

Chapitre 3

L'innovation dans les technologies des véhicules électriques et hybrides : le rôle des prix, des normes et de la R-D

par

Ivan Haščič et Nick Johnstone (Direction de l'environnement de l'OCDE)*

Il arrive souvent que les pouvoirs publics associent des instruments différents, aux objectifs écologiques parfois distincts mais liés. Dans le présent chapitre, à partir de données sur l'activité de brevetage concernant les véhicules alternatifs, on examine l'importance relative des normes de performance énergétique au niveau du parc de véhicules, les prix des carburants taxes incluses et le soutien public à la R-D. On constate qu'une variation relativement mineure d'une norme technique ou des prix des carburants automobiles entraîne des effets équivalents à ceux d'une augmentation proportionnellement beaucoup plus forte des budgets publics de R-D. Il existe cependant des différences significatives entre les deux types de technologies – véhicules électriques et véhicules hybrides. Nos résultats indiquent l'importance du choix de l'ordre de mise en œuvre des mesures.

* Les auteurs remercient chaleureusement Guillaume Lafortune (Paris School of International Affairs) pour son aide.

Introduction

Confronté à la persistance des problèmes de qualité de l'air aux plans local et régional, aux objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre et aux enjeux de la sécurité énergétique, les gouvernements de nombreux pays de l'OCDE ont mis en place des politiques visant à stimuler le développement des technologies des véhicules alternatifs. Ces politiques s'accompagnent souvent de mesures destinées expressément à encourager la diffusion de ces innovations. Bien qu'elles soient récentes, elles s'inscrivent dans le prolongement d'initiatives antérieures destinées à améliorer la consommation de carburant des véhicules, auxquelles les décideurs faisaient une place plus ou moins importante en fonction des fluctuations des prix du pétrole brut et des restrictions d'approvisionnement. Ces politiques font également suite à des initiatives réglementaires qui avaient pour but de réduire les émissions de polluants atmosphériques provenant de sources mobiles aux niveaux local et régional (par exemple, plomb, composés de soufre, monoxyde de carbone, oxydes d'azote, hydrocarbures volatils, particules). Le présent chapitre examine l'effet de divers facteurs relevant de l'action publique ou du jeu du marché sur l'innovation technologique dans le domaine des véhicules alternatifs.

Panorama des technologies

La consommation de carburant des véhicules automobiles est devenue une préoccupation importante pour les décideurs, les constructeurs et les consommateurs dans les années 70, à la suite des chocs pétroliers. On s'est au début essentiellement efforcé de repenser le moteur à combustion interne classique (amélioration de la conception des moteurs), puis on a voulu améliorer d'autres caractéristiques des véhicules, qui ne concernaient pas leur motorisation mais avaient une incidence sur leur consommation (amélioration de la conception des véhicules). On estimait toutefois qu'au-delà de ces mesures, les améliorations de la consommation seraient forcément de plus en plus marginales.

Plus récemment, des innovations plus radicales ont permis de mettre au point des véhicules faisant appel à des types de propulsion, et donc d'énergie, entièrement nouveaux. C'est ainsi que sont apparus divers véhicules hybrides associant motorisations classiques et alternatives. Ces évolutions sont à même d'améliorer la consommation de carburant et de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques aux plans local et régional. Les pouvoirs publics ont adapté leurs politiques pour encourager la mise au point (et l'adoption) de ces véhicules alternatifs. Mais les décideurs se trouvent dans le même temps en présence d'un nouveau défi, car ils qui doivent se soucier des impacts préjudiciables que les activités de production et de consommation associées aux nouveaux types de véhicules pourraient avoir sur l'environnement.

Bref historique des mesures visant à améliorer la consommation des véhicules automobiles

Technologies destinées à améliorer les caractéristiques d'un moteur classique (amélioration de la conception du moteur)

Avant 1970, c'était en modifiant le réglage du carburateur que l'on agissait sur la consommation de carburant. À la suite des chocs pétroliers de 1973 et de 1979, et de l'adoption des normes *Corporate Average Fuel Economy* (CAFE) aux États-Unis en 1978, les ingénieurs ont remplacé le carburateur des voitures à essence par le système d'injection électronique qui permet de contrôler plus précisément le mélange air-carburant. Cependant, l'introduction du convertisseur catalytique a entraîné une augmentation de la consommation de carburant, pour deux raisons : d'abord pour obtenir une réactivité catalytique optimale, il a fallu renoncer au réglage pauvre courant au profit d'un réglage plus « riche » ; ensuite, le catalyseur a fait augmenter la contre-pression à l'échappement.

Dans les années 90, les préoccupations suscitées par le réchauffement de la planète, ainsi que l'anticipation de mesures réglementaires imminentes ont peut-être favorisé de nouvelles améliorations techniques, notamment l'introduction de l'injection directe pour les moteurs diesel, qui n'était auparavant possible que dans le cadre d'applications lourdes. La plupart des améliorations de la consommation des moteurs à essence reposaient sur l'optimisation du rendement des moteurs. On a par exemple amélioré la conception de base des moteurs de diverses façons : utilisation de matériaux à faible coefficient de frottement, optimisation de la configuration de la chambre de combustion et des orifices d'admission et d'échappement (OCDE, 2004).

À la fin des années 90 et dans les années 2000, la technologie diesel a innové par l'introduction de systèmes d'injection à contrôle électronique, tels que le système d'injection directe à rampe haute pression et les blocs injecteurs, qui permettent de varier la fréquence et la quantité injectée et rendent également possible des pressions beaucoup plus élevées. Les améliorations apportées aux voitures à essence concernaient l'efficacité à charge partielle, l'introduction de l'actionnement variable des soupapes, de l'injection directe, ou de l'alternodémarrreur intégré, qui permet d'arrêter ou de démarrer rapidement le moteur (OCDE, 2004).

Les éléments les plus importants pour l'amélioration de la consommation de carburant sont récapitulés ci-après (voir la stratégie de recherche de brevets à l'annexe B) :

- les dispositifs de réglage du rapport air-carburant ;
- les systèmes d'injection électronique et de gestion électronique du moteur (diagnostic embarqué, capteurs) ;
- l'allumage cartographique, la temporisation des soupapes entièrement variable, le rapport de compression variable, géométrie de la chambre de combustion ;
- les performances du moteur au démarrage à froid, à l'accélération, à la décélération, au ralenti, en vitesse de croisière ;
- l'air comburant et le conditionnement du carburant.

Mesures destinées à maîtriser les émissions locales de polluants atmosphériques (technologies de réduction des émissions)

En matière de consommation de carburant des véhicules automobiles, il importe de prendre également en compte les moyens destinés à réduire les émissions locales de

polluants atmosphériques tels que le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (NO_x), les composés hydrocarbonés (HC) volatils et les particules. Interviennent notamment à cet égard les dispositifs de postcombustion (ou posttraitement), les mesures axées sur la conception des moteurs et les modifications des caractéristiques des carburants. Les dispositifs qui visent principalement à réduire les émissions locales de polluants atmosphériques sont énumérées ci-après (voir à ce sujet l'appendice A2 ainsi que la stratégie correspondante de recherche d'antériorité de brevets) :

- recyclage des gaz de carter ;
- injection d'air ;
- recyclage des gaz d'échappement ;
- réacteur thermique ;
- convertisseurs catalytiques, adsorbants de HC, adsorbants de NO_x, systèmes de dénitrification, catalyseurs d'oxydation diesel ;
- filtres à particules ;
- caractéristiques des carburants améliorant la combustion (additifs oxygénés).

