

---

LIVRE BLANC

## **Transport durable**

Électrifier les véhicules industriels, les véhicules de transport et les bateaux



# Améliorer l'efficacité énergétique et réduire les émissions : une nécessité immédiate

Les transports de personnes, de marchandises et de matières premières sont responsables de plus de 25 % de la consommation totale d'énergie dans le monde et de quasiment 30 % des émissions mondiales de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).<sup>1,2</sup> Les émissions dues aux véhicules de type voitures individuelles sont des cibles faciles compte tenu de leur volume, mais le transport non ferroviaire de personnes ou de marchandises, par exemple par bus, ferry ou véhicule industriel, a également un impact considérable. Par exemple, dans l'UE, si les camions, les bus et les cars constituent moins de 5 % du trafic, ils représentent environ 25 % des émissions de CO<sub>2</sub> des véhicules.<sup>3</sup> Les moteurs diesel émettent en outre d'importants volumes de particules polluantes, potentiellement dangereuses pour la santé.

Il est urgent de réduire l'impact sur notre planète. Cette constatation, combinée à la volatilité permanente des prix et de la disponibilité du carburant, doit pousser les sociétés à adopter une approche durable du transport afin de réduire leurs émissions et leur consommation d'énergie. Selon les calculs du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), pour prévenir un changement climatique irréversible, nous devons réduire notre niveau actuel d'émissions carbone de 43 % d'ici 2030.<sup>4</sup> Et pour améliorer la qualité de l'air, l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) recommande aux gouvernements d'adopter un ensemble de mesures incluant des normes d'émissions plus strictes pour les véhicules et la modernisation des transports publics.

L'électrification des véhicules de transport public (bus, etc.) a déjà démontré toute son efficacité dans la lutte contre les émissions. Les technologies associées sont déjà matures et gagnent en popularité. Dans ce livre blanc, nous étudierons les conséquences pour notre société si nous continuons de faire appel aux combustibles fossiles, ainsi que les solutions viables que peut apporter l'électrification des véhicules industriels, des véhicules de transport et des bateaux.



# Consommation d'énergie et émissions des véhicules industriels

On estime que les engins de chantier diesel tels que les excavatrices, les grues et les bulldozers émettent environ 400 Mt de CO<sub>2</sub> par an, soit 1,1 % des émissions mondiales. À elles seules, les excavatrices de plus de 10 tonnes sont responsables de 46 % de ces émissions !<sup>5</sup> Or, en plus du CO<sub>2</sub>, les véhicules diesel libèrent d'autres gaz et particules nocifs. Par exemple, selon les estimations, aux États-Unis, les engins de chantier contribuent à hauteur d'environ 32 % aux émissions de NO<sub>x</sub> issues de sources mobiles, susceptibles de générer du smog et d'aggraver l'asthme et d'autres problèmes de santé.<sup>6</sup> Au Royaume-Uni, on considère qu'environ 8 % des cas de cancer professionnels dans le secteur de la construction sont liés aux émissions d'échappement des moteurs diesel.<sup>7</sup>

Dans le secteur minier, les véhicules travaillent généralement en espaces confinés où l'accumulation de gaz d'échappement comme le CO<sub>2</sub> et les NO<sub>x</sub> peut mettre très rapidement le personnel en danger. Les mines souterraines utilisant des véhicules diesel doivent donc être équipées de systèmes de ventilation efficaces, capables d'extraire les fumées d'échappement afin de rendre l'air plus sûr et respirable dans les espaces de travail. Ces systèmes de ventilation étant alimentés électriquement, ils viennent s'ajouter à la consommation d'énergie globale de la mine.

Ces problèmes environnementaux et sanitaires poussent de nombreux secteurs à agir à grande échelle pour réduire les émissions de leurs véhicules (maritimes, miniers, de manutention, etc.). Dans le secteur minier, l'International Council on Mining and Metals (ICMM), qui s'est engagé à atteindre l'objectif de zéro émission nette de gaz à effet de serre au plus tard en 2050, plaide pour une maximisation des efforts en ce sens.<sup>8</sup> L'électrification aura un rôle majeur à jouer. Bien que l'électrification des véhicules opérationnels soit relativement récente dans de nombreux secteurs, elle peut constituer une solution efficace et réaliste. Nous en discuterons plus loin dans ce livre blanc.



—  
Le secteur minier s'engage à atteindre l'objectif de zéro émission nette de gaz à effet de serre au plus tard en 2050.

### Consommation d'énergie et émissions des transports routiers, ferroviaires et maritimes

Le transport de personnes et de marchandises est responsable d'environ 25 % de la consommation d'énergie dans le monde.<sup>9</sup> Nous allons principalement nous intéresser au transport terrestre via véhicules ferroviaires et routiers, mais aussi aux bateaux de petite et moyenne taille, comme les ferries. Ce livre blanc ne couvre pas l'aviation.

#### Transport routier

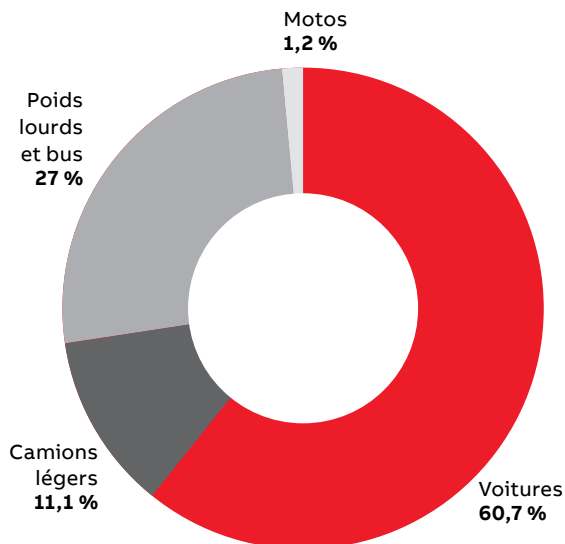
Si les voitures représentent la majorité des émissions dues au transport routier, les bus et les poids lourds ne sont pas en reste : ils sont par exemple responsables de 27 % des émissions dans l'UE.<sup>10</sup> Ici aussi, les émissions diesel des véhicules ont un impact négatif sur le climat et sur la santé. Selon l'OMS, la qualité de l'air est insatisfaisante partout dans le monde et l'air respiré par environ 99 % de la population mondiale n'est pas conforme aux limites recommandées par l'organisation.<sup>11</sup>

