



Contribution de l'aluminium dans l'allègement d'un châssis de camion de classe 8

Yves Archambault, ing.

28 octobre 2020

CONTRIBUTION DE L'ALUMINIUM DANS L'ALLÈGEMENT D'UN CHÂSSIS DE CAMION DE CLASSE 8

Par Yves Archambault, ing.

1. JUSTIFICATIONS COURANTES POUR L'ALLÈGEMENT DES VÉHICULES

Un véhicule en mouvement doit vaincre quatre forces s'opposant à son déplacement :

- L'accélération (proportionnelle à la masse);
- La résistance aérodynamique (proportionnelle à la vitesse² et au coefficient de traînée);
- La résistance au roulement (friction) (proportionnelle à la masse);
- L'attraction gravitationnelle (proportionnelle à la masse).
- Notons qu'à l'exception de la résistance aérodynamique, la masse intervient dans l'accélération, l'attraction gravitationnelle et la friction, d'où son importance dans l'opération du véhicule.

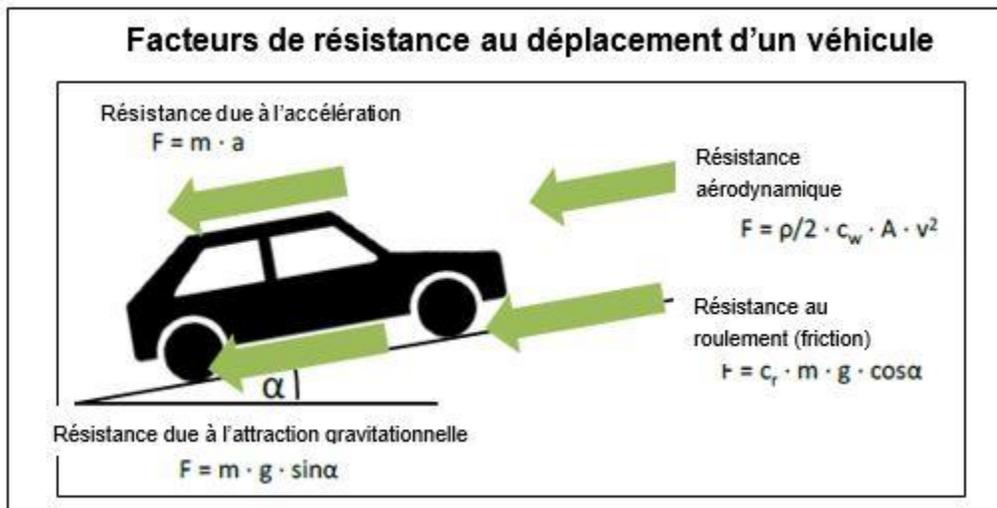


Figure 1 : Overview of physical resistance factors (traduction : Aperçu des facteurs de résistance).

Helms Hinrich and Krack Jan, dans *Energy Savings by Light-Weighting – 2016 update* (p.17). 2016. IFEU Institute commissioned by The Aluminium Institute. Reproduit avec permission.

(<https://european-aluminium.eu/media/1878/ifeu-energy-savings-by-light-weighting-2016-update-full-report.pdf> consulté le 13/10/2020)

L'utilisation qui est faite d'un véhicule influence sa consommation d'énergie. En effet, un environnement urbain, parsemé d'arrêts et de départs, expose un véhicule à un contexte différent de celui retrouvé à vitesse constante sur une autoroute. La figure 2 illustre comment se répartissent les forces de résistance agissant sur une automobile et ce, dans trois types de conduite.

