



Feuille de route véhicules routiers à faibles émissions de GES



Feuille de route véhicules routiers à faibles émissions de GES

Les nouvelles technologies énergétiques devant faire l'objet de démonstrateurs de recherche de façon prioritaire ont été identifiées, notamment à partir de la stratégie nationale de recherche dans le domaine de l'énergie et des réflexions du comité opérationnel « recherche » du Grenelle de l'environnement.

Ce document présente les éléments de feuille de route précisant les besoins de démonstrateurs de véhicules routiers à faibles émissions de GES, et définit les priorités auxquelles s'adressera le fonds démonstrateur.

> Le contexte

Les transports terrestres de personnes et de marchandises sont majoritairement réalisés par l'usage de véhicules routiers et se caractérisent par :

- une place de l'automobile dans nos sociétés qui peut-être décrite comme une société construite autour et pour l'automobile,
- des produits qui sont construits de façon à offrir un produit en grande série, à un coût optimisé par des acteurs, notamment les constructeurs et les équipementiers, qui interviennent à l'échelle mondiale.

Ce type de développement menace d'atteindre ses limites du fait de sa généralisation à l'échelon mondial, et de son impact sur le réchauffement climatique. Les menaces se caractérisent par :

- une résistance très forte à la maîtrise voire à la baisse des émissions de CO₂ liées aux transports dans les pays développés,
- une forte croissance des émissions de CO₂ de ce secteur, notamment à l'échelle mondiale avec la croissance du parc de véhicules (notamment les véhicules particuliers) dans les pays émergents,
- une dépendance quasi-totale aux énergies fossiles, et tout particulièrement au pétrole.

Les pouvoirs publics engagés dans la lutte contre l'effet de serre sont face à un challenge difficile qui nécessite de traiter des problèmes très divers :

- des questions environnementales (ex : réglementations polluants et CO₂ à venir, politique de transferts modales, politique de maîtrise de la mobilité),

- des questions économiques : la forte part de l'emploi automobile dans l'emploi industriel ou les questions des modèles économiques des solutions de remplacement (financement des transports publics, politique d'urbanisme...),
- des questions réglementaires liées à la construction de notre système de transport autour de la voiture (inaccessibilité au TC de certaines zones péri-urbaines, exigences de sécurité...),
- la place de l'automobile dans notre imaginaire où elle reste liée aux enjeux d'indépendance, de liberté, de puissance.

Au-delà de la première priorité qui vise à maîtriser la croissance de la mobilité urbaine subie et à développer une offre modale alternative au véhicule routier, une action sur le véhicule lui-même est indispensable. La thématique de la maîtrise de la mobilité et des nouveaux services associés devra faire l'objet de l'élaboration d'une feuille de route spécifique, le présent document se concentre sur les technologies des véhicules pour des faibles émissions de gaz à effet de serre. Pour mettre les transports individuels de personnes sur la voie d'objectifs ambitieux comme le « facteur 4 » à l'échelle française et le « facteur 2 » à l'échelle mondiale, 2 familles d'options technologiques sont envisageables : les options en lien avec l'évolution du groupe motopropulseur et les actions en lien avec la nature du véhicule.

Dans ce contexte, les voies offertes par les véhicules technologiques mobilisant fortement l'énergie électrique sont à la fois prometteuses et délicates à explorer. Le Gouvernement a décidé dans le cadre du Grenelle de l'environnement de mener un plan spécial pour faire avancer ces technologies via une série de véhicules démonstrateurs.

> Les technologies candidates

Les interrogations portent sur deux types d'évolutions celles liées au groupe motopropulseur et celles en lien avec la nature même du véhicule particulier.

Les technologies en lien avec le groupe motopropulseur (logique de l'offre d'énergie du véhicule)

Afin de bénéficier d'un point de référence au niveau tendanciel, les technologies de motorisations en rupture devront être comparées, à chaque fois que cela sera possible, à la solution existante à savoir le groupe motopropulseur à combustion interne. Cette comparaison devra se faire à la fois en terme de fonctionnalités (contraintes d'exploitation, autonomie, temps de recharge...) et en terme de coût (d'achat et d'exploitation) pour un marché donné.

