

Rapport de veille technologique - Technifutur Campus Francorchamps - Projet PAE

Date de création : 18/06/2020

Rédacteur : Marc NELIS

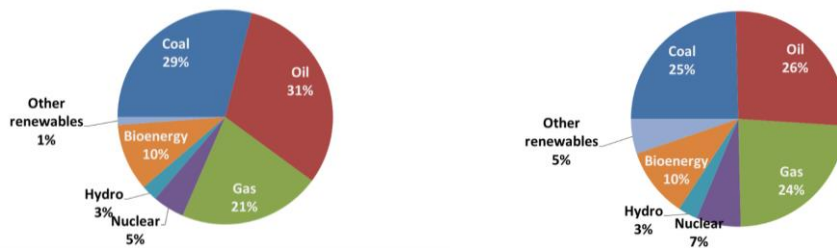
Technologie concernée

Domaine concerné : Carburants alternatifs et motorisations alternatives

Lien avec secteur automobile : Evolution du marché de l'automobile

Contexte

La demande énergétique mondiale est très élevée, de l'ordre de 14 GTep/an en croissance régulière de 1.5% par an [1]. La production est actuellement à 80% issue des énergies fossiles que sont le pétrole (~30%), le gaz naturel (~20%) et le charbon (~30%). Les énergies « bio » sont actuellement imposées à hauteur de 10% dans le transport routier et le renouvelable, en forte augmentation, devrait atteindre 5% à l'horizon 2040. Le nucléaire et l'hydraulique complètent les 100%.



Demande d'énergie globale 2013 et scénario d'évolution 2040 [1]

En tenant compte de cette répartition, on peut affirmer que l'augmentation de la demande énergétique, par ailleurs très élevée, est responsable de la hausse des émissions de CO₂. Le secteur du transport est pointé du doigt car il génère la moitié des importations de produits pétroliers [2]. Il est le second émetteur de gaz à effet de serre juste après la production d'énergie, on estime sa contribution à 25% des 38Gt de CO₂ émises chaque année. A cette problématique fondamentale il faut ajouter celle du pic de production du pétrole et celle des émissions polluantes contrôlées par les normes EURO imposées aux constructeurs [3].

Le secteur du transport doit s'adapter à ces contraintes majeures. Il doit d'abord réduire les émissions de CO₂, ce qui revient à améliorer le rendement de la motorisation (classique, hybride et électrique), utiliser un carburant qui contient moins de carbone (CNG et Hydrogène) ou encore utiliser un carburant issu de la biomasse. Il doit en parallèle être moins dépendant du pétrole en développant des carburants synthétiques à base de ressources de carbone et d'hydrogène. Il convient finalement d'évaluer les émissions de CO₂ de chaque solution par la méthode globale « du puits à la roue » qui est illustrée ci-après [4], chaque émission entre l'extraction et l'utilisateur final étant considérée. On y observe notamment la composante négative de la fraction bio.

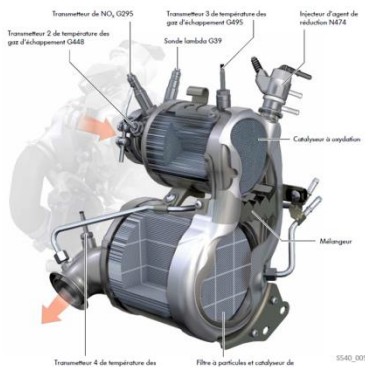


Description

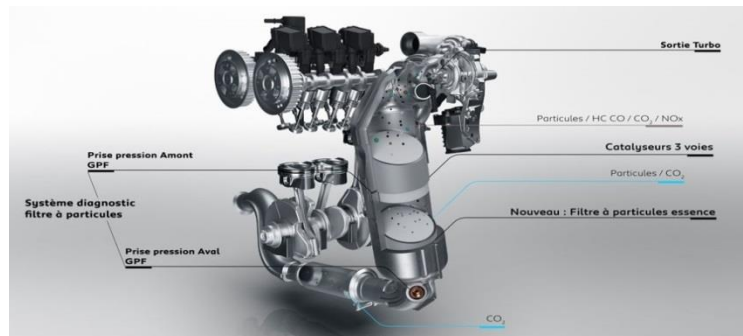
Les solutions possibles de motorisations alternatives sont actuellement les suivantes:

- Maintien du diesel avec système de dépollution efficace
- Moteurs à essence avec amélioration du rendement
- Moteur HCCI avec taux de compression élevé
- Carburants synthétiques
- Carburants issus de la biomasse
- Utilisation du gaz naturel
- Véhicules électriques
- Production de l'hydrogène et utilisation avec une pile à combustible

Le moteur diesel offre un bon rendement grâce à son taux de compression élevé de 20:1. Les technologies utilisées, turbo et injection directe, génèrent des émissions polluantes difficiles à traiter. Un pot d'échappement EURO 6 [5] coûte le même prix que le moteur et le système AdBlue ou SCR coûte la même chose que la boîte de vitesses. Ce moteur restera disponible dans l'avenir si un constructeur décide de continuer à investir dans le système de dépollution.

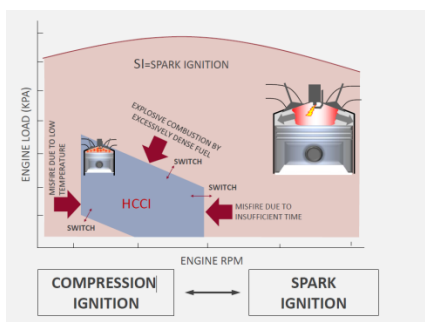


Dépol. Diesel [5]



Dépol. Essence [6]

Le moteur à essence est plus facile à dépolluer mais son rendement est moins bon que celui du diesel car le taux de compression est seulement de 10:1. Il convient alors de l'améliorer par les recettes traditionnelles : injection directe, downsizing, revêtements anti-friction, meilleur mix air-fuel, diagramme de distribution variable, désactivation des cylindres...auquel s'ajoute un système de dépollution par catalyseur 3 voies et filtre à particules [6].



HCCI concept by Mazda [7]

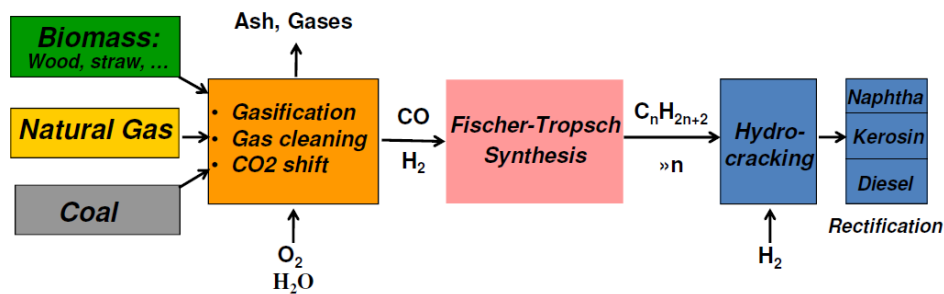


Taux de compression variable [8]

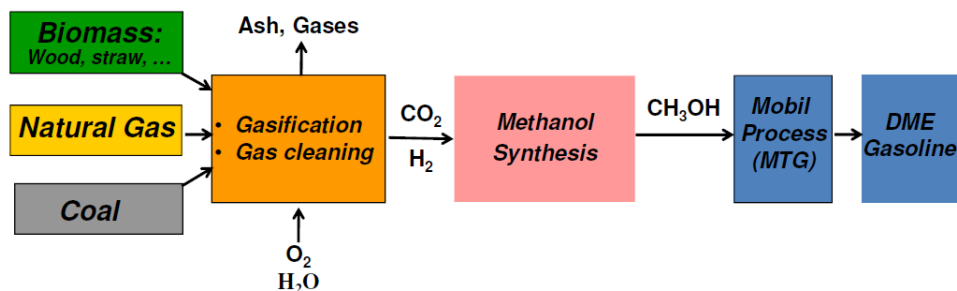
Une solution alternative est de considérer le principe du moteur diesel et de l'appliquer au moteur à essence. Il s'agit dès lors d'envoyer un mélange homogène (pour éviter les particules fines) dans un moteur à haut taux de compression (pour un meilleur rendement) et d'obtenir l'allumage par compression (pour une combustion rapide). Ce moteur amélioré appelé HCCI est développé principalement par Mazda qui commercialise une version avec bougie d'allumage [7]. Le mode de

fonctionnement HCCI n'est utilisé que pour les faibles régimes et faibles charges et toujours en mélange pauvre. Suivant une logique proche, Nissan (Infinity) développe un embiellage à taux de compression variable [8].

