

Les moteurs hybrides pour les véhicules automobiles :  
Différentes architectures ? Pour quelles fonctionnalités  
et pour quels avantages ?



**Etudiants :**

**Basma AFIFI**

**Antoine LE RÉTIF**

**Dhia STAMBOULI**

**Quentin LENGLET**

**Tiphaine QUERREC**

**Iason TSETOGLOU**

**Enseignant-responsable du projet :**

**Dany VANDROMME**



Date de remise du rapport : **15/06/2015**

Référence du projet : **STPI/P6/2015-025**

Intitulé du projet : ***Les moteurs hybrides pour les véhicules automobiles : Différentes architectures ? Pour quelles fonctionnalités et pour quels avantages ?***

Type de projet : ***Bibliographique, calcul***

Objectifs du projet :

- ***Faire un état de l'art du dossier***
- ***Étudier la viabilité des véhicules hybridés***
- ***Approfondir les recherches du côté des solutions futures***

Mots-clefs du projet : ***hybride – moteur – environnement– transition énergétique***

# TABLE DES MATIERES

1.	INTRODUCTION .....	6
2.	METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL .....	7
3.	TRAVAIL REALISE ET RESULTATS.....	8
3.1.	La motorisation hybride : une réponse à des problématiques variées.....	8
3.1.1.	A l'origine un défi environnemental.....	8
3.1.2.	Qui se transforme en enjeu économique majeur .....	9
3.1.3	Une innovation de plus en plus réglementée et politisée .....	12
3.2.	Fonctionnement des voitures hybrides.....	14
3.2.1.	Les différents types d'hybridation.....	14
3.2.1.1.	Start & Stop .....	15
3.2.1.2.	Mild-hybrid .....	15
3.2.1.3.	Full-hybrid.....	16
3.2.1.4.	Plug-in-hybrid .....	16
3.2.1.5.	Hybrid Synergy drive ou propulsion hybride à synergie (HSD) .....	17
3.2.2.	Les différents types de montages .....	17
3.2.2.1.	Le montage série .....	17
3.2.2.2.	Le montage en parallèle .....	18
3.2.2.3.	Le montage série-parallèle .....	19
3.2.2.4.	Le montage « hybride complexe ou à dérivation de puissances ».....	19
3.2.3.	Avantages/inconvénients .....	20
3.3.	L'avenir des véhicules hybrides.....	21
3.3.1.	La technologie hybride est-elle viable à long terme ?.....	21
3.3.1.1.	Rentabilité pour l'acheteur : économies de carburant et prix à l'achat .....	21
3.3.1.2.	Les batteries : un élément vital pour la technologie hybride.....	23
3.3.2.	Quel type de motorisation hybride à privilégier ? .....	25
3.3.3.	De nouvelles technologies pour les véhicules de demain.....	26
3.3.3.1.	Une peinture de carrosserie générant de l'énergie .....	26
3.3.3.2.	Le moteur à hydrogène .....	26
3.3.3.3.	L'hybride du futur ? .....	27
3.3.3.4.	L'électrique : peut-être la solution ? .....	28
3.3.3.5.	Les nouvelles générations de batteries.....	30
3.3.4.	En résumé.....	30
4.	CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	31

Conclusion sur le travail réalisé.....	31
Conclusion sur l'apport personnel de cet E.C projet.....	32
Perspectives pour la poursuite de ce projet .....	36
5. BIBLIOGRAPHIE.....	37
6. TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	40
7. ANNEXES.....	42
7.1. Questionnaire ayant servis pour les entretiens téléphoniques .....	42
7.2. Compte rendu de l'entretien téléphonique avec Monsieur Frédéric Delrieu ingénieur chez Renault .....	45
7.3. Compte-rendu de l'entretien téléphonique avec Benjamin Chauffert commercial chez EDF.....	46

## 1. INTRODUCTION

Dans le cadre de notre formation d'ingénieur à l'INSA de Rouen, chaque élève est amené à réaliser un projet de physique au second semestre de sa deuxième année. En comparaison, avec le projet informatique et le projet mathématiques, accomplis au semestre précédent, les élèves ne choisissent pas les personnes avec qui ils vont effectuer ce travail. Toutefois, les objectifs restent les mêmes : permettre aux étudiants d'appréhender la gestion d'un projet, ainsi que le travail en groupe en autonomie : trois concepts clés pour notre futur métier d'ingénieur. De plus, il permet à chaque étudiant d'acquérir des notions précises à propos d'une problématique physique plus ou moins connue des élèves au commencement du projet.

Parmi les nombreux sujets qui nous ont été présentés, nous avons choisi celui concernant les véhicules hybrides dans lequel il nous était proposé de réfléchir sur les différentes architectures de leurs moteurs en analysant leurs avantages et leurs inconvénients. Par ailleurs, il nous a semblé très intéressant d'étudier un sujet dont l'envergure aura peut-être une conséquence notable dans le futur. De fait, à l'heure de la transition énergétique, il est devenu presque urgent de trouver une alternative saine aux moteurs dits thermiques. En effet, la prochaine conférence sur le climat (COP21) qui aura lieu en France, à Paris, du 30 novembre 2015 au 15 décembre 2015, prévoit essentiellement de concentrer ses forces sur la diminution des gaz à effet de serre contribuant au réchauffement climatique, dont une grande majorité est toute droite issue des véhicules thermiques. En particulier, cette conférence veut aboutir à un accord international capital sur le climat : contenir le réchauffement en dessous de 2°C. Ainsi, la motorisation hybride est et sera probablement l'une des étapes transitoires mais essentielles conduisant vers des véhicules totalement propres et respectueux de l'environnement (« véhicules verts »).

Néanmoins, un tel objectif environnemental n'est pas sans conséquence sur les autres activités humaines. En effet, le projet des voitures hybrides implique directement la notion de transition énergétique. De cette façon, un problème à l'apparence singulière prend alors une tout autre dimension lorsque l'on s'intéresse aux acteurs liés directement ou non aux activités qui en découlent. C'est pourquoi, derrière tous les aspects techniques dont regorge ce sujet il nous a paru formateur de nous pencher sur le marché parallèle qui subsiste au-delà. En outre, il est à noter que nous devons immanquablement relier ce sujet à la politique et à l'économie qui en découle.

Pour vous présenter au mieux l'aboutissement de notre projet (basé sur des recherches documentaires, leurs analyses et leurs critiques), nous avons décidé de décliner ce rapport en trois grandes parties. Dans un premier temps, nous aborderons les raisons ayant poussé les constructeurs automobiles à innover dans le domaine de la technologie hybride. Puis, dans une seconde partie nous mettrons l'accent sur le côté physico-technique du projet en abordant le fonctionnement des différents types d'hybridation. Enfin, nous analyserons la viabilité d'un tel projet.

Une partie de notre argumentation se basera sur des témoignages recueillis auprès de différents groupes que nous mentionnerons plus précisément par la suite.

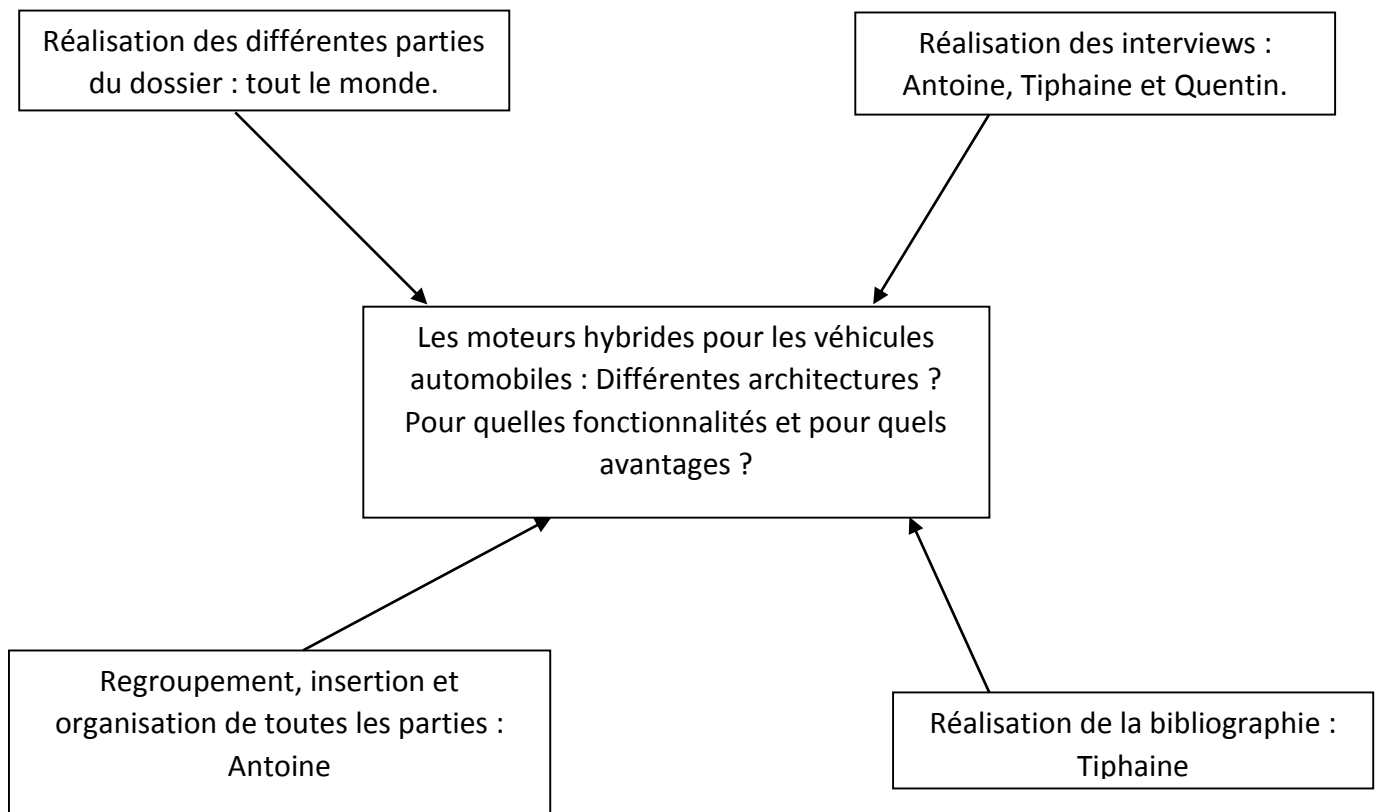


## 2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Au début de notre projet, nous avons décidé dans un premier temps, de faire chacun des recherches générales sur la motorisation hybride. Puis, dans un second temps, lors de la deuxième séance de projet, nous avons élaboré un plan afin d’attribuer les parties que chacun devait rédiger de son côté.

Pour communiquer à l’extérieur des créneaux horaires réservés à l’E.C, nous avons créé un groupe sur un réseau social afin de faire état de l’avancement de chacun. De plus, grâce à cet outil, il fut plus aisé d’échanger et de partager les documents trouvés et produits par chacun. Puis, pour plus d’organisation nous avons fait différentes versions du rapport pour se retrouver dans l’ordre d’édition de chacun d’entre eux.

Enfin, pour ce qui est de la rédaction des différentes parties du dossier, nous avons préféré privilégier une rédaction en dehors des séances hebdomadaires pour garder les plages horaires du projet à une mise en commun du travail réalisé.



### 3. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

#### 3.1. La motorisation hybride : une réponse à des problématiques variées

La conjoncture actuelle impose une remise en question de notre manière de nous déplacer et de consommer. En effet, l'écologie est aujourd'hui devenue incontournable lorsque l'on parle de développement de l'industrie automobile. Par ailleurs, l'appauvrissement des sols en métaux rares et pétrole exige d'élaborer des technologies alternatives. Ainsi, les constructeurs automobiles rivalisent d'idées plus ingénieuses les unes que les autres afin de trouver celle qui s'imposera à l'avenir.

##### 3.1.1. A l'origine un défi environnemental<sup>1</sup>

A première vue, les véhicules hybrides ont pour objectif principal la diminution des GES (gaz à effet de serre).

De fait, les véhicules thermiques en circulation aujourd'hui représentent une large part des émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère terrestre. De plus, les GES contribuent très fortement au réchauffement climatique qui est un ennemi majeur du XXI<sup>ème</sup> siècle. Par ailleurs, cette pollution constitue également un véritable défi de santé publique. Les chiffres parlent d'eux-mêmes : d'après L'EXPRESS, la pollution tue chaque année 7 millions de personnes dans le monde, soit un million de plus que le tabac. Pour mieux se rendre compte de l'ampleur de la situation, cela représente environ un dixième de la population française. Ainsi, on comprend rapidement que les particules fines émises par les véhicules diesels sont devenues un danger pour notre quotidien. Elles représentent en effet un véritable problème de santé publique. Elles sont même devenues l'ennemie numéro un des grandes métropoles. Paris est l'un des exemples les plus frappants de ces dernières années. De fait, depuis le début de l'année 2015, Paris a connu d'importants pics de pollution notamment dus aux particules fines de types PM10 (particules en suspension dans l'air dont le diamètre est inférieur à 10 micromètres). La Start Up française Plume Labs a même classé Paris comme étant la ville la plus polluée du monde le 18 mars 2015. Néanmoins, ce classement a été remis en question depuis car il ne prend pas en compte certaines villes d'Asie. Toutefois, cette étude a montré que Paris était alors plus polluée aux particules fines que Shanghai, Londres et New Delhi.



1-Mercredi 18 mars Crédit Reuters

<sup>1</sup> [http://www.lepoint.fr/automobile/innovations/voitures-hybrides-comment-ca-marche-09-05-2012-1459821\\_652.php](http://www.lepoint.fr/automobile/innovations/voitures-hybrides-comment-ca-marche-09-05-2012-1459821_652.php)



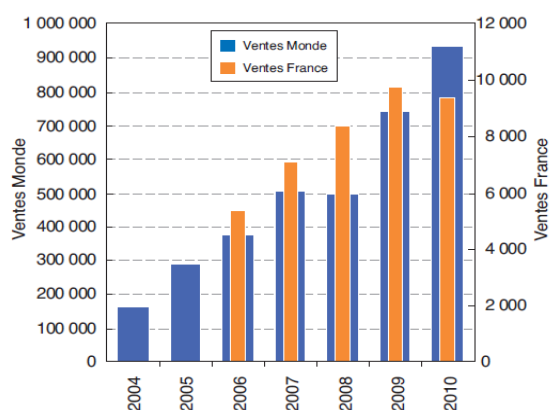


### 3.1.2. Qui se transforme en enjeu économique majeur

Si à l'origine les véhicules hybrides ont été conçus pour répondre à des enjeux environnementaux, aujourd'hui s'y mêlent des enjeux économiques extrêmement importants. En effet le milliard de voitures dans le monde a été atteint en 2010 et les ventes de voiture ne cessent d'augmenter du fait d'une demande importante dans les pays émergents notamment la Chine.

Le parc automobile français comptait au premier janvier 2013, 38 138 000 véhicules soit une augmentation de 0.2% par rapport à 2012. Presque 83% des ménages possèdent un véhicule en France contre 77% en 1990 et 30% possèdent même deux véhicules.