Les véhicules de transport public circulent principalement en zones urbaines très fréquentées et densément peuplées. L'effet des émissions diesel sur la qualité de l'air et la santé publique est donc un problème majeur dans de nombreuses villes. Les moteurs diesel émettent par ailleurs beaucoup de bruit et de vibrations. Cela a bien entendu un impact sur la santé et le bien-être, notamment en provoquant maladies cardiovasculaires et troubles du sommeil.<sup>12</sup>

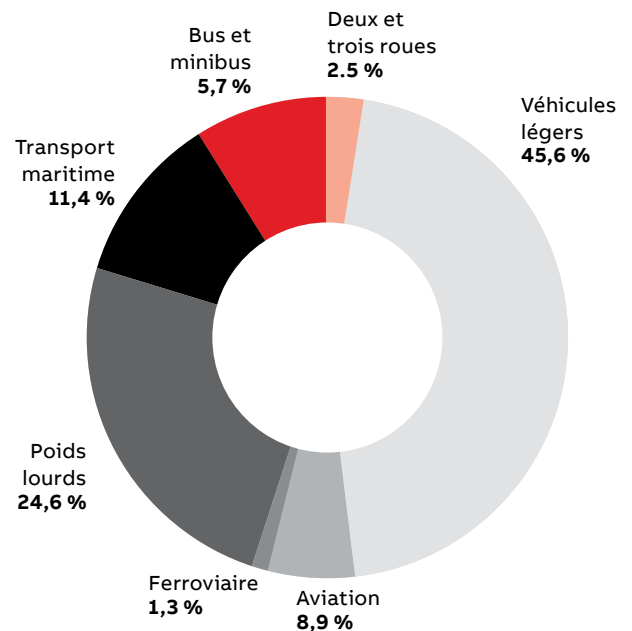
#### Transport ferroviaire

Le transport ferroviaire est nettement plus efficace que le transport routier. Si le train représente 9 % du transport mondial de passagers et 7 % du fret, il n'est responsable que de 3 % de la consommation d'énergie des transports.<sup>13</sup> Même les trains fonctionnant aux carburants fossiles (principalement du diesel) sont en moyenne près de 12 fois plus efficaces énergétiquement que les voitures par passager-kilomètre, et 8 fois plus efficaces que les camions par tonne de fret.<sup>15</sup> Les possibilités d'amélioration sont là : de nombreux itinéraires sont toujours desservis par des locomotives diesel en raison des difficultés d'installation des infrastructures électriques dans les régions isolées.

Émissions de CO<sub>2</sub> du transport routier dans l'UE (2019)<sup>10</sup>



Émissions mondiales de CO<sub>2</sub> des transports par sous-secteur (2020)<sup>14</sup>