Certains de ces dispositifs peuvent contrecarrer les mesures qui visent à améliorer la consommation de carburant. Souvent, les mesures de réduction de la consommation (et de réduction des émissions de CO₂) auront pour effet de réduire les émissions de polluants atmosphériques locaux (CO, NO_x et HC). Mais il arrive aussi que des mesures axées sur un objectif d'action spécifique aient des effets défavorables sur la réalisation d'un autre objectif. Ainsi, l'adjonction d'additifs oxygénés dans les carburants et l'installation de convertisseurs catalytiques sur les voitures à essence réduisent certes les émissions de polluants atmosphériques locaux mais font augmenter la consommation de carburant. En revanche, l'introduction de l'injection directe dans les moteurs diesel améliore la consommation mais peut avoir des effets néfastes au plan des émissions de NO_x et de particules. Par ailleurs, l'installation de filtres à particules diesel réduit peut-être les émissions de particules, mais va faire augmenter celles de NO_x. C'est pourquoi les décideurs ont parfois dû prendre en compte ces divers arbitrages techniques et environnementaux dans la définition de leurs objectifs d'action.

Toutefois, étant donné que le présent rapport concerne essentiellement les véhicules alternatifs, les arbitrages à faire entre émissions de polluants atmosphériques locaux et consommation de carburant nous intéressent moins ici. C'est pourquoi cette question ne sera pas étudiée plus avant dans le présent chapitre (voir, par exemple, Hašič et al., 2010 pour une analyse des effets des politiques environnementales sur les innovations en matière de réduction des émissions ; Vollebergh, 2010 propose une réflexion complémentaire sur les mesures traditionnelles de réduction de la consommation de carburant et les arbitrages en jeu). Néanmoins, même dans le domaine de la motorisation alternative, certains arbitrages technico-environnementaux seront inévitables (voir section 2.2 pour un bref examen de la question).

Technologies axées sur l'amélioration des caractéristiques (de la conception) des véhicules des véhicules

Pour réduire encore la consommation de carburant du moteur à combustion interne classique, il faudra très certainement miser sur l'allègement du véhicule ou la diminution de la résistance à l'avancement et d'autres facteurs (indépendants de la conception du

moteur) qui influent sensiblement sur la consommation. De toute évidence, l'amélioration de la conception des véhicules réduira également la consommation de tous les types de véhicules, y compris les véhicules alternatifs. Pour récapituler, ces mesures sont en général axées sur les éléments suivants (voir à ce sujet l'appendice A3 et la stratégie correspondante de recherche d'antériorité de brevets) :

- inertie au cours de l'accélération ou de la décélération ;
- frottement des composants mobiles et rotatifs ;
- résistance à l'air (amélioration de l'aérodynamisme) ;
- résistance au roulement ;
- énergie nécessaire au fonctionnement des composants électriques d'un véhicule (éclairage, climatisation et système de chauffage, autres systèmes et accessoires électriques auxiliaires) ;
- allègement de l'équipement complémentaire (sécurité passive, isolation acoustique) ;
- systèmes d'assistance à la conduite réduisant la consommation ou dispositifs d'amélioration du style de conduite (contrôle de la vitesse, écoconduite) ;
- émissions hors combustion (systèmes de récupération de la vapeur, réservoirs de carburant améliorés).

Technologies des véhicules alternatifs

Divers types d'énergie ont été proposés comme alternative aux carburants pétroliers classiques, notamment :

1. Les *carburants hydrocarbonés liquides* tels que le méthanol, l'éthanol (ou bioéthanol), le biodiesel et leurs différents mélanges avec les carburants classiques (E85, M85) ; l'utilisation de ces carburants nécessite la mise au point de véhicules polycarburants, c'est-à-dire des véhicules capables de rouler à l'essence (ou au gazole) classique et d'utiliser un carburant alternatif, ou un mélange des deux. Les carburants alternatifs ont tous leurs avantages et leurs inconvénients, mais ils ne nécessitent en général que des modifications techniques mineures aux véhicules. En fait, le problème n'est pas d'ordre technologique, et le principal obstacle à la généralisation de ces carburants semble être le verrouillage du système de distribution de carburant, la compétitivité-prix par rapport aux carburants classiques (essence/gazole) ainsi que la sécurité (par exemple, en ce qui concerne le méthanol) et les préoccupations relatives à l'environnement et à la santé publique¹.

Il existe plusieurs autres carburants alternatifs qui peuvent nécessiter le recours à de nouveaux types de propulsion. Cependant, le principal obstacle à leur généralisation a été le manque de systèmes de stockage appropriés. Ces carburants sont les suivants :

2. Les *hydrocarbures gazeux* tels que le gaz naturel comprimé (ou GNC, essentiellement le méthane) et le gaz de pétrole liquéfié (ou GPL, essentiellement le propane) ; ces types de carburants nécessitent la mise au point de réservoir pressurisé à bord des véhicules.
3. L'*hydrogène*, qui nécessite également un système de stockage embarqué (par exemple, bouteilles sous pression, hydrures métalliques, graphite actif ou nanofibres de graphite) ou de systèmes de reformage et de conditionnement pour la production d'hydrogène à partir d'hydrocarbures (si l'on utilise un autre combustible que l'hydrogène) (par exemple, reformage à la vapeur, conversion catalytique, oxydation partielle).

4. *L'énergie électrique*, qui nécessite la mise au point de systèmes de stockage embarqué, c'est-à-dire d'accumulateurs (batteries rechargeables) – batteries au plomb-acide, au lithium-ion, au nickel-cadmium ou au nickel-hydrure métallique.

Les systèmes de propulsion alternatifs qui ont été mis au point sont les suivants : a) moteur à combustion interne utilisant des hydrocarbures ou de l'hydrogène ; b) moteur électrique ; et c) système hybride. Le tableau 3.1 récapitule sous forme schématique les différents types d'énergie et de propulsion possibles pour les véhicules.

Tableau 3.1. **Systèmes alternatifs de propulsion et d'alimentation des véhicules**

			Type de propulsion		
			Moteur à combustion interne	Système hybride	Moteur électrique
Type d'énergie	Carburants liquides	Hydrocarbures	Véhicules classiques à essence	Véhicules hybrides	Véhicules électriques à pile à combustible
	Carburants gazeux	Hydrocarbures	Véhicules GNL/GPL		
		Hydrogène	Véhicules à l'hydrogène		
	Réseau électrique (alimentation externe)		—	Véhicules hybrides rechargeables	Véhicules tout électriques

Dans un *moteur à combustion interne*, l'énergie chimique du carburant (mélange d'hydrocarbures ou hydrogène) est transformée en énergie mécanique par dilatation thermique (combustion). Les carburants alternatifs capables de réduire les émissions de CO₂ sont ceux qui possèdent une teneur en carbone plus basse et une teneur en hydrogène plus haute que l'essence ou le gazole traditionnels (par exemple, hydrogène, méthanol, gaz naturel ou biodiesel).