Devant ces chiffres, on comprend l'importance des enjeux économiques qui résident derrière les possibilités qu'offre un tel marché. Comme l'explique le ministère du développement durable sur son site : « Le développement des véhicules électriques et hybrides rechargeables constitue donc une double opportunité : il contribue tout autant à la lutte contre le changement climatique qu'à la restructuration d'un secteur aujourd'hui en crise.<sup>2</sup> » Le ministère prévoit 27% de véhicules décarbonés (hybrides, électriques) en 2025.



2-Les véhicules hybrides vendus dans le monde et en France de 2004 à 2010

En France les débuts des véhicules hybrides en 2011 ont été assez timides mais les ventes ont ensuite progressé avec une augmentation de 60% entre 2012 et 2013 avec plus de 45 000 véhicules hybrides vendus en 2013 soit 2.5% des ventes de véhicules particuliers<sup>3</sup>.

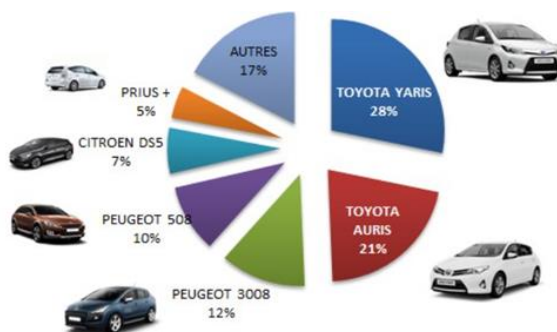
Le premier constructeur de véhicules hybrides est Toyota (60% des parts de marché en 2013), il lui aura fallu 10 ans pour écouler le premier million d'hybrides contre seulement 21 mois pour passer de 2 millions à 3 millions de véhicules vendus, signe que les ventes, malgré un début difficile, progressent à présent de façon régulière.

Le marché s'accroît au niveau des ventes mais également au niveau des modèles proposés de plus en plus nombreux. Les modèles d'entrée de gamme restent les plus vendus comme la Toyota Yaris et Auris qui à elles seules accaparent presque la moitié du marché.

<sup>2</sup> <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-enjeux-du-developpement-des.html>

<sup>3</sup> <http://www.avem.fr/actualite-voitures-hybrides-le-marche-francais-en-hausse-de-60-en-2013-4716.html>





3-Ventes de voitures hybrides en France en 2013-Répartition par modèles

Nous allons à présent nous intéresser de plus près aux stratégies économiques développées par les constructeurs et notamment celle du groupe Toyota.

Lors du mondial de l'automobile 2012, le vice-président du groupe Toyota Karl Schlicht déclarait devant la presse : « La philosophie de l'entreprise a été de développer, dès les années 90, des véhicules hybrides, alors que personne n'y croyait. Pour nous, il s'agit de la technologie du futur d'un point de vue marché de masse. C'est pourquoi nous nous focalisons toujours sur l'hybride, l'hybride « plug-in » et, dans le futur, l'hybride « fuel-cell<sup>4</sup> ». En effet la technologie hybride est celle qui actuellement semble apte à toucher le plus large marché. Dans l'esprit du grand public, il s'agit d'un bon intermédiaire entre le tout électrique face auquel les clients potentiels sont encore réticents du fait de son autonomie limitée et les véhicules thermiques classiques. La stratégie hybride de Toyota repose aussi sur le constat que la concurrence intense sur le marché des véhicules thermiques est beaucoup moins rude sur le marché encore hésitant des hybrides. En se posant comme leader incontesté de ce secteur, Toyota se réserve en quelque sorte un marché prometteur et prend de l'avance technologiquement face à ses concurrents.

Lors d'une interview accordée au Monde Economique en 2014, Johan Verbois directeur des ventes en Europe déclarait : « Pour les modèles Toyota, notre part de ventes est supérieure à 20 % en hybride, et nous nous fixons un objectif de 50 % d'hybrides pour 2015<sup>5</sup> ».

Un autre argument qui a poussé Toyota à investir dans l'hybride est la volonté politique de privilégier des véhicules « propres ». Depuis quelques années maintenant, une législation de plus en plus importante se met en place, obligeant particuliers, entreprises et États à mettre en place des mesures contre la pollution liée aux véhicules thermiques. Ainsi certaines villes européennes dans le cadre des « Agenda 21<sup>6</sup> » ou pour satisfaire une politique environnementale mettent en place des lignes de bus électriques ou hybrides qui

<sup>4</sup> [http://www.lemonde.fr/les-nouveautes-du-mondial-2012/article/2012/10/03/toyota-privilegie-l-hybride-au-tout-electrique\\_1769124\\_1765751.html](http://www.lemonde.fr/les-nouveautes-du-mondial-2012/article/2012/10/03/toyota-privilegie-l-hybride-au-tout-electrique_1769124_1765751.html)

<sup>5</sup> [http://www.lemonde.fr/economie/article/2014/04/08/johan-verbois-toyota-nous-nous-fixons-un-objectif-de-50-d-hybrides-pour-2015\\_4395817\\_3234.html](http://www.lemonde.fr/economie/article/2014/04/08/johan-verbois-toyota-nous-nous-fixons-un-objectif-de-50-d-hybrides-pour-2015_4395817_3234.html)

<sup>6</sup> plan d'action pour le XXI<sup>e</sup> siècle. Adopté par 173 chefs d'État lors du sommet de la Terre, à Rio de Janeiro, en 1992.

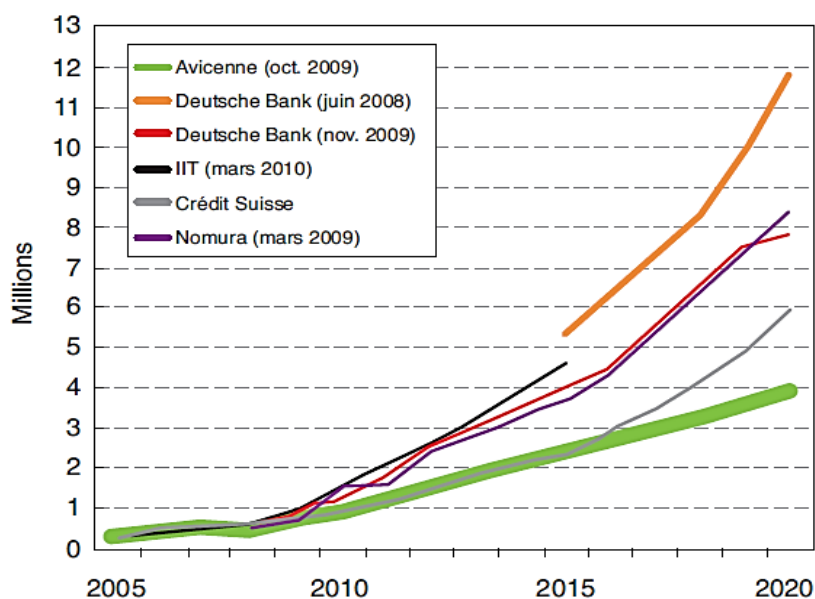


permettent aux constructeurs de vendre ce type de véhicules en quantité assez importante. Ainsi la ville de Göteborg en Suède a mis en place un réseau expérimental de bus hybrides rechargeables baptisés Volvo 7700 en partenariat avec Volvo. Équipés d'un système de recharge rapide (6 à 8 min), ils permettraient selon le constructeur de réduire de 75 % les rejets de CO2 et également de réduire les nuisances sonores en ville<sup>7</sup>. Cet exemple n'est pas isolé puisqu'il s'inscrit dans le cadre du projet Hyperbus, porté et donc financé en partie par l'Union Européenne à travers le programme life+ dont le budget s'élève à 3,4 milliard d'euros depuis 1992.

Par ailleurs, Toyota a su s'imposer en tant que leader sur le marché de l'hybride car ses principaux marchés se trouvent en Amérique du Nord et au Japon. Or, dans ces deux régions du globe, les voitures utilisées ont une cylindrée en moyenne supérieure à celle des véhicules utilisés en Europe. Or, les véhicules hybrides ne sont pour l'instant rentables économiquement pour l'utilisateur, que sur des voitures dont la cylindrée est importante. Ainsi, on comprend aisément pourquoi Toyota a su s'imposer en maître sur le marché de l'hybride.

Dans le même temps, Renault dans le cadre de sa stratégie commerciale a préféré quant à lui miser sur les voitures toutes électriques. De fait, l'un des principaux marchés de Renault se trouve en Europe. Les voitures utilisées dans cette région sont de cylindrées moyennes. Or, pour pouvoir escompter un gain réel pour le consommateur il est nécessaire d'utiliser la technologie électrique qui est pour son PDG Carlos Ghosn, la solution du futur.

Néanmoins, pour revenir à l'hybride, les perspectives de vente dans les années à venir restent assez incertaines et très différentes d'un organisme d'étude à un autre. Cependant elles s'accordent toutes sur un accroissement assez élevé du nombre d'immatriculations dans les années à venir. Le graphique suivant résume les principales études menées à ce jour jusqu'en 2020.



4-Scénarios de ventes de véhicules hybrides dans le monde 2010-2020

<sup>7</sup> <http://www.avem.fr/actualite-bus-hybrides-charge-rapide-volvo-dresse-un-nouveau-bilan-positif-de-l-experimentation-de-goteborg-4964.html>



L'utilisation de véhicules hybrides devient également un argument de vente pour certaines enseignes. Carrefour a mis en circulation depuis 2011 quelques camions de livraison hybrides en île de France et Simply Market<sup>8</sup> a suivi le mouvement en 2013 avec 2 camions de 19 et 26 tonnes équipés de la technologie hybride. Vu le nombre dérisoire de camions hybrides, ces mesures sont avant tout des coups marketing qui permettent à ces enseignes de la grande distribution de se faire de la publicité et de véhiculer une image novatrice, dans l'air du temps.

#### LA RÉVOLUTION ÉCO-DURABLE DES TRANSPORTS

Les innovations sur les camions :

- 1 Le premier camion 100% électrique a été lancé en 2011, c'est une première en France pour ce format de camion : pas d'émission de CO<sub>2</sub> lors de l'utilisation et 100% silencieux.
- 2 Carrefour a lancé des tests avec 6 camions hybrides, électriques et diesel. Ils génèrent 10% de gaz à effet de serre en moins qu'un camion traditionnel.
- 3 Carrefour possède 150 camions silencieux qui livrent 300 magasins citadins. Ils génèrent moins de nuisances sonores, moins de pollutions et moins d'engorgements routiers.



*5-Promotion de la politique environnementale de Carrefour*

### 3.1.3 Une innovation de plus en plus réglementée et politisée

#### ➤ En France :<sup>9</sup>

La pollution par les particules fines ne cesse d'augmenter. Récemment, les pics de pollution se sont multipliés à Paris ; d'après les données de France Nature Environnement, les particules fines sont responsables de la mort de 42 000 personnes en moyenne par an. Pour faire face à ce problème, la France applique à Paris et de façon ponctuelle, la circulation alternée, mais cette solution reste limitée. Une autre solution approuvée par la majorité de la population française est l'utilisation des véhicules propres. C'est pour cette raison que la France essaie de manière active de promouvoir ces derniers (électriques ou bien hybrides) et d'encourager leur achat. Depuis le Grenelle de l'environnement de 2007, un système de bonus-malus a été mis en place. En effet, ce système permet de favoriser l'augmentation du nombre de véhicules propres et en même temps la mise en destruction des anciennes voitures polluantes<sup>10</sup>.

#### • Bonus :

Le bonus est une aide financière aux consommateurs qui possèdent des véhicules propres. Depuis le début de l'année 2015, le bonus n'est plus applicable aux voitures thermiques émettant plus de 60 grammes de CO<sub>2</sub> par kilomètre. Pour les voitures hybrides (gaz-électrique/ essence-électrique/ diesel-électrique) émettant entre 61 et 110 grammes de CO<sub>2</sub> par kilomètre le bonus est réduit à 2 000 €. Cependant, l'achat des autres véhicules hybrides rechargeables, ainsi que des voitures électriques, est accompagné d'un bonus qui peut atteindre les 6300 € au maximum. Ce montant diffère pour les deux catégories de voitures et il dépend aussi du taux d'émission de CO<sub>2</sub> du véhicule. De plus, le Grenelle a permis de mettre en place dès le 1<sup>er</sup> avril 2015 une prime pour ceux qui veulent détruire leur

<sup>8</sup> <http://www.lsa-conso.fr/simply-market-se-dote-de-deux-camions-hybrides,142145>

<sup>9</sup> [http://www.metronews.fr/info/pic-de-pollution-enfants-personnes-agees-sportifs-queelles-sont-les-precautions-a-prendre/mocr!c01fcEZA0HVxQ/\(valide à la date du 07/05/15\)](http://www.metronews.fr/info/pic-de-pollution-enfants-personnes-agees-sportifs-queelles-sont-les-precautions-a-prendre/mocr!c01fcEZA0HVxQ/(valide à la date du 07/05/15))

<sup>10</sup> <http://www.economie.gouv.fr/cedef/bonus-malus-vehicule-neuf>



ancienne voiture afin d'acheter un véhicule propre. Cette prime va s'ajouter au bonus qui existe déjà.

Pour continuer, les propriétaires de voitures hybrides rechargeables pourront bénéficier d'un bonus de 4 000 € ainsi que la prime de conversion qui est de 2 500 €, l'aide financière totale atteindra alors les 6 500 €. Quant aux voitures électriques le bonus maximal est de 6 300 € et la prime est de 3 700 €, ainsi l'aide totale peut atteindre 10 000 €.

En revanche, il y a certains critères d'éligibilité qui sont requis pour pouvoir bénéficier de la prime de conversion. Premièrement, il faut mettre à la casse une voiture diesel de plus de 13 ans (mise en circulation avant le 1er janvier 2001). Puis, les acheteurs doivent habiter dans une zone urbaine que le Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) couvre.

- Malus :

Le malus prend la forme d'une taxe, chaque voiture qui dépasse le taux fixé d'émission de CO<sub>2</sub> se voit attribuée une taxe correspondante perçue sur son certificat d'immatriculation. Celle-ci dépend des émissions de chaque voiture. En 2014, le montant à payer variait entre 150 et 8 000 €. Néanmoins, les familles nombreuses peuvent demander un remboursement s'ils répondent à certaines conditions<sup>11</sup>. Par ailleurs, une taxe de 160 € annuelle est imposée pour les véhicules les plus polluants<sup>12</sup>.

- Au Pays-Bas :

Les Pays-Bas rédigent des lois spéciales concernant les bonus attribués aux véhicules propres. Plus particulièrement, les véhicules électriques sont exemptés de la vignette automobile (impôt annuel sur les véhicules en circulation) et les véhicules hybrides bénéficient des bonus sous forme d'une réduction des taxes. Ce bonus dépend de l'efficacité énergétique de la voiture, le bonus peut atteindre les 5 000 €.