Si les moteurs évoluent c'est parce que le carburant liquide n'a pas encore d'équivalent en terme de stockage d'énergie. Comme ceux issus du pétrole pourraient devenir rares et chers, on réduit leur consommation en produisant des carburants synthétiques à base de ressources en carbone et en hydrogène. Pour rappel, la production de carburants à partir de pétrole consiste à cracker, littéralement casser une longue chaîne en molécules plus petites. Produire un carburant synthétique consiste à faire l'inverse, produire une petite molécule que l'on combine ensuite en chaînes plus longues. Il y aura donc deux étapes de production schématisées ci-après [9] pour deux procédés proches, le premier synthétise du diesel et le second de l'essence. Le rendement du procédé est d'environ 60% quand on part de gaz naturel et de 40% lorsqu'il faut un prétraitement d'une ressource solide.



Synthèse du diesel par gazéification suivi d'une réaction Fischer-Tropsch



Synthèse de l'essence par synthèse du méthanol suivi du procédé MTG

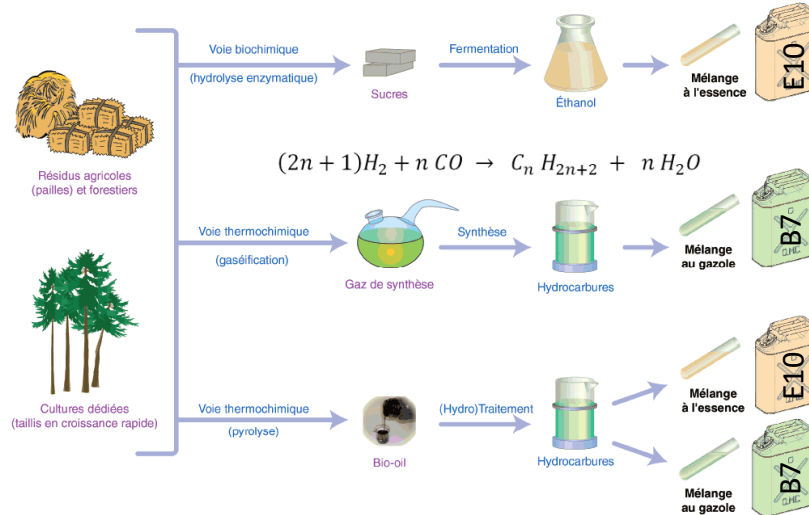
Ces procédés consistent premièrement à produire du gaz valorisable, soit du CO appelé Syngas ou du CO₂, une seconde réaction chimique impliquant de l'hydrogène vient transformer le gaz en hydrocarbure qui sera ensuite affiné en produit fini. Les industriels appliquent déjà ces procédés [10][11][12].



Installation pilote de recherche sur le méthanol synthétique au Fraunhofer ISE (Audi e-benzin) [10]

Les bio-carburants procèdent de la même logique, ils offrent en plus l'avantage de provenir d'une ressource renouvelable qui a consommé du CO₂ lors de la croissance, ce qui améliore le bilan d'un

véhicule qui utilise ce carburant. La politique actuelle est de favoriser le mélange de 10% à la pompe appelé E10 plutôt que l'utilisation du spécifique E85. C'est la même chose avec le biodiesel mélangé à 7% au diesel et appelé B7. Les filières de production de première génération étaient basées sur des ressources alimentaires et produisaient de l'alcool par fermentation et du diesel par estérification d'huile végétale. Elles ont fait place aux filières plus technologiques de seconde génération [13] proches des procédés utilisés pour les carburants synthétiques. On peut finalement ajouter à notre liste les carburants de 3^{ème} génération issus de cultures d'algues [14].