Un *véhicule électrique à pile à combustible* combine une pile à hydrogène et un moteur électrique. L'énergie chimique du combustible est d'abord convertie en énergie électrique, puis transformée en énergie mécanique au moyen d'un moteur électrique. Une pile à combustible transforme l'énergie chimique du combustible (l'hydrogène) en énergie électrique sans combustion (contrairement, donc, au moteur à combustion interne, la pile à combustible convertit l'énergie chimique directement en énergie électrique) (OCDE, 2004). Plusieurs types de piles à combustible ont été mis au point (ou sont en cours de développement), chacun se caractérisant par des matériaux d'électrode, électrolytes et membranes spécifiques². Les carburants dérivés des hydrocarbures peuvent en principe être utilisés également dans les véhicules à pile à combustible, mais ils doivent au préalable être convertis en combustible hydrogène, ce qui nécessite aussi des systèmes de reformage et de conditionnement à bord du véhicule. Les piles à combustible ont notamment pour avantage un rendement de conversion élevé et des émissions de polluants nulles (si c'est l'hydrogène qui est utilisé comme combustible) ou très faibles (si l'on utilise des carburants carbonés) (OCDE, 2004).

S'agissant de *véhicules tout électriques* (ou « véhicules à batterie »), l'énergie électrique provient directement d'un support de stockage (une batterie)³. Les avantages d'un véhicule doté d'un moteur électrique sont d'abord la récupération de l'énergie de décélération (par exemple, freinage en récupération), l'arrêt automatique du moteur (mode marche-arrêt) et l'optimisation des conditions de fonctionnement du moteur, autant d'éléments qui favorisent une réduction de la consommation et une amélioration sensible des performances en termes d'émissions à l'échappement. De plus, les véhicules à hydrogène n'émettent pas de CO₂. Il faut en revanche mentionner comme inconvénient un poids plus

important ainsi qu'une plus grande complexité technique due à la coexistence d'un moteur et d'une batterie supplémentaires, ainsi que des coûts de construction plus élevés (OCDE, 2004).

Les véhicules électriques commercialisés actuellement sont rarement des véhicules électriques au sens strict. Ce sont souvent des assemblages d'éléments de systèmes de propulsion classiques et alternatifs, sous forme de véhicules hybrides. Ainsi, un *véhicule électrique hybride* est équipé d'une source d'énergie primaire (par exemple, un moteur à combustion interne classique utilisant un carburant hydrocarboné ou de l'hydrogène, ou une motorisation alternative telle que la pile à combustible) pour alimenter le générateur, ainsi qu'une unité de stockage (une batterie, un volant d'inertie mécanique ou un supercondensateur), et un mécanisme d'entraînement (par exemple, un moteur électrique). La combinaison de deux systèmes de propulsion permet aux véhicules hybrides de moins consommer, grâce à une efficacité de conversion améliorée étant donné que de 41 à 66 % de l'énergie consommée sont utilisés pour la propulsion, tout en produisant des émissions nulles (si le moteur utilise l'hydrogène) ou très faibles (si le moteur utilise un carburant hydrocarboné) (OCDE, 2004). Le tableau 3.2 ventile les diverses sources d'amélioration de la consommation des véhicules alternatifs par rapport aux technologies classiques⁴.

Tableau 3.2. **Ventilation de l'utilisation de l'énergie (%) par type de véhicule**

Consommation d'énergie	Véhicule à essence classique de taille moyenne		Véhicule électrique hybride		Véhicule électrique à pile à combustible		Véhicule tout électrique	
	Ville	Route	Ville	Route	Ville	Route	Ville	Route
A. Pertes de la chaîne cinématique	76	68	68	65	71	67	51	40
Pertes thermodynamiques ¹	60	60	51	56	31	27	18	13
Pertes du moteur ²	12	3	11	3	28	29	6	4
B. Consommation des composants	13	12	19	11	16	12	27	22
Auxiliaires	2	1	3	1	3	1	4	2
Accessoires	1	1	1	1	1	1	2	2
Climatisation	10	10	15	11	12	10	21	18
C. Utilisation pour la propulsion	11	20	13	22	13	21	22	38
Résistance à l'air	2	11	2	12	3	11	4	21
Résistance au roulement	4	7	5	8	5	8	8	13
Pertes cinétiques/freinage	5	2	6	2	5	2	10	4
Total (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
C/(A + C) =	0.13	0.23	0.16	0.25	0.15	0.24	0.30	0.49

1. Pertes de la batterie dans le cas d'un véhicule entièrement électrique ; pertes du reformeur dans le cas d'un véhicule à pile à combustible.

2. Pertes de la pile à combustible dans le cas d'un véhicule à pile à combustible.

Source : D'après OCDE (2004 : pp. 137, 157, 167, 169).

Conséquences néfastes possibles des véhicules alternatifs pour l'environnement

La diminution de la consommation de carburant liée à une plus grande popularité des véhicules alternatifs se traduira vraisemblablement par une réduction des émissions de CO₂ et de polluants atmosphériques locaux (par exemple, CO, HC, NO_x, particules). Cependant, selon les moyens mis en œuvre pour produire les énergies alternatives (électricité, hydrogène ou biocarburants), cette évolution pourrait être préjudiciable à l'environnement. Par exemple, le combustible nucléaire irradié peut être une importante source de préoccupation environnementale⁵. De plus, la fabrication et l'élimination des batteries doivent être rigoureusement encadrées pour éviter tout impact sur

l'environnement (voir Maclean et Lave (2003). L'Accord de l'AIE sur la mise en œuvre des véhicules hybrides et électriques examine ces questions www.ieahev.org/hybrid.html).

L'invention dans les technologies des véhicules alternatifs : les données de brevets

Pour mesurer l'innovation dans les technologies des véhicules alternatifs (et autres), on a eu recours au comptage des brevets. On entend par brevet un ensemble de droits exclusifs (à caractère territorial) accordés par les autorités compétentes pour une période déterminée (en général 20 ans) en échange de la divulgation des caractéristiques d'une invention donnée. Les brevets sont en général octroyés par les offices nationaux des brevets sur une invention (appareil, processus) qui est jugée nouvelle (c'est-à-dire inconnue avant le dépôt de la demande de brevet), procède d'une activité inventive (n'est pas évidente) et est considérée comme utile et susceptible d'application industrielle. Les données de brevets sont depuis longtemps utilisées en économie de l'innovation comme indicateur approximatif de l'innovation. Ainsi, Griliches (1990) estime que les brevets sont imparfaits mais constituent néanmoins des indicateurs utiles de l'activité inventive. Leur principale limite est liée au fait que toutes les innovations ne font pas l'objet de brevets, que toutes les innovations brevetées n'ont pas la même valeur économique et que la propension à breveter peut varier selon les pays et les domaines technologiques.

