



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

PREMIER MINISTRE



PRÉSENTATION DU RAPPORT ▼

► Développement durable

La voiture de demain : carburants et électricité

Par
Vincent Chriqui,
Directeur général du Centre d'analyse stratégique

Et
Jean Syrota

Mercredi 15 juin 2011

► DOSSIER DE PRESSE

**PLUS
D'INFOS**

sur www.strategie.gouv.fr

■ **Contact Presse :**

Jean-Michel Roullé, Responsable de la Communication

jean-michel.roulle@strategie.gouv.fr

Tél. : +33 (0) 1 42 75 61 37 - Port. : 06 46 55 38 38

www.strategie.gouv.fr



La voiture de demain : carburants et électricité

Dans un contexte tendu, entre crainte d'un changement climatique et pressions géopolitiques croissantes sur les ressources pétrolières, quelle sera la place demain du véhicule électrique, qu'il soit hybride, hybride rechargeable ou tout électrique ? Quelle sera celle du véhicule thermique classique ?

C'est à ces questions que le rapport du Centre d'analyse stratégique sur le véhicule de demain tente de répondre. Fruit d'une réflexion menée sous la direction de Jean Syrota, il cherche à identifier les déterminants de cette évolution et envisage un certain nombre de recommandations pour favoriser une mobilité moins émettrice de gaz à effet de serre.

Pour faire face au double défi que représentent l'entrée dans une période de prix élevés de l'énergie et la mise en œuvre de la lutte contre le réchauffement climatique, les pouvoirs publics doivent mener une politique énergétique nouvelle, caractérisée par son ampleur et sa permanence. Dans le cas du véhicule "grand public", à la difficulté inhérente à un tel changement s'ajoute le caractère irrationnel des choix et comportements d'une partie significative des automobilistes. La consommation des véhicules et, plus généralement, leur niveau d'émissions polluantes diminueront d'autant plus que l'économie, la sécurité, le caractère utilitaire auront remplacé, dans leur esprit, la fascination pour la vitesse, l'accélération, la puissance des véhicules.

Pour diminuer la consommation des véhicules et leurs émissions directes et indirectes, l'État intervient de multiples façons :

- ▶ *l'information* : elle permet de justifier toute nouvelle politique, d'y faire adhérer les automobilistes et de leur faire adopter un comportement mieux adapté au nouveau contexte ;
- ▶ *l'exemplarité* : l'État doit montrer l'exemple en tant qu'acheteur et utilisateur de véhicules ;
- ▶ *la réglementation* : elle permet de réduire la consommation des véhicules et leurs émissions, directement ou en limitant la vitesse, la circulation ou le stationnement ;
- ▶ *la taxation* : elle concerne le prix des véhicules et celui de leurs sources d'énergie ;
- ▶ *l'incitation financière* : elle peut dissuader l'acquisition des véhicules les plus consommateurs, aider à l'acquisition des véhicules les plus performants, en combinant éventuellement les deux options ("bonus/malus").

Les mesures à prendre sont à traiter, suivant le cas, au niveau communautaire ou au niveau national.

1 ▶ Caractéristiques des véhicules

- **Diminution de la consommation des véhicules à moteur thermique.** Elle devrait se traduire par une limite de 70 g/km des émissions de CO₂ en moyenne pour les véhicules neufs de tourisme.

Cette disposition bénéfique pour l'environnement, plus rigoureuse que les objectifs actuellement affichés (95 g/km), aura pour effet d'accélérer la mise en œuvre de différentes mesures d'économie de carburant associées à une électrification des véhicules.

- **Affichage du contenu en CO₂ du kilomètre parcouru "du puits à la roue".**

Il s'agit d'indiquer en particulier les émissions de CO₂ induites par l'usage d'un véhicule électrique.

