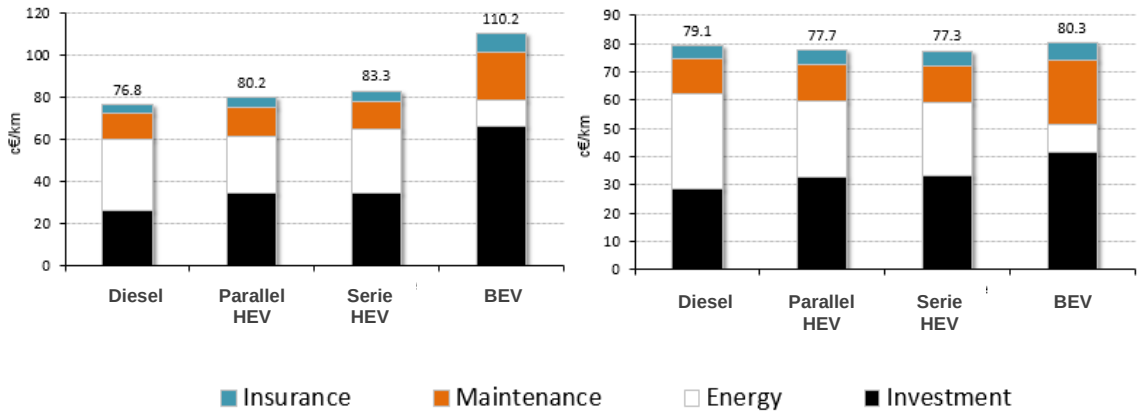


Figure 13 : Comparaison des TCO de poids lourds de livraison (12t) en 2015 (à gauche) et 2030 (à droite)

3.7 Le véhicule poids lourd long routier

Pour ce segment, l'étude portant uniquement sur l'électrification des véhicules et ne considérant pas d'autres carburants alternatifs, seule la motorisation Diesel a été considérée. Grâce à des efforts substantiels à atteindre sur le véhicule (réduction de la masse de plus de 15%, de 20% sur les frottements des pneumatiques et jusqu'à 30% sur l'aérodynamique) et sur la motorisation (augmentation de 7 points de rendement pour dépasser les 50% grâce notamment à la récupération d'énergie), la réduction de la consommation pourrait atteindre 30% entre aujourd'hui et 2030.

Pour un kilométrage annuel de 62 500 km/an, le coût total de possession devrait diminuer de plus de 2 c€/km entre aujourd'hui et 2030, et cela malgré la hausse du prix du carburant. L'électrification du véhicule long routier pourrait arriver, seulement si les gains apportés réduisent assez significativement le coût à l'usage pour devenir compétitif. D'autant que d'autres technologies non étudiées dans le cadre de cette étude, telles que le GNV, ont un potentiel de développement important.

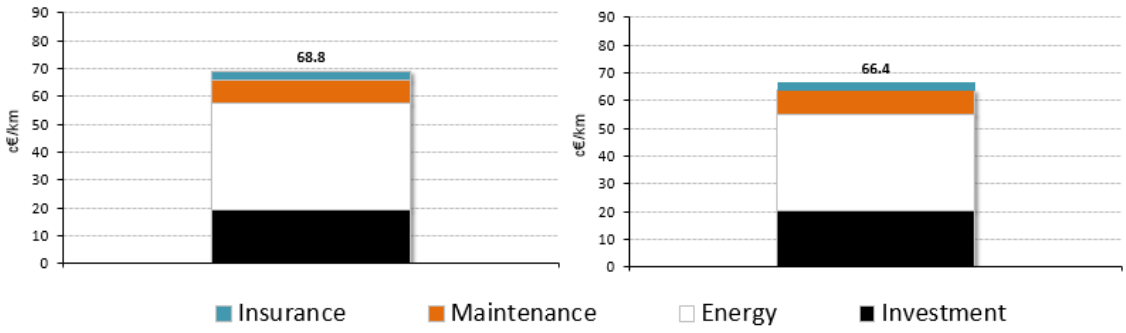


Figure 14 : Comparaison des TCO de poids lourds routier (40t) en 2015 (à gauche) et 2030 (à droite)

4 Conclusion / Perspectives

Ce document livre une synthèse des principaux résultats du projet E4T[3], segment par segment, permettant une analyse des grandes tendances en cours ou qui devraient voir le jour dans les années à venir (à l'horizon 2030). De manière globale, les principaux points suivants sont à retenir :

- Hormis pour le segment du poids lourd long routier, la motorisation conventionnelle non hybride sera fortement concurrencée par les technologies électrifiées, que ce soit du point de vue de son TCO ou de son impact environnemental. Fort de ce constat et des annonces faites par les professionnels du secteur et les pouvoir publics, l'avenir de ces motorisations conventionnelles semble compromis à horizon 2030.
- L'architecture MHEV, utilisant des composants poussés aux limites de la tension de fonctionnement de 48V et exploitant une architecture hybride parallèle permettant de débrayer le moteur thermique, pourrait être une solution très intéressante concurrençant les solutions HEV actuelle à dérivation de puissance du point de vue du compromis TCO / émissions de GES.
- Pour les véhicules légers, les solutions PHEV semblent les solutions les plus pertinentes du point de vue de l'impact GES, grâce à leur batterie de taille limitée parfaitement adaptée à l'usage majoritaire du véhicule. Leur rentabilité économique, sans aide à l'achat, reste néanmoins un verrou freinant actuellement leur déploiement
- Les solutions tout électriques sont des solutions pertinentes du point de vue écologique et pour réduire la pollution locale, d'autant plus si elles sont très utilisées (comme sur les bus) de façon à amortir l'impact de la fabrication de la batterie (sur les GES) par l'usage. La rentabilité économique de ces solutions reste limitée actuellement (ou le devient grâce aux aides à l'achat) mais devrait le devenir d'ici 2030 grâce à la réduction annoncée du coût des batteries. La course à l'augmentation de l'autonomie est un point de vigilance, du point de vue des émissions de GES qu'elle engendre mais aussi du point de vue de la rentabilité de la solution, ce qui pourrait freiner à terme son déploiement.