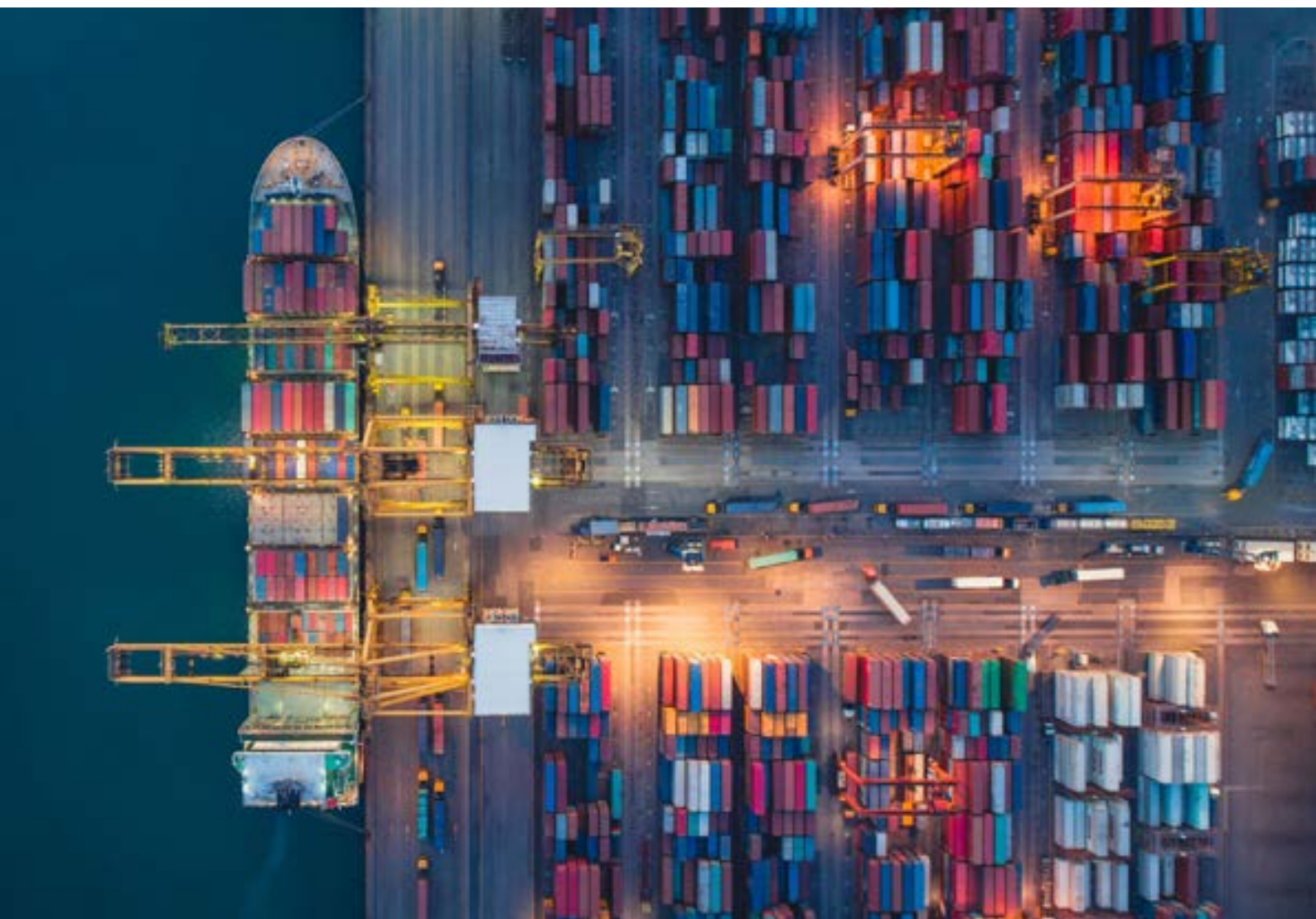
### Transport maritime

Le transport de personnes et de marchandises par mer est également une importante source d'émissions de gaz à effet de serre et de consommation d'énergie. Le transport maritime national et international au sein de l'UE, aujourd'hui responsable d'environ 3,6 % des émissions totales des transports, a enregistré une hausse de 32 % de ses émissions au cours des 20 dernières années, la croissance la plus rapide du secteur (avec l'aviation). Les émissions des transports maritimes devraient connaître une augmentation comprise entre 50 % et 250 % d'ici 2050, jusqu'à représenter 17 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre<sup>16,17</sup>, principalement en raison de l'omniprésence des moteurs diesel. Ces prévisions font que l'amélioration de l'efficacité énergétique et de la durabilité des opérations maritimes est capitale.

Le transport des marchandises par mer reste toutefois bien plus efficace que le transport routier ou aérien et génère moins d'émissions de CO<sub>2</sub>. En effet, si 85 % du fret international est transporté par bateau, il ne représente que 2-3 % des émissions mondiales de CO<sub>2</sub>. En comparaison, plus de 50 % des émissions du fret commercial sont à mettre au passif du transport routier.<sup>18,19</sup>

Les problèmes d'inefficacité et les risques associés aux émissions diesel ayant été dénoncés de longue date, il est de plus en plus urgent d'identifier des alternatives plus efficaces et durables. De nombreuses initiatives prônent la décarbonation des transports, notamment la Stratégie de mobilité durable et intelligente de la Commission européenne, qui se fixe comme objectif une réduction de 90 % des émissions du secteur des transports d'ici 2050.<sup>20</sup>

Les véhicules terrestres disposent d'un moyen efficace et reconnu de réduire leurs émissions et d'améliorer l'efficacité du secteur des transports : le moteur électrique. Dans le secteur maritime, les systèmes de propulsion 100 % électriques, d'ores et déjà disponibles pour les bateaux de petite à moyenne taille, sont parfaitement capables d'apporter les bénéfices réclamés. En revanche, l'électrification totale des bateaux de plus grande taille est nettement plus compliquée. De nouveaux carburants plus durables sont toutefois à l'étude : biocarburants comme le bioéthanol ou e-carburants et hydrocarbures synthétiques produits à l'aide de matières et d'énergies renouvelables. Des sociétés comme ABB proposent par ailleurs des technologies d'amélioration de l'efficacité énergétique et de réduction de la consommation de carburant. Par exemple, le système de propulsion ABB Azipod® peut abaisser la consommation de carburant de 20 % par rapport à une ligne d'arbre traditionnelle.<sup>21,22</sup>



# Alimenter les véhicules électriques

On nomme « véhicules électriques » ceux dont la source principale d'énergie est l'électricité et non le carburant liquide ou le gaz, par exemple. L'utilisation des véhicules électriques est tributaire de l'existence des infrastructures qui permettront de les alimenter directement ou de recharger les batteries embarquées.

Si ces infrastructures sont déjà bien ancrées dans le secteur ferroviaire, celles dédiées au transport routier et maritime sont toujours en développement mais progressent rapidement. Dans l'industrie, la situation est bien plus hétérogène. En effet, si certains secteurs se tournent de plus en plus vers les engins et machines électriques et s'efforcent de mettre en place les infrastructures associées, ailleurs le concept n'en est qu'à ses balbutiements.

L'alimentation en électricité des véhicules industriels, des véhicules de transport et des bateaux peut s'effectuer de diverses manières : caténares, batteries rechargeables, combinaison des deux ou encore alimentation hybride diesel-électrique.

## Caténares

Les caténares sont des lignes électriques aériennes qui alimentent en électricité un véhicule qui se déplace directement en dessous. La liaison s'effectue à l'aide d'un dispositif installé sur le toit, appelé pantographe. Bien que limités aux trajets couverts par des lignes électriques aériennes, les véhicules alimentés par caténares, comme les trains ou les trolleybus, ont démontré toute leur efficacité dans le secteur des transports publics et de fret. Par exemple, les trains alimentés par caténares sont extrêmement répandus dans de nombreux pays. Employés depuis plus d'un siècle, ils peuvent transporter des charges lourdes avec une très grande efficacité.

Les caténares présentent un immense avantage : elles sont capables de fournir le haut volume d'énergie requis pour faire fonctionner des véhicules lourds comme les locomotives ou les tombereaux de chantier. Ces dernières années, elles ont été testées pour alimenter les poids lourds sur divers sites miniers à ciel ouvert.

## Alimentation par batterie

Les véhicules de transport dotés de batteries rechargeables se sont démocratisés ces dernières années dans de nombreuses villes, parallèlement à la progression rapide des infrastructures de recharge et de la technologie. Il est toutefois important de noter que les batteries requises pour les véhicules industriels et de transport et les applications maritimes diffèrent de celles employées dans les voitures électriques et hybrides. En effet, les grands véhicules réclament une puissance (électricité) nettement

supérieure et leurs batteries doivent supporter une utilisation continue et de nombreux cycles de charge. À titre d'exemple, un véhicule de transport public de type bus est en service 16 à 18 heures par jour en moyenne, contre 2 à 3 heures pour une voiture. Les systèmes de stockage d'énergie basés sur les nouvelles batteries lithium-ion, à l'instar du système ABB BORDLINE®, ont été développés en réponse aux besoins des véhicules lourds.