Cette comparaison devra tenir compte des progrès accomplis dans le même temps par les motorisations à combustion interne, étant entendu que les évolutions suivantes sont annoncées :

- recours au mode de combustion homogène, qui à un horizon de 4 à 7 ans, permettrait de gérer l'arbitrage baisse des émissions de NOx versus réduction des émissions de CO₂,
- adaptation des motorisations à un fonctionnement avec un fort taux (voire 100%) de carburants produit à partir de biomasse (biocarburant 2ème génération), qui sous réserve d'une maîtrise de leurs impacts environnementaux, permettraient de progresser dans la voie de la réduction des émissions de gaz à effet de serre du couple véhicules particuliers – carburants,
- amélioration de l'efficacité du cycle thermodynamique du moteur à combustion interne par exemple, à travers la variation du taux de compression.

Ici, trois options technologiques sont étudiées, toutes basées sur une électrification croissante de la chaîne de traction :

- l'hybridation douce, à base d'alternateur-démarrateurs, qui commencent par les fonctions de type stop and start, pour se développer avec des fonctions de récupération d'énergie et de boost,
- les hybridations complètes offrant une autonomie en

mode électrique et/ou une recharge par le réseau, qui vont nécessiter un important travail sur gestion de l'énergie à bord,

- la production de véhicules spécifiquement électriques avec des autonomies élevées, le cas échéant avec recours à une motorisation thermique d'appoint («range extender») et éventuellement avec une convergence vers l'hybride rechargeable. Cette voie impliquera un travail sur optimisation de la chaîne de traction.

Une quatrième voie doit être également évoquée, il s'agit également de l'électrification du véhicule, mais cette fois à travers le recours à une pile à combustible alimentée à l'hydrogène. Il s'agit d'une voie de plus long terme (pas de large diffusion avant 2020), et sur la période court - moyen terme, les travaux de recherche doivent plutôt être menés au niveau «briques technologiques» (cœur de pile, composants) et sur la «gestion système» et de ce fait, cette voie n'est pas traitée en priorité dans la présente feuille de route «démonstrateur véhicules routiers à faibles émissions GES».

Ces différentes options n'ont pas le même horizon de déploiement. Elles ne sont pas, non plus, totalement indépendantes. Par exemple, les futurs véhicules hybrides pourront être adossés à des moteurs à combustion interne fonctionnant à combustion homogène. Ils pourront également, à un horizon plus lointain, être alimentés par des piles à combustible qui auraient été préférées aux batteries.

Ces concepts de véhicule nécessitent une panoplie de technologies pour rendre les véhicules viables :

- des batteries proposées en quantités industrielles avec des coûts, une sécurité, et une fiabilité maîtrisée. A ce titre, s'il faut assurer à court terme une fourniture de quelques milliers de batteries par an, il faut aussi envisager à plus long terme des productions de 100 000 à 1 million pack de batteries an pour les applications aux véhicules légers, ou de quelques milliers d'unités pour les applications aux véhicules utilitaires,
- des batteries à supercapacité,
- des systèmes de stockage exploitant ces technologies : en premier lieu les stockages de type électrochimique mais également le cas échéant des solutions de stockage de type volant inertiel, ou oléo-pneumatique,

Feuille de route véhicules routiers à faibles émissions de GES

- l'électronique associée,
- les dispositifs mécaniques permettant de transmettre l'énergie,
- les outils de gestion optimisée,
- les outils d'évaluation et de dimensionnement (cycle standards représentatifs...),
- les outils de simulation systèmes.

Les points durs portent tout particulièrement sur :

- le pilotage énergie thermique – énergie électrique,
- la disponibilité de batteries fiables, sûres à un coût acceptable sur l'ensemble de leur cycle de vie,
- la constitution d'une offre pour ces produits sur des marchés débutants : de 1 000 à 10 000 véhicules par an selon la cible VL, VU ou VI.

Les technologies en lien avec la forme et la nature du véhicule (logique de la demande d'énergie du véhicule)

En complément des différentes options d'évolution du groupe moto-propulseur, les exercices de prospective sur le couple véhicules particuliers – carburants, les initiatives des constructeurs, ainsi que les caractéristiques des marchés d'Asie en forte croissance (contrainte d'espace, pouvoir d'achat modéré des classes moyennes) laissent penser que la nature même du véhicule pourrait fortement évoluer.