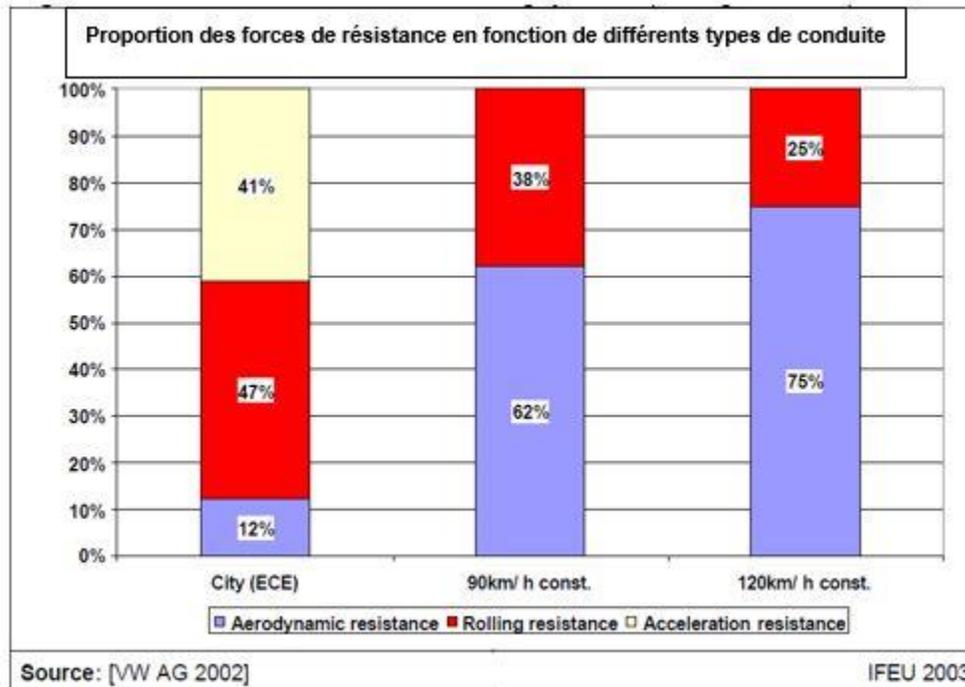


Figure 2 : Share of resistance factors for different driving cycles (traduction : Proportion des facteurs de résistance selon différents types de conduites). Helms Hinrich, Lambrecht Udo, Dr. Hopfner Ulrich, dans *Energy Savings by Light-Weighting – Final Report* (p. 14). 2003. Institute for Energy and Environmental Research (IFEU), commissioned by The Aluminium Institute. Reproduit avec permission. (<http://www.world-aluminium.org/publications/> consulté le 13/10/2020)

Dans cette figure, la résistance aérodynamique agissant sur un véhicule est faible lors d'une conduite urbaine, où les départs sont fréquents et la vitesse relativement basse. Dans le cas d'un déplacement à vitesse constante de 120 km/h, la portion aérodynamique est substantiellement plus élevée, alors que la résistance impliquant la masse n'est plus que de 25 %. En appliquant ce constat au transport par camion lourd, il est indéniable qu'un meilleur aérodynamisme réduira la consommation et les technologies qui s'y rattachent sont déjà commercialisées. Néanmoins, considérant que la masse totale d'un camion en charge est limitée en fonction de la classe du véhicule, la seule façon d'augmenter la portion utile de la charge sera de réduire d'autant celle du camion à vide.

2. EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE VS EFFICACITÉ DU FRET

La notion d'efficacité appliquée à un véhicule est celle de l'efficacité énergétique, déterminée par la quantité de carburant consommée sur une distance parcourue donnée (ex : litres/100 km), ou par la distance parcourue pour une quantité de carburant donnée (ex : milles/gallon); les unités peuvent varier selon le pays, mais le principe demeure. La notion d'efficacité du fret ajoute une variable en ce qu'elle permet d'associer le poids transporté, la distance parcourue et l'énergie consommée dans une seule donnée.

L'efficacité du fret ajoute donc à l'efficacité énergétique la notion de la charge utile transportée. Un exemple simplifié serait de transporter le double de la charge utile sur une même distance et en consommant la même quantité de carburant, doublant ainsi l'efficacité du fret. À ce jour, les unités proposées pour quantifier l'efficacité du fret sont la tonne x litres/100 km, ou, aux États-Unis, la tonne x milles/gallon.

Un contre argument à l'utilisation courante de cette nouvelle unité demeure toutefois dans la situation où un chargement de faible poids remplit un camion sans en atteindre la capacité maximale permise. Afin d'en tenir compte, dans une approche à grande échelle, il faudra donc éventuellement faire intervenir un paramètre de densité du chargement, or il sera nécessaire de recueillir plus d'information avant de conclure sur une unité de mesure représentative de la réalité de l'industrie du transport lourd. L'usage de la consommation courante, soit en mille par gallon (MPG) sera maintenu, jusqu'à ce qu'une meilleure connaissance des poids et des volumes transportés soit acquise.

Le transport routier est un maillon important de l'économie d'un pays et est soumis aux règles de rentabilité du marché; l'investissement dans les technologies d'amélioration de l'efficacité du fret doit donc se justifier sur le plan financier et la période type de retour sur l'investissement est d'un an. Il est à noter que le revenu additionnel ne se vérifie pas systématiquement à chaque voyage effectué, mais plutôt au niveau de la flotte et ce, sur une période de temps suffisamment longue.

3. INCITATIFS À LA RÉDUCTION DU POIDS

Tous les véhicules munis d'un moteur à combustion interne sont émetteurs de gaz à effet de serre (GES). Dans le but d'en établir une liste de priorité, voyons comment se répartissent ces émissions en fonction des différents types de véhicules lourds, et de services.

La figure 3 illustre la composition du poids, à vide et en charge, pour différents types de véhicules lourds. Les cas d'un camion rigide dont le poids admissible total est de 12 tonnes ainsi que celui de quelques camions articulés de 40 tonnes sont annotés quant au pourcentage de charge utile.