- **Harmonisation des vitesses limites sur autoroute à 130 km/heure pour toute l'Union européenne.**

L'intérêt de cette mesure réside moins dans les économies directes de carburant du fait d'une réduction de la vitesse maximum pour les véhicules existants que dans l'impact sur la conception des véhicules mis en vente sur le marché européen. La perspective d'une limitation généralisée des vitesses inciterait les constructeurs à concevoir des véhicules thermiques et hybrides aux performances moins élevées, donc moins puissants, et à obtenir des gains de consommation à tous les régimes et à toutes les vitesses, y compris en circulation urbaine. La baisse de consommation entraîne une diminution de la pollution, ce qui est particulièrement bénéfique dans les centres-villes très congestionnés.

- **Obligation, sous trois ans maximum, de doter les véhicules neufs d'un dispositif coupant automatiquement le moteur lorsque le véhicule est à l'arrêt.**

Cette mesure impliquerait, pour les véhicules thermiques, la mise en œuvre d'un dispositif de type "stop & start", déjà livré en série sur plusieurs modèles. Alors que la pollution urbaine est jugée préoccupante, cela permettrait de réduire de 5 % à 10 % en moyenne – 20 % à 25 % dans les zones les plus congestionnées – les émissions de polluants. Éviter le fonctionnement des moteurs thermiques au ralenti, c'est réduire à la fois la consommation de carburant, la pollution et le bruit.

- **Assistance à la conduite automobile** : des équipements déjà disponibles sur certains modèles ou prêts à être commercialisés pourraient être rendus obligatoires (affichage sur le tableau de bord de la consommation

instantanée ou des écarts par rapport à la consommation optimale, régulateur de vitesse, jauge de pression des pneus, etc.).

- **Mode de propulsion des véhicules hybrides rechargeables** : si la circulation des véhicules thermiques devait être interdite dans certaines zones, elle devrait être réservée aux véhicules hybrides rechargeables en mode de propulsion électrique (garanti par un signal visible de l'extérieur) et aux véhicules tout électriques.

2 ▶ Information sur la consommation et les émissions des véhicules

- **Modification des cycles d'homologation actuels** : il faut que ces cycles soient plus représentatifs de l'utilisation moyenne des véhicules.

Ces cycles ont été conçus pour mesurer la consommation de carburant et les émissions correspondantes de CO₂ des véhicules thermiques. Ils sont maintenant utilisés pour définir l'autonomie des véhicules tout électriques. Or la consommation des auxiliaires (chauffage, climatisation, dégivrage des vitres, etc.) n'est pas prise en compte dans les mesures normalisées actuelles. Elle peut pourtant représenter une proportion significative de la consommation d'énergie dédiée à la seule propulsion du véhicule. Comme les véhicules tout électriques embarquent une quantité d'énergie relativement faible, l'autonomie affichée par les constructeurs, établie par les cycles d'homologation actuels, peut être très éloignée de la réalité vécue quotidiennement.

3 ▶ Achat et détention des véhicules

- **Système de malus annuel** : prolonger le dispositif de la loi du 25 décembre 2007 par un système de "malus" annuel qui serait, en pratique, une taxe annuelle sur les émissions de carbone, perçue sur l'ensemble des véhicules en circulation, comme dans la plupart des autres pays européens.

Le gouvernement a instauré un système de bonus/malus destiné à favoriser l'acquisition des véhicules dont la consommation est la plus basse et à pénaliser ceux dont la consommation est la plus élevée. Cette décision a eu un

effet à court terme. Son effet sur l'évolution globale du parc automobile restera cependant limité si le dispositif ne s'applique pas chaque année à tous les véhicules en circulation.

- **Limiter les aides publiques aux seuls véhicules électriques utilisant des batteries innovantes** (ce qui exclut par exemple les batteries au plomb classiques).

4 ▶ Utilisation des véhicules

- **Donner aux collectivités locales compétentes les pouvoirs concernant la circulation en ville** (autoriser les péages urbains dont la tarification pourra être modulée en fonction du type de véhicules, interdire la circulation de certains types de véhicules en centre-ville, etc.).
- **Supprimer d'ici cinq ans le stationnement résidentiel**, après avoir augmenté progressivement son tarif.

La nécessité de réserver des emplacements pour recharger les véhicules électriques entraîne la suppression de nombreuses places de stationnement. Or le stationnement résidentiel sur la voie publique quasiment gratuit (à Paris, une semaine au prix d'une heure de stationnement normal) engendre déjà un surcroît de circulation pour trouver une place libre et donc une augmentation de la consommation de carburant des voitures (estimée à environ 20 % à Paris).