Pour le déplacement des personnes, les solutions les plus pertinentes pour réduire les GES restent les transports en commun équipés d'une motorisation électrique ou hybride. Les solutions de véhicules légers PHEV arrivent juste après et devancent les solutions individuelles tout électrique et les transports en commun à motorisation Diesel. Ces différentes solutions devraient permettre, d'ici à 2030, de limiter à 50 gCO2 le transport d'une personne par km. Ceci représente environ 4 fois moins qu'un véhicule essence individuel de cœur de gamme actuel.

Pour le déplacement des marchandises, (et hors GNV/BioGNV non évalué dans cette étude) les solutions les moins impactantes pour l'environnement resteront le transport longue distance avec motorisation Diesel suivi des véhicules tout électrique pour le transport urbain, sous réserve de savoir rentabiliser ces dernières solutions.

En conclusion, ce projet E4T aura mis en place un certain nombre d'outils et permis de dégager certaines tendances fortes. Tenant compte de ces constats et bilans, il apparaît important de continuer

[3] L'étude comporte également une analyse prospective à horizon 2050 de la criticité du Lithium engendrée par l'électrification du parc automobile mondial. Les résultats de cette étude sont publiés indépendamment.

dans cette démarche structurante, en évaluant d'autres systèmes énergétiques à base d'hydrogène, de biocarburants ou de GNV (non pris en compte dans cette étude), que ce soit sur les segments actuels ou d'autres, comme les véhicules 2 à 3 roues par exemple. Il conviendra aussi d'intégrer le coût des infrastructures (bornes de recharge électrique, stations d'approvisionnement en hydrogène) notamment pour ces nouvelles filières.

Enfin, et compte tenu de l'impact de l'usage sur les résultats, notamment pour les PHEV, il conviendra de redéfinir, encore plus précisément, l'usager ou le professionnel gestionnaire de flotte, ainsi que son usage annuel, afin d'aboutir aux conclusions et préconisations les plus solides possibles.

Index des tableaux et figures

Figures[i]

Figure 1 : objectifs d'émissions de CO_2 (en g/km) pour une flotte de véhicule d'un constructeurs. Objectif fixé sur cycle NEDC (avec équivalence pour le cycle WLTP à partir de 2025) - Sources : COM(2017) 676 final, European Commission, 08/11/17 ; Annexes 5
Figure 2 : Segmentation du secteur transport étudiée dans le projet E4T 6
Figure 3 : Scénarios de l'évolution du prix des batteries (cellules + pack) entre 2015 et 2030 (source : BNEF) 8
Figure 4 : architecture hybride parallèle utilisée sur les véhicules MHEV fonctionnant en 48V 8
Figure 5 : Représentation de l'approche bottom-up utilisée pour déterminer les prix de vente des véhicules 9
Figure 6 : TCO de véhicules de segment A en 2015 (à gauche) et 2030 (à droite) sur le cycle urbain 11
Figure 7 : Impact sur le changement climatique d'une personne utilisant son véhicule de segment A en 2030 en usage urbain 11
Figure 8 : Comparaison des TCO de véhicules de segment C en 2030 sur le cycle WLTC 13
Figure 9 : Impact sur le changement climatique d'une personne utilisant son véhicule de segment C en 2015 (en haut) et 2030 (en bas) sur le cycle WLTC 14
Figure 10 : Comparaison des TCO de véhicule utilitaires en 2015 (à gauche) et 2030 (à droite) sur le cycle WLTP 15
Figure 11 : Comparaison des TCO de bus en 2015 (à gauche) et 2030 (à droite) sur le cycle parisien 16
Figure 12 : Impacts sur le changement climatique d'une personne prenant le bus pour différentes technologies et différents cycles. Horizons temporels 2015(en haut) et 2030 (en bas) 17
Figure 13 : Comparaison des TCO de poids lourds de livraison (12t) en 2015 (à gauche) et 2030 (à droite) 18
Figure 14 : Comparaison des TCO de poids lourds routier (40t) en 2015 (à gauche) et 2030 (à droite) 19

Sigles et acronymes

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

L’ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L’Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l’économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition Écologique et Solidaire et du ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS
DE L’ADEME

ILS L’ONT FAIT
L’ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.

EXPERTISES
L’ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.

FAITS ET CHIFFRES
L’ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d’indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.

CLÉS POUR AGIR
L’ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.

HORIZONS
L’ADEME tournée vers l’avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.

EXPERTISES

Bilan transversal de l'impact de l'électrification par segment : PROJET E4T

Résumé :
Ce document livre une synthèse des principaux résultats du projet « Etude Economique, Energétique et Environnementale pour les technologies du transport routier français » (E4T), segment par segment, permettant une analyse des grandes tendances sur l'électrification en cours de mise en place ou de développement.

Essentiel à retenir

Cette synthèse montre que, hormis pour le segment du véhicule poids lourd long routier, la motorisation conventionnelle (essence ou Diesel) sera fortement concurrencée en 2030, que ce soit du point de vue de son coût total de possession (TCO) ou de son impact environnemental (émissions de Gaz à Effets de Serre (GES) et polluants).

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR, DE LA RECHERCHE ET DE L'INNOVATION

www.ademe.fr