

# La propulsion thermique vit elle ses dernières heures, pour un tout électrique ?

Does the thermal propulsion live its last hours, for an all electric?

Cornel Stan<sup>1</sup>, Philippe Guibert<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université de Zwickau, Germany

<sup>2</sup> Sorbonne Université, Institut Jean le Rond d'Alembert, France.

**RÉSUMÉ.** La réduction des émissions de gaz à effet de serre est une urgence et repenser le parc automobile mondial doit être fait avec la plus grande attention car il n'y aura pas droit à une seconde chance. Le tout électrique, l'attractivité de la formule « nouvelle mobilité », les propositions de nouveaux usages s'impose comme une évidence. Les véhicules électriques ont le mérite de contribuer à réduire la pollution dans nos métropoles. Cependant, ils ne peuvent pas être considérés comme des véhicules zéro émission. Quant au véhicule thermique, il n'a certainement pas épuisé ses marges d'amélioration. Il devrait voir son efficacité énergétique quasiment doubler d'ici à 2035 tout en réduisant les émissions de CO2 et polluantes. Ce papier présente une réflexion globale sur les possibles stratégies à adopter.

**ABSTRACT.** Reducing greenhouse gas emissions is an urgent matter and rethinking the world's vehicle fleet must be done with the utmost care because there will not be a second chance. All-electric vehicles, the attractiveness of the "new mobility" formula and proposals for new uses are obvious. Electric vehicles have the merit of helping to reduce pollution in our cities. However, they cannot be considered zero-emission vehicles. As for the thermal vehicle, it has certainly not exhausted its margins for improvement. It should see its energy efficiency almost double by 2035 while reducing CO2 and pollutant emissions. This paper presents a global reflection on the possible strategies to adopt.

**MOTS-CLÉS.** Moteur à combustion interne, émission de gaz à effet de serre, véhicules électriques.

**KEYWORDS.** Internal combustion engine, greenhouse gas emissions, electric vehicles.

## 1. Réflexion et synthèse

Dans le monde entier, les villes du C40 prennent des mesures audacieuses en matière de climat, ouvrant la voie à un avenir plus sain et plus durable. Purifier l'air que respirent les citoyens est une des priorités. À ce jour, plus de 40 villes, parmi les 96 qui constituent le C40, se sont engagées dans la mise en œuvre des engagements des Accords de Paris. 2024 est le point de départ d'interdiction d'accès au centre-ville de voitures Diesel à Paris, ce sera le même sort quelques années plus tard pour les véhicules essences. Est-ce un signe d'une dynamique irréversible locale ?

La France interdira des 2040 l'immatriculation de nouvelles voitures propulsées par des moteurs thermiques. D'autres pays le feront plus tôt comme la Norvège en 2024, l'Angleterre en 2030, la Californie en 2035. Alors que les dirigeants politiques veulent bannir les moteurs thermiques à plus ou moins brève échéance, les constructeurs automobiles continuent d'explorer ses capacités et mise sur un parc automobile mixte de transition.

Lorsque l'on affirme qu'une propulsion électrique est intrinsèquement vertueuse, il faut être prudent à ne pas utiliser trop vite des raccourcis non sans conséquences. Loin de la volonté de cet édito de défendre la solution thermique cout que cout, il est important que nous ne nous retrouvions pas de nouveau dans une nouvelle impasse.

Le monde s'enthousiasme pour la révolution électrique après quand même deux échecs forts en 1900 et en 1995 : mais dans un proche avenir, les véhicules du monde vont devenir électriques, digitaux, autonomes.

Il est à noter que le débat sur le moteur thermique est plus vaste que le prisme du parc de voitures de tourisme. Il existe tout un pan industriel ou les puissances mises en jeux, les applications, les

contraintes de poids ne pourront pas trouver aux conditions technologiques d'aujourd'hui de solutions dans le tout électrique (camion, machine agricoles, grue, avions ...). Une grande grue à chenilles est munie actuellement d'un Diesel 8 cylindres d'une puissance de 1000 kilowatt. On ne peut pas imaginer remplacer le moteur thermique par 2 moteurs électriques et une batterie de type Tesla S, lourde d'une tonne environ. La grue travaillera dans cette configuration moins de 5 minutes. Le rechargement de la batterie durerait des heures, même en utilisant une recharge de forte puissance.