5 ▶ Sécurité

- **Les installations de recharge des véhicules électriques doivent être sécurisées**. Les bornes doivent respecter des normes qu'il est indispensable de finaliser sans tarder :
- clarifier et sécuriser les conditions de charge normale à domicile des divers types de véhicules électriques en prescrivant un contrôle préalable par une entreprise qualifiée de l'adéquation de l'installation électrique et en généralisant l'installation et l'emploi de prises dédiées en mode de charge 3 (donc assurant par la présence d'un quatrième fil la continuité terre entre véhicule et borne) pour les véhicules électriques de nouvelle génération, et communiquer largement sur les modalités et précautions pour la charge à domicile ;

- pour les charges normale, accélérée ou rapide dans les lieux publics, finaliser une spécification normative relative aux caractéristiques techniques et aux conditions d'environnement et d'installation des stations de charge, et imposer un contrôle spécifique de l'installation par une entreprise qualifiée ;
- clarifier les régimes réglementaires des lieux de stockage de batteries, de la cohabitation de bornes de charge accélérée ou rapide et de points de livraison de carburants et de l'installation de bornes de charge accélérée ou rapide en sous-sol.
- **Mettre en place des préconisations et des modes opératoires pour les interventions d'urgence sur des véhicules électriques accidentés** et développer la sensibilisation et la formation des personnels d'intervention correspondants.
- **Compléter les normes de performances et d'essais des batteries** pour en couvrir les principaux risques et en rendre l'application obligatoire, au moins dans le cadre européen.

6 ▶ Recherche publique

Donner la priorité aux thématiques qui permettent :

- de réduire la consommation des véhicules thermiques, hybrides rechargeables et électriques ;
- d'améliorer les performances des batteries (coût, densité de stockage, sécurité, mesure du vieillissement) et des systèmes électroniques de contrôle et de puissance.

7 ▶ Normalisation

Les travaux de normalisation doivent être accélérés et optimisés entre les échelons nationaux, européens et internationaux. Ils sont en effet indispensables, tant pour assurer la sécurité des véhicules et de leurs composants (batteries en particulier) que l'interopérabilité (pour la charge) et les performances énergétiques des véhicules

électriques et de leur emploi. La mise en place d'un "groupe stratégique" véhicule électrique à l'AFNOR et d'un "focus group" au niveau européen, ainsi que la récente mise à jour de l'accord entre l'ISO et la CEI au plan international vont dans le bon sens. Mais beaucoup reste à faire pour concrétiser les intentions, réaliser les consensus nécessaires au plan industriel et pour articuler correctement les réglementations nationales avec les normes européennes et internationales.

8 ▶ Transports urbains et autres mobilités

Le développement des transports alternatifs (transports collectifs, deux roues, etc.) et une meilleure organisation de la mobilité automobile (autopartage, covoiturage) ne font pas partie du champ du présent rapport, mais leur amélioration quantitative et qualitative est une clé de la réduction de l'utilisation du véhicule individuel. Ces moyens de transport offrent également d'autres voies de pénétration de l'électricité pour la mobilité urbaine. Il est nécessaire, par ailleurs, de limiter les émissions sonores autorisées pour les deux et trois roues au niveau fixé pour les véhicules de tourisme.