Ces évolutions pourraient recouvrir pour des applications spécifiquement urbaines des formes non conventionnelles de type « 2 roues motorisées » évoluées à 3 ou 4 roues .

Exemples :

- projets Ion et Tulip des années 1994-95 chez PSA
- concept-cars plus récents Hoggar, Quartz, projets Zo et Zoom chez Renault
- concept « 1l/100km » chez Volkswagen,
- « Keicars » au Japon
- projet Nano par Tata
- autres tri ou quadricycles à moteurs (cf. le succès commercial du scooter MP3 de Piaggio)

Enfin une éventuelle mutation vers des services de mobilité en combinant ces options techniques avec des outils de gestion système, dont la plupart existent déjà largement sur le marché et qu'il s'agirait simplement d'adapter tels que les logiciels de positionnement (exemple du suivi des poids-lourds en temps réel), ou les logiciels de gestion des parcs (exemple des parcs de conteneurs maritimes, vélos en libre service, etc.).

Trois pistes d'évolution méritent être explorées :

- La segmentation en France et dans le monde, de la production de véhicules urbains et périurbain dont la taille, la conception et la propulsion seraient entièrement repensées pour être dimensionnées en fonction des besoins de mobilité en zones urbaines et péri-urbaines proches (contrainte d'autonomie), des contraintes de nuisances environnementales urbaines (pollution locale, bruit, consommation d'espace) et de la réglementation automobile ou de celle des quadricycles à moteur.
- Certains de ces véhicules pourraient être adaptés spécifiquement dans une logique de mise en place de service spécifiques (véhicules en temps partagés, projets de Shai Agassi en Israël et au Danemark, projet Autolib sur le modèle du Velib...).
- La diminution du besoin en énergie notamment par un allègement drastique du véhicule (baisse du poids moyen du véhicule de l'ordre de 50 % à l'horizon 2050) obtenu grâce au développement et à l'utilisation de nouveaux matériaux, ainsi que principalement par la refonte des règles de conception des véhicules afin de permettre une incorporation massive de ces nouveaux matériaux ; et également par la réduction de la traînée des véhicules (architecture-aérodynamique, roulement-contacts au sol). A ce titre, la pénétration croissante de l'électricité dans la chaîne de traction pour les véhicules hybrides ou électriques permet d'envisager de repenser fortement leur conception architecturale ce qui peut aller dans le bon sens pour agir sur ces objectifs.

Chacune de ces options, si elles sont déployées, viendrait donner des espaces de liberté supplémentaires aux évolutions du groupe moto-propulseur.

> Exemples de développements au niveau international

La mise en œuvre de motorisations électriques et hybrides retient fortement l'attention des acteurs, à la fois au niveau des pouvoirs publics, des organismes de recherches et des industriels, sur la scène internationale avec nombre de projets lancés sur le continent américain, en Asie et dans l'ensemble de l'Europe.

Ainsi sont développés aux USA et au Canada des solutions de véhicules électriques et de véhicules hybrides, avec des véhicules commercialisés ou à l'état de concept-cars préfigurant les véhicules produits demain. On retiendra, au-delà des offres adaptées pour le marché US du constructeur japonais Toyota avec les Prius, la Camry (US) et les déclinaisons luxe via la marque Lexus, une tendance à proposer des véhicules plutôt imposants de type 4x4, SUV (Véhicule Utilitaire Sport), avec une hybridation visant à ramener leurs consommations (et leurs impacts CO₂) au niveau des berlines moyennes (selon le format américain). Ceci met en lumière une des possibles utilisations de l'hybridation qui ne répond pas aux attentes de cette feuille de route : celle de la recherche d'améliorations de la puissance/sportivité (cf Porsche, Ferrari en Europe) au lieu de la poursuite d'objectifs de minimalisation des impacts CO₂. Par exemple, la GMC Pick-up Hybride, le Chevrolet Volt, hybride malgré son nom et qui offre une autonomie ZEV 60 kms et qui est rechargeable sur le secteur, le Ford Escape Hybride (Ford milite également pour l'hybride plug-in). Quelques exercices sur des solutions totalement électriques ont été menés par les 3 grands constructeurs dans le cadre des accords avec le gouvernement Californien mais sont plutôt en sommeil, à l'inverse des industries naissantes (PME, start-up) visent des nouveaux créneaux (maxi sportives ou exclusives urbaines) avec des projets comme la sportive électrique « Tesla » élaborée dans la Silicon Valley, ou la 3-roues électrique urbaine au design futuriste « Apta ». Des acteurs canadiens (Hydroquebec, TM4) se positionnent également avec une offre de moteurs électrique ou de systèmes de motorisations véhicules hybrides.