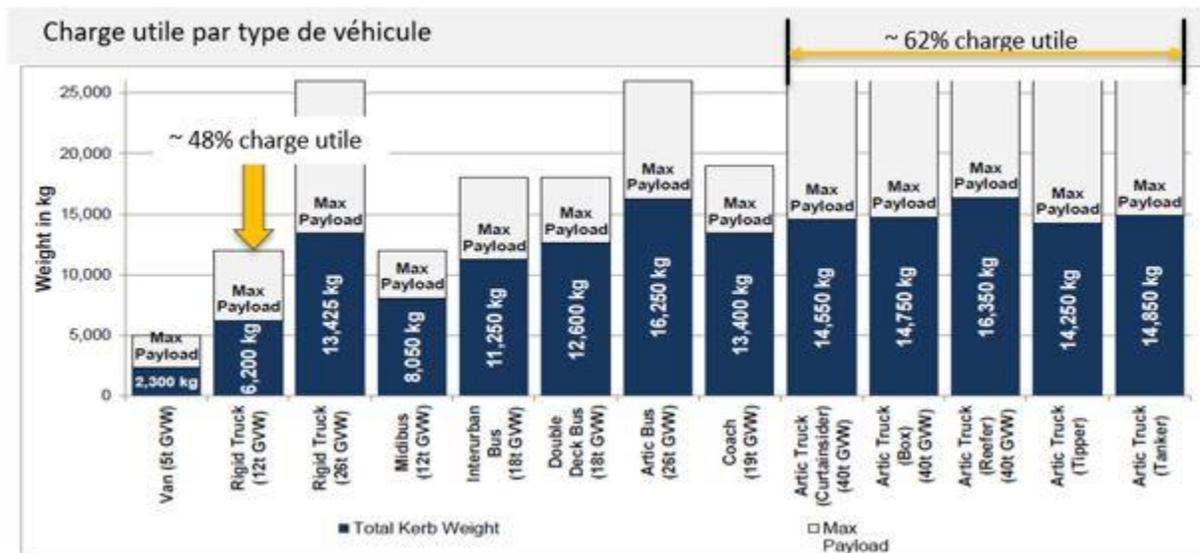


Figure 3 : Summary of overall vehicle weights for a wider range of vehicle weights and body types (traduction : Résumé des poids pour une large gamme de véhicules lourds, dans différentes configurations).
Ricardo-AEA, dans *Light Weighting as a Means of Improving Heavy Duty Vehicles' Energy Efficiency and Overall CO₂ Emissions* (p.18). 2015. Report for DG Climate Action. © 2013 par European Commission. Reproduit avec permission.
(https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/vehicles/heavy/docs/hdv_lightweighting_en.pdf consulté le 13/10/2020)

Un camion articulé voit donc son poids passer de 15 T à 40 T, soit pratiquement du simple au triple, et celui d'un camion rigide passe au double dans la même circonstance.

L'intérêt d'alléger un camion se résume à augmenter d'autant sa charge utile, ce qui se traduit par une meilleure efficacité du transport, et se mesurera, à terme,

par une réduction du nombre de voyages, considérant le même tonnage annuel transporté. Le graphique de la figure 4 illustre les résultats de simulations évaluant les émissions de CO₂ en fonction du pourcentage d'allègement du véhicule. Les émissions de camions de 12 tonnes et de 40 tonnes sont ici comparées, considérant un chargement maximal pour tous les cas.

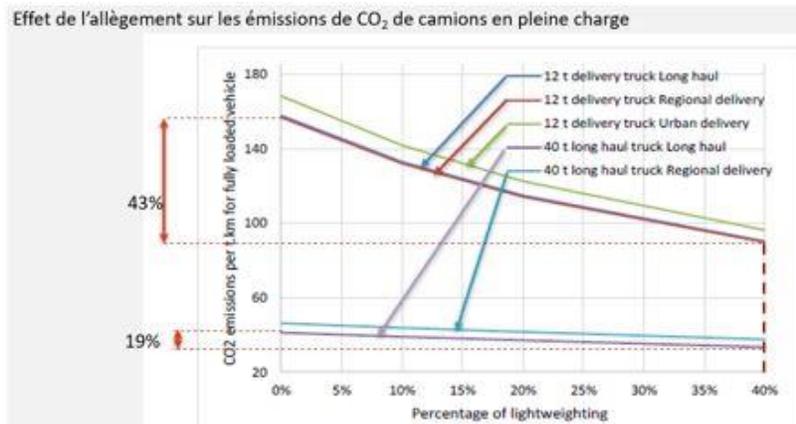


Figure 4 : Impact of lightweighting on the CO₂ Emissions of fully loaded trucks expressed per g CO₂ (traduction : Quantité de CO₂ émis en fonction du pourcentage d'allègement d'un camion chargé à pleine capacité, exprimé en g CO₂).

Ricardo-AEA, dans *Light Weighting as a Means of Improving Heavy Duty Vehicles' Energy Efficiency and Overall CO₂ Emissions* (p.47). 2015, Report for DG Climate Action. © 2013 par European Commission. Reproduit avec permission.

(https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/vehicles/heavy/docs/hdv_lightweighting_en.pdf consulté le 13/10/2020)