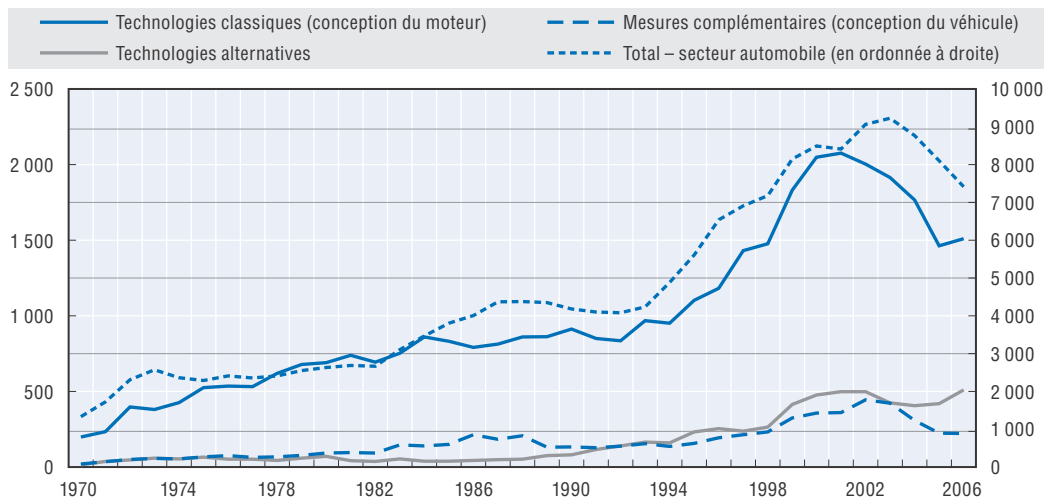
Pour identifier les brevets qui concernent les véhicules alternatifs et d'autres technologies, nous commençons par examiner la documentation technique et commerciale pour recenser les technologies pertinentes. Ensuite, en procédant à une recherche par mots-clés, nous examinons attentivement un certain nombre d'abrégés de brevets dans les technologies retenues. Nous sommes ainsi en mesure de connaître les codes de la Classification internationale des brevets (CIB) utilisés pour le dépôt de brevets correspondant aux technologies retenues. Ensuite, nous utilisons les différents codes de la CIB pour examiner un échantillon de documents de brevet afin de vérifier leur « netteté ». Nous ne conservons que les codes de la CIB que nous jugeons ne pas avoir été brouillés par de nombreux brevets non pertinents (voir l'appendice A4 pour une description détaillée de la stratégie de recherche d'antériorité de brevets). Enfin, nous utilisons les codes CIB retenus pour extraire des données de brevets de la base PATSTAT (OEB, 2009), qui comprend les brevets déposés auprès de plus de 80 autorités de délivrance de brevets (notamment les offices nationaux, mais également les offices régionaux tels que l'OEB) entre 1960 et 2007.

Nous utilisons ensuite les données de brevets ainsi extraites pour élaborer une liste de « revendications de priorité » que l'on définit comme les demandes de brevet qui ont également été déposées auprès d'un autre office de brevets que l'office de priorité. Ces brevets représentent les inventions les plus utiles de notre échantillon car leurs titulaires ont demandé la protection pour leur invention sur plus d'un marché. Des recherches ont montré que le nombre de demandes de brevets complémentaires (indépendamment de la demande fondant la priorité) constitue un bon indicateur de la valeur d'un brevet (voir Guellec et van Pottelsberghe, 2000 ; Harhoff *et al.*, 2003). Le comptage des revendications de priorité à partir d'un critère de seuil économique a déjà été préconisé par Faust (1990).

Le graphique 3.1 illustre l'évolution de la protection par brevet dans les technologies axées sur l'efficacité énergétique par des moyens *classiques* (c'est-à-dire l'amélioration de la conception des moteurs), par des mesures *complémentaires* (amélioration de la conception des véhicules), par exemple l'amélioration de la résistance à l'air et au roulement, et par la mise au point d'un véhicule *alternatif* (ou à *énergie alternative*). En outre,

Graphique 3.1. **Délivrance de brevets dans les technologies de motorisation alternative et les technologies classiques**

Nombre de demandes de brevets (revendications de priorité, monde entier)

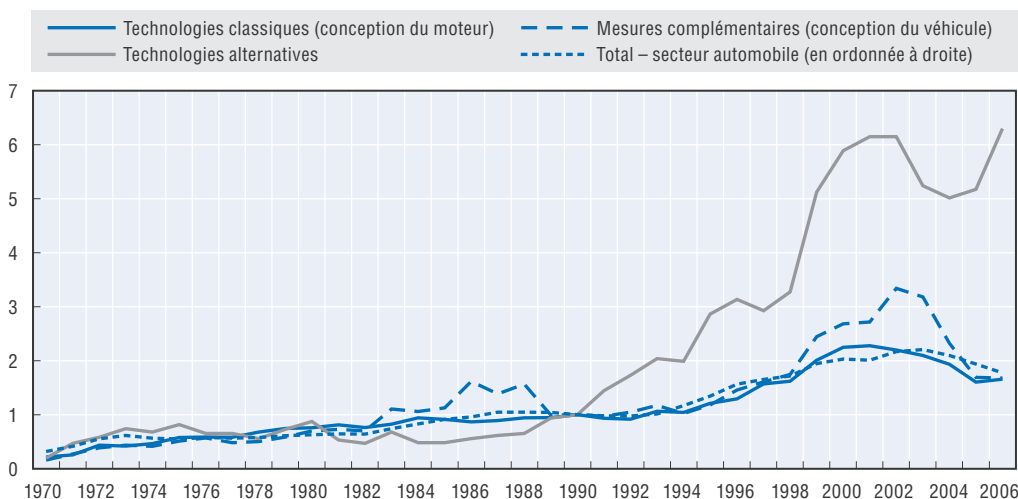


le graphique indique également l'activité de brevetage pour l'ensemble du *secteur automobile* (en ordonnée à droite). On constate que l'activité de brevetage concernant les véhicules alternatifs représente une portion relativement faible (5 à 7 %) des brevets dans le secteur automobile, qui se compare à celle des mesures « complémentaires » (relatives à l'amélioration de la conception du véhicule), mais trois à quatre fois moindre que celle des brevets des technologies « classiques » (relatives à l'amélioration de la conception du moteur).