La production anthropique de CO<sub>2</sub> et son impact due aux moteurs thermiques est indéniable. On comprend dans une logique imparable que la révolution électrique doit sauver le monde du dioxyde de carbone et de polluants comme les oxydes d'azote, les particules et les suies.

C'est une évidence que de rappeler que cette solution élégante doit s'appuyer sur une augmentation substantielle de la production électrique et que celle-ci se doit en toute rigueur d'être vertueuse.

La France obtient la plupart de sa production d'énergie électrique (78,5%) des centrales nucléaires, la Norvège de centrales hydroélectriques (98,5%), donc sans CO<sub>2</sub> et donc majoritairement sans polluants chimiques. Mais pour ce qui est du reste du monde ? La Chine émet 28% du CO<sub>2</sub> mondial avec une énergie électrique produite en proportion à 65% par des centrales au charbon. La même situation est reproduite dans les Etats Unis, en Inde, en Russie.

On constate alors qu'il y a report géographique ou dans le temps des émissions des voitures à propulsion électrique. En 2019, une étude effectuée en Allemagne par 24 instituts de recherche montre les faits suivants : une voiture électrique standard, avec une batterie Lithium-Ion de 35 kWh qui consomme 16 kWh/100 km, a été comparé avec une voiture équipé d'un moteur à essence avec une consommation de 5,9 litres essence/100 km et avec un Diesel consommant 4,7 litres /100 km. L'émission de CO<sub>2</sub> en tenant compte de la provenance de l'énergie respective et de la production des batteries s'égalise après une distance parcourue de 60.000 km pour une voiture essence et de 80.000 km pour une voiture diesel. On rappelle que la production d'une batterie du modèle Tesla S génère une émission de 15.000 kg CO<sub>2</sub>.

Evidemment, une mobilité absolument électrique dans les grandes villes est impérative. Alors dans cette réorganisation du monde mobile, le moteur thermique va trouver la place qu'il mérite pour une transition qui durera encore plusieurs dizaines d'années !

Lorsque l'on parle du moteur thermique, on pense aux origines de 1897. Avec tout le respect que nous avons pour Rudolph Diesel, les moteurs thermiques sont devenus dans l'entretemps très matures, et plutôt pragmatiques : on obtient le meilleur compromis entre particules et NO<sub>x</sub>, le rendement thermique a doublé en 124 ans d'existence. Il atteint maintenant pour des moteurs de voitures et de camions des valeurs de 47%, sans compter par temps froid la possibilité d'utiliser les rejets thermiques qui augmente alors le rendement de 10 à 15 points.

Ces performances sont le résultat d'innovation technologique importantes : injection directe du combustible, développée comme injection multiple finement modulée, distribution variable, aérodynamique variable et réglage de la turbulence, préparation du mélange, rapport volumétrique variable, électronique massive, suralimentation et downsizing, gestion à bord et alimentation électrique 48V, post traitement, reformulation des carburants. Ces évolutions avaient comme objectifs principal la réduction des émissions polluantes (NO<sub>x</sub>, particules CO, HC...) alors que le CO<sub>2</sub> y était exclu. La combustion fossile devait naturellement produire du CO<sub>2</sub> et de l'eau. Il faut alors rappeler en quelle proportion le CO<sub>2</sub> est formé. Une combustion stœchiométrique d'un carburant carboné produira la même quantité en volume de CO<sub>2</sub> que le volume de carburant multiplié par son nombre d'atome de carbone. En d'autre terme, à quasi iso pouvoir calorifique, le méthane (1 atome de carbone) émettra moins de CO<sub>2</sub> qu'un carburant de type Diesel (10 à 15 atomes de carbone). Il serait donc naturel de basculer vers des carburants moins carbonés, voire dans le meilleur des cas vers ceux qui suivent un cycle de vie vertueux (carbone renouvelable). On pense alors aux biocarburants. Rappelons qu'un