Les Européens ne sont pas en reste avec des travaux chez les grands constructeurs. Pour les Allemands : Mercedes prépare des offres hybrides avec une visée sur le marché US mais aussi sur celui de l'Europe avec la solution Hybride Diesel, les versions Diesel Bluetec hybride pour une large palette de modèles (séries C, E, S et ML). BMW annonce pour sa part un X6 active Hybride

à motorisation essence même si, originalité liée à son image « justifiée » de grand motoriste, il poursuit la voie de la combustion interne de l'hydrogène.

En France, PSA Peugeot Citroën poursuit des travaux sur l'hybridation complète, en plus de la diffusion qui va s'étendre de l'hybridation douce (alerno-démarrateurs pour stop and start, récupération d'énergie et boost), comme l'ont montré les concepts cars 308 et C4 Hybride Diesel, avec une réorientation vers des modèles « premium » plus haut de gamme. Renault et son partenaire Nissan, préparent des solutions hybrides mais également avec un partenariat Israélien une solution de véhicule électrique pour le marché israélien (projet Better Place).

Les groupes Fiat, Opel, Ford, Porsche ou Audi sont également actifs avec des projets d'hybrides comme la Fiat Grande Punto, la Fiat 500, le prototype Ford « Think City », les Opel « CITYCOM CityEL » et « Flextrème », la Porsche Cayenne ou l'Audi Metroproject. Pour les applications 2 ou 3 roues, des sorties véhicules sont même imminentes avec le Piaggio MP3 hybride.

En Asie, où la voie du Diesel est nettement moins exploitée que sur le continent européen, les développements autour des VE et des VH sont nombreux pour fournir une réponse sur les plans émissions de polluants et GES. Après la désormais historique prise de position sur ce marché par Toyota (qui vend d'ailleurs très bien des versions hybrides à l'export, les US étant un de leur plus gros marché), les autres grands constructeurs se préparent également à une forte diffusion des véhicules à motorisation hybride : Honda, après le coupé 2 places Insight puis la Civic, propose une Accord Hybride, Hyundai une Getz hybride, ainsi qu'un modèle de petit utilitaire Portico (en Californie où la pile est bienvenue, il existe même une version fonctionnant à l'hydrogène pour des expérimentations) et Daihatsu dispose d'un modèle « Hijet hybride ».

Les constructeurs des pays émergents Chine et Inde se préparent également à investir ce marché avec des premières propositions comme l'indienne Mahindra « Scorpio Hybride » ou la chinoise BYD Auto « F6DM », sans compter les nombreuses offres de véhicules 2 roues électriques.

> La feuille de route de recherche

La feuille de route de recherche proposée poursuit 2 objectifs interdépendants :

Feuille de route véhicules routiers à faibles émissions de GES

- l'électrification partielle (hybride et hybride rechargeable) ou totale (véhicules électriques) de la chaîne de traction,
- le développement et le déploiement de nouveaux concepts, de composants efficaces pour la motorisation et les auxiliaires dédiés, ainsi que des services associés. Ces avancées s'associent de préférence avec la mise en œuvre d'architectures visant un allègement important des véhicules, ceci dans l'optique d'une production rentable et de masse sur le territoire national, de véhicules dédiés à la

satisfaction des besoins de mobilité urbaine.

La réalisation des recherches présentées dans cette feuille de route devra s'effectuer dans un contexte où le moteur à combustion interne est amené également à progresser ce qui en soit est positif et qui s'avère même une nécessité pour certaines solutions d'hybrides qui devront avoir des moteurs thermiques les plus efficaces et compacts possibles (enjeux du « downsizing ») et fonctionnant le plus possible en complémentarité avec la machine électrique.

> Le calendrier recherche – démonstration – déploiement

Les objectifs en terme de rejets de gaz à effet de serre donnés dans ce calendrier, sont présentés sous forme de gain par apport au niveau moyen des véhicules conventionnels thermiques neufs commercialisés à la même période. Dans le cas des véhicules ayant recours à une recharge réseau, le bilan pour ces véhicules devra prendre en compte les émissions de gaz à effet de serre liée à l'énergie réseau utilisée.