Malgré une proportion relativement faible, l'augmentation du nombre de brevets relatifs aux véhicules alternatifs a été très forte depuis le début des années 90. Comme on peut le voir plus clairement sur le graphique 3.2, où les données sont indexées sur une seule année (1990). Cela contraste avec les technologies « classiques » dont le taux de

Graphique 3.2. **Croissance des demandes de brevets dans les technologies alternatives et les technologies classiques**

Nombre de demandes de brevets (revendications de priorité, monde entier), indexé sur une année ; 1990 = 1.0

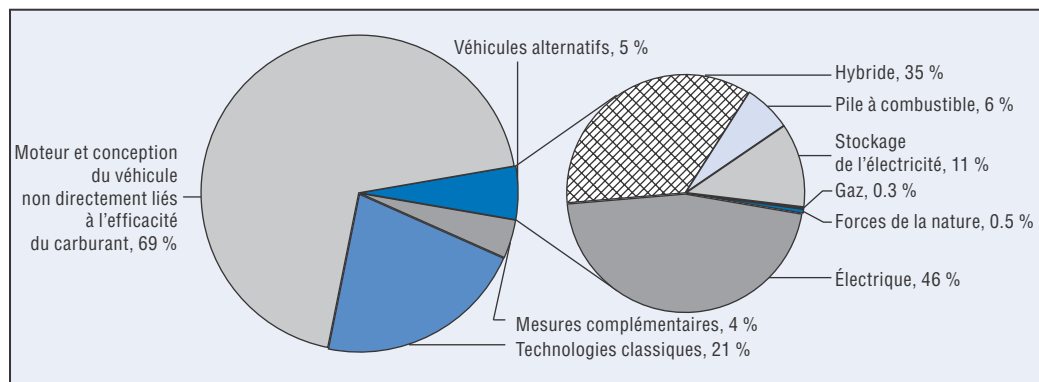


croissance correspond plus ou moins à celui du secteur dans son ensemble. La prise de brevets a connu une croissance plus forte que la moyenne pour les technologies « complémentaires » dans les années 80, puis de nouveau entre 1999 et 2004.

À un niveau plus détaillé (graphique 3.3), la plupart des brevets concernant les véhicules alternatifs peuvent être répartis entre propulsion électrique et propulsion hybride, car les brevets concernant les applications de la pile à combustible ou du stockage de l'électricité sont beaucoup moins nombreux. Enfin, la prise de brevets concernant les systèmes à gaz/à hydrogène et à énergie tirée des forces de la nature (solaire/éolienne) est négligeable.

Graphique 3.3. Prise de brevets dans les technologies des véhicules alternatifs

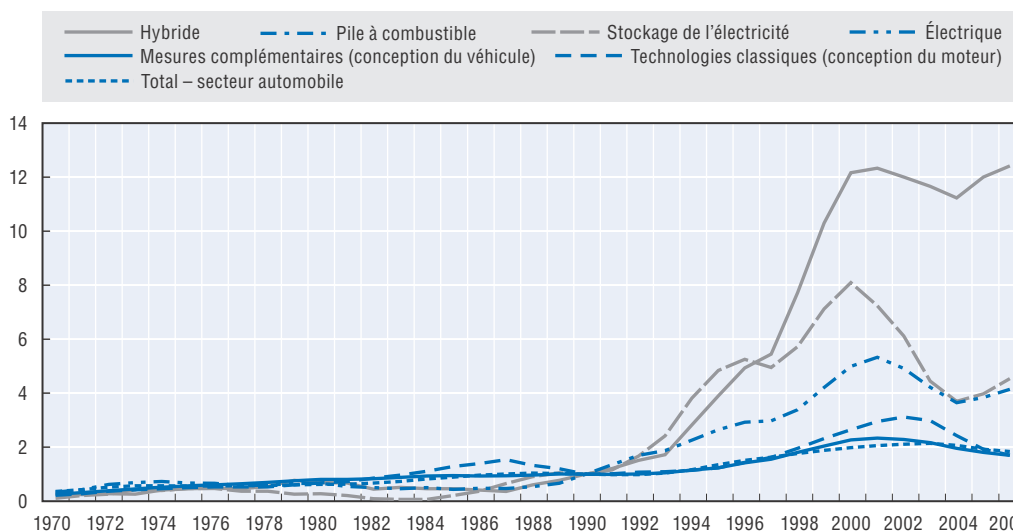
Nombre de demandes de brevets (revendications de priorité, monde entier)



En termes de taux de croissance (graphique 3.4), c'est dans la propulsion hybride que la croissance est la plus rapide, surtout entre 1994 et 2000, tandis que dans le secteur du stockage, des applications de la pile à combustible ainsi que de la propulsion électrique, l'augmentation du nombre de brevets est plus lente.

Graphique 3.4. Croissance du nombre de brevets dans les technologies des véhicules alternatifs

Nombre de demandes de brevets (revendications de priorité, monde entier), moyenne mobile sur trois ans, indexée sur l'année 1990

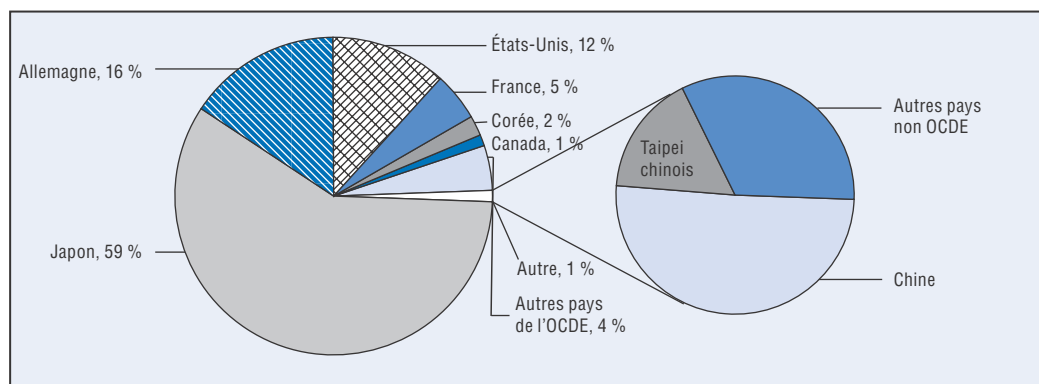


Note : Les données relatives aux véhicules à pile à combustible sont indexées sur l'année 1995 car la base 1990 est de zéro.

Nous examinons ensuite les inventions relatives aux véhicules alternatifs en catégorisant les brevets par pays de résidence de l'inventeur. Le Japon se classe de loin au premier rang des pays inventeurs dans le domaine, devant l'Allemagne et les États-Unis (graphique 3.5).