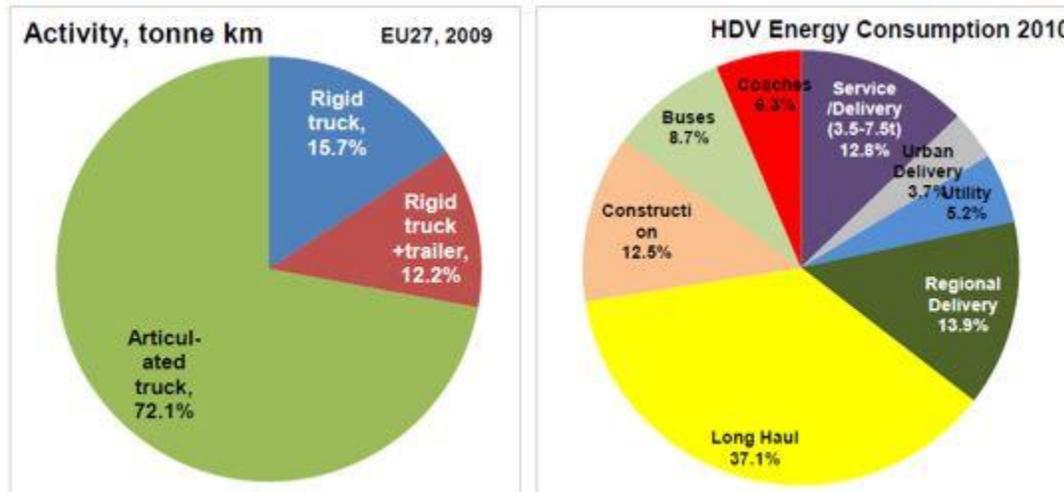
Le résultat de cette simulation permet de constater que :

- Dans l'ensemble, un camion de 40 tonnes émet moins de CO₂ par tonne-kilomètre qu'un camion de 12 tonnes;
- Dans le cas d'un allègement de 40 %, un camion de 12 tonnes voit ses émissions réduites de 43 % alors que celles du camion de 40 tonnes le sont de 19 %.

Bien que ces données semblent orienter l'effort de réduction des émissions vers le camion de 12 tonnes, il importe maintenant de tenir compte du facteur d'échelle dans les consommations respectives de carburant.

La figure 5 illustre la répartition du tonnage total transporté par camionnage (2009), ainsi que celle du carburant consommé (2010), selon le type de livraison. Dans les deux cas, les camions articulés dominent : ils ont transporté 72 % des biens et

consommé 37 % de l'énergie. Les camions lourds articulés deviennent donc la cible prioritaire pour quiconque désire réduire les émissions liées au transport.



Source: AEA/Ricardo (2011)

Figure 5 : *Estimated EU share of activity and energy consumption from different heavy duty vehicles types duty cycles (traduction: Proportions estimées du tonnage transporté et de la consommation d'énergie des camions lourds).*

Ricardo-AEA, dans Light Weighting as a Means of Improving Heavy Duty Vehicles' Energy Efficiency and Overall CO₂ Emissions (p.14). 2015, Report for DG Climate Action. © 2013 par European Commission. Reproduit avec permission.

(https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/vehicles/heavy/docs/hdv_lightweighting_en.pdf consulté le 13/10/2020)

Il devient évident que le coût du carburant représente aussi un incitatif financier à améliorer l'efficacité du fret, cependant, les flottes consultées ont mentionné que le coût du carburant était une donnée volatile et qu'elles jugeaient qu'il était préférable d'en faire abstraction.

4. ÉVOLUTION DES CAMIONS

L'industrie du transport lourd fait maintenant face à deux principaux défis : le premier est de réduire ses émissions de GES, et le second, d'un tout autre ordre, est celui d'assurer la rétention d'une main-d'œuvre qui se fait rare. Voyons comment l'industrie aborde ces défis.

Les technologies d'amélioration de l'efficacité qui se retrouvent sur un camion s'adressent aux sujets suivants :

- Le groupe motopropulseur;

- L'aérodynamisme;
- Les mesures de réduction du fonctionnement du moteur au ralenti;
- Les transmissions automatiques et manuelles assistées;
- Les pneus : largeur, pression, résistance au roulement;
- L'allègement.

À ces technologies se joignent des pratiques d'amélioration telles que :

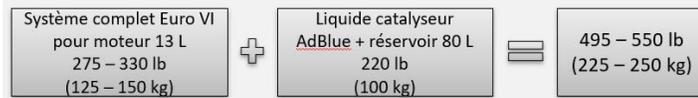
- La réduction de la vitesse;
- La réduction d'arrêts nécessitant de laisser tourner le moteur au ralenti;
- Des programmes améliorés d'entretiens préventifs;
- L'optimisation de la quantité de carburant transporté en fonction du trajet à effectuer :
 - Cette pratique prend son sens lorsque les réservoirs de carburant d'un camion, pouvant chacun contenir jusqu'à 150 gallons, ne sont pas remplis au maximum de leur capacité lorsqu'il est prévu que le trajet à parcourir sera court.

Au fil des années, les mesures de rétention de la main-d'œuvre se sont concrétisées par une amélioration de la sécurité et du confort du chauffeur, soit autant d'éléments ajoutés sur le camion :

- Coussins gonflables;
- Systèmes ABS;
- Systèmes de contrôle de la stabilité;
- Systèmes d'atténuation des vibrations et de l'acoustique;
- Préférence des chauffeurs envers des couchettes plus spacieuses;
- Apparition de cabines renforcées en réponse à du début de préoccupation quant à la protection des chauffeurs en cas de renversement.

Les exigences environnementales ont donné lieu à l'intégration de différentes technologies de réduction des émissions de GES qui sont directement rattachées au groupe moteur :

- Catalyseurs
- Filtres à particules
- Ventilation fermée du bloc moteur
- Recirculation des gaz d'échappement
- Réduction catalytique sélective
- Catalyseur NOx
- Capteur de NOx



Ainsi, pour un moteur de 13 litres respectant la norme Euro VI, l'ajout de ces systèmes représente un poids supplémentaire variant entre 495 et 550 lb.