Les voitures louées bénéficient d'un statut particulier. En effet, 20 % du prix de la voiture est ajouté à l'impôt sur le revenu. Pour les véhicules électriques ce montant est réduit à 0 % et pour les hybrides à 14% (cette loi sera valable jusqu'en 2018).

- En Espagne :

En 2010, le gouvernement espagnol a introduit un plan de financement des véhicules propres en donnant des bonus. Ces bonus sont applicables sur le domaine privé et le domaine public. Pour les hybrides qui émettent moins de 110g de CO<sub>2</sub> par kilomètre et qui possèdent un système anti-patinage purement électrique, le bonus peut atteindre 2 300 € (et seulement 2 000 € pour ceux qui n'ont pas un tel système). Pour les voitures hybrides

---

<sup>11</sup><http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000025075049&cidTexte=LEGITEXT000006069577>

<sup>12</sup> <http://www.ieahev.org/by-country/>



rechargeables avec une ‘distance électrique’ (durée de la batterie mesurée en distance) supérieure à 20 kilomètres, le bonus maximal est de 7 000€. Pour les bus et les camions propres, le bonus peut atteindre 15 % de leur prix, mais avec un maximum de 50 000€.

### 3.2. Fonctionnement des voitures hybrides

De nos jours, la majorité des constructeurs se lancent dans la voiture hybride symbole d’un environnement futur propre. En effet, l’hybride est une technologie associant un moteur thermique (Classique : Diesel, Essence ou gaz naturel) à un autre moteur électrique afin d’assurer la propulsion d’un véhicule. Autrement dit, tout véhicule hybride dispose, en plus de sa source d’énergie primaire, d’un stockage réversible d’énergie sous une autre forme (l’énergie hydraulique avec réserve de pression, ou encore cinétique). Le principe de cette motorisation est de faire fonctionner ces deux moteurs à tour de rôle ou simultanément selon les besoins de la conduite. On a ainsi une voiture qui recourt au carburant et à l’électricité pour se déplacer.

L’objectif est de cumuler les avantages des deux modes de motorisation. Sur les véhicules hybrides actuels, la source principale d’énergie est le moteur thermique. L’adjonction d’un moteur électrique et d’une puissante batterie permet d’optimiser le fonctionnement du moteur thermique ou de le remplacer momentanément et donc de réduire la consommation et les émissions. Dans les voitures hybrides, le moteur thermique garde une prise directe sur la transmission, le moteur électrique vient aider la mécanique voire prendre la motricité en charge (dans le cas du full hybride) ou récupérer l’énergie dissipée lors des phases de freinage ou de décélération offrant ainsi plusieurs types de fonctionnement. Pour ce faire, plusieurs types de montages et technologies existent.

#### 3.2.1. Les différents types d’hybridation

On peut distinguer différents types de voitures hybrides en fonction de l’importance de leur système électrique. On retiendra les différents niveaux d’hybridation du soft au full, couramment dénommés par leur terminologie anglo-saxonne :

- Start & Stop
- Mild-hybrid
- Full-hybrid
- Plug-in-hybrid

Tableau: hiérarchie des différents types d’hybrides proposés par l’IFPEN (Institut Français du Pétrole et des Energies Nouvelles)

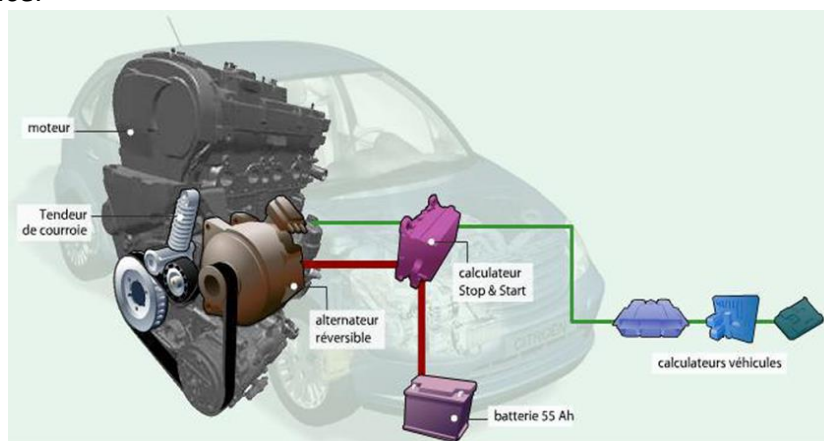
Type d'hybride	Fonctions	Puissance	Gain en co2
Start & Stop	a-arrêt du moteur au ralenti	2 kW	8 %
Mild-Hybrid	a+b-downsizing moteur thermique, assistance accélération et freinage récupératif	10 kW	30 %
Full-hybride	a+b+c-mode électrique	30 kW	45 %
Plug-in-hybrid	a+b+c+d-prise extérieur pour recharger la batterie	30 kW	45 %



### 3.2.1.1. Start & Stop

La première solution Micro Hybride correspond au niveau le plus faible d'hybridation. Il s'agit d'un système réversible équipé d'un alterno-démarrreur (Stop&Start) qui coupe le moteur lors d'un arrêt et le réactive automatiquement dès le démarrage. Ce dispositif permet d'économiser entre 6 et 15 % de carburant (8 g de CO<sub>2</sub> /km en moyenne). Les polluants notamment dus au CO<sub>2</sub> et aux gaz d'échappement sont particulièrement émis lors des multiples arrêts et redémarrages dans la circulation urbaine (feu tricolore, embouteillage, etc..).

Citroën avait fait une première expérience de ce type avec le « Dynavolt » en 1998 sur la Xsara, mais ce n'est qu'en 2004 que le système fut commercialisé sur la Citroën C3, avec une motorisation à essence.



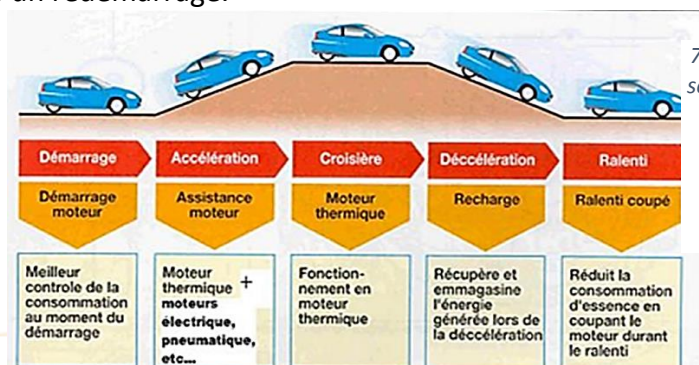
6- Les différents composants du système Start & Stop de la Citroën c3

### 3.2.1.2. Mild-hybrid

Le second niveau correspond au semi hybride il a les mêmes fonctionnalités que le système start and stop avec en plus la possibilité de récupérer l'énergie cinétique déployé lors du freinage.

Le moteur électrique joue donc le rôle de générateur. Cette énergie est stockée dans la batterie puis redistribuée.

Autrement dit, ce modèle d'hybridation est constitué du système Start & Stop, d'une batterie et d'un moteur électrique. La batterie est rechargée par l'alternateur couplé au moteur thermique et par le moteur électrique qui fonctionne comme un générateur lors des phases de freinage régénératif. Le moteur électrique quant à lui, assure le démarrage de la voiture et assiste le moteur thermique lorsqu'il a besoin d'un gain en puissance lors d'une accélération ou d'un redémarrage.



7-Fonctionnement de la motorisation semi-hybride (démarrage / assistance / récupération de l'énergie)

Honda s'est pleinement investi dans développement de la technologie de ses voitures et s'est forgé une bonne réputation sur le marché américain, en particulier lors du test de conduite de la Honda Insight (la première incursion majeure de Honda dans le marché de l'hybride à propulsion électrique et gazeuse).

Son moteur à essence est un trois cylindres, sa structure a été spécialement conçue en aluminium, magnésium et plastique pour réduire son poids. Son moteur électrique peut fournir 10 kW lors de sa sollicitation. Il permet entre autres de recharger les batteries lors du freinage, ce qui augmente la force de freinage, et améliore la durée de vie des freins. De plus, le moteur se coupe instantanément lorsque la voiture s'arrête au feu rouge par exemple.

Un écran numérique placé sur le tableau de bord affiche la consommation ainsi que l'état de charge des batteries et le mode électrique en temps réel. Les batteries quant à elles sont placées derrière les sièges avec une tension de 144 volts en continu. La production de ces batteries peut atteindre 100 ampères lors d'une forte accélération. Enfin, les pneus à haute pression à faible résistance au roulement permettent de réduire la consommation.

### **3.2.1.3. Full-hybrid<sup>13</sup>**

Le full hybride constitue le dernier niveau d'hybridation. Il s'agit d'un véhicule dont l'hybridation est totale, il comporte deux motorisations utilisant des énergies différentes, le plus souvent du carburant et de l'électricité. L'énergie provient donc du moteur thermique et du moteur électrique. La voiture peut rouler soit en « tout électrique » à faible vitesse et peut atteindre les 30 km/h soit elle peut utiliser les deux énergies, en combinant les deux moteurs afin d'engendrer une puissance maximale lors des accélérations.

À faible vitesse et lorsque la batterie est complètement chargée, le moteur électrique se charge du démarrage, par contre face à de grandes vitesses ou quand la batterie est déchargée, le moteur thermique prend le relais. Enfin, lorsqu'il y a besoin d'une puissance plus conséquente que ce soit pour une reprise ou une accélération, les deux moteurs fonctionnent parallèlement. Il faut aussi préciser que la motorisation full hybride fonctionne avec la technologie HSD (Hybride Synergie Drive).

La plus connue des voitures « full-hybrid » est la Toyota Prius apparu en 1997. Elle présente une double motorisation thermique et électrique avec une batterie pouvant tenir jusqu'à 8 ans ou 200 000 km environ. Depuis, elle a considérablement évolué, tant techniquement qu'esthétiquement. La Prius en est aujourd'hui à sa troisième génération et représente une avancée majeure dans le monde de l'automobile.

### **3.2.1.4. Plug-in-hybrid**

Il s'agit d'une variante de la « full-hybrid ». Elle se différencie par le fait qu'elle dispose d'une prise extérieure lui permettant de recharger la batterie indépendamment du

---

<sup>13</sup> [http://fr.wikipedia.org/wiki/Toyota\\_Prius#Description\\_technique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Toyota_Prius#Description_technique)(valide à la date du 05/03/2015) 19-16-partie3.2.1.3





fonctionnement du moteur thermique. Elle dispose ainsi d'une autonomie plus importante que les voitures « full hybrid » classique.

(L'autonomie électrique varie de 25 à 80 Km sur une plug-in-hybrid.)

### **3.2.1.5. Hybrid Synergy drive ou propulsion hybride à synergie (HSD)**

#### ➤ Composition

HSD représente un ensemble de technologies développé par Toyota et incorporé dans la majorité des modèles hybrides.

La technologie HSD est le cœur d'un véhicule « full-hybrid ». Elle lui permet de fonctionner en mode tout électrique contrairement aux autres modèles hybrides. HSD fait aussi appel à un autre moteur électrique qui fonctionne comme un variateur de vitesse. On note aussi que HSD est un système purement électronique.

#### ➤ Principe et fonctionnement

L'intérêt de cette motorisation repose sur le fait que le moteur électrique est utilisé en priorité alors que le moteur à essence n'est utilisé qu'en cas de besoin (lorsque les batteries sont vides ou lorsque le moteur électrique ne fournit plus assez de puissance...).

Les deux moteurs (électrique et thermique) de la HSD sont aussi conçus pour fonctionner en synergie, c'est-à-dire qu'ils ont la capacité de fournir simultanément de l'énergie aux roues.

Enfin, le moteur électrique se comporte comme un générateur, qui peut être entraîné par le moteur thermique afin de produire de l'électricité dans le but de recharger les batteries en continuant de faire fonctionner le moteur électrique.

### **3.2.2. Les différents types de montages<sup>14</sup>**

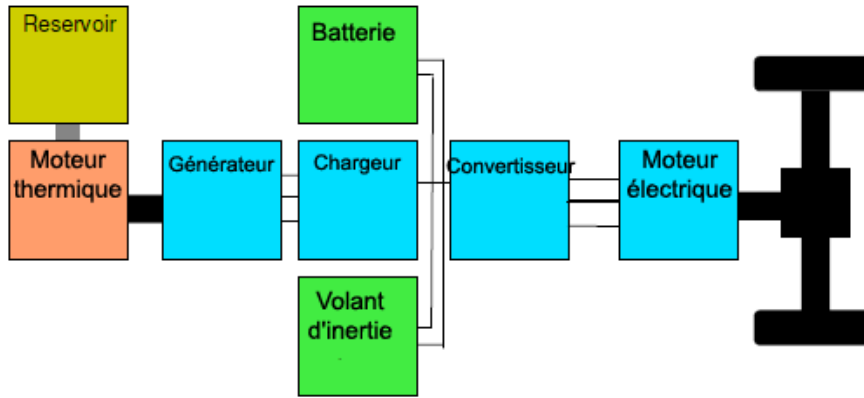
Il existe différentes architectures utilisées pour le montage des moteurs électriques et thermiques sur une voiture hybride. On peut distinguer trois montages qui sont : le montage en série, le montage en série-parallèle et le montage en parallèle. Mais d'autres architectures existent. Ce sont des dérivées de ces trois principales architectures utilisées selon les choix privilégiés par les constructeurs.

#### **3.2.2.1. Le montage série**

Dans cette configuration, le moteur thermique est utilisé pour alimenter un générateur d'électricité pour recharger les batteries ou alimenter directement le moteur électrique en transformant l'énergie issue de la combustion en énergie électrique grâce à un générateur. Cette énergie électrique est utilisée par le moteur électrique, caractérisée par une grande puissance, pour assurer la motricité et la propulsion de la voiture. Il n'y a donc aucune liaison mécanique entre le moteur thermique et les roues. Il s'agit de l'architecture la plus ancienne des voitures hybrides et la plus confidentielle, car elle est seulement utilisée pour quelques modèles comme le « Fisker Karma » le plug in hybrid « Chevrolet volt » aussi appelé EREV « Extended Range Electric Vehicle ».

<sup>14</sup>[http://fr.wikipedia.org/wiki/Train\\_%C3%A9lectrique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Train_%C3%A9lectrique)



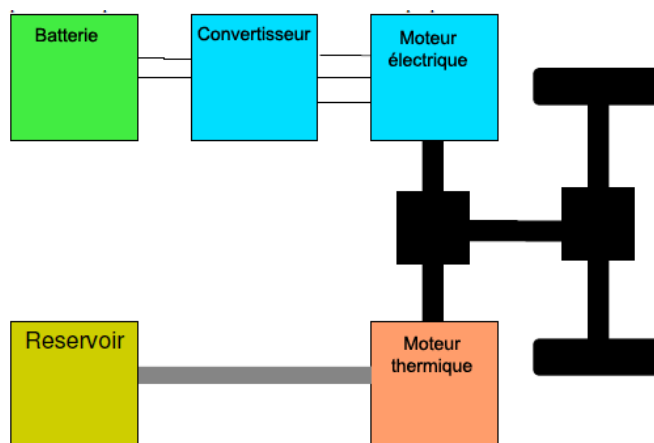


8-Schéma explicatif du montage en série

### 3.2.2.2. Le montage en parallèle

Le montage en parallèle est l'architecture la plus courante, ce type de montage offre la possibilité de faire tourner les roues avec les deux moteurs, soit le thermique seul, soit l'électrique seul, soit les deux en même temps (cas du full hybride). En effet, le moteur thermique assure une transmission en fonctionnement classique, auquel on ajoute un moteur électrique qui fonctionne avec l'énergie des batteries (énergies récupérées lors des phases d'accélération et de freinage du véhicule). Le fonctionnement sous le mode électrique correspond aux phases durant lesquelles le moteur thermique est peu efficace (en ville par exemple).