Des infrastructures spécifiques sont nécessaires pour recharger les véhicules alimentés par batteries. On utilise pour ce faire diverses technologies : bornes de recharge, stations de charge par caténares, recharge par caténaire pendant le trajet, consommation de l'électricité produite par le moteur diesel dans un système hybride, etc. Certains véhicules emploient des batteries amovibles qui peuvent être échangées et rechargées dans un dépôt de maintenance.



— ABB a fait appel à son portefeuille de méthodes et de solutions intégrées eMine™ pour concevoir et installer des infrastructures électriques extrêmement efficaces dédiées à l'alimentation de plusieurs tombereaux de chantier dans la mine Aitik de Boliden AB en Suède. Boliden devrait économiser près de 830 m<sup>3</sup> de diesel par an et réduire les émissions de gaz à effet de serre de ses transports jusqu'à 80 % sur ce parcours d'environ 700 mètres.

### Alimentation combinée caténaire-batterie

Les trains, les trams et les trolleybus capables d'employer à la fois des caténaires et des batteries gagnent du terrain. Le principe : utiliser l'électricité fournie par les caténaires sur les voies dotées de lignes électriques aériennes et fonctionner sur batterie le reste du temps. Cette capacité à utiliser deux sources d'alimentation électrique différentes permet aux opérateurs de transport de maximiser le rayon d'action de leur parc au-delà des limites des lignes aériennes. Les trajets des bus urbains peuvent ainsi s'adapter à la croissance des populations urbaines, ce qui fait des bus électriques une alternative viable aux voitures en l'absence de réseau ferroviaire.

Les systèmes modernes, comme l'ESS Bordline® d'ABB pour trolleybus, emploient l'électricité des caténaires pour recharger les batteries lorsque le véhicule se déplace. En moyenne, 1 km de conduite sur caténaire permet 1 km de conduite sans caténaire. L'autonomie des véhicules sans caténaire est ainsi accrue de 50 %.<sup>23</sup>

—  
Les systèmes modernes utilisent l'électricité des caténaires pour recharger les batteries lorsque le véhicule se déplace.

### Alimentation hybride diesel-électrique

Les véhicules hybrides diesels-électriques utilisent tour à tour un moteur diesel et un moteur électrique. Selon le type de véhicule, l'électricité peut être fournie par des caténaires ou des batteries, ou par le moteur diesel lui-même.

L'alimentation hybride diesel-électrique est particulièrement importante dans le secteur ferroviaire, car un grand nombre de trains continuent de fonctionner au diesel sur les tronçons dépourvus de caténaires. Par exemple, dans l'UE, même si près de 100 % des réseaux ferrés urbains sont électrifiés, seules 60 % des lignes principales le sont.<sup>24</sup> En effet, nombre d'itinéraires longue distance étant peu empruntés, les électrifier n'est pas économiquement viable. L'alimentation hybride diesel-électrique permet ainsi aux trains de transport de passagers de fonctionner à l'électrique en zones urbaines, puis de repasser au diesel en dehors des villes.

Les systèmes d'alimentation hybride constituent également une option attractive pour les bateaux. Les bateaux de petite à moyenne taille emploient déjà des moteurs diesels-électriques, tandis que de nouveaux types de systèmes hybrides sont développés pour ceux de plus grande taille. Par exemple, des supercondensateurs et différents types de piles à combustible susceptibles d'être associés à des systèmes de propulsion électrique sont à l'étude. Il s'agit notamment de piles à combustible alcalines, à membrane échangeuse de protons et à hydrogène.<sup>25</sup>

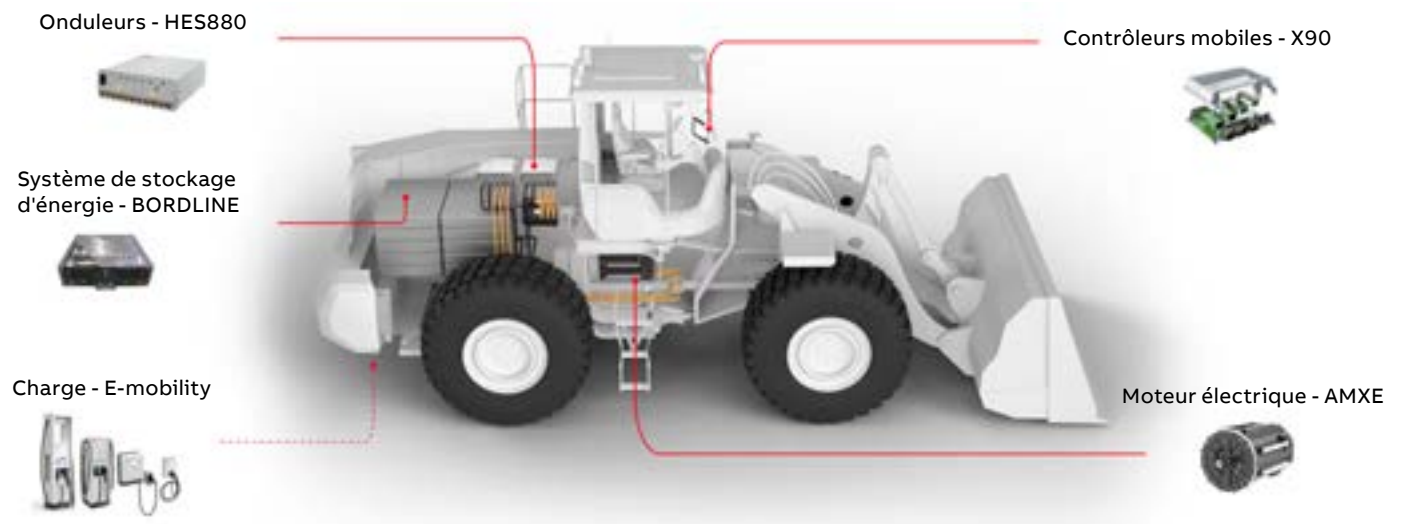


—  
Les trolleybus capables de fonctionner sur caténaires et batteries deviennent de plus en plus courants.