En résumé, considérant l'ensemble des ajouts qui sont apparus au cours de la dernière décade, le poids d'un camion tracteur moyen a augmenté de 1000 lb.

5. L'ALLÈGEMENT

D'abord quelques généralités sur l'allègement d'un camion :

- Alléger de 1000 lb le poids d'un camion réduit sa consommation de 0,5 % à 0,6 %;
- Une technologie d'allègement est jugée intéressante si elle procure une amélioration de l'efficacité de 1 % à 2 %. Ainsi, 2 % d'amélioration implique une réduction de poids de 4000 lb;
- L'augmentation de l'efficacité du fret est proportionnelle à la réduction du poids (augmentation de la charge utile);
- L'allègement permet de neutraliser l'augmentation de poids découlant de l'introduction des technologies de réduction des émissions de CO2.

Réduire de 4000 lb le poids d'un camion a un coût, que ce soit par le prix supplémentaire de composantes plus légères ou par la nécessité de revoir une conception complète dans l'éventualité d'un changement de matériau. Devant l'étendue des options et des prix, il importe de tenir compte de ce que les opérateurs de flotte peuvent se permettre tout en demeurant profitable; or les opérations de transport peuvent varier grandement.

L'ensemble des opérations de transport se décline en trois catégories, qui sont établies en fonction de la fréquence des voyages effectués ou non à pleine capacité de charge. La figure 6 en illustre sommairement les caractéristiques.

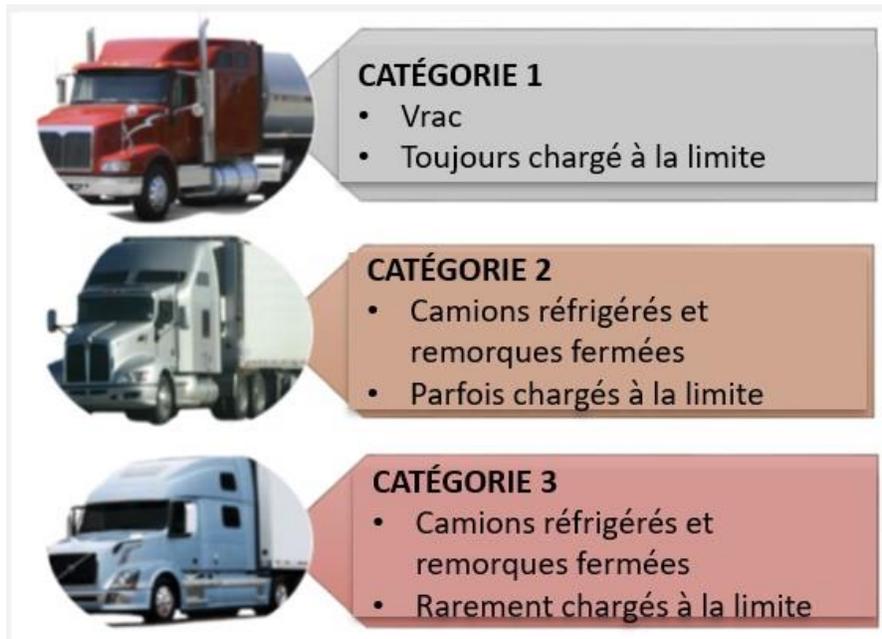


Figure 6 : *Lightweight Fleet Categories for this Study (traduction : Les catégories de flottes utilisées dans cette étude).*
North American Council for Freight Efficiency, Carbon War Room, dans Confidence Report: Lightweighting, (p.22). 2015, NACFE, © 2015 par North American Council for Freight Efficiency. Reproduit avec permission
(<https://nacfe.org/report-library/confidence-reports> consulté le 13/10/2020)

Voyons plus en détails comment se différencient ces catégories.

Catégorie 1

- Représente environ 2 % des camions sur la route;
- 100 % des voyages sont faits à la limite de charge permise;
- On y retrouve principalement le transport en vrac : Grains, ciment, produits pétroliers;
- Ce groupe est très sensible à l'allègement puisque toute charge utile supplémentaire transportée se traduit par une augmentation récurrente du revenu;
- Dans cette catégorie, il est évalué qu'une charge supplémentaire de 500 lb représente une augmentation du revenu annuel de 3000 \$ à 5500 \$;
- Considérant un retour sur investissement d'une année, un opérateur serait donc prêt à investir un montant de 6 \$ à 11 \$ pour chaque livre d'allègement.

$\frac{3000 \$}{500 \text{ lb d'allègement}} \Rightarrow 6 \$/\text{lb allégée}$	$\frac{5500 \$}{500 \text{ lb d'allègement}} \Rightarrow 11 \$/\text{lb allégée}$
--	---

Catégorie 2

- Représente environ 10 % des camions sur la route;
- Environ 10 % des voyages sont faits à charge maximale;
- On y retrouve les camions réfrigérés et autres remorques pour chargements spéciaux;
- Le coût d'allègement acceptable pour cette catégorie est de 2 \$ à 5 \$/lb.