Cette architecture est très répandue, on la trouve chez la plupart des constructeurs automobiles comme HONDA, PSA, BMW, etc. C'est le cas pour la Peugeot 3008 Hybrid4, la Citroën DS5 Hybrid4, les Audi A6 et A8 Hybrid, la BMW série 5 ActiveHybrid ou la HONDA Insight 1re génération.



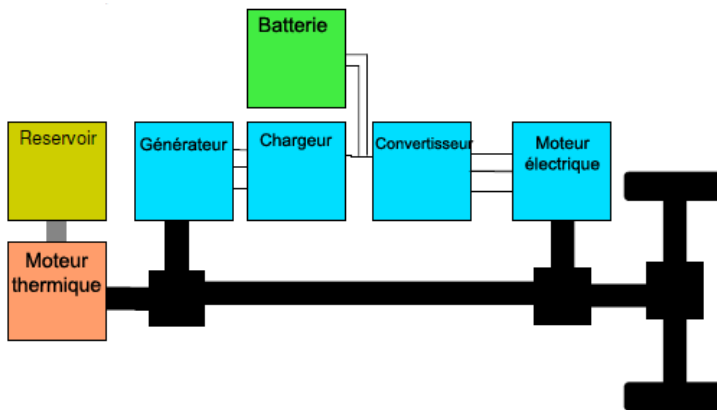
9-Schéma explicatif du montage en parallèle



### 3.2.2.3. Le montage série-parallèle

Cette configuration, comme son nom l'indique, est la combinaison des deux modes. Les deux moteurs assurent la rotation des roues et une recharge permanente de la batterie. Le moteur thermique et le moteur électrique sont connectés à la transmission via des voies séparées permettant une propulsion indépendante. Ce système sélectionne les moteurs (l'électrique ou le thermique) en fonction de différents modes (moteur principal et moteur de réserve, suivant la vitesse...) pour obtenir le meilleur rendement possible.

Cette installation est utilisée pour la Toyota Prius, la Ford Escape et la Fusion, ainsi que les Lexus RX400h, RX450h, GS450h, LS600h, et CT200h.



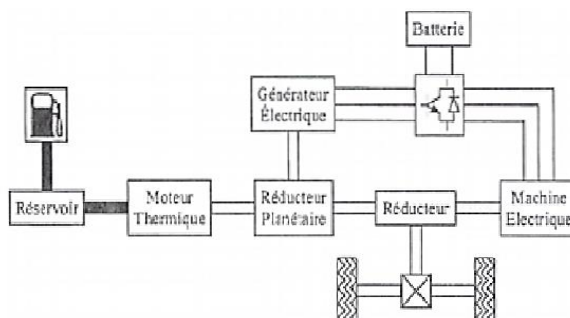
10-Schéma explicatif pour le montage série-parallèle

### 3.2.2.4. Le montage « hybride complexe ou à dérivation de puissances »

Cette architecture utilisée par Toyota, Ford, Lexus et récemment par Chevrolet Volt est munie d'au moins deux moteurs électriques indispensables à son fonctionnement. Le moteur thermique livre une puissance qui suit deux chemins, l'un mécanique, l'autre électrique. Dans certaines circonstances, l'utilisation des moteurs électriques limite le rendement (lors des phases qui nécessitent une puissance maximale).

Notez que cette architecture offre la possibilité d'un mode de fonctionnement entièrement électrique, en effet un moteur électrique fonctionne en moteur assurant ainsi la fonction mécanique et la propulsion du véhicule et l'autre fonctionne en générateur pour recharger la batterie en transformant l'énergie mécanique délivrée par le moteur thermique.

Le montage en dérivation de puissance est une combinaison entre les architectures parallèle et série, il s'agit d'un montage parallèle sur lequel on a ajouté une branche en série.



11-Schéma explicatif du montage en dérivation de puissance

En résumé, à chaque type d'hybridation, on peut lui associer chacun des montages présentés précédemment. Opter pour une option plutôt qu'une autre dépend généralement de l'utilisation que l'on veut en faire.

### 3.2.3. Avantages/inconvénients<sup>15</sup>

➤ Avantages et inconvénients de la motorisation hybride en général :

D'une part, on retiendra quatre inconvénients majeurs pour les véhicules hybrides :

- Le poids engendré par une telle motorisation
- Pour les véhicules plug-in : le coût de l'installation de la wallbox à son domicile
- La durée de vie de la batterie
- L'autonomie et la puissance des batteries

D'autre part, pour ce qui est des avantages on retiendra essentiellement le point de vue :

- Environnemental :

Les voitures hybrides ne bénéficient pas seulement d'un moteur thermique, mais aussi d'un moteur électrique, cette combinaison intelligente entre deux types de moteurs différents contribue à la réduction de l'émission des gaz d'échappements (le CO<sub>2</sub> principalement) dangereux pour l'environnement. En 2004, une différence entre 10 % et 15% a été estimée par rapport aux émissions de voitures conventionnelles. De plus, Les voitures hybrides sont silencieuses et elles participent donc à la réduction de la pollution sonore en ville.

➤ Avantages et inconvénients de chaque montage :

- Pour le montage en série :

Avantages : -on peut considérer la voiture comme électrique avec un générateur en plus pour accroître l'autonomie

- la puissance du moteur thermique importe peu

Inconvénients : les multiples conversions d'énergies pénalisent le rendement de cette chaîne

- Pour le montage parallèle :

Inconvénient : -Le cumul des puissances dépendra de plusieurs facteurs comme la puissance de la batterie, les caractéristiques techniques des moteurs ...

---

<sup>15</sup> <http://www.hybride-voiture.net/les-avantages-dune-voiture-hybride>  
<http://www.actualite-voitures.fr/2010/09/07/problematique-des-voitures-hybrides-et-electriques-leurs-silences/>



- Pour le montage série-parallèle :

Avantages : - cette installation garantit plus d'économie sur les frais de l'énergie et offre plus de stabilité. Ce qui peut être expliqué par le fait que ce système sélectionne le type de fonctionnement (thermique ou électrique) pour un meilleur rendement et que les moteurs sont connectés par des voies séparées à la propulsion du véhicule

Inconvénients :-Les pièces de rechange des hybrides série-parallèle sont plus chères par rapport aux pièces des autres montages car c'est un système plus complexe combinant deux montages différents. Ainsi les pièces utilisées ont des caractéristiques spécifiques et permettent le fonctionnement et une alternance plus homogène entre les deux moteurs (une transmission unique à variation continue au lieu d'une transmission poulies et ceintures).

### **3.3. L'avenir des véhicules hybrides**

L'avenir des véhicules hybrides ne réside pas uniquement dans l'amélioration des performances des moteurs qui les composent. De fait, en parallèle les constructeurs développent des technologies complexes pour pallier le manque de matières premières (les énergies fossiles) dans les prochaines années et ainsi permettent aux véhicules de rouler avec des énergies dites propres, dont les rejets de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère auront pour objectif d'être réduits au maximum. De plus, au cours de cette partie nous étudierons la rentabilité des véhicules hybrides afin de voir leur viabilité au cours des prochaines décennies.

#### **3.3.1. La technologie hybride est-elle viable à long terme ?<sup>16</sup>**

##### **3.3.1.1. Rentabilité pour l'acheteur : économies de carburant et prix à l'achat**

La question de la rentabilité pour le consommateur se pose très souvent à l'achat. Après de nombreuses recherches, nous avons pu constater que les données des constructeurs à ce propos ne sont pas accessibles sur les sites internet de vente. D'autres organismes proposent des estimations avec des données souvent très variables. Nous vous présentons donc les calculs que nous avons effectués nous-mêmes.

Par exemple pour des véhicules full hybrides :

- D'après l'INSEE en 2013 les français ont roulé en moyenne 12699 km
- en mars 2015, prix du sp95=1.394 euros le L

- Comparons une **Peugeot 3008 essence** et une **Peugeot 3008 hybrid4**

Données :

- 3008 essence: 24900 euros, 6.2L/100km (chiffre constructeur : 5.2L/100km)
- 3008 hybrid4: 35400 euros (bonus compris), 3.8L/100km



<sup>16</sup> <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Vehicules-hybrides-rechargeables.html>



Economie en L pour 100km=6.2-3.8=2.4 L/100km  
 Economie en L par an=2.4\*12699/100=304.8 L  
 Economie en euros par an=304.8\*1.394=424.8 euros  
 Temps nécessaire pour compenser le prix d'achat d'une hybride par rapport à une essence est de (35400-24900)/424.8=**24 ans**

12-Peugeot 3008 hybrid4

➤ Comparons une **Toyota Yaris essence** et une **Yaris hybride**

Données :

- L-Yaris essence: 13600 euros (chiffre constructeur), 5.4L/100km
- Yaris hybride: 16500 euros (chiffre constructeur, bonus compris), 3.8L/100km

Economie en L pour 100km=5.4-3.5=1.9 L/100km  
 Economie en L par an=1.9\*12699/100=241.3 L  
 Economie en euros par an=241.3\*1.394=336.3 euros  
 Temps nécessaire pour compenser le prix d'achat d'une hybride par rapport à une essence est de (16500-13600)/336.3=**8 à 9 ans**



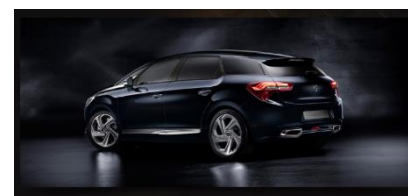
13-Toyota Yaris hybride

➤ Comparons une **Citroën DS5 essence** et une **DS5 hybride**

Données :

- DS5 essence: 29550 euros (chiffre constructeur), 7.1L/100km (selon LaRevueAuto)
- DS5 hybride: 36900 euros (chiffre constructeur, bonus compris), 3.5L/100km (selon l'ADEME)

Economie en L pour 100km=7.1-3.5= 3.6 L/100km  
 Economie en L par an=3.6\*12699/100=457.2 L  
 Economie en euros par an=457.2\*1.394=637.3 euros  
 Temps nécessaire pour compenser le prix d'achat d'une hybride par rapport à une essence est de (36900-29550)/637.3= **11 ans**



14-Citroën DS5 hybride

Ces chiffres démontrent bien que la rentabilité financière des véhicules hybrides est contestable, le prix d'achat reste plus élevé que pour des véhicules essence et la différence de consommation pas toujours significative entre des modèles récents, étudiés pour optimiser la consommation et des motorisations hybrides. Cependant il faut nuancer ces résultats car les données de consommation sont extrêmement variables (passant parfois du simple au double) et dépendent aussi du type de conduite adopté. Une conduite en ville avantagera par exemple les véhicules hybrides.

Intéressons-nous à présent à des véhicules hybrides rechargeables tels que la **Golf GTE de Volkswagen** :

Le constructeur indique une consommation d'environ 1.5L/100km pour le GTE (plug-in), 4L/100km pour la GTD (diesel) et 6L/100km pour la GTI (essence).



15-Golf GTE



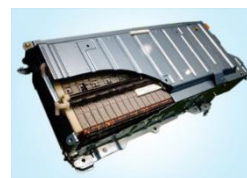
Cependant d'après Le Figaro : « Si l'on en croit les consommations officielles, la balance penche nettement en faveur de l'hybride rechargeable, mais la procédure d'homologation favorise exagérément cette motorisation. Durant notre essai, sur un parcours varié mêlant ville, route et autoroute, l'écart s'est considérablement réduit avec 6,5 litres pour la GTE contre 7,2 litres pour la GTD. Et comme l'hybride embarque 10 litres de carburant en moins, son autonomie s'établit à environ 650 kilomètres, batterie comprise, contre plus de 700 km pour le diesel. » Pour faire réellement des économies avec une hybride rechargeable, il faudrait donc avoir « le bon profil, celui d'un propriétaire possédant un point de recharge à son domicile, n'effectuant qu'un court trajet pour se rendre à son travail et ne prenant la route qu'occasionnellement. »

A l'inverse des modèles full hybrides détaillés précédemment, les modèles rechargeables sont plus intéressants économiquement que leurs équivalents essence ou diesel. La Golf GTE s'affiche à 38500 euros soit 34500 avec le bonus écologique contre 36760 pour la GTD et 35760 euros pour la GTI (36660 avec le malus).

Ainsi les hybrides rechargeables ne sont pas forcément plus économes en carburant que les « full-hybrid », cela dépend du type d'usage souhaité par le conducteur. Par contre une hybride rechargeable sera rentable par rapport à son équivalent en diesel ou essence contrairement aux full hybrides. Dans tous les cas ces véhicules équipés de technologies de pointe restent des objets de luxe et ne sont pas abordables pour tous ce qui reste un frein considérable à leur développement et explique aussi l'énorme succès de la Toyota Yaris et Auris, seuls modèles en-dessous de 20 000 euros.

### 3.3.1.2. *Les batteries : un élément vital pour la technologie hybride*<sup>17</sup>

Pour que les véhicules hybrides soient viables à long terme, il faut s'intéresser à leur élément clé : les batteries. En effet, se pose la question de la rareté des métaux utilisés dans celles-ci. Quatre types existent actuellement : le plomb (Pb), le nickel-cadmium (NiCad), le nickel métal hydrure (NiMH) et le lithium (Li-Ion, Li-Po). Les batteries au Nickel-cadmium sont interdites en Europe depuis 2006 car le cadmium est très dangereux pour l'environnement. Celles en plomb sont les moins chères du marché mais leur durée de vie est faible. Les batteries au lithium ont une espérance de vie plus longue, il en existe différents types (ion, phosphate, polymère...) de prix et d'autonomie variables. Les batteries en nickel métal hydrure sont très utilisées dans les véhicules hybrides. Ces métaux sont en réalité assez répandus dans le sol terrestre, le problème réside plutôt dans le fait qu'ils sont difficiles à extraire et qu'il existe peu de zones où ils sont présents en forte concentration.