Nous avons jusqu'ici introduit des carburants qui fonctionnent tous avec un moteur à combustion, principale justification des développements présentés au début. Il en sera encore de même avec le carburant gaz naturel, à ne pas confondre avec le LPG. Ce carburant gazeux est stocké sous une pression de 200 bars [15] ou sous forme liquide à -161°C dans un réservoir thermos. La première technologie est embarquée sur les voitures et les bus, la seconde sur les camions. Ce carburant est vendu à la pompe en kg et non en litres. Les réservoirs du véhicule sont équipés de systèmes de sécurité qui rendent le véhicule aussi sécurisé qu'un véhicule essence ou diesel. Le fonctionnement du système est simple, le gaz sous haute pression est amené dans un détendeur qui alimente ensuite des injecteurs à une pression de 4 à 6 bars [16], comme illustré par la photo ci-après. Le pouvoir calorifique du gaz étant proche de celui de l'essence, on s'attendra à consommer environ 5 kg/100km avec une voiture moyenne.



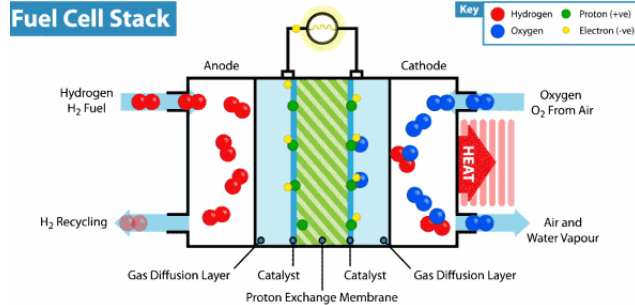
Moteur essence adapté au CNG



Réservoir de CNG [15]

On introduira finalement un saut technologique avec les véhicules électriques. Ceux-ci feront partie d'un sujet de veille séparé mais disons simplement qu'il s'agit d'une motorisation composée d'une batterie DC qui alimente un onduleur DC/AC qui lui-même alimente un moteur électrique AC, soient au total 3 composants majeurs. D'une grande simplicité apparente cette motorisation se complique par la gestion thermique de la batterie et par le système de recharge.

Une alternative à cette solution est le véhicule hydrogène à pile à combustible (PAC). Dans ce cas, l'hydrogène est stocké à bord du véhicule et transformé en électricité par une PAC dont le principe de fonctionnement est rappelé ci-après [17] tout comme la fabrication est détaillée dans la vidéo [18]. Prenons le cas d'une PEM, l'hydrogène est décomposé en électron et proton, le proton traverse la membrane tandis que l'électron alimente notre circuit extérieur. Nos ions se retrouvent ensuite du côté oxygène où ils vont réagir pour former de l'eau.



Principe de fonctionnement PEM [17]



Fabrication d'une PEMFC [18]

La pile à combustible n'étant pas réversible, les véhicules seront toujours hybrides et embarqueront également une batterie. Suivant l'architecture choisie par le constructeur, la batterie sera de faible capacité et l'hydrogène sera la seule source d'énergie à renouveler, on fera le plein à la station, ou il choisira d'équiper une voiture électrique d'un prolongateur d'autonomie à PAC hydrogène.

Les solutions futures sont donc nombreuses et prometteuses.



Sources d'information

- [1] <https://www.iea.org/topics/world-energy-outlook>
- [2] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Oil_and_petroleum_products_-_a_statistical_overview
- [3] <https://www.guillaumedarding.fr/categories/reglementation.html>
- [4] https://www.febiac.be/documents_febiac/publications/guide_co2_FR.pdf
- [5] <https://www.guillaumedarding.fr/dossier-systemes-de-depollution-des-moteurs-diesel-4566921.html>
- [6] <https://www.avem.fr/actualite-les-filtres-a-particules-arrivent-sur-les-moteurs-a-essence-6531.html>
- [7] Next generation gasoline engine, Christian Schultze, Mazda Motor Europe
- [8] <https://www.youtube.com/watch?v=A6H66xfEZC4>
- [9] Alternative fuels, Heinz Hass, course in automotive engineering, ULiege, 2019
- [10] <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2020/>
- [11] <https://www.audi-mediacycenter.com/en/audi-e-fuels-243>
- [12] <https://www.youtube.com/watch?v=PBtgQU8Gvqk>
- [13] <http://www.biocarburants.be/agrocarburant.html>
- [14] <https://lenergeek.com/2017/09/14/petrole-synthetique-micro-algues-photosensibles/>
- [15] <https://ullit.com/>
- [16] CBT training CNG, Mercedes (<https://cbtonline.biz/einloggen.php>) payant!
- [17] www.nexgenacademy.org/
- [18] <https://www.youtube.com/watch?v=LDwS31OE7ak>