Graphique 3.5. **Prise de brevets dans les technologies des véhicules alternatifs, par pays inventeur**

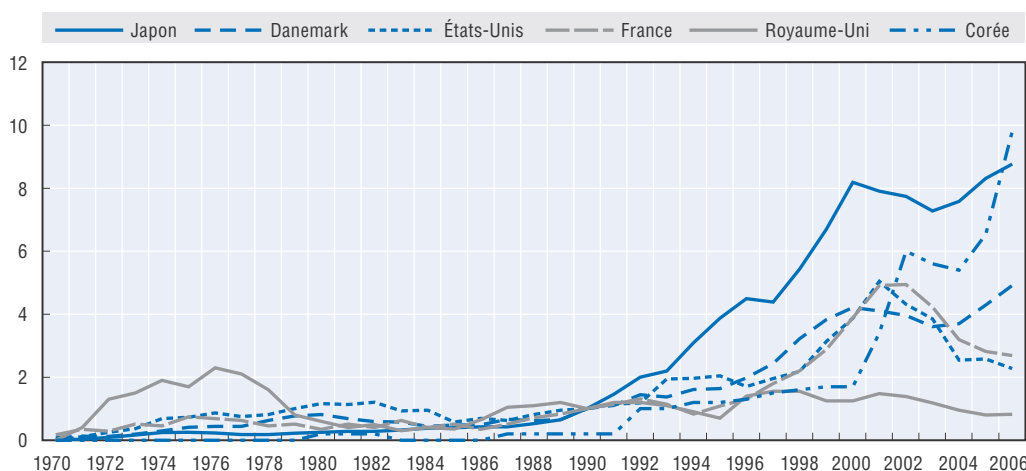
Nombre de demandes de brevets (revendications de priorité, monde entier)



La place dominante qu'occupent les inventeurs japonais ressort également clairement des taux de croissance. Pendant toutes les années 90, le Japon a enregistré la croissance la plus rapide en matière de brevets parmi tous les grands pays inventeurs, avant de commencer à être talonné, à la fin de la décennie, par l'Allemagne, la France et les États-Unis notamment. Depuis 2001, l'activité inventive des Coréens a connu des taux de croissance sans équivalent.

Graphique 3.6. **Croissance du nombre de brevets dans les technologies des véhicules alternatifs, par pays inventeur**

Nombre de demandes de brevets (revendications de priorité, monde entier), moyenne mobile sur trois ans, indexée sur l'année 1990



Note : Les données concernant la Corée sont indexées sur l'année 1992 car la base 1990 est de zéro.

Les données relatives à tous les pays inventeurs, ventilées par technologie (véhicules alternatifs, amélioration de la conception du moteur, amélioration de la conception du véhicule, et total - secteur des véhicules) sont récapitulées dans le tableau 3.3. Il est intéressant de constater que des pays comme la Chine (CN) et le Taipei chinois (TW) affichent un nombre de brevets plus important pour les technologies « alternatives » que pour les technologies « classiques ». De plus, la Chine a la part la plus importante des technologies alternatives dans l'ensemble des brevets du secteur (graphique 3.7).

Tableau 3.3. Pays inventeurs pour les technologies des véhicules alternatifs

Nombre de demandes de brevets (revendications de priorité, monde entier), 1970-2006

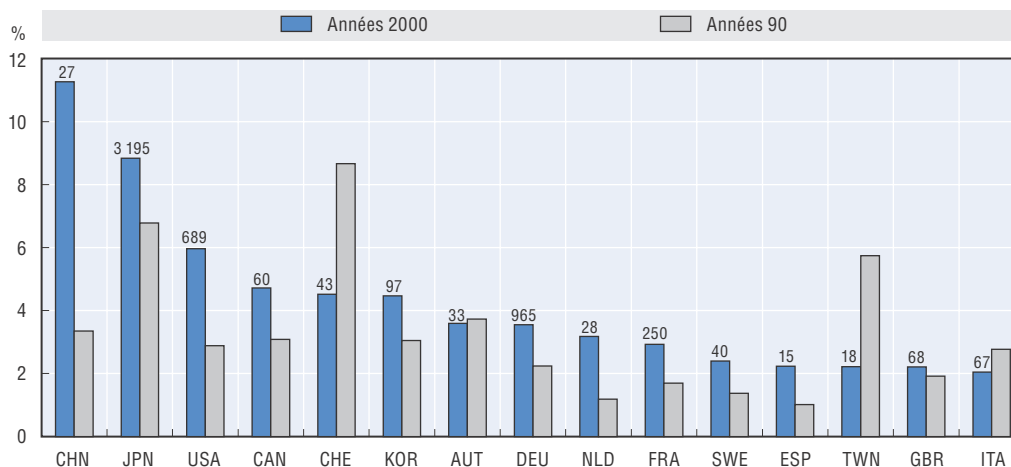
	Technologies des véhicules alternatifs							Technologies classiques	Mesures complémentaires	Total secteur automobile
	ELE	HYB	STO	FCL	GAS	NAT	Total			
JP	2 540	1 585	748	218	18	10	3 192	15 906	2 093	50 644
DE	648	436	131	97	6	7	990	10 137	1 557	42 970
US	628	271	139	51	8	18	844	4 181	939	23 844
FR	183	138	35	16	2	1	299	1 358	460	14 723
GB	103	42	16	2	2	2	134	1 046	238	5 913
IT	54	33	9	0	1	2	89	623	164	4 309
KR	60	27	25	6	3	3	86	208	53	2 227
CA	52	16	10	8	0	2	68	184	52	2 018
CH	44	21	6	3	0	0	52	158	28	1 361
SE	21	30	11	0	0	0	51	361	119	3 250
AT	25	8	4	1	0	0	32	398	26	1 392
NL	13	15	4	0	1	2	26	93	22	1 684
CN	12	5	4	0	0	2	21	16	7	271
TW	12	10	4	0	0	1	18	14	33	567
ES	8	10	3	0	0	1	17	58	22	990
FI	7	2	3	1	0	0	11	72	15	722
IL ¹	7	2	3	0	0	1	11	11	6	257
AU	6	2	0	1	0	0	7	97	17	546
CZ	3	6	0	1	0	0	7	13	4	148
BE	6	2	0	0	0	0	7	53	14	944
DK	2	3	1	0	0	0	5	67	5	407
BR	2	3	0	1	0	0	4	27	11	162
HU	2	1	1	1	0	0	3	15	8	200
IN	3	0	0	0	0	0	3	14	2	46
TR	2	1	0	0	0	0	2	18	0	22
PL	1	0	0	0	0	0	1	17	1	79
RU	0	0	0	0	0	1	1	17	11	128
LU	0	1	0	0	0	0	1	33	4	224

Note : Sont inclus dans le tableau les pays pour lesquels on dénombre au moins dix brevets (revendications de priorité) dans l'une des grandes catégories.

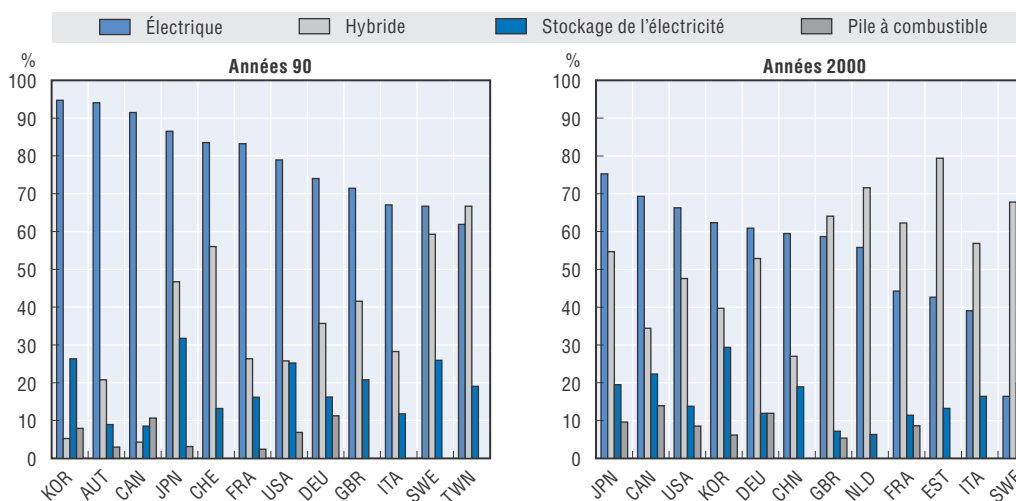
1. Les données statistiques concernant Israël sont fournies par et sous la responsabilité des autorités israéliennes compétentes. L'utilisation de ces données par l'OCDE est sans préjudice du statut des hauteurs du Golan, de Jérusalem-Est et des colonies de peuplement israéliennes en Cisjordanie aux termes du droit international.