16-batterie de véhicule hybride

Ainsi prenons pour exemple le prix du lithium dont le prix a été multiplié par 10 entre 2003 et 2008. Ce métal de la famille des alcalins

<sup>17</sup>[http://www.notreplanete.info/actualites/actu\\_41\\_voitures\\_electriques\\_lithium\\_enjeux\\_geostrategiques.php](http://www.notreplanete.info/actualites/actu_41_voitures_electriques_lithium_enjeux_geostrategiques.php)  
<http://www.lefigaro.fr/international/2011/02/05/01003-20110205ARTFIG00006-lithium-la-ruee-vers-l-or-blanc.php> (valide à la date du 17/04/2015) 16-23-partie3.3.1.3



et à fort pouvoir énergétique, est aujourd'hui très convoité par les industriels et notamment par l'industrie automobile. A tel point qu'aujourd'hui le lithium est surnommé l'or blanc. Seulement, les réserves en lithium se concentrent essentiellement autour des trois pays andins qui sont la Bolivie, l'Argentine et le Chili même si de potentiels gisements auraient été découverts à d'autres endroits de la planète. Comme évoqué précédemment, une course est désormais lancée par les industriels pour s'emparer de ce métal probablement très précieux dans les années à venir. Par ailleurs, on assiste depuis quelques années à une envolée de son prix. Un article du figaro du 04/02/2011 relate que la tonne de lithium se négociait 5000 dollars (tout comme aujourd'hui) alors qu'elle en valait à peine 1000 dollars il y a cinq ans de ça. Ce métal rare pourrait donc connaître le même engouement que le pétrole est faire naître autour de lui de nombreux conflits. Les problèmes liés au pétrole se retrouveront donc dans les éléments constituant les batteries.

D'après une note publiée par le Commissariat général à la stratégie et à la prospective, le risque de rupture de l'approvisionnement de ces éléments fondamentaux n'est pas à exclure.

C'est pourquoi une réglementation européenne impose à tous les constructeurs de recycler au moins 50% du poids des batteries, à la fois pour récupérer ces métaux et pour éviter qu'ils ne polluent l'environnement. Depuis 2013, la Société nationale d'affinage des métaux (SNAM) implantée dans l'Aveyron, est le premier recycleur européen de batteries de voiture hybride. Il a signé des accords avec de nombreux constructeurs tels que Toyota, PSA, Honda et BMW.

Même s'il reste difficile au vu de la multiplicité des facteurs en jeu de prédire l'avenir des véhicules hybrides, il semble que cette technologie soit une bonne solution de transition entre les véhicules essence et le tout électrique qui n'est aujourd'hui pas encore prêt à prendre la relève. Cependant, acheter un véhicule hybride n'est actuellement pas vraiment rentable économiquement et la diminution de la consommation en carburant n'est pas encore significative face à de nouveaux modèles essence ou diesel de moins en moins gourmands en combustible fossile. Les incitations gouvernementales (bonus, circulation alternée) et le plaisir de conduire une voiture qui sort de l'ordinaire sont probablement les principales motivations des acheteurs aujourd'hui.

La recherche se poursuit pour améliorer et faire évoluer la technologie hybride, c'est ce que nous allons voir par la suite.





### 3.3.2. Quel type de motorisation hybride à privilégier ?<sup>18</sup>

Choisir une voiture, ce n'est pas uniquement choisir une marque, un style, une couleur ... c'est aussi choisir une motorisation. En effet, le choix du moteur lors de l'achat d'un véhicule est une étape cruciale. Si y a encore quelques années, on hésitait entre diesel ou essence, aujourd'hui l'hybride a pris place dans de nombreuses concessions automobiles et rares sont les marques qui ne proposent pas ce type de propulsion.

Chaque type de moteur possède ses propres atouts en fonction de l'utilisation qui en est faite par le conducteur. Un moteur quel qu'il soit, se choisit en fonction de l'utilisation que l'on souhaite en faire, cela est donc vrai pour la motorisation hybride composée de nombreuses variantes aux technologies bien différentes comme nous avons pu le voir précédemment.

- Hybride diesel ou essence ?

Dans la conjoncture actuelle, la motorisation hybride essence est privilégiée par bon nombre de constructeurs et d'utilisateurs à travers le monde. De fait, même si le diesel à longtemps joui d'une bonne réputation, notamment pour ses vertus économiques, il souffre aujourd'hui d'un rejet croissant de la population à cause de sa tendance à rejeter des particules fines dangereuses pour la santé. De plus les moteurs essence deviennent aujourd'hui de plus en plus sobres et l'écart de prix entre les carburants diesel et essence tend à se réduire, notamment depuis de 1er janvier 2015.

- Quelle technologie pour quelle utilisation ?<sup>19</sup>

Le micro-hybride est le système le plus léger d'hybridation, ce système est privilégié lorsque le conducteur souhaite faire des économies mais n'est pas encore prêt à faire confiance à une motorisation semi-électrique.

Le « mild-hybrid<sup>20</sup> » convient bien pour une utilisation routière du véhicule, en effet, le moteur électrique ne tracte pas la voiture à lui tout seul, son rôle est uniquement d'aider le moteur thermique à faire son travail et ainsi lui permettre de consommer moins. Dans ce cas le moteur électrique permet des économies de carburant sur tous les types de route mais en particulier sur autoroute, là où la technologie « full-hybrid » est inutile.

<sup>18</sup> <http://www.fiches-auto.fr/articles-auto/fonctionnement-d-une-auto/s-850-fonctionnement-du-moteur-hybride.php>

<http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mecanique-th7/groupes-motopropulseurs-gmp-automobiles-controles-et-hybridation-42169210/motorisation-hybride-thermique-electrique-bm2760/hybrides-complexes-ou-a-derivation-de-puissance-bm2760niv10006.html>

<http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mecanique-th7/groupes-motopropulseurs-gmp-automobiles-controles-et-hybridation-42169210/motorisation-hybride-thermique-electrique-bm2760/hybrides-complexes-ou-a-derivation-de-puissance-bm2760niv10006.html>

<sup>19</sup> <http://www.fiches-auto.fr/articles-auto/voitures-hybrides-electriques/s-616-voitures-hybrides.php>

<sup>20</sup> <http://www.cnetfrance.fr/cartech/bien-acheter-sa-voiture-hybride-39364908.htm>



Le « full-hybrid » est plutôt recommandé pour un usage majoritairement citadin. Dans ce cas, le moteur électrique peut fonctionner seul, mais sur de courtes distances entre 2 et 20km, cela est donc parfait pour circuler en ville sans rejeter du CO2. Cependant, sur autoroute le moteur thermique prend le relais et le véhicule se transforme en véhicule thermique « standard ». Ainsi ce type d'hybride est à éviter si l'automobiliste conduit peu en ville.

### 3.3.3. De nouvelles technologies pour les véhicules de demain

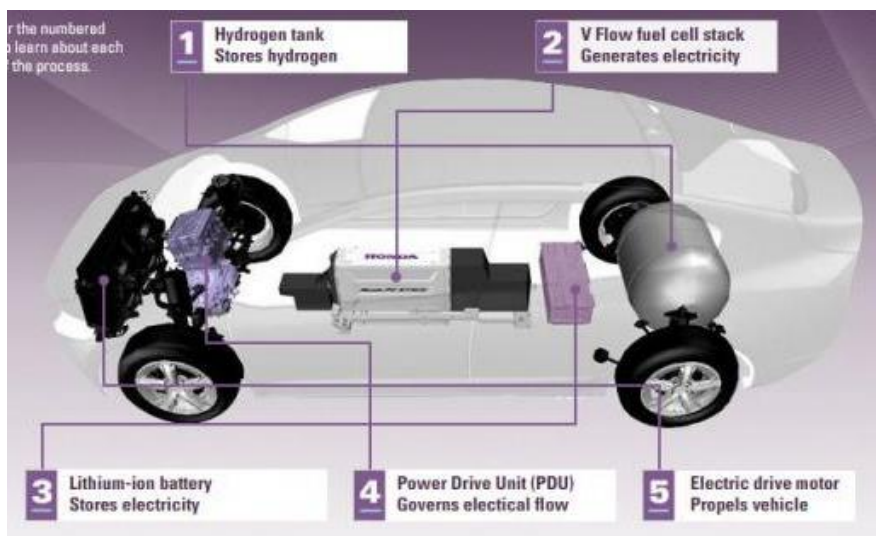
#### 3.3.3.1. Une peinture de carrosserie générant de l'énergie

Récemment, à l'heure de l'écriture de ce dossier, Mercedes-Benz a présenté un prototype de voiture « la Vision G-Code ». Cette dernière a pour particularité de posséder une peinture « multi voltaïque ». Son rôle est donc de capter l'énergie des rayons solaires et d'emmagasiner de l'électricité statique sous l'action du vent afin d'alimenter une motorisation hybride. En outre, le mouvement des suspensions crée de l'énergie cinétique qui est ensuite convertie sous forme d'énergie électrique. Ainsi, cela représente une source d'alimentation de la batterie.

#### 3.3.3.2. Le moteur à hydrogène<sup>21</sup>

Le moteur à hydrogène n'est pas nouveau, depuis plusieurs années, on peut voir des prototypes de véhicules alimentés par ce type de carburant sur les salons, mais celui-ci est encore loin d'être démocratisé.

Le fonctionnement d'un véhicule à hydrogène est simple, en effet, une pile à combustible stocke de l'hydrogène à la manière d'un réservoir d'essence, cet hydrogène est par la suite transformé en électricité grâce au principe de l'électrolyse et seul de la vapeur d'eau ressort par le pot d'échappement.



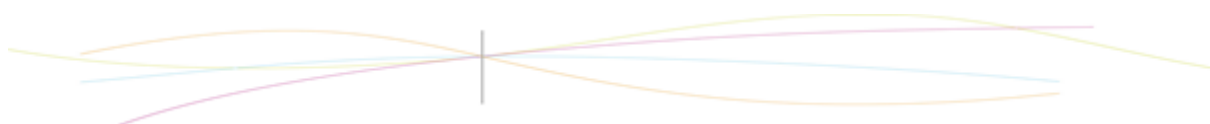
17-Fonctionnement de la motorisation d'un véhicule à hydrogène

La plupart des automobiles à hydrogène qui circulent sur les routes appartiennent principalement à des flottes d'entreprises. Le principale frein à l'adoption des véhicules est le manque d'infrastructures dédiées au rechargement, en effet comme une



18-Toyota Mirail

<sup>21</sup> Comment ça Marche N°57-Mars 2015



voiture classique, le conducteur doit faire le plein d'hydrogène une fois que son réservoir est vide, cependant ces stations de rechargements sont encore très rares, on ne trouve en effet que 23 stations de rechargement dans toute l'Europe.

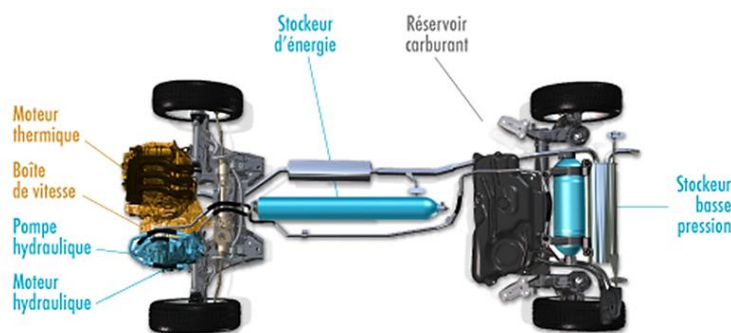
En France le nombre de véhicules roulant à l'hydrogène est faible, on peut cependant noter que La Poste a récemment équipé des Kangoo ZE de prolongateur à hydrogène dans le but d'augmenter l'autonomie des véhicules d'une centaine de kilomètres<sup>22</sup>.

L'hydrogène est également en concurrence avec le tout électrique<sup>23</sup>, en effet celui-ci permet de parcourir des distances plus longues à l'instar de la Toyota Mirai avec une autonomie de 650km, la où l'Américain Tesla qui fait figure de champion en terme de véhicule électrique n'en parcourt que 450Km. Pour revenir à la Toyota Mirai, son constructeur Japonais compte en vendre 400 exemplaires au cours de l'année 2015. D'après Toyota, il s'agirait de « la voiture écologique idéale » émettant zéro gramme de CO2. Cette dernière devrait être commercialisée aux Etats-Unis et en Europe d'ici la fin de l'année. En parallèle, Honda se pose comme outsider. De fait il envisagerait de sortir un modèle à hydrogène au printemps 2016.

### 3.3.3.3. L'hybride du futur ?

Et si dans quelques années l'hybride ne rimait plus avec électrique, c'est en tout cas le pari de PSA avec son concept « hybrid-air <sup>24</sup>».

L' « hybrid-air » consiste en une hybridation « full-hybrid » mais le moteur électrique est ici remplacé par un moteur hydraulique, le but est de s'affranchir de l'électrique et notamment des batteries qui posent des problèmes en ce qui concerne le recyclage. PSA garantit en effet « un faible impact environnemental » et des « matériaux facilement recyclables ». Ce nouveau type d'hybride permettrait également selon PSA des avancées notable en matière de consommation, avec un objectif de 45% de gain en conditions urbaines cela permettant d'augmenter l'autonomie du véhicule de 90% en comparaison avec une motorisation conventionnelle.



19 : Schéma d'un véhicule Hybrid air (Crédit : PSA)

<sup>22</sup> <http://www.industrie-techno.com/une-bouffee-d-hydrogene-pour-la-poste.27139>

<sup>23</sup> <http://www.leparisien.fr/flash-actualite-economie/voitures-vertes-tout-electrique-ou-hydrogene-le-match-est-lance-16-01-2015-4452135.php>

<sup>24</sup> <http://www.psa-peugeot-citroen.com/fr/innovation-automobile/innovation-by-psa/hybrid-air-moteur-full-hybrid-essence>



L'air est stocké dans des bonbonnes, et lorsque le véhicule doit avancer, l'air comprimé actionne le moteur hydraulique (selon les termes employés par PSA), le circuit d'air est un circuit fermé. Tout comme un moteur hybride conventionnel, le moteur thermique est privilégié dans les zones extra-urbaines, alors que le mode air est privilégié dans les zones urbaines et périurbaines. Cela ne signifie pas nécessairement que le mode air est oublié au-dessus de 50km/h en effet celui est utilisé jusqu'à 70km/h.

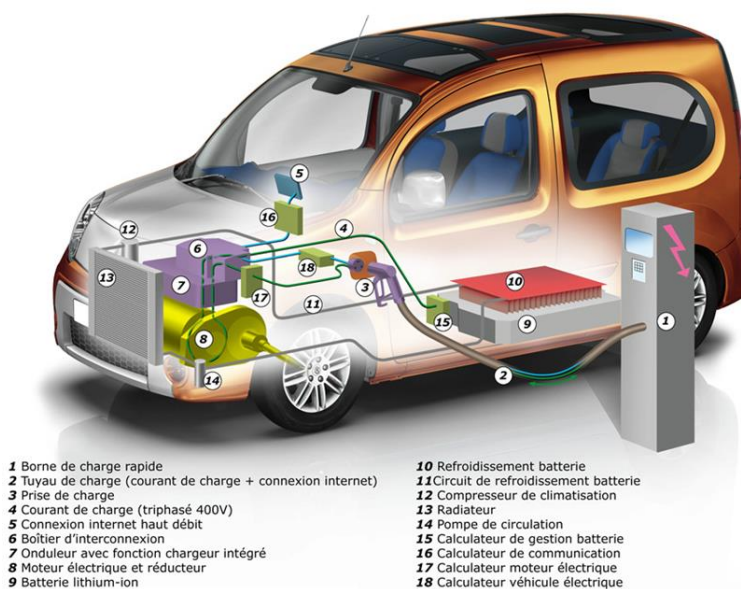
Le mode combiné est quant à lui, utilisé pour favoriser les accélérations et permettre à l'automobile d'être réactive. Celui-ci peut être utilisé dès que le besoin s'en fait ressentir.