biocarburant, parlons plutôt d'un agro-carburant est un combustible liquide ou gazeux utilisé pour le transport et produit à partir de la biomasse. Ils sont issus de déchets, de lignocellulose ou de microalgues. L'utilisation de biomasse solide (sous forme de poudres) est aussi une piste. Le gisement mondial est assez important et on peut estimer une réduction par 5 voir d'un facteur 10 des émissions de GES. La biomasse pour les carburants, le biogaz et la chimie, permettrait de sortir du tout fossile, de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Un cadre réglementaire stable est nécessaire pour que ces filières naissantes puissent arriver à maturité et tenir leurs promesses. Il est à noter pour conclure sur les carburants qu'un mélange de combustibles, aussi bien renouvelables que non renouvelables, sera nécessaire à moyen terme et l'introduction de l'hydrogène comme carburant est un des constituants extrêmement intéressant. Plus l'électricité est verte, plus l'avantage de l'hydrogène est grand car il permet de stocker économiquement de grandes quantités d'énergie sur des rythmes saisonniers. Son utilisation comme vecteur énergétique demanderait une adaptation de la filière et de nouvelles solutions technologiques. En particulier, les moyens de stockage devront être adapté. La formulation d'un mélange idéal de combustibles pour une utilisation dans un moteur à piston à taux de compression élevé a un fort potentiel (mélange par exemple de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>). Mais aussi son utilisation directe dans une pile à combustible est une piste explorée. Concernant la maturité des systèmes de piles à combustible dédiés au transport routier, des progrès sont encore nécessaires pour passer d'un produit fonctionnel mais de niche à un produit de grande consommation. Plusieurs démonstrateurs ont été testés et plusieurs constructeurs proposent une intégration réussie. Le cout d'une pile à combustible a considérablement diminué. Il est assez proche de l'objectif de coût permettant aux PAC 35€/kW de concurrencer les véhicules à moteur à combustion interne (ICE) cad 25€/kW. L'autonomie (réservoir à 350bars) reste encore limitée et une durée de vie insuffisante (5000h / amélioration significative pour répondre aux spécifications de 8 000 h jugées nécessaires par l'industrie automobile). Enfin, toutes les études d'analyse de cycle de vie conviennent que les étapes de fabrication et d'élimination du couple batteries/ pile à combustible ont des empreintes nettement plus élevées que celles des véhicules à moteur à combustion interne classiques à essence ou Diesel.

## 2. Conclusion

Pour conclure, les nouvelles tendances doivent satisfaire les conditions de transition énergétique dans un cadre de développement durable. L'énergie est au cœur du débat. On ne pourra pas s'affranchir de l'électrification des chaînes de traction thermique, soit en hybride légers ou intégral, ou bien en hybrides rechargeables pour les raisons évoquées de zéro émission au centre des villes.

Les véhicules à motorisation thermique de nouvelle génération s'appuyant sur une formulation de carburants adaptée peuvent atteindre un bilan CO<sub>2</sub> largement équivalent à celui des véhicules électriques. Cela dépend des conditions de production de l'électricité et des conditions de roulage. Les potentiels de réduction de consommation sont importants (véhicules équipés de moteurs thermiques à 2 l/100 km). L'autonomie électrique reste à ce jour encore un challenge. La densité énergétique des carburants liquides offre une disponibilité et une autonomie inégalées à ce jour.

Toutes ces innovations bénéficieront aux véhicules à motorisations hybrides et pourront être amplifiés par une réduction de la demande énergétique par kilomètre parcouru.

Une tendance à la sobriété est souhaitable, véhicules moins lourds, utilisation vertueuse. L'équation de Kaya rappelle de façon évidente mais efficace que les émissions de CO<sub>2</sub> sont au premier ordre facteur de l'intensité énergétique (rapport de la consommation d'énergie au produit intérieur brut, PIB), du niveau de vie (rapport du PIB sur la population), de la qualité de la production énergétique (rapport entre la quantité de CO<sub>2</sub> qu'il faut émettre pour disposer d'une quantité d'énergie donnée) et enfin de la population (représentation du nombre de voiture particulière). De nouvelles règles à tendance liberticide pourraient s'appliquer tant l'urgence de solution est forte (réduction du parc automobile autoritaire imposant un nombre de véhicule par foyer, introduction d'un crédit kilométrique annuel,

taxe carbone) sans parler d'autre solution comme la séquestration de CO<sub>2</sub> qui pourrait permettre un retrapage à une transition soutenable.