Dans le domaine des véhicules alternatifs, les pays peuvent se spécialiser dans des segments technologiques spécifiques (graphique 3.8). Par exemple, en Corée et au Canada, dans les années 90, la plupart des brevets liés aux véhicules alternatifs (plus de 90 %) concernaient la propulsion électrique, mais les deux pays ont évolué vers une plus grande diversification dans les années 2000. Dans une moindre mesure, tel est également le cas des États-Unis, du Japon, de l'Allemagne et de la France. À l'inverse, la Suède possédait

Graphique 3.7. Transition vers les technologies des véhicules alternatifs
Ratio brevets technologies des véhicules alternatifs/ensemble des brevets du secteur, 2000-07



Graphique 3.8. Spécialisation et diversification
Ventilation des technologies des véhicules alternatifs



Note : Sont inclus les pays pour lesquels on recense au moins 10 brevets concernant les véhicules alternatifs (revendications de priorité).

dans les années 90 un portefeuille d'inventions relativement diversifié, mais elle s'est davantage spécialisée dans les années 2000 (dans la propulsion hybride).

Le secteur de l'automobile est fortement concentré et multinational. Les constructeurs ont souvent leurs installations de recherche-développement, leurs usines et leur siège social dans des pays différents. C'est pourquoi, plutôt que de parler d'inventeur, il peut être utile de classer les données par titulaires de brevets (déposants de demandes de brevets).

Le tableau 3.3 énumère les quarante premiers titulaires de brevets dans chacun des trois domaines examinés. On constate que trois entreprises japonaises se situent clairement en tête pour la prise de brevets concernant les véhicules alternatifs, suivies d'entreprises américaines, coréennes et européennes. On peut distinguer deux principaux types d'entreprises ou de groupes – les constructeurs automobiles et les équipementiers.

Tableau 3.4. Quarante premiers titulaires de brevets concernant les technologies automobiles : 1998-2007

Part en pourcentage des demandes de brevets dans un domaine, d'après les revendications de priorité, monde entier

Technologies des véhicules alternatifs	%	Mesures complémentaires (amélioration de la conception des véhicules)	%	Technologies classiques (amélioration de la conception des moteurs)	%
TOYOTA	12.05	MICHELIN	6.55	BOSCH	18.96
HONDA	7.40	BOSCH	6.26	SIEMENS	5.92
NISSAN	4.94	CONTINENTAL	3.36	TOYOTA	5.54
FORD	3.79	DAIMLER/CHRYSLER	3.30	DENSO	3.77
HYUNDAI	3.52	TOYOTA	2.90	FORD	3.40
BOSCH	3.05	LUK	2.89	HYUNDAI	2.98
GENERAL MOTORS	2.98	NISSAN	2.75	HONDA	2.94
RENAULT	2.50	SIEMENS	2.62	DAIMLER/CHRYSLER	2.42
DAIMLER/CHRYLER	2.28	HYUNDAI	2.11	RENAULT	2.29
HITACHI	1.98	ZF GROUP	1.82	MITSUBISHI	2.17
AISIN	1.83	DENSO	1.77	NISSAN	2.13
ZF GROUP	1.74	VOLKSWAGEN	1.76	DELPHI	2.11
PEUGEOT CITROEN	1.61	BMW	1.73	VOLKSWAGEN	1.75
SIEMENS	1.25	GERTRAG FORD	1.68	HITACHI	1.64
MITSUBISHI	1.09	BRIDGESTONE/FIREST.	1.65	CATERPILLAR	1.60
LUK	1.06	HONDA	1.58	GENERAL MOTORS	1.35
DENSO	1.02	RENAULT	1.46	CONTINENTAL	1.24
VOLKSWAGEN	0.97	GOODYEAR	1.38	PEUGEOT CITROEN	1.20
BMW	0.90	EATON	1.27	BMW	0.81
SUZUKI	0.69	PACIFIC INDUSTRIAL	1.21	MAGNETI MARELLI	0.72
YAMAHA	0.69	GENERAL MOTORS	1.20	YAMAHA	0.67
GENERAL ELECTRIC	0.55	PIRELLI	1.16	FIAT	0.65
LOCKHEED MARTIN	0.55	PEUGEOT CITROEN	1.12	ISUZU	0.60
SANYO	0.50	PORSCHE	1.06	DETROIT DIESEL	0.57
VISTEON	0.48	SUMITOMO	1.03	VISTEON	0.54
VALEO	0.40	VOLVO	1.01	VOLVO	0.52
VOLVO	0.39	HITACHI	0.95	INTL ENGINE IP	0.52
CONTINENTAL	0.38	LEAR	0.78	MAZDA	0.51
BAE SYSTEMS	0.38	YOKOHAMA RUBBER	0.66	AUDI	0.46
KIA	0.36	AUDI	0.58	EATON	0.45
EATON	0.36	DEERE	0.57	BEHR	0.41
MATSUSHITA	0.36	SCHRADER	0.56	KEIHIN	0.37
JUNGHEINRICH	0.34	FUJI	0.52	AVL	0.37
PORSCHE	0.34	DANA	0.51	SCANIA	0.36
LINDE	0.33	SCANIA	0.46	KIA	0.35
DELPHI	0.32	VISTEON	0.45	HONEYWELL	0.31
BALLARD	0.32	KIA	0.43	PIERBURG	0.31
BOMBARDIER	0.31	MITSUBISHI	0.42	FEV	0.29
MICHELIN	0.31	MANNESMANN	0.41	GENERAL ELECTRIC	0.27
DEERE	0.29	AISIN	0.38	VALEO	0.24
Total (n = 25 444)	100	Total (n = 15 061)	100	Total (n = 62 321)	100

Note : Les noms des titulaires de brevets ont été en partie ajustés.

Globalement, 50 % des inventions recensées dans le secteur des véhicules alternatifs sont attribuables à 13 titulaires de brevets (constructeurs pour la plupart). Dans le domaine « complémentaire » de l'amélioration de la conception des véhicules, la concentration est moins forte et c'est une vingtaine de titulaires de brevets (essentiellement des équipementiers) qui se partagent 50 % des brevets. Inversement, la moitié des brevets

« classiques » (amélioration de la conception des moteurs) sont la propriété de seulement dix titulaires (constructeurs automobiles pour la plupart).