L'hybride air est donc un concept qui fonctionne. Des prototypes ont pu être testés par des journalistes au cours de l'été 2014<sup>25</sup>. Cependant l'industrialisation de ce genre de technologie nécessite des partenaires, et à l'heure actuelle, PSA cherche toujours. Ainsi même si la technologie est opérationnelle, il faudra attendre plusieurs années avant de la voir arriver sur des autos de série.

### 3.3.3.4. L'électrique : peut-être la solution ?<sup>26</sup>

La motorisation électrique est la plus connue et la plus populaire des nouveaux types de propulsion. Popularisées depuis quelques années par Renault, l'électrique se fait pour l'instant qu'une très petite place dans la part des ventes de véhicule neuf. De fait, les ventes de véhicule électriques chez Renault représentent moins de 1% des ventes du constructeur, alors que la fameuse dénomination ZE pour Zéro-Emission est longtemps restée le fer de lance du constructeur au losange.

VELCRI - Véhicule ELectrique à Charge Rapide Intégrée



20-Détails de la motorisation d'un véhicule électrique de chez Renault

<sup>25</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=53PLymFHfHY>

<sup>26</sup> <http://www.caradisiac.com/Toutes-les-nouveautes-du-salon-de-Francfort-2013-BMW-i3-branchee-88217.htm>



La voiture électrique souffre encore d'une mauvaise réputation en terme d'autonomie, en effet celle-ci n'excède rarement les 200km pour les véhicules abordable (on met volontairement de côté les voitures de luxe qui sont déjà marginales au sein du marché classique).

De plus lors de l'achat d'un véhicule électrique, l'acheteur doit faire plusieurs concessions en plus de l'autonomie. En effet, le temps de charge des batteries est autrement plus long que le plein d'un réservoir, de plus, pour recharger un tel véhicule, il est parfois nécessaire d'installer chez soi, une prise spéciale, qui n'est pas forcément fournie avec le véhicule, ce qui occasionne des dépenses supplémentaires. Ce type d'équipement se nomme wallbox (boîtier électrique pour recharger son véhicule à la maison) le coût de l'installation s'élève à 800€ minimum et le coût d'achat de ce dernier est compris entre 500 et 1000€.

Par exemple, la Renault Zoe<sup>27</sup> (véhicule électrique le plus vendu en France en 2014), dont la plus abordable coûte 13700€ (bonus écologique de 7000€ déduit) à cela s'ajoute la location de la batterie qui s'élève à 79€ par mois (pour 12500 km par an) puis la Wall-box (boîtier électrique pour recharger son véhicule à la maison) qui vaut entre 500 et 1000€ et son coût d'installation entre 300 et 600€. Alors certes, la location de batterie permet de réduire le prix de vente initial de la voiture, mais cette location engendre un « marché » supplémentaire, car il y a différents niveaux de location de batterie plus ou moins élevé en fonction des performances et du nombre de km parcourus par le véhicule. Ainsi, on voit rapidement que malgré les nombreux bonus proposés la voiture électrique n'est pas encore bon marché pour le porte-monnaie du consommateur.



*21-bornes de recharge autolib' (location courte durée de voitures 100% électriques)*

Des progrès sont cependant visibles. Selon Le Parisien : « EDF a mis sur pied un consortium créé avec Renault, BMW ou Volkswagen pour la réalisation d'un réseau de 200 bornes de recharge électrique le long des grands axes autoroutiers. » ; information confirmée par

un responsable de chez EDF lors d'un entretien téléphonique. EDF annonce un prix de recharge pour 100 km de 2 euros soit 5 fois moins que pour l'essence ce qui correspond aux données trouvées par d'autres sources.

La voiture électrique va sûrement connaître un essor considérable dans les années à venir. En effet, l'année 2014 a marqué un tournant dans la voiture électrique. Au cours de cette dernière, on a pu assister à l'émergence d'une nouvelle compétition sportive : La Formule E, le sport électrique. Ainsi, comme l'histoire l'a souvent montré les plus grandes innovations technologiques (ici la voiture électrique) ont pu voir le jour grâce à l'implication de très grandes sociétés dont l'objectif numéro un est la performance. En ce qui concerne notre domaine, nous retiendrons le vif engagement de Renault travaillant en partenariat avec Spark Racing Technology pour l'élaboration de cette monoplace.

<sup>27</sup> <http://www.automobile-propre.com/voitures/renault-zoe/>



Les ventes de véhicules électriques sont aujourd'hui beaucoup plus faibles que celles des véhicules hybrides (46 785 hybrides vendues en 2013 contre 13 954 électriques) mais on peut penser que si des progrès sont réalisés sur l'autonomie des batteries notamment, l'électrique pourrait à terme détrôner l'hybride.

### **3.3.3.5. Les nouvelles générations de batteries**

Il a récemment été présenté un prototype de batterie en aluminium<sup>28</sup> par l'équipe du professeur Hongjei Dai de l'université de Stanford. Ces nouvelles batteries ont l'avantage d'être flexibles, légères et beaucoup moins dangereuses que les batteries au Lithium-ion.

Le temps de recharge de ces batteries est là aussi exceptionnel car celles-ci se rechargent en seulement une minute. De plus, le nombre de cycle de recharge est bien supérieur à celui d'une batterie traditionnelle.

Néanmoins, à l'heure actuelle ces batteries sont loin de délivrer suffisamment de puissance pour alimenter une voiture, il y a tout juste assez pour un smartphone. Cependant, on peut aisément imaginer que, si les recherches se poursuivent dans les années à venir, la puissance délivrée par ces batteries augmentera de manière considérable.

### **3.3.4. En résumé<sup>29</sup>**

Ces technologies ne sont pas encore mures pour le moment, même si des constructeurs en commercialisent déjà certaines à l'image de Renault pour l'électrique et Toyota pour l'hydrogène. Des véhicules équipés d'une telle motorisation ne sont pas encore prêts à remplacer au pied levé le duo classique diesel/essence. Ces solutions ne sont aujourd'hui qu'envisageables uniquement dans des circonstances particulières car elles ne permettent pas une utilisation polyvalente du véhicule.

Toutefois, on peut voir à l'image de l'« hybrid-air », que de nouvelles solutions sont en cours de développement pour proposer à l'avenir des motorisations propres moins contraignante que ne peut l'être aujourd'hui l'électrique. Le développement de telles solutions demande du temps et surtout des financements que ne sont pas prêts à mettre des constructeurs en attente de partenariats et de garanties pour se lancer.

L'hybride se place aujourd'hui comme la solution qui associe la mieux propreté et efficacité, sans pour autant être contraignante pour le conducteur.

L'hybride ne représente qu'une étape intermédiaire vers des véhicules « 100% propre » et est amenée à évoluer, comme on a pu le voir avec les nouvelles générations de batterie en développement.

---

<sup>28</sup> <http://www.autonet.ca/fr/2015/04/07/batteries-aluminium-ion>

<sup>29</sup> Comment ça Marche N°56-Février 2015



## 4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

### Conclusion sur le travail réalisé

A travers un sujet à l'apparence restreinte, la motorisation hybride, nous avons pu aborder et prendre encore plus conscience de ces enjeux. Parler d'industrie automobile ne signifie pas exclusivement évoquer les véhicules en eux-mêmes mais bien au contraire cette branche de l'industrie évoque directement l'aspect politico-économique et surtout la thématique environnementale et énergétique.

Aujourd'hui, il est clair que nous sommes en pleine transition énergétique et pour le moment aucune solution ne semble s'imposer en maître sur le marché auprès du grand public. De fait, nous avons constaté que de nombreux freins s'opposent au développement de la technologie hybride. Parmi eux on retiendra essentiellement : le coût à l'achat malgré les multiples subventions, le manque d'équipement de recharge, le temps de recharge et le poids imposés par ce type de motorisation. De plus, nous avons pu noter que cette technologie est essentiellement développée au profit de l'environnement et pour faire face à la pénurie de ressources en matières premières qui semble de plus en plus imminente à mesure que le monde se développe. Or, la technologie hybride n'offre pas encore les gains escomptés en matière de rejet de CO<sub>2</sub> et d'économie de carburant.

Les constructeurs ont tout de même développé différentes architectures et différents niveaux d'hybridation afin de répondre au mieux aux besoins des consommateurs même si cela se révèle encore insuffisant. Mais cette phase de développement se révèle tout de même nécessaire pour trouver une solution durable et saine.

Toutefois, les constructeurs automobiles ne se découragent pas et rivalisent d'idées afin de dénicher la perle rare. Ainsi, comme évoqué au cours de la dernière partie du rapport, nous avons vu que les idées de prototypes ne manquent pas.

En résumé, par l'intermédiaire de ce sujet nous avons pu observer que la transition énergétique était une phase assez délicate à accomplir au vu des composantes auxquelles il faut tenir compte. C'est pourquoi en parallèle d'autres projets sont au banc d'essais pour trouver la solution de demain. Aujourd'hui, aucun constructeur automobile n'a la capacité de dire à quoi ressemblera le mode de déplacement du futur tant ce dernier est amené à évoluer à une vitesse considérable au vue de la conjoncture actuelle. Ainsi, la motorisation hybride n'est qu'une phase transitoire, comme l'assure Calos Ghosn en comparant l'hybride au fax, l'intermédiaire entre la lettre papier et le mail. L'hybride est donc temporaire avant d'arriver au but ultime : un véhicule totalement propre ou bien, qui sait, le déplacement des Hommes sera peut-être totalement revisité pour assister à une métamorphose complète des espaces ruraux ou urbains.



## Conclusion sur l'apport personnel de cet E.C projet

### Pour Antoine Le Rétif :

Pour ma part cet E.C a été très enrichissant. Tout d'abord, car j'ai pu parler avec un ingénieur de l'entreprise Renault qui a su me donner des informations très pertinentes pour la construction du dossier. De plus, en échangeant avec les camarades de mon projet qui ont réalisé l'interview d'un commercial de chez EDF, j'ai pu me rendre compte de la grande diversité des discours pouvant être émis par des interlocuteurs différents. Cependant, suite à plusieurs relances, nous n'avons pas réussi à joindre un membre d'Europe Ecologie Les Verts.

Par ailleurs, en effectuant des recherches pour notre projet, j'ai également découvert d'autres domaines également très intéressants à étudier. De plus, notre sujet a un rapport direct avec la politique, l'économie et l'environnement qui sont trois grands domaines distincts mais étroitement liés et qui m'intéresse énormément en raison de leur rôle pour l'avenir de notre planète. Toutefois, les recherches ont été quelque peu délicates sur certains points en raison du fait que les informations publiées à ce sujet sont souvent incomplètes et très floues. Par conséquent, suite à de nombreux recoupements d'informations, nous avons pu nous faire une idée relativement claire sur les informations que nous recherchons.

Pour ce qui est du travail de groupe, il fut instructif d'apprendre à travailler avec cinq autres personnes que je ne connaissais pas auparavant. Pour éviter, d'être pris au dépourvu on a mis en place une organisation rigoureuse pour terminer le travail dans les délais indiqués.

Enfin, j'étais content de travailler sur ce sujet car la thématique de l'automobile m'intéresse particulièrement. En effet, je m'interroge souvent sur notre moyen de transport du futur. Cela me préoccupe énormément de savoir comment nous, les Hommes, nous pourrions nous mouvoir sur la Terre dans les décennies à venir. Ainsi, pour ma part, pour la continuité de ce projet, j'opterai sur une étude approfondie de la refonte des espaces ruraux et urbains afin de voir s'il serait possible d'abandonner la voiture au profit des transports en commun en restructurant l'ensemble du paysage.

### Pour Tiphaine Querrec :

Lors de la réalisation de ce projet basé avant tout sur la recherche d'informations, nous avons été confrontés à la limite de la documentation en ligne, souvent imprécise, donnant des chiffres sans les justifier et le manque de diversité des arguments. Nous avons également pu constater l'absence totale de certaines données comme par exemple sur les sites de constructeurs vendant des véhicules hybrides les données chiffrées sont rares voire inexistantes. Il nous a donc fallu aller chercher plus loin, interroger directement des acteurs du secteur, recouper les informations, opter pour un point de vue critique face aux réponses





obtenues. Le sujet de ce projet était également très vaste et en plein cœur de l'actualité d'où une multitude d'informations souvent redondantes à trier.

Pour organiser notre travail et répartir les tâches, nous avons mis en place un planning détaillé ce qui nous a permis de travailler régulièrement sans être pris de court. Par ailleurs nous avons dès les premières séances, réalisé un plan précis pour éviter de sortir du cadre du sujet ce qui n'a pas été évident au vu des nombreuses problématiques que recouvrent les véhicules hybrides. Nous avons souvent été obligés de traiter rapidement certains sujets liés à la motorisation hybride à l'image de la problématique des batteries qui aurait pu à elle seule constituer un projet à part entière.

De nombreuses pistes de réflexion inattendues ont émergé au fil des recherches et il nous a fallu revoir quelques détails du plan à plusieurs reprises. La majeure partie du travail de rédaction s'est faite en dehors de ces séances car nous souhaitons privilégier un échange collectif lors de celles-ci.

D'un point de vue personnel, ce projet m'a permis de découvrir plus en détail le secteur automobile que je connaissais très mal jusqu'alors. Les entretiens téléphoniques que nous ont accordés certains professionnels étaient très enrichissants, les différences de discours entre un commercial de chez EDF et un ingénieur de chez Renault étaient particulièrement instructives également. Nous avons souhaité contacter Toyota mais malgré plusieurs relances auprès du référent hybride du groupe aucune réponse ne nous a été fournie.

Enfin concernant une éventuelle continuité à ce projet, il me semblerait intéressant d'approfondir la problématique des batteries qui est aujourd'hui le principal frein au développement des véhicules hybrides et électriques.

#### Pour Dhia Stambouli :

Au début du semestre 4, j'ai choisi le sujet concernant les moteurs hybrides pour l'EC projet physique dans une logique d'introduction et de découverte de la motorisation dans le domaine automobile. Ce choix peut être justifié par le fait que je souhaite poursuivre mes études au sein du département « énergétique et propulsion » avec une préférence pour le domaine « propulsion ». Ce projet est donc une opportunité de découvrir le secteur des voitures hybrides et en même temps de réaliser un projet abouti, avec toutes les contraintes qui en résultent : date limite, travail de groupe, organisation...

Pour ma part, mon apport au groupe était surtout du point de vue technique. Je me suis intéressé à la partie traitant des différents montages et différentes architectures des moteurs hybrides en détaillant les caractéristiques techniques de chaque montage. Cela m'a permis de comprendre l'intérêt de chaque montage et ce qu'il apporte à la voiture hybride peu importe le type d'hybridation.