Période	Objectifs	Objectifs GES
2008 – 2012	Les différentes options technologiques en lien avec le groupe motopropulseur et ses auxiliaires sont étudiées et expérimentées, notamment dans le cadre de démonstrateurs de recherche. Des démonstrateurs de recherche sur les véhicules urbains et les services de mobilité associés sont mis en œuvre	VP et VUL : -20 % sur cycle NEDC Utilitaires Lourds et TC : -10 % sur cycle représentatif (i.e profil de missions) pour les PL -20 % pour les bus urbains sur des usages représentatifs des conditions d'exploitations
2012 – 2015	Un portefeuille technologique est déterminé, sur la base des résultats des démonstrateurs de recherche. Des productions de taille industrielle (supérieure à 10 000 unités pour le cas automobile, beaucoup moins mais en nombre significatif pour les utilitaires lourds) sont lancées pour tester la performance des technologies et des services associés en condition d'usages réels. Des programmes de recherche sont également relancés si les résultats des démonstrateurs de recherche en pointent le besoin.	VP et VUL : -25 % sur cycle NEDC Utilitaires Lourds et TC : -10 % sur cycle représentatif (i.e profil de missions) pour les PL -20 % pour les bus urbains sur des usages représentatifs des conditions d'exploitation
2020	L'ensemble des éléments nécessaires à la production de véhicules urbains et non urbains faiblement émetteurs sont disponibles. Le déploiement de ces nouvelles gammes est effectif. Des liens sont établis avec les autres composantes du système énergétique (ex : bâtiments, réseaux énergétiques) et de l'espace urbain (ex : politiques d'urbanismes, de stationnement).	VP et VUL : -30 % sur cycle NEDC Utilitaires Lourds et TC : -15 % sur cycle représentatif (i.e profil de missions) pour les PL -25 % pour les bus urbains sur des usages représentatifs des conditions d'exploitations

> Le besoin de démonstrateur de recherche

Aujourd'hui des acteurs français sont impliqués dans le développement et l'expérimentation de véhicules hybrides rechargeables (partenariat EDF – Toyota, projet de développement de moteur hybride – diesel porté par PSA...).

Jusqu'à présent les projets des constructeurs français visant à concevoir, produire et développer des véhicules spécifiquement urbains n'ont jamais atteint le stade commercial. Compte tenu, de l'engouement de nombreux acteurs et du marché potentiel, notamment dans les pays ayant de fortes contraintes d'espace (ex: Chine), il apparaît nécessaire de déployer plusieurs démonstrateurs de recherche sur les véhicules urbains à faibles émissions de nuisances locales et de GES et les services associés, qui apparaissent comme une des conditions pour rendre rentable, sur le moyen et long terme, cette stratégie produit.

La possibilité de démonstrateurs de recherche sur des véhicules urbains et péri urbains allégés devra également être étudiée, notamment afin de réduire le risque reposant sur une stratégie basée uniquement sur l'évolution des performances du groupe motopropulseur.

Les contributions des acteurs du secteur de l'automobile adressées au comité opérationnel 8 du Grenelle de l'environnement représentent une véritable rupture qui pourrait modifier profondément la stratégie des constructeurs et équipementiers si elles sont accompagnées par les pouvoirs publics. Plusieurs projets de recherche passent par la réalisation de démonstrateurs (petits véhicules urbains, hybrides...) concernant non seulement les véhicules particuliers mais également des véhicules utilitaires légers, qui constituent une part significative du marché, et donc de la consommation d'énergies fossiles, des rejets de CO₂ et des nuisances urbaines, aussi bien dans les pays développés que dans les pays émergents.

Références :

- European road map on road transportation ERTRAC, 2004
- Feuille de route véhicule carburant à l'horizon 2050 (ADEME-EPE), 2007
- PREDIT 4 : Note d'orientation « Propositions pour un Predit 4 », 2008
- Contribution des participants au COMOP 8 du Grenelle de l'Environnement, 2008
- Projet de directive sur les émissions CO₂ des véhicules COM(2007)856 final , 2007

L'ADEME en bref

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer et du ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. Elle participe à la mise en oeuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable.

Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en oeuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie

www.ademe.fr