# Présentation des systèmes d'entraînement électriques

Les systèmes d'entraînement électriques se composent de divers éléments comme le moteur électrique, qui transforme l'électricité en mouvement, et le convertisseur/onduleur de traction qui régule la tension et la fréquence de l'électricité transmise au moteur. Selon la source d'alimentation, d'autres composants peuvent être nécessaires. Les véhicules à batterie doivent s'accompagner de batteries et de prises de recharge, tandis que les véhicules alimentés par caténares doivent être dotés de convertisseurs DC/DC.

## Les composants d'une chargeuse sur roues électrique à batterie



### Moteurs électriques

Les moteurs électriques des véhicules industriels et de transport doivent être robustes, puissants et durer plus longtemps que les petits moteurs équipant les véhicules individuels. Ils doivent souvent déplacer des véhicules de 10 tonnes ou plus et fonctionner en continu pendant de longues heures. En d'autres termes, ils sont tenus de fournir un couple élevé et de fonctionner efficacement quelle que soit la charge, tout en résistant à un large éventail de conditions météorologiques, à une vaste plage de températures ambiantes, à des conditions de travail extrêmes, aux chocs et aux vibrations. Cerise sur le gâteau, leur durée de vie doit être longue et productive.

Ces moteurs à usage intensif sont employés depuis longtemps dans le transport ferroviaire. Mature et éprouvée, la technologie nécessaire peut donc être appliquée aisément et efficacement aux

Les moteurs électriques doivent fournir un couple élevé et fonctionner efficacement quelle que soit la charge.

véhicules industriels. Par exemple, les moteurs de la gamme ABB AMXE® sont des produits compacts et synchrones à aimants permanents destinés à assurer une propulsion à haut rendement et prévus pour une utilisation auxiliaire. Ils peuvent donc être configurés avec des longueurs, des enroulements et des tensions spécifiques de manière à atteindre les performances requises.



— Moteur ABB AMXE® pour véhicules lourds

### Onduleurs de traction

Un onduleur de traction convertit l'alimentation électrique source en tension et fréquence variables adaptées aux besoins du véhicule. Ce processus affecte tous les autres composants du système d'entraînement. Il est donc indispensable d'opter pour un convertisseur de traction efficace.

Par exemple, les convertisseurs compacts BORDLINE® d'ABB sont parmi les plus efficaces du marché pour les véhicules de transport comme les trolleybus et les trains. Ils permettent d'optimiser intégralement le transformateur de traction et les moteurs, et ainsi de réduire considérablement les pertes de la chaîne de traction. En pratique, cela signifie qu'un train classique de transport de passagers peut réduire sa consommation d'énergie et ses coûts jusqu'à 20 %.<sup>26</sup>

Le variateur mobile ABB HES880, conçu pour supporter les conditions de travail difficiles et les utilisations intensives, offre des bénéfices similaires en matière de rendement pour les engins lourds.

### Systèmes de freinage régénératif

Principalement utilisés pour transformer l'énergie électrique en mouvement, les moteurs électriques peuvent être associés au type adéquat de convertisseur/onduleur de traction pour produire de l'électricité dans un système de freinage régénératif, qui récupère l'énergie cinétique du véhicule lors du freinage.

Un véhicule en mouvement développe de l'énergie cinétique. À vitesse égale, plus le véhicule est lourd, plus son énergie cinétique est importante. Pour faire avancer un véhicule électrique, de l'énergie est envoyée sous forme d'électricité aux moteurs, qui entrent en rotation et font tourner les roues. Le freinage régénératif fonctionne selon le principe inverse : le mouvement des roues est employé pour faire tourner les moteurs, qui produisent ainsi de l'électricité. L'électricité récupérée peut alors être emmagasinée dans une batterie embarquée ou, si le véhicule est alimenté par caténaire, réinjectée dans le réseau pour y être stockée ou consommée par d'autres véhicules.

Remarque : le freinage régénératif utilise le champ magnétique du moteur pour créer une résistance et ralentir le véhicule, ainsi que pour produire de l'énergie électrique consommable, contrairement au freinage mécanique qui exploite le frottement généré par les disques ou plaquettes de frein, ce qui lui fait perdre et gaspiller l'énergie sous forme de chaleur. Le freinage régénératif est ainsi un bon outil de maximisation de l'efficacité énergétique d'un véhicule.

Les systèmes régénératifs sont déjà très présents sur les véhicules routiers et ferroviaires, afin de réduire la consommation d'énergie et les coûts. Ils commencent également à gagner du terrain dans le domaine des véhicules industriels électriques.



— Un bus électrique équipé des technologies de système d'entraînement d'ABB à Zurich, en Suisse.

# Les moteurs de la transition vers un parc de transport durable

Toute entreprise soucieuse de réduire sa consommation d'énergie et ses coûts peut commencer par analyser l'ensemble de ses opérations, dans le but d'identifier les lacunes de chaque phase d'utilisation de ses véhicules (transport, attente, logistique, travaux sur site, etc.). Elle sera ainsi en mesure d'identifier les véhicules, bateaux et machines les mieux adaptés à l'utilisation d'un système d'entraînement électrique ou d'une autre méthode. Les sociétés comme ABB disposent de l'expertise nécessaire pour conseiller les entreprises sur la mise en œuvre de projets d'électrification destinés à un unique véhicule ou à un parc complet.

À noter également qu'il est parfois possible d'améliorer l'efficacité énergétique par des moyens relativement simples, par exemple en formant les opérateurs à réaliser leurs tâches plus efficacement et à utiliser les machines de manière économique. Cette approche concerne tout autant les ouvriers sur chantier que les cadres en salle de réunion. L'efficacité énergétique est un choix.

Un choix que peuvent faciliter les systèmes d'entraînement électrique modernes. En effet, privilégier l'électricité aux carburants fossiles pour alimenter les véhicules a un effet considérable sur l'efficacité énergétique et les émissions. Par exemple, les moteurs diesel et essence fonctionnant sur leur plage de charge optimale peuvent enregistrer un rendement respectif de 45 et 33 %. À titre de comparaison, le rendement des moteurs électriques peut atteindre les 95 %.<sup>27,28</sup> Les convertisseurs/onduleurs de traction peuvent également réguler directement la vitesse et le couple d'un moteur électrique, ce qui permet de s'affranchir des embrayages et réducteurs associés aux moteurs à combustion interne, qui perdent de l'énergie par frottement et chaleur. Et l'électrification ne permet pas seulement d'améliorer le rendement. Elle apporte bien d'autres avantages aux entreprises, aux opérateurs et à l'environnement.