Ce projet représente une approche du métier d'ingénieur, car il recouvre différents aspects du quotidien d'un ingénieur : travail en équipe, gestion du temps, dates limites, autonomie, organisation et relations avec les autres membres du groupe. Même si cette



approche reste une découverte de ces aspects, elle est constructive, car c'est une approche pratique qui permet de changer de l'approche théorique. Elle permet une meilleure compréhension du métier d'ingénieur mais à plus petite échelle.

#### Pour Quentin Lenglet :

Ce projet de physique aura été pour moi l'occasion de découvrir un aspect de monde de l'automobile que je ne connaissais que très peu. En effet je ne connaissais le domaine de la motorisation hybride qu'à travers les campagnes publicitaires des constructeurs automobiles et les quelques reportages qui y sont attribués. Ce projet m'a donc permis d'enrichir mes connaissances dans ce domaine d'avenir très intéressant. Cela a été possible au travers de recherches bibliographiques mais aussi par le biais d'interviews auprès de professionnels menées par certains membres du groupe et moi-même.

L'élaboration du rapport s'est faite dans un premier temps par le biais de recherches documentaires, cependant nous avons vite fait face à certaines difficultés. En effet l'hybride est un domaine récent et il nous était difficile de trouver des livres ou des documents papiers à ce sujet, ainsi c'est vers internet que nous nous sommes tournés et en particulier vers la presse pour d'obtenir des informations récentes, provenant de nombreuses sources.

Puis pour compléter ces informations déjà recueillies, nous avons cherché à interviewer des professionnels, certaines de ces démarches se sont révélées stériles, mais d'autres ont porté leurs fruits et nous ont permis d'obtenir des informations sur des points clés que nous ne parvenions pas à trouver sur Internet. Ces interviews nous ont donné un aperçu du milieu professionnel, cela s'est révélé très enrichissant.

Le projet aura également été l'occasion d'expérimenter le travail en équipe avec 5 autres personnes et donc de se rendre compte des avantages que cela apporte, mais également des inconvénients que cela peut impliquer. Enfin, ce projet m'aura donné envie d'approfondir les connaissances dans le domaine des motorisations en général qui semble très intéressant.

#### Pour Basma Afifi :

Tout d'abord, je pense que la réalisation d'un tel projet est très instructive, dans la mesure où cela nous a tous permis d'avoir un contact étroit avec la vie professionnelle. En effet, le projet des voitures hybrides nous a poussé à faire plusieurs recherches et ainsi de contacter les différentes sociétés de motorisation, avec lesquelles nous avons pu avoir quelques entretiens.

En ce qui me concerne, j'ai dû m'occuper de l'aspect technique du projet et notamment des différents types d'hybridation que j'ai pu achever à temps et avec succès grâce aux conseils du professeur.

Dans les éléments positifs de notre projet, je tiens tout d'abord à mentionner la cohésion du groupe. En effet, personne n'est resté isolé et les tâches ont été réparties de façons



équitable non seulement au niveau de la quantité de travail qu'au niveau des compétences de chacun, le travail en équipe a donc été très fructueux.

Il est vrai que nos avis n'ont pas toujours été communs mais des compromis ont été trouvés pour contenter tout le monde.

Enfin, cette expérience m'a appris plusieurs aspects du monde professionnel, elle m'a aussi permis de travailler dans un groupe de personnes ayant des idées différentes, et m'a fait sentir les difficultés à appréhender et à prendre les avis de chacun afin de faire ressortir le meilleur trophée possible. Ce fut en quatre mots une très bonne expérience !

#### Pour Iason Tsetoglou :

D'après moi, cet EC s'est avéré très éducatif. Le projet m'a permis de découvrir le secteur industriel des automobiles, un secteur dont je ne savais presque rien jusqu'à maintenant, ainsi qu'au travail collectif.

Plus précisément on s'est intéressé aux véhicules hybrides ; ce travail m'a permis dans un premier temps d'enrichir mes connaissances concernant les aspects techniques de la motorisation hybride et dans un second temps de m'informer sur les aspects commerciaux et législatifs qui entourent ce domaine de l'automobile qui est en train de se développer pendant les dernières années. Le bénéfice personnel que je tire de notre étude est le fait que, comme je suis intéressé par le département « Energie et Propulsion », j'ai pris en conscience la multitude des enjeux qui concernent une innovation. On a vu qu'il faut toujours faire le bilan entre ses points positifs et ses points négatifs, on doit s'intéresser à ses impacts sur la société et l'environnement et finalement la faisabilité de son intégration à la vie quotidienne de la société.

Grâce à ce projet j'étais capable de développer un peu plus mon esprit collectif. Dans un monde de plus en plus changeant et mouvant, la façon la plus efficace de travailler est en équipe. Avec la démocratisation des technologies de l'Information et de la Communication il devient de plus en plus répandu pour des entreprises, des structures publiques, des associations ou simplement des groupes d'individus de faire travailler de façon collaborative. Pour cette raison je trouve que cet EC était une expérience indispensable pour moi qui pourrait faciliter une intégration harmonieuse au monde d'emploi dans l'avenir. J'ai appris que chacun peut avoir ses propres idées, mais il faut les respecter, il faut atteindre un compromis par discours pour qu'un projet soit fructueux.

En conclusion, ce que j'ai pu observer pendant notre travail est le fait que les véhicules hybrides (même s'il y a encore la possibilité de développement) ne sont qu'une étape transitoire vers la sauvegarde de l'environnement. La meilleure solution jusqu'à maintenant se trouve dans les véhicules électriques ; pour cette raison je pense que la suite appropriée à notre étude devrait concerner le passage de l'hybride vers les technologies purement électriques.



## Perspectives pour la poursuite de ce projet

Pour la poursuite du projet, nous avons pensé à deux points importants sur lesquels ils seraient intéressants de réfléchir.

D'une part, il serait fort enrichissant de se pencher sur les matériaux constituant les véhicules. De fait, le problème majeur rencontré par les constructeurs automobiles est celui du poids. La motorisation hybride est relativement imposante et lourde. Cet excès de poids est essentiellement dû aux batteries et aux moteurs. Ainsi, à défaut de pouvoir réduire la masse de la motorisation nous pourrions être amené à diminuer la masse de la carrosserie et des autres composants du véhicule en les fabriquant avec des nanotubes de carbone dont les propriétés sont remarquables. En effet, ils permettent de réaliser des structures avec une très bonne rigidité et une masse réduite ce qui compenserait le poids ajouter par la motorisation hybride<sup>30</sup>. Néanmoins, il faudrait tout de même évaluer le coût d'un tel projet afin d'en estimer la viabilité. De plus, les véhicules hybrides ont été créés afin de diminuer les émissions de gaz à effet de serre. Or, au cours de nos recherches, nous avons trouvé que l'usure des freins, des pneumatiques et des routes émettaient autant de particules fines que l'ensemble des véhicules diesels de la planète. Ainsi, il serait intéressant de faire une étude sur les futurs matériaux composants les freins et les pneumatiques afin de réduire les émissions de particules fines qui est le but poursuivi par les véhicules hybrides afin d'arriver à des voitures propres. En conséquence, on peut noter que la préservation de la planète ne passe pas uniquement par l'amélioration des moyens de propulsion des véhicules mais aussi en facilitant le développement de nouvelles technologies pour les autres composants du véhicules.

D'autre part, une autre perspective d'évolution serait d'aborder la survie du marché automobile. En d'autres termes, ce dernier a-t-il encore sa place dans un monde où la pollution est omniprésente et où l'on sait que la production de masse d'automobile génère aussi une pollution conséquente. L'avenir n'est-elle pas à la refonte complète des espaces ruraux et urbains afin qu'à l'avenir les transports en commun soient l'unique mode de transport afin de désengorger les centres villes et de contribuer à une vie plus saine. Ainsi, cette perspective d'évolution se ferait en deux temps distincts. Tout d'abord, il serait nécessaire d'étudier les modes de transport en commun les mieux adaptés pour subvenir aux mieux aux besoins de toute la population. Ensuite, il serait nécessaire d'envisager la restructuration complète de notre espace de vie. Ce qui est un projet d'une envergure colossale mais peut-être nécessaire pour préserver notre espace de vie : la planète Terre.

---

<sup>30</sup> Comment ça Marche N°59-Mai 2015



## 5. BIBLIOGRAPHIE

### Liens internet :

#### SITES ASSOCIATIFS

<http://www.ieahev.org/by-country/>(valide à la date du 07/05/15)

<http://www.avem.fr/actualite-voitures-hybrides-le-marche-francais-en-hausse-de-60-en-2013-4716.html> (valide à la date du 15/04/2015)

<http://www.caradisiac.com/Toutes-les-nouveautes-du-salon-de-Francfort-2013-BMW-i3-branchee-88217.htm> (valide à la date du 29/03/2015)

<http://www.caradisiac.com/Insolite-l-Insee-met-l-automobile-en-chiffres-40014.htm> (valide à la date du 05/03/2015)

<http://www.hybride-voiture.net/les-avantages-dune-voiture-hybride/> (valide à la date du 05/03/2015)

<http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/dico/d/energie-renouvelable-voiture-hybride-7282/> (valide à la date du 05/03/2015)

#### SITES GOUVERNEMENTAUX ET OFFICIELS

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000025075049&cidTexte=LEGIARTI000006069577> (valide à la date du 07/05/15)

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Vehicules-hybrides-rechargeables.html> (valide à la date du 01/04/2015)

<http://www.insee.fr/fr/bases-de-donnees/bsweb/serie.asp?idbank=001641573> (valide à la date du 14/04/2015)

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-enjeux-du-developpement-des.html> (valide à la date du 25/04/2015)

<http://www.strategie.gouv.fr/publications/approvisionnements-metaux-critiques> (valide à la date du 26/03/15)

<http://www.economie.gouv.fr/cedef/bonus-malus-vehicule-neuf>(valide à la date du 07/05/15)

#### SITES JOURNALISTIQUES

<http://www.metronews.fr/info/pic-de-pollution-enfants-personnes-agees-sportifs-quelles-sont-les-precautions-a-prendre/mocr!c01fcEZA0HVxQ/>(valide à la date du 07/05/15)



[http://www.lepoint.fr/automobile/innovations/voitures-hybrides-comment-ca-marche-09-05-2012-1459821\\_652.php](http://www.lepoint.fr/automobile/innovations/voitures-hybrides-comment-ca-marche-09-05-2012-1459821_652.php) (valide à la date du 05/03/2015)

<http://www.actualite-voitures.fr/2010/09/07/problematique-des-voitures-hybrides-et-electriques-leurs-silences/> (valide à la date du 20/03/2015)

<http://www.automobile-propre.com/interview-shai-agassi-better-place-carlos-ghosn-est-un-genie/> (valide à la date du 01/05/2015)

<http://www.lsa-conso.fr/simply-market-se-dote-de-deux-camions-hybrides,142145> (valide à la date du 01/05/2015)

[http://www.lemonde.fr/les-nouveautes-du-mondial-2012/article/2012/10/03/toyota-privilegie-l-hybride-au-tout-electrique\\_1769124\\_1765751.html](http://www.lemonde.fr/les-nouveautes-du-mondial-2012/article/2012/10/03/toyota-privilegie-l-hybride-au-tout-electrique_1769124_1765751.html) (valide à la date du 05/04/15)

[http://www.lemonde.fr/economie/article/2014/04/08/johan-verbois-toyota-nous-nous-fixons-un-objectif-de-50-d-hybrides-pour-2015\\_4395817\\_3234.html](http://www.lemonde.fr/economie/article/2014/04/08/johan-verbois-toyota-nous-nous-fixons-un-objectif-de-50-d-hybrides-pour-2015_4395817_3234.html) (valide à la date du 18/04/15)

[http://www.notreplanete.info/actualites/actu\\_2141\\_voitures\\_electriques\\_lithium\\_enjeux\\_g\\_eostrategiques.php](http://www.notreplanete.info/actualites/actu_2141_voitures_electriques_lithium_enjeux_g_eostrategiques.php) (valide à la date du 20/04/2015)

<http://www.lefigaro.fr/international/2011/02/05/01003-20110205ARTFIG00006-lithium-la-ruee-vers-l-or-blanc.php> (valide à la date du 17/04/2015)

<http://www.leparisien.fr/automobile/voiture-propre/voiture-electrique-edf-veut-deployer-des-bornes-de-recharge-le-long-des-autoroutes-08-12-2014-4358099.php#xtref=http%3A%2F%2Fwww.facebook.com%2Fl.php%3Fu%3Dhttp%253A%252F%252> (valide à la date du 05/03/2015)

#### AUTRES SITES

[http://greenliving.lovetoknow.com/Hybrid\\_Vehicles\\_Negative\\_Environmental\\_Impact](http://greenliving.lovetoknow.com/Hybrid_Vehicles_Negative_Environmental_Impact) (valide à la date du 07/05/15)

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Toyota\\_Prius#Description\\_technique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Toyota_Prius#Description_technique) (valide à la date du 05/03/2015)

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Train\\_%C3%A9picyclo%C3%AFdal](http://fr.wikipedia.org/wiki/Train_%C3%A9picyclo%C3%AFdal) (valide à la date du 05/04/2015)

[https://www.google.fr/search?q=hybridation+des+v%C3%A9hicules&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=Rij4VILQOcz9UoDDgbAG&ved=0CAgQ\\_AUoAg&biw=1600&bih=789](https://www.google.fr/search?q=hybridation+des+v%C3%A9hicules&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=Rij4VILQOcz9UoDDgbAG&ved=0CAgQ_AUoAg&biw=1600&bih=789) (valide à la date du 25/04/2015)

<http://lesvoitureshybrides.e-monsite.com/pages/i-fonctionnement/c-les-equipements-hybrides.html> (valide à la date du 25/04/2015)



<http://www.fiches-auto.fr/articles-auto/voitures-hybrides-electriques/s-616-voitures-hybrides.php> (valide à la date du 05/03/2015)

#### SITES CONSTRUCTEURS AUTOMOBILES OU ENTRRPRISES

<http://automobiles.honda.com/images/2014/insight-hybrid/exterior-gallery/2014-honda-insight-hybrid-exterior-rear1.jpg> (valide à la date du 25/04/2015)

<http://www.citroen.fr/vehicules/ds/nouvelle-ds-5/conduite-et-motorisations.html> (valide à la date du 25/04/2015)

<http://webtv.edf.com/player-html5-cf4da338eb3a7576e692c1310a8b6fb0.html> (valide à la date du 28/04/2015)