Le coût estimé de l'allègement par l'aluminium est de 3 \$ à 5 \$.

Catégorie 3

- Représente environ 88 % des camions sur la route;
- Environ 2 % des voyages sont faits à pleine charge;
- Le coût d'allègement acceptable se situe entre 0 \$ et 2 \$/lb.



Figure 7 : Exemples : Catégorie 1, Catégorie 2, Catégorie 3

Les technologies d'allègement peuvent, à leur tour, être partagées en trois catégories :

À coût nul

Ces technologies vont un peu à contrecourant de la réalité actuelle du marché puisqu'elles se traduisent souvent par l'élimination ou le retrait de certaines options :

- La réduction des options de confort a des conséquences négatives sur la rétention du personnel;
- La valeur de revente d'un camion est diminuée lorsque sa versatilité est réduite par la présence d'un moteur moins puissant, ainsi que d'essieux et de réservoirs de capacités réduites.

À faible coût

Cette catégorie inclut des changements de matériaux.

À coût élevé

Ici, les changements de matériaux s'installent plus en profondeur et touchent des pièces plus critiques.

TRACTOR			TRAILER		
NO COST (Right-Sizing)	SOME COST	MORE COST	NO COST (Right-Sizing)	SOME COST	MORE COST
Shorter cab	Aluminum hubs	Aluminum wheels	Large diameter axle	Wood composite floor	Aluminum floor
Smaller engine	Light brake drums	Aluminum fifth wheel	Duals to wide-base wheels	Aluminum hubs	Aluminum wheels
Horizontal exhaust	Light cross members	6x4 to 6x2	ADI hubs	Light brake drums	Aluminum structure
Smaller fuel tank	Aluminum air tank	Aluminum frame		Light cross members	Composite brake drums
Less fuel	Aluminum battery box	Composite brake drums		Roof bows	Carbon fiber
Less diesel exhaust fluid	Aluminum carrier housing	Carbon fiber		Wall beams	
Fewer batteries	Molded plastic fairings			Door surround	
Remove passenger seat	Aluminum cab			Light landing gear	
AMT to manual	Clutch cover				
Duals to wide-base wheels					
Sliding to fixed fifth wheel					

Figure 8 : Lightweighting Cost Categories (traduction : Catégories, par coût, des technologies d'allègement).

North American Council for Freight Efficiency, Carbon War Room, dans Confidence Report: Lightweighting, (p.43). 2015, NACFE,

© 2015 par North American Council for Freight Efficiency. Reproduit avec permission (<https://nacfe.org/report-library/confidence-reports> consulté le 13/10/2020)

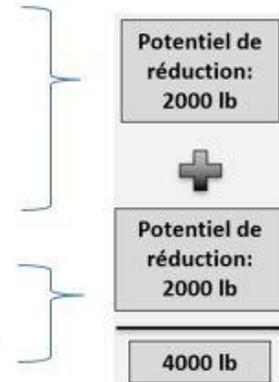
Voici comment les différentes technologies peuvent contribuer à atteindre l'objectif d'allègement de 4000 lb :

Technologies d'allègement à coût nul / quasi nul

- Réduction de la cylindrée du moteur;
- Réduction de la capacité des réservoirs;
- Réduction de la quantité de carburant dans les réservoirs;
- Réduction de la taille de cabine/ espace couchette;
- Remplacer échappement vertical par horizontal;
- Pneus larges.

Technologies d'allègement avec coût initial

- Conversion vers un matériau plus léger;
- Intégration de la conception : combiner plusieurs pièces en une seule.



6. L'ALLÈGEMENT DANS UN CAMION DE CLASSE 8

La figure 9 illustre les composantes où l'aluminium est déjà utilisé dans la construction d'un camion de classe 8, et permet d'introduire les plus récents développements en matière de transport lourd mû par moteur à combustion interne.