▶ Les grandes orientations	9
▶ Les préconisations	19
▶ Quelques définitions en préambule	23
▶ Introduction	
Pourquoi parle-t-on à nouveau du véhicule électrique ?	25
▶ Chapitre 1	
Recherche batterie sûre, peu chère, avec grande autonomie et longue durée de vie	37
1. Un historique de l'évolution des batteries et de leurs applications au véhicule électrique	38
1.1. Les accumulateurs au plomb ont marqué les débuts des véhicules électriques à la fin du XIX ^e siècle	38
1.2. Au début du XX ^e siècle, les batteries nickel-fer sont à l'origine d'une deuxième génération de véhicules électriques	42
1.3. Les batteries nickel-cadmium apparaissent au début du XX ^e siècle mais ne sont vraiment utilisées dans les véhicules électriques que dans les années 1990	42
1.4. Les batteries nickel-hydrure métallique constituent désormais le standard des véhicules hybrides	43
1.5. D'autres batteries ont été étudiées au cours du XX ^e siècle mais n'ont pas réussi à trouver leur application dans le domaine du transport	45
1.6. Les principaux accumulateurs classiques n'offrent qu'une autonomie de quelques dizaines de kilomètres aux véhicules électriques	46
2. Les batteries au lithium : une technologie porteuse de progrès	48
2.1. Certaines batteries au lithium présentent un risque d'incendie	49
2.2. Plusieurs technologies sont en concurrence	51
2.3. Les batteries de demain	55
3. Les matières premières entrant dans la fabrication des véhicules électriques : des contraintes plus géopolitiques que de ressources	63
3.1. Des tensions possibles sur l'approvisionnement en lithium à court-moyen terme, le temps que l'offre s'adapte à la demande	64
3.2. D'autres matériaux ou métaux inquiètent davantage	66
3.3. Le monopole chinois sur la fourniture des terres rares	67

4. Le recyclage des batteries lithium-ion est techniquement possible mais non rentable actuellement	68
4.1. Les techniques de recyclage des batteries lithium-ion : entre voie thermique et voie chimique	69
4.2. Les principaux déterminants de la rentabilité économique	70
5. La compétition industrielle est dominée par les pays asiatiques	72
5.1. Le marché actuel des accumulateurs est dominé par les pays asiatiques	72
5.2. Les batteries du futur donnent lieu à de vastes programmes de recherche, notamment au Japon	73
5.3. Aux États-Unis, les programmes de recherche s'accompagnent d'aides financières à l'industrie	74
Conclusion : la nécessité d'un saut technologique	75

▶ Chapitre 2	
Les performances actuelles des véhicules électriques	81
1. Autonomie	81
1.1. Les cycles normalisés existants ne reflètent pas de façon adéquate les consommations et l'autonomie des véhicules électriques	81
1.2. Impact de la vitesse et de la pente sur la consommation d'un véhicule électrique	87
1.3. L'autonomie du véhicule électrique dépend de l'utilisation des auxiliaires, spécialement du chauffage et de la climatisation	91
1.4. L'autonomie réelle des véhicules électriques dépendra beaucoup de l'usage qu'en feront les utilisateurs	94
1.5. Des systèmes performants d'information des conducteurs sont en cours de développement	97
2. Puissance, accélération, vitesse, réduction de la pollution et du bruit	98
2.1. Les moteurs électriques permettent une accélération très linéaire et puissante grâce à un couple élevé disponible immédiatement	98
2.2. Les véhicules électriques pourraient réduire les niveaux de pollution dans les zones urbaines	100
2.3. Le bruit	100

▶ Chapitre 3	
Le VE est-il plus économique que le VTh ?	109
1. Le prix d'achat et les coûts d'utilisation restent un facteur déterminant de succès pour un modèle	109
2. Prix des batteries, kilométrage annuel, prix de l'énergie et taux d'actualisation sont les paramètres déterminants	110
3. Les coûts de revient kilométriques du VE et du VTh ne sont comparables qu'à une double condition	114
4. La compétitivité du VE se dégrade rapidement si l'on s'écarte des hypothèses de référence	115
5. La Renault Fluence ZE a un coût comparable à son équivalent diesel grâce au super bonus de 5 000 euros et à condition de parcourir plus de 15 000 km/an	121
6. À son prix actuel, malgré le super bonus, la Peugeot iOn ne semble pas en mesure de concurrencer ses équivalents thermiques	125
7. Économie des véhicules hybrides (VH) et hybrides rechargeables (VHR)	130
8. Les émissions de CO ₂ du véhicule électrique résultent du contenu en carbone de l'électricité qu'il consomme et des batteries qu'il utilise	135
9. L'exemple du projet Autolib'	139
▶ Chapitre 4	
Réglementation, normes et standards pour le déploiement du véhicule électrique	143
1. Le déploiement à grande échelle du véhicule électrique suppose une action volontariste en matière de réglementation et de normalisation	143
2. L'imbrication entre la réglementation, la normalisation et les standards	144
2.1. La référence aux normes dans les réglementations	145
2.2. Un contexte réglementaire qui doit être adapté pour le véhicule électrique	146
3. Normes et standards	153
3.1. La normalisation européenne et internationale est encore largement en chantier	153
3.2. Des divergences et une pluralité de solutions pour les prises, les connecteurs et les câbles	155