#### **Magazines :**

Comment ça Marche N°56-Février 2015

Comment ça Marche N°57-Mars 2015

Comment ça Marche N°59-Mai 2015



## 6. TABLE DES ILLUSTRATIONS

1-Mercredi 18 mars Crédit Reuters.....	8
<a href="http://www.atlantico.fr/decryptage/pollution-images-saisissantes-paris-lorsque-particules-fines-envahissent-ville-2047430.html">http://www.atlantico.fr/decryptage/pollution-images-saisissantes-paris-lorsque-particules-fines-envahissent-ville-2047430.html</a>	
2-Les véhicules hybrides vendus dans le monde et en France de 2004 à 2010.....	9
CCFA, Automotive Innovation Platform	
3-Ventes de voitures hybrides en France en 2013-Répartition par modèles .....	10
<a href="http://www.avem.fr/actualite-voitures-hybrides-le-marche-francais-en-hausse-de-60-en-2013-4716.html">http://www.avem.fr/actualite-voitures-hybrides-le-marche-francais-en-hausse-de-60-en-2013-4716.html</a>	
4-Scénarios de ventes de véhicules hybrides dans le monde 2010-2020.....	11
Avicenne Energy, The rechargeable battery market, past and future, 2011	
5-Promotion de la politique environnementale de Carrefour .....	12
<a href="http://www.anti-gaspillage.carrefour.fr/carrefour-s-engage-en-preservant-lenergie/">http://www.anti-gaspillage.carrefour.fr/carrefour-s-engage-en-preservant-lenergie/</a>	
6- Les différents composants du système Start & Stop de la Citroën c3 .....	15
<a href="http://bobmarleyponge.free.fr/stop_and_start.htm">http://bobmarleyponge.free.fr/stop_and_start.htm</a>	
7-Fonctionnement de la motorisation semi-hybride (démarrage / assistance / récupération de l'énergie).....	15
<a href="http://lesvoitureshybrides.e-monsite.com/pages/i-fonctionnement/c-les-equipements-hybrides.html">http://lesvoitureshybrides.e-monsite.com/pages/i-fonctionnement/c-les-equipements-hybrides.html</a>	
8-Schéma explicatif du montage en série .....	18
<a href="http://homepages.laas.fr/echanthe/doc/TIPE_techno_hybrides.pdf">http://homepages.laas.fr/echanthe/doc/TIPE_techno_hybrides.pdf</a>	
9-Schéma explicatif du montage en parallèle .....	18
<a href="http://homepages.laas.fr/echanthe/doc/TIPE_techno_hybrides.pdf">http://homepages.laas.fr/echanthe/doc/TIPE_techno_hybrides.pdf</a>	
10-Schéma explicatif pour le montage série-parallèle.....	19
<a href="http://homepages.laas.fr/echanthe/doc/TIPE_techno_hybrides.pdf">http://homepages.laas.fr/echanthe/doc/TIPE_techno_hybrides.pdf</a>	
11-Schéma explicatif du montage en dérivation de puissance.....	19
<a href="http://l2ep.univ-lille1.fr/pagesperso/francois/files/g3_ve_02_technologies.pdf">http://l2ep.univ-lille1.fr/pagesperso/francois/files/g3_ve_02_technologies.pdf</a>	
12-Peugeot 3008 hybrid4.....	22
<a href="http://www.automobile-propre.com/voitures/peugeot-3008-hybrid4/">http://www.automobile-propre.com/voitures/peugeot-3008-hybrid4/</a>	
13-Toyoya Yaris hybride .....	22
<a href="http://www.quechoisir.org/auto/actualite-toyota-yaris-hybrid-premieres-impressions">http://www.quechoisir.org/auto/actualite-toyota-yaris-hybrid-premieres-impressions</a>	
14-Citroën DS5 hybride .....	22
<a href="http://www.citroen.fr/vehicules/ds/nouvelle-ds-5.html">http://www.citroen.fr/vehicules/ds/nouvelle-ds-5.html</a>	
15-Golf GTE.....	22
<a href="http://www.volkswagen.fr/fr/models/nouvelle-golf-gte/points-forts.html">http://www.volkswagen.fr/fr/models/nouvelle-golf-gte/points-forts.html</a>	
16-bornes de recharge autolib' (location courte durée de voitures 100% électriques).....	29
<a href="http://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/automobile/20140128trib000812365/bornes-de-voiture-electrique-edf-et-bollere-entrent-en-competition.html">http://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/automobile/20140128trib000812365/bornes-de-voiture-electrique-edf-et-bollere-entrent-en-competition.html</a>	





17-batterie de véhicule hybride .....	23
<a href="http://www.avem.fr/actualite-toyota-fait-recycler-les-batteries-de-ses-voitures-hybrides-en-france-1610.html">http://www.avem.fr/actualite-toyota-fait-recycler-les-batteries-de-ses-voitures-hybrides-en-france-1610.html</a>	
18-Fonctionnement de la motorisation d'un véhicule à hydrogène <a href="http://bobmarleyponge.free.fr/stop_and_start.htm">http://bobmarleyponge.free.fr/stop_and_start.htm</a> .....	26
19-Toyota Mirail .....	26
20- Schéma d'un véhicule Hybrid air (Crédit : PSA).....	27
<a href="http://auto.ndtv.com/photos/toyota-mirai-photo-gallery-18841">http://auto.ndtv.com/photos/toyota-mirai-photo-gallery-18841</a>	
21-Détails de la motorisation d'un véhicule électrique de chez Renault.....	28
<a href="http://www.voiture-electrique-populaire.fr/tag/renault/page/7">http://www.voiture-electrique-populaire.fr/tag/renault/page/7</a>	



## 7. ANNEXES

### 7.1. Questionnaire ayant servis pour les entretiens téléphoniques

Si vous ne pouvez pas répondre à certaine question du fait qu'elles soient considérées comme confidentielles nous comprendrons.

- La stratégie de Renault

-Pourquoi Renault a-t-il au départ délaissé les véhicules hybrides au profit du tout électrique?

- La vente des véhicules hybrides

-Quelles sont concrètement les aides qu'un client peut espérer obtenir en achetant un véhicule hybride ?

-Qu'est ce qui pourrait aujourd'hui pousser les gens à se tourner vers l'hybride à l'achat d'une nouvelle voiture ? (Hormis la cause écologique)

-Quel type d'hybride proposez-vous à la vente ?

-Quel type d'hybride est le plus acheté ?

-Avez-vous vu une augmentation ou une évolution de la demande sur les véhicules hybrides ?

-Vos ventes de véhicules hybrides sont-elles constamment en hausse?

-Qu'est-ce qui parfois « rebute » vos clients en ce qui concerne l'achat des véhicules hybrides ?

- L'entretien des véhicules hybrides et les problèmes techniques des véhicules

-Pensez-vous que les mécaniciens sont et seront assez formé pour réparer des véhicules dont la technologie sera plus complexe?

-Les garages sont-ils vraiment habilités à réparer ces véhicules ?

-Quels sont les problèmes techniques les plus courants que vous rencontrez sur des hybrides ?

- Concernant les batteries

-Qui fabrique les batteries ?

-Combien de temps durent les batteries ?

-Que proposez-vous pour le recyclage des batteries ? Ce recyclage est-il au point ?

-Quels sont les matériaux utilisés pour l'élaboration des batteries?



-Des recherches sont-elles menées pour rendre les batteries moins polluantes? Ou bien cherchez-vous une alternative aux batteries?

- **A propos du moteur thermique**

-D'après vous, est-il préférable d'avoir des véhicules hybrides dont le moteur thermique fonctionne au diesel ou à l'essence?

-Existe-t-il des véhicules hybrides, dont le moteur thermique fonctionne avec autre chose que du diesel ou de l'essence ?

- **L'hybride aujourd'hui et les bénéfices pour l'entreprise**

-Peut-on aujourd'hui considérer que l'hybride est un succès commercial / écologique ?

-Parmi les différentes technologies d'hybrides, laquelle se révèle être selon vous la plus intéressante : pour l'entreprise / pour l'utilisateur ?

-Quels sont pour vous les gros avantages des véhicules hybrides? Les inconvénients?

- **L'avenir de l'hybride**

-Quelles sont les évolutions ou innovations à venir pour les moteurs hybrides?

-Quel type de moteur hybride est selon vous le plus performant, le plus apte à remplacer un moteur uniquement thermique ?

-Est-on arrivé au bout des performances des véhicules hybrides ou peut-on encore espérer améliorer les capacités de ces derniers?

-Le rôle du moteur hybride est-t-il d'évoluer jusqu'à ce que le moteur thermique ne soit plus qu'à terme un simple assistant du moteur électrique ?

- Selon vous, l'hybride a-t-il plus (ou moins) d'avenir que l'électrique ?

-D'après vous les véhicules hybrides sont-ils une alternative à court terme aux véhicules thermiques ou bien pensez-vous qu'il est préférable de développer une technologie encore plus performante en délaissant l'hybride afin d'investir uniquement dans une recherche à long terme?

-Des prototypes sont-ils au banc d'essais concernant l'évolution d'une nouvelle technologie ?

-Quelle est la stratégie de votre entreprise concernant les véhicules hybrides? (continuer à développer ou abandon dans les années à venir aux profits d'autres technologies)

- **L'aspect environnemental de l'hybride**

-Quel est l'impact environnemental d'un véhicule hybride par rapport à un véhicule uniquement thermique? (De l'extraction des matériaux pour sa fabrication, en passant par sa construction et son utilisation puis son recyclage.) (En matière de rejet de CO<sub>2</sub>.)

- **A propos des sources d'énergie**



-Y-a-t-il aujourd'hui des solutions de prévu en ce qui concerne le réseau électrique, en effet celui n'est pas assez puissant pour résister, si chaque Français décide d'acheter une voiture hybride ou et surtout électrique ? (En matière de dimensionnement du réseau.)

-Les grandes firmes de l'énergie (Total, EDF...) vous mettent-ils la pression afin que vous privilégiez une énergie plutôt qu'une autre uniquement pour des raisons économiques sans prendre en compte l'aspect environnemental alors qu'il semble aujourd'hui non négligeable?

-Passez-vous des accords avec des entreprises comme EDF concernant le coût de l'électricité dans le futur?

-De combien en moyenne la facture électrique d'un utilisateur de véhicule hybride (plug in) va-t-elle augmenter ?

-De quelle manière la batterie peut-elle être rechargée (hormis du branchement sur le secteur, et de la récupération de l'énergie lors du freinage) ?

- **L'aspect économique pour le consommateur**

-Quel est le coût financier de faire 100km avec une voiture hybride et 100km avec une uniquement thermique ? (En prenant en compte : le prix d'achat, de l'énergie, de l'entretien et des assurances.)

- **L'image de marque de l'entreprise**

-Le fait de vendre des véhicules hybride est-il nécessaire pour l'image d'une marque (pour montrer que la marque à une conscience écologique) ?



## **7.2. Compte rendu de l'entretien téléphonique avec Monsieur Frédéric Delrieu ingénieur chez Renault**

Date et heure de l'entretien : Lundi 2 mars 2015 de 17h à 19h

Personne interviewé : Monsieur Frédéric Delrieu

Lien LinkedIn de M.Delrieu : <https://www.linkedin.com/in/fredericdelrieu>

Personne ayant réalisé l'interview : Antoine Le Rétif

Objectif : Parler avec un professionnel afin d'avoir son point de vue sur notre sujet

Dans le cadre de notre projet, nous avons estimé qu'il était nécessaire de contacter une personne travaillant dans le milieu de l'automobile afin d'avoir son point de vue sur la question. C'est pourquoi, nous avons décidé de prendre contact avec un membre de chez Renault qui avait donné une conférence en début d'année à l'INSA de Rouen.

Avant toute chose, M. Delrieu nous a précisé qu'il était plus spécialisé sur les modèles électriques. Mais fort de son expérience il a pu nous apporter des réponses claires à nos questions présentes dans le questionnaire ci-dessus que nous lui avons envoyé avant de réaliser l'interview afin qu'il puisse prendre connaissance de notre sujet.

Ensuite, s'en sont suivi deux heures d'interview téléphonique. M.Delrieu nous a expliqué pourquoi Renault a davantage misé sur l'électrique alors que Toyota s'est plus concentré sur l'hybride. Ensuite, nous avons traité chacune des questions présentes dans le questionnaire. Ainsi, nous retrouvons les traces de ces réponses au sein de notre travail.

Nous remercions M.Delrieu de nous avoir consacré deux heures de son temps personnel. Cette interview fut fortement enrichissante.



### **7.3. Compte-rendu de l'entretien téléphonique avec Benjamin Chauffert commercial chez EDF**

Dans le cadre de notre projet, nous avons choisi d'interviewer un représentant d'EDF dans le but d'obtenir son avis sur les véhicules hybrides aujourd'hui. Si interviewer un collaborateur d'EDF peut paraître une décision étrange à première vue, il s'agit en fait d'une décision rationnelle dont le but était d'obtenir des informations concernant la stratégie de EDF vis à vis, de l'augmentation du nombre de véhicules hybride ces dernières années, mais aussi dans les années qui vont suivre.

Pour décrocher cette interview, nous nous sommes rendus à l'agence EDF de Rouen. Là-bas Mme Virginie Fellah nous a aimablement communiqué l'adresse mail de son collègue M. Benjamin Chauffert du service communication d'EDF. Suite à un échange de quelques mails, nous avons déterminé un entretien téléphonique de 30 minutes le 29 avril 2015.

Durant cet entretien, M. Chauffert a courtoisement répondu à nos questions, tout en nous parlant de sujets plus généraux en terme d'énergie.

Ainsi, à la question de l'augmentation de la consommation électrique liée à l'augmentation de nombre de véhicules électriques, notre interlocuteur nous a expliqué qu'en réalité, cette question s'inscrit dans une question plus vaste pour EDF, en effet l'enjeu est ici de suivre l'augmentation de la consommation électrique liés aux évolutions technologiques. Dans ces évolutions, on trouve bien évidemment la motorisation hybride mais aussi la motorisation, les ordinateurs, les smartphones et règles générales le nombre de plus en plus croissant d'appareils électriques au sein d'un foyer.

C'est par ce constat que M. Chauffert, nous a expliqué que cette augmentation de production d'électricité n'est aussi simple que cela à mettre en œuvre. En effet, la production électrique est faite si l'on peut dire, "à la louche", c'est à dire qu'EDF prévoit la demande et produit l'énergie qu'il faut pour répondre à cette demande. En effet EDF ne peut pas stocker l'énergie qu'elle produit. Ainsi lorsque la demande augmente brutalement, il faut pouvoir produire beaucoup, or pour produire plus pour il faut des centrales. Et aujourd'hui, il est difficile de construire de nouvelles centrales et acheter de l'énergie à l'étranger coûte très cher. C'est pourquoi dans le cadre de la transition énergétique, de nombreux foyers sont amenés à devenir éco-suffisant, c'est à dire qu'ils produisent leurs électricité eux même notamment à travers des panneaux solaires, des pompes à chaleurs ... Ainsi si les foyers sont éco-suffisant, l'augmentation de la production n'est plus un problème puisque les coûts de cette augmentation sont divisés au sein de la population.

Cependant il nous faut nuancer les propos de M. Chauffert qui avait un poste commercial au sein du groupe et qui ne pouvait donc porter une vision trop critique sur les capacités futures de son entreprise. Il n'a de ce fait pas pu répondre de façon précise à certaines questions plus critiques de notre part.