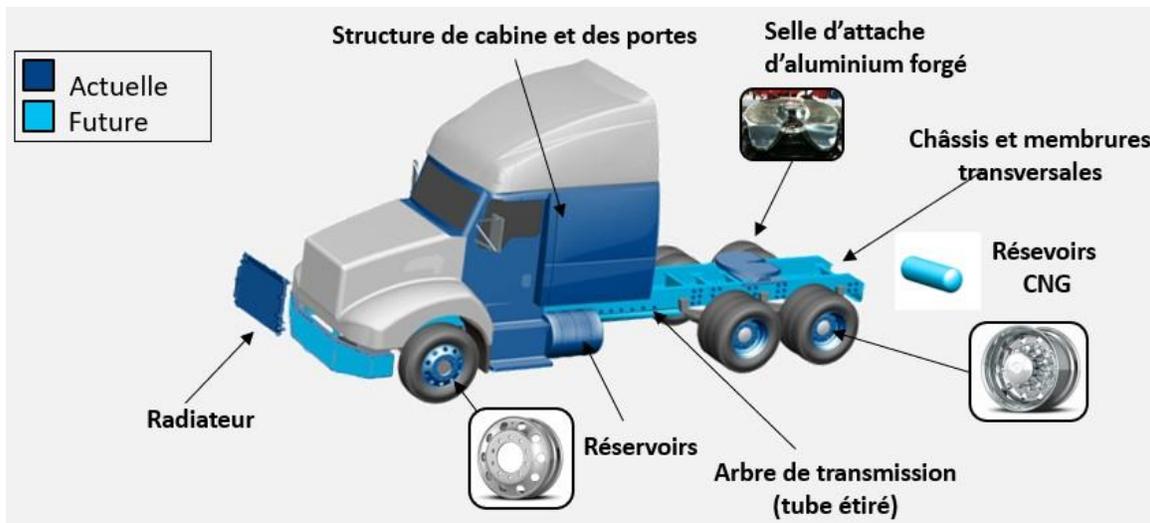


Figure 9 : Composantes d'aluminium dans un camion de classe 8
Greco Mario -Alcoa Commercial Transportation, Webinar given for Alcoa Innovation,
March 23, 2016.
Reproduit avec permission.

Un projet de développement, intitulé Super Truck Phase 1, réalisé en 2014-2015 aux États-Unis, a permis à quatre équipes (Volvo, Navistar, Cummins, Daimler Trucks), de présenter chacune un concept prototype qui augmenterait de 50 %

l'efficacité du fret, par rapport à l'année 2009, sur des camions de classe 8. Le type de transport ciblé était celui réalisé sur de longues distances. Chaque équipe était libre de choisir les technologies qui seraient exploitées.

Il est à noter qu'une certaine zone grise de ce projet était acceptée au départ puisqu'il était prévu que les pourcentages d'améliorations obtenus ne pourraient être comparés entre les équipes, sachant qu'il était laissé à chacune le soin de déterminer son propre véhicule de référence, dont l'année de construction est 2009. Malgré cette situation, il demeure que plusieurs technologies ont montré un bon potentiel, que ce soit en matière du cycle moteur, de la récupération d'énergie, de modification ou retrait de pièces, l'ajout de systèmes électriques et, notamment par l'allègement et ce, avec l'introduction d'un châssis d'aluminium (figure 10).

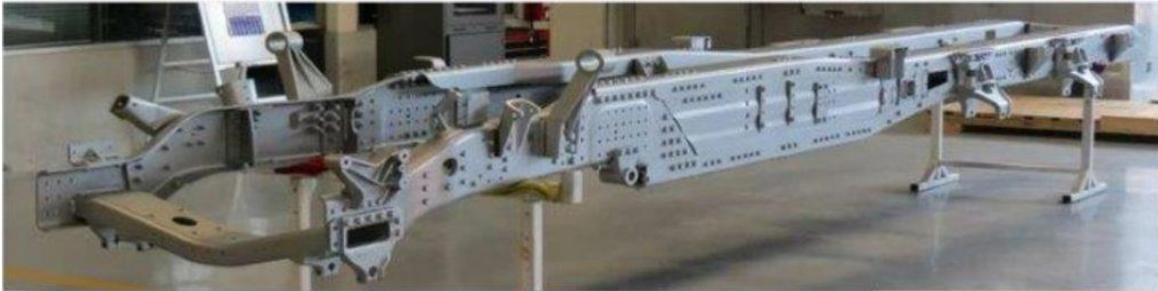


Figure 10 : Super Truck Project Phase 1. Châssis d'aluminium pour camion de classe 8.
Courtoisie d'Arconic.
Reproduit avec permission.

Voici les principaux éléments à noter sur ce châssis conçu et fabriqué par Arconic-Metalsa pour l'équipe Daimler Trucks:

- La variation de hauteur de la poutre, formée d'un assemblage semelle-âme rivetées;
- Les semelles ont été formées par roulage à froid sur un équipement de roulage existant (Metalsa);
- Résistance équivalente à celle du châssis d'acier;
- Rigidité de torsion multipliée par 4 par rapport au châssis d'acier;
- Allègement de 850 lb par rapport au châssis d'acier;
- Intégration, dans une seule pièce, des fonctions de plusieurs composantes.

La phase 2 du même projet est présentement en cours et a donné lieu à une version améliorée du châssis d'aluminium. La conception a été revue pour mettre à profit la soudure friction-malaxage (FSW) dans l'assemblage de bruts de roulage en assemblant des plaques d'épaisseurs différentes, ceci avant la mise en forme

par roulage à froid 3D (figure 11). L'alliage d'aluminium utilisé est le 6013. La soudure FSW et le roulage 3D à froid sont réalisés avec des plaques à l'état T4. Le châssis est ensuite vieilli artificiellement pour l'amener à l'état T6.