## Une meilleure efficacité énergétique

Les économies d'énergie et les gains de rendement d'un véhicule ou d'un bateau électrique varient en fonction des technologies employées et de l'application. Des améliorations considérables peuvent toutefois être apportées aux véhicules industriels, aux transports et aux bateaux, que le véhicule soit 100 % électrique ou non.

Par exemple, l'utilisation du freinage régénératif sur un rouleau compresseur hybride diesel-électrique équipé d'une batterie embarquée permet de capter et de stocker l'énergie de freinage, qui peut ensuite être consommée par le moteur électrique pour lisser les pics de demande d'énergie. Il est ainsi possible d'employer un moteur diesel de plus petite taille, et par conséquent de réduire la consommation de carburant jusqu'à 30 %.<sup>29</sup>



**Former les opérateurs à l'utilisation efficace des machines peut permettre d'économiser jusqu'à 30 % de carburant.<sup>30</sup>**

Si le moteur diesel est utilisé pour produire de l'électricité, il peut être utilisé en permanence sur sa plage d'efficacité maximale, le convertisseur/onduleur et le moteur électrique s'occupant de gérer les charges variables. Les gros engins de chantier dotés de ce type de système ont pu enregistrer des économies de carburant jusqu'à 20 %. Et en remplaçant, sur ce type de machine, le système d'entraînement mécanique par un entraînement électrique associé à un système de stockage d'énergie embarqué, il pourrait être possible d'économiser jusqu'à 30 % de carburant.<sup>31</sup>

Les engins lourds équipés de systèmes hydrauliques peuvent employer des pompes électriques pour alimenter les différentes zones hydrauliques. Les systèmes hydrauliques zonés séparent les éléments hydrauliques en zones, par exemple dédiées au système d'entraînement, au bras et au godet. Cela signifie que les pompes n'ont pas besoin d'alimenter électriquement tous les systèmes en permanence, ce qui permet d'économiser de l'énergie.

En ce qui concerne les véhicules de transport 100 % électriques, comme les trolleybus alimentés par caténaires, l'ajout d'un système de stockage d'énergie embarqué moderne comme l'ESS ABB BORDLINE® peut améliorer le rendement du freinage régénératif et autoriser des économies d'énergie de 15 % par rapport aux systèmes qui réinjectent l'énergie dans le réseau.<sup>32</sup>

Les moteurs diesel et essence peuvent enregistrer un rendement respectif de 45 % et 33 %. À titre de comparaison, le rendement des moteurs électriques peut atteindre les 95 %.<sup>27,28</sup>

### Coûts d'exploitation et de possession réduits

Les coûts d'exploitation des véhicules électriques sont en moyenne 40 à 60 % inférieurs à ceux des véhicules équivalents propulsés par un moteur à combustion interne, principalement en raison de la hausse du rendement « du réservoir à la roue » et de la réduction d'une part de la consommation de carburant, et d'autre part des besoins de maintenance. L'investissement initial dans un véhicule électrique sera peut-être plus élevé, mais son coût total de possession sur toute sa durée de service sera très probablement inférieur. Certains calculs indiquent par exemple que le coût total de possession des poids lourds électriques fonctionnant sur batterie peut être environ 20 % inférieur à celui des véhicules équipés d'un moteur à combustion interne.<sup>33</sup>

### Réduction des émissions

Alimentés par des sources d'électricité renouvelables comme le solaire ou l'éolien, les véhicules électriques ne libèrent ni CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ou autres émissions, ni aucune particule polluante. Même lorsqu'ils consomment de l'électricité produite par des centrales électriques à combustible fossile, leurs émissions globales restent plus faibles et ils ne génèrent aucune pollution ou émission autour d'eux.

Par exemple, en remplaçant le moteur diesel d'une excavatrice de 24 tonnes par un système d'entraînement électrique ABB, basé sur une batterie associée à un moteur AMXE et un variateur HES880, il est possible d'éliminer 48 tonnes de CO<sub>2</sub> par an.<sup>34</sup>

### Gain de productivité

Les véhicules électriques permettent de maximiser la productivité de certaines applications, car leurs moteurs sont plus efficaces et transmettent plus d'énergie aux roues, ce qui s'avère particulièrement utile pour les véhicules lourds, comme les tombereaux de chantier dont la mission consiste à transporter des charges en haut d'une côte : chaque unité d'énergie réalise un travail plus utile par tonne et le véhicule peut rouler plus vite sans perdre en sécurité. Et s'il est également équipé d'un système de freinage régénératif, il peut récupérer un volume important d'énergie en redescendant la côte, réduisant ainsi encore un peu plus la consommation d'énergie par tonne.



Les véhicules électriques permettent de réduire les coûts d'exploitation de **40-60 %**.<sup>33</sup>

### Exploitation simplifiée et sécurisée

Les systèmes électriques donnent aux opérateurs les moyens de mieux contrôler les machines lourdes. En effet, les systèmes électriques répondent instantanément aux commandes de l'opérateur, pour un contrôle plus précis et de meilleures sensations, la machine étant ainsi plus facile à utiliser. En comparaison, les systèmes hydrauliques alimentés par un moteur à combustion accusent toujours un léger délai de transmission qui rend leur utilisation plus difficile et légèrement moins précise.