3.3. Des normes d'essais et de performances à compléter pour évaluer la sécurité et les performances des batteries	158
3.4. Des travaux à accélérer pour définir et harmoniser les protocoles et modalités de communication	160
3.5. Des mandats européens de normalisation qui sont vitaux pour ouvrir un marché domestique significatif à l'industrie européenne.....	161
3.6. Une position française en principe forte dans la normalisation européenne et internationale mais pénalisée par les divergences stratégiques des constructeurs nationaux.....	162
3.7. Des standards qui sous-tendent des modèles alternatifs de déploiement du véhicule électrique	162
4. Recommandations	163
▶ Chapitre 5	
Demande et marché potentiel des véhicules électriques	167
1. Entre croissance forte dans les pays émergents et saturation de la demande dans les pays développés.....	167
1.1. La crise économique fait ressortir le caractère atone du marché automobile dans les pays développés	167
1.2. Les pays émergents sont porteurs d'une forte demande, pas nécessairement écologique	170
1.3. La transformation des comportements des consommateurs est contrastée	171
2. Les contraintes qui risquent de peser sur les consommateurs	173
2.1. Le prix demeure le principal facteur d'achat	174
2.2. Les contraintes propres aux nouvelles motorisations façonneront leur utilisation	175
3. Comment sortir de la consommation de niche ?	176
3.1. Une ouverture à la prestation de services ?	176
3.2. Une ouverture à la demande de deux-roues électriques ?.....	177
3.3. Cibler le consommateur potentiel	178

Membres du groupe de travail

▶ **Président**

Jean Syrota

▶ **Coordonnateurs**

Philippe Hirtzman, CGIET

Dominique Auverlot, Centre d'analyse stratégique

Éric Borremans, Spécialiste Produits, BNP Paribas Asset Management

▶ **Rapporteurs**

Etienne Beeker, Centre d'analyse stratégique

Alan Bryden, CGIET

Johanne Buba, Centre d'analyse stratégique

Caroline Le Moign, Centre d'analyse stratégique

Felix Von Pechmann, Mines ParisTech

Etienne Beeker, Centre d'analyse stratégique

▶ **Avec le concours de**

Gaëlle Hossié, Centre d'analyse stratégique

La voiture de demain : carburants et électricité
Rapport disponible sur
www.strategie.gouv.fr (rubrique publications)



Directeur de la publication :
Vincent Chriqui, Directeur général
Directeur de la rédaction :
Pierre-François Mourier,
Directeur général adjoint

Contact presse :
Jean-Michel Roullé, responsable
de la Communication
01 42 75 61 37 / 06 46 55 38 38
jean-michel.roulle@strategie.gouv.fr

Le Centre d'analyse stratégique est une institution d'expertise et d'aide à la décision placée auprès du Premier ministre. Il a pour mission d'éclairer le gouvernement dans la définition et la mise en œuvre de ses orientations stratégiques en matière économique, sociale, environnementale et technologique. Il préfigure, à la demande du Premier ministre, les principales réformes gouvernementales. Il mène par ailleurs, de sa propre initiative, des études et analyses dans le cadre d'un programme de travail annuel. Il s'appuie sur un comité d'orientation qui comprend onze membres, dont deux députés et deux sénateurs et un membre du Conseil économique, social et environnemental. Il travaille en réseau avec les principaux conseils d'expertise et de concertation placés auprès du Premier ministre : le Conseil d'analyse économique, le Conseil d'analyse de la société, le Conseil d'orientation pour l'emploi, le Conseil d'orientation des retraites, le Haut Conseil à l'intégration.