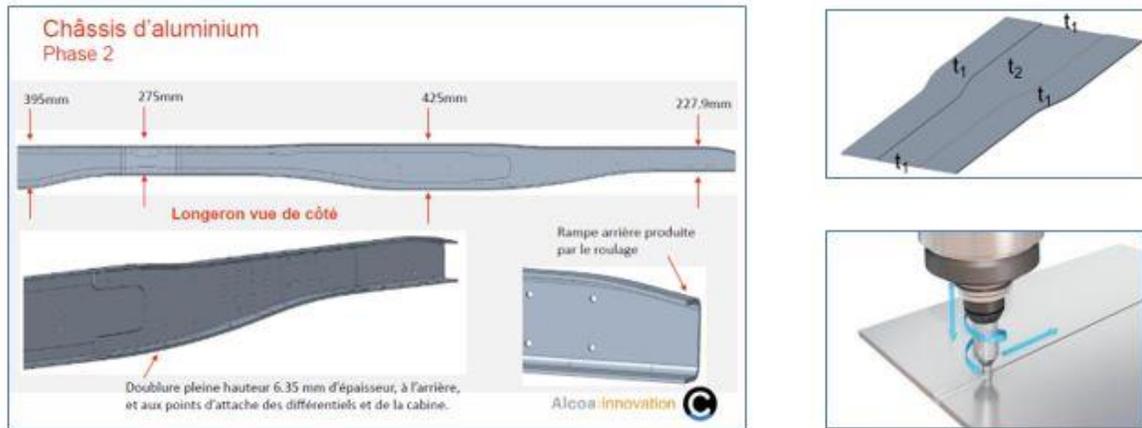


Figure 11 : Châssis d'aluminium élaboré par Arconic pour la Phase 2 du projet Super Truck.

Courtoisie d'Arconic. Reproduit avec permission.

[1] <https://theicct.org/publications/us-supertruck-program-expediting-development-advanced-hdv-efficiency-technologies> (consulté 07/10/2020)

7. MOTORISATION ÉLECTRIQUE

Le sujet de l'électrification des transports en est un d'actualité, et le secteur du transport lourd n'y fait pas exception. L'organisation NACFE, suit attentivement l'évolution de l'électrification ainsi que des énergies alternatives par le biais d'études spécifiques. À titre d'information, ces études mentionnent l'arrivée sur le marché du Lion8, présenté en juin 2019. La figure 12 caricature l'évolution attendue des types d'énergies qui seront utilisées, d'ici à un aboutissement entièrement électrique vers l'année 2040.

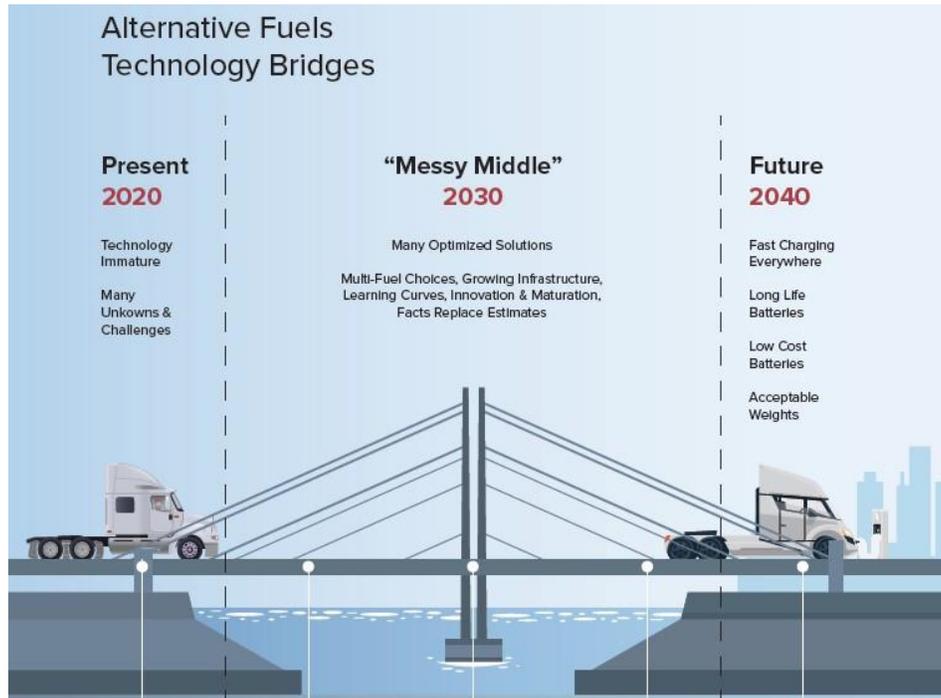


Figure 12 : Bridge Technologies to Future
North American Council for Freight Efficiency, dans *Guidance Report: Viable Class 7/8 Electric, Hybrid and Alternative Fuel Tractors* (p.16). 2019. NACFE, © 2019 par North American Council for Freight Efficiency. Reproduit avec permission.
(<https://nacfe.org/report-library/guidance-reports/> consulté le 13/10/2020)
[2] (<https://nacfe.org/report-library/guidance-reports/>)

8. CONCLUSION

L'emphasis donnée au transport des marchandises, par véhicules lourds dotés de moteurs à combustion interne, provient d'une volonté politique de réduire les émissions de gaz à effet de serre, ce à quoi l'allègement représente une partie de la solution. En matière d'allègement, l'aluminium a démontré et démontre encore sa contribution, quoique qu'il faille admettre que d'autres matériaux offrent aussi des avantages qui sont parfois obscurcis par des coûts, pour le moment excessif, mais qui pourront réduire avec le temps.

Lorsque la motorisation électrique est considérée, il est clair que la préoccupation des émissions de GES liées aux déplacements deviendra caduque, mais il y a fort à parier que l'efficacité du fret demeurera un sujet d'intérêt et l'allègement se maintiendra parmi les options disponibles. Ainsi, l'aluminium continuera d'offrir une alternative abordable.