### Réduction des besoins de ventilation et de refroidissement

Tous les moteurs à combustion interne génèrent de la fumée et de la chaleur. Sur un ferry, par exemple, les fumées sont rejetées par le tuyau d'échappement et la chaleur du moteur est dissipée à l'aide de radiateurs et de ventilateurs. Mais dans un environnement fermé, comme une mine souterraine, les fumées et la chaleur doivent être évacuées de l'espace de travail à l'aide de systèmes de refroidissement et de ventilation. Jusqu'à 40 % de la facture énergétique d'une mine proviennent de l'alimentation de ce type de système.<sup>35</sup>

Quant aux véhicules électriques, ils ne relâchent pas de fumées et produisent bien moins de chaleur que les moteurs diesel. Ils permettent par conséquent de réduire les besoins de refroidissement et de ventilation, ainsi que la consommation d'énergie et les coûts associés. Et parce que le nombre de conduits de ventilation nécessaires est plus limité, les coûts de construction sont également réduits.



—  
De nombreux types de véhicules miniers peuvent être électrifiés.

### Réduction du bruit et des vibrations

Les grands moteurs diesel produisent énormément de bruit et de vibrations, désagréables pour le personnel (port de protections auditives, fatigue), ainsi que pour le public. Dans les zones bâties, les horaires de travail sont strictement régulés afin de réduire les perturbations pour les riverains. Les moteurs électriques, quant à

eux, sont bien plus silencieux et génèrent beaucoup moins de vibrations. Moins pénibles et fatigants à utiliser, ils permettent souvent aux machines électriques de travailler de nuit, même en zone densément peuplées, dans un souci de prolongation de leurs heures de travail productif.

#### SUCCESS STORY



### Nasta électrifie les engins de chantier lourds avec des moteurs et variateurs ABB

En Norvège, Nasta AS distribue, reconçoit et modifie des engins de chantier diesel Hitachi, convertissant par exemple des excavatrices pour pouvoir les utiliser avec des batteries ou un branchement direct par câble. La procédure de conversion inclut l'installation de composants de système d'entraînement ABB comme les moteurs et variateurs de vitesse électriques, ainsi qu'un système de gestion de l'énergie, une batterie et une solution de charge, avec branchement électrique.

L'électrification des véhicules lourds apporte des bénéfices environnementaux évidents : une excavatrice diesel de 24 tonnes consomme environ 18 000 litres de carburant par an et émet annuellement environ 48 tonnes de dioxyde de carbone. Les modifications réalisées par Nasta permettent d'éliminer ces émissions de CO2 et celles d'oxyde de soufre (SOx), ainsi que de rendre les machines bien moins bruyantes. L'environnement est ainsi plus agréable pour les ouvriers du chantier et pour les personnes qui vivent ou travaillent à proximité. Les opérateurs ont par ailleurs signalé à Nasta que les machines électrifiées sont bien plus réactives lors de l'excavation.

#### SUCCESS STORY



### Les technologies ABB permettent aux bus zurichoïses de gagner en durabilité

Les solutions d'entraînement à haute efficacité énergétique et les systèmes de stockage d'énergie d'ABB aident les sociétés de transport public à avancer sur leur objectif de mobilité sans émissions.

Les bus électriques équipés de systèmes d'entraînement d'ABB sont nettement plus durables que les véhicules diesel conventionnels. Ils parcourent déjà les zones urbaines de toute l'Europe, notamment la ligne 83 de la compagnie de transports publics de Zurich (VBZ), qui fonctionne exclusivement à l'électricité.

Les bus emploient une combinaison de caténaires et de batteries, qui permet de recharger le système de stockage d'énergie installé sur le toit du véhicule lorsque le bus parcourt les sections équipées de caténaires. La recharge dynamique de l'accumulateur d'énergie offre notamment plus de flexibilité aux villes disposant déjà d'une infrastructure de caténaires et soucieuses d'agrandir leur réseau.

# Conclusion

Même si le diesel alimente toujours la majorité des véhicules industriels, des transports et des bateaux, les solutions d'électrification gagnent rapidement du terrain. Les systèmes d'entraînement alimentés par caténaires et batteries, ainsi que les hybrides diesels-électriques, ont déjà prouvé leur valeur et offrent des avantages clairs en matière de rendement et de coût pour les véhicules lourds comme les bus électriques, les trolleybus et les trains. La technologie et le savoir-faire issus de ces domaines se propagent de plus en plus rapidement aux véhicules industriels, aux véhicules de transport et aux bateaux. Les progrès de l'électrification permettent aujourd'hui d'imaginer des véhicules industriels plus efficaces et produisant moins d'émissions.



1. Agence d'information sur l'énergie des États-Unis, Perspectives énergétiques internationales 2016, Synthèse, Consommation d'énergie mondiale par secteur, page 13 ; [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf)
2. <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions#transportation>
3. Électrification des véhicules lourds, déclaration d'Eurelectric, septembre 2017, page 1 ; [https://www.eurelectric.org/media/2161/electrification\\_of\\_heavy\\_duty\\_vehicles-2017-030-0588-01-e.pdf](https://www.eurelectric.org/media/2161/electrification_of_heavy_duty_vehicles-2017-030-0588-01-e.pdf)
4. Communiqué de presse de l'IPCC, 4 avril 2022 ; <https://www.ipcc.ch/2022/04/04/ipcc-ar6-wgiii-pressrelease/>
5. <https://www.electricvehiclesresearch.com/articles/26187/electric-construction-machines-vital-for-greener-construction?stv1=1%3A410309%3A20716>
6. RAPPORT DE L'IEEE, Vol. 109, N° 3, mars 2021, page 280 ; <https://ieeexplore.ieee.org/document/9337910>
7. <https://www.electricvehiclesresearch.com/articles/26187/electric-construction-machines-vital-for-greener-construction?stv1=1%3A410309%3A20716>
8. DÉCLARATION DE L'ICMM SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE, octobre 2021 ; <https://www.icmm.com/en-gb/news/2021/net-zero-commitment>
9. Agence d'information sur l'énergie des États-Unis, Perspectives énergétiques internationales 2016, page 131 ; [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf)
10. Commission européenne, Statistical Pocketbook 2020, Le transport dans l'UE en chiffres, page 157 ; <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/da0cd68e-1fdd-11eb-b57e-01aa75ed71a1>
11. 99 % du monde respire de l'air dépassant les limites recommandées ; <https://www.weforum.org/agenda/2022/04/poorer-nations-lag-behind-higher-income-countries-in-air-quality-standards-who/>
12. <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/publications/2018/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018>
13. AIE, Rail, Rapport de suivi, novembre 2021 ; <https://www.iea.org/reports/rail>
14. <https://www.iea.org/reports/tracking-transport-2021>
15. AIE, The Future of Rail, Opportunités pour l'énergie et l'environnement, 2019, page 19 ; [https://iea.blob.core.windows.net/assets/fb7dc9e4-d5ff-4a22-ac07-ef3ca73ac680/The\\_Future\\_of\\_Rail.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/fb7dc9e4-d5ff-4a22-ac07-ef3ca73ac680/The_Future_of_Rail.pdf)
16. Commission européenne, Réduire les émissions du secteur des transports maritimes ; [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/transport-emissions/reducing-emissions-shipping-sector\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/transport-emissions/reducing-emissions-shipping-sector_en)
17. Schnurr et Walker, Dalhousie University, Transport maritime et consommation d'énergie, 2019 ; [https://www.researchgate.net/publication/335403999\\_Marine\\_Transportation\\_and\\_Energy\\_Use](https://www.researchgate.net/publication/335403999_Marine_Transportation_and_Energy_Use)
18. L'empreinte carbone du commerce mondial, OCDE/FIT, 2015, page 8 ; <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/cop-pdf-06.pdf>
19. Commission européenne, Électrification du système de transport, études et rapports, 2017, Page 10 ; [https://ec.europa.eu/newsroom/horizon2020/document.cfm?doc\\_id=46372](https://ec.europa.eu/newsroom/horizon2020/document.cfm?doc_id=46372)
20. AIE, Camions et bus, rapport de suivi, novembre 2021 ; <https://www.iea.org/reports/trucks-and-buses>
21. Magazine ABB Generations 2021, Future focus, Towards sustainable success, Fuel cells in commercial marine applications, page 186 ; [https://library.e.abb.com/public/b48197614a6b304cc1257a8a003c3c43/ABB%20Generations\\_23%20Hybrid%20marine%20electric%20propulsion.pdf](https://library.e.abb.com/public/b48197614a6b304cc1257a8a003c3c43/ABB%20Generations_23%20Hybrid%20marine%20electric%20propulsion.pdf)
22. <https://new.abb.com/news/detail/68041/electrified-thinking-redefines-shipping>
23. Source : mesures et calculs d'ABB.
24. Commission européenne, Électrification du système de transport, études et rapports, 2017, Page 13 ; [https://ec.europa.eu/newsroom/horizon2020/document.cfm?doc\\_id=46372](https://ec.europa.eu/newsroom/horizon2020/document.cfm?doc_id=46372)
25. Magazine ABB Generations 2021, Future focus, Towards sustainable success, Fuel cells in commercial marine applications, page 186 ; [https://library.e.abb.com/public/b48197614a6b304cc1257a8a003c3c43/ABB%20Generations\\_23%20Hybrid%20marine%20electric%20propulsion.pdf](https://library.e.abb.com/public/b48197614a6b304cc1257a8a003c3c43/ABB%20Generations_23%20Hybrid%20marine%20electric%20propulsion.pdf)
26. Source : calculs et mesures d'ABB.
27. [https://en.wikipedia.org/wiki/Diesel\\_engine#:~:text=The%20highest%20diesel%20engine%20efficiency,two%2Dstroke%20watercraft%20diesel%20engines.](https://en.wikipedia.org/wiki/Diesel_engine#:~:text=The%20highest%20diesel%20engine%20efficiency,two%2Dstroke%20watercraft%20diesel%20engines.)
28. Jorge Martins, Francisco P. Brito, Delfim Pedrosa, Vítor Monteiro, João L. Afonso, Comparaison en situation réelle entre la consommation d'énergie des voitures diesel et électriques, sur des véhicules électrifiés par le réseau : performance, conception et impacts environnementaux, pp. 209-232, Nova Science Publishers, New York, 2013, page 5 ; ISBN 978-1-62808-839-7 ; <https://core.ac.uk/download/pdf/55627041.pdf>
29. CECE et CEMA, Optimiser notre industrie pour réduire les émissions. Brochure, 2018, Page 29 ; <https://www.cece.eu/stream/cececo2booklet-1.3.pdf>
30. CECE et CEMA, Optimiser notre industrie pour réduire les émissions. Brochure, 2018, Page 26 ; <https://www.cece.eu/stream/cececo2booklet-1.3.pdf>
31. CECE et CEMA, Optimiser notre industrie pour réduire les émissions. Brochure, 2018, Page 12 ; <https://www.cece.eu/stream/cececo2booklet-1.3.pdf>
32. Source : mesures et calculs d'ABB
33. Rapport McKinsey & Company, Utiliser l'élan pour l'électrification dans les machines et équipements lourds, mai 2019, page 13 ; [https://www.mckinsey.com/-/media/McKinsey/Industries/Automotive\\_and\\_Assembly/Our\\_Insights/Harnessing\\_momentum\\_for\\_electrification\\_in\\_heavy\\_machinery\\_and\\_equipment/Harnessing\\_momentum\\_for\\_electrification\\_in\\_heavy\\_machinery\\_and\\_equipment.pdf](https://www.mckinsey.com/-/media/McKinsey/Industries/Automotive_and_Assembly/Our_Insights/Harnessing_momentum_for_electrification_in_heavy_machinery_and_equipment/Harnessing_momentum_for_electrification_in_heavy_machinery_and_equipment.pdf)
34. Basé sur l'expérience client d'ABB.
35. EY, Le futur des véhicules électrifiés dans le secteur minier, rapport 2019, Électrification et décarbonation des mines, page 3



—  
Pour en savoir plus ou nous contacter :

—  
**ABB France - Business Area Motion  
Traction**

324 rue du Chat Botté  
CS 20400 Beynost  
01708 Miribel cedex / France

**Centre de contact ABB France**

Tél. : 0 810 020 000 (service 0,06 €/min + prix appel)  
E-mail : [contact.center@fr.abb.com](mailto:contact.center@fr.abb.com)



[energyefficiencymovement.com/fr/](https://energyefficiencymovement.com/fr/)