Dans le domaine des véhicules alternatifs, un petit nombre de titulaires de brevets se partagent les quatre grands segments – propulsion électrique, hybride, stockage de l'électricité et pile à combustible. Toyota se classe nettement en tête pour les véhicules électriques et hybrides, mais d'autres entreprises japonaises et coréennes sont également présentes sur ce créneau. Les preneurs de brevets pour des inventions concernant les systèmes de carburant gazeux/hydrogène sont plus largement répartis. C'est également le cas pour la catégorie « forces de la nature », mais la concentration dans ce dernier segment est très faible, tandis qu'elle est très forte pour la propulsion à carburant gazeux/hydrogène. Il convient de garder à l'esprit également que les nombres sont bien plus faibles dans ces deux segments.

Tableau 3.5. Principaux titulaires de brevets concernant les technologies des véhicules alternatifs : 1998-2007

Part en pourcentage des demandes de brevets (revendications de priorité, monde entier) dans le domaine, quarante principaux déposants de demandes de brevets

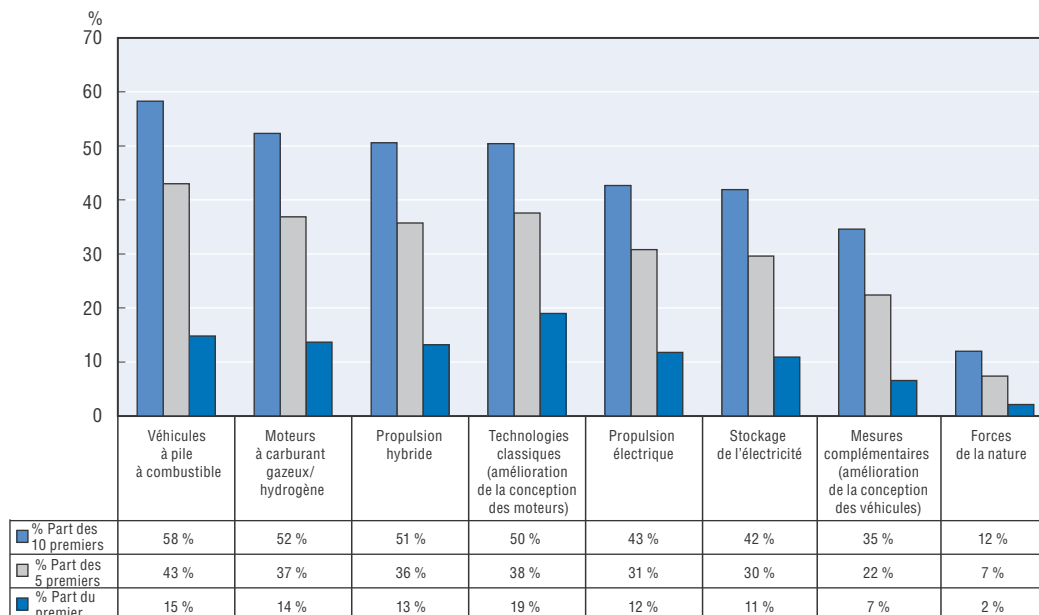
Propulsion électrique	%	Stockage de l'électricité	%	Propulsion hybride	%
TOYOTA	11.77	TOYOTA	10.89	TOYOTA	13.17
HONDA	7.57	HONDA	6.91	HONDA	7.57
NISSAN	4.75	HYUNDAI	4.56	NISSAN	5.59
HYUNDAI	3.41	NISSAN	4.03	FORD	5.24
GERTRAG FORD	3.27	BOSCH	3.23	BOSCH	4.14
GENERAL MOTORS	2.95	FORD	3.05	HYUNDAI	3.57
BOSCH	2.39	DAIMLER/CHRYSLER	2.78	GENERAL MOTORS	3.14
DAIMLER/CHRYSLER	2.21	DENSO	2.30	ZF GROUP	2.86
HITACHI	2.18	GENERAL MOTORS	2.14	PEUGEOT CITROEN	2.71
RENAULT	2.15	HITACHI	1.99	AISIN	2.61
AISIN	1.80	RENAULT	1.91	RENAULT	2.42
SIEMENS	1.73	KIA	1.60	HITACHI	2.13
ZF GROUP	1.54	SANYO	1.52	LUK	2.03
mitsubishi	1.23	MATSUSHITA	1.29	DAIMLER CHRYLER	1.96
PEUGEOT CITROEN	1.01	VOLKSWAGEN	1.26	VOLKSWAGEN	1.45
Total (n = 11 621)	100	Total (n = 3 135)	100	Total (n = 8 583)	100
Véhicule à pile à combustible	%	Moteurs à carburant gazeux/hydrogène	%	Propulsion naturelle (solaire, éolienne)	%
TOYOTA	14.81	EXXON MOBIL	13.68	FORD	2.09
HONDA	8.40	BG GROUP (British Gas)	11.49	HONDA	1.32
RENAULT	8.33	JOHN HOPKINS UNIVERSITY	4.21	OUTFITTER ENERGY	1.32
NISSAN	6.38	FORD	3.79	WEBASTO	1.32
GENERAL MOTORS	5.04	Xu Defang	3.68	POWER LIGHT	1.32
DAIMLER/CHRYSLER	4.48	BMW	3.33	Gericke de Vega, Dora Angelica	1.10
SIEMENS	3.47	BOSCH	3.16	NISSAN	0.88
HYUNDAI	2.98	FIAT	3.16	BOSCH	0.88
BALLARD	2.21	TOYOTA	2.89	ELK PREMIUM BUILDING PRODUCTS	0.88
BOSCH	2.19	HYUNDAI	2.89	Zhang Junjie	0.88
DELPHI	1.98	TEXACO OVONIC HYDROGEN SYSTEMS	2.28	TOYOTA	0.77
PEUGEOT CITROEN	1.75	KIA	1.84	SHANGHAI JIAOTONG UNIVERSITY	0.66
FARNOW	1.61			CANON	0.66
FORD	1.53				
EMITEC	1.51				
Total (n = 1 461)	100	Total (n = 190)	100	Total (n = 454)	100

Note : Les noms des titulaires de brevets ont été en partie ajustés.

Le graphique 3.9 résume l'information concernant le degré de concentration des titulaires de brevets dans les différents domaines, y compris ceux qui concernent l'utilisation de carburants classiques.

Graphique 3.9. **Concentration sur le marché des inventions concernant les véhicules alternatifs : 1998-2007**

Parts en pourcentage du premier titulaire de brevets, des cinq premiers et des dix premiers



Les politiques gouvernementales axées sur les technologies des véhicules alternatifs : un aperçu

Les marchés des véhicules alternatifs présentent un grand nombre de défaillances et d'obstacles :

- Externalités environnementales (locales/régionales/GES).
- Retombées de connaissances liées à l'innovation en général.
- Effets de réseau et situation de monopole (infrastructure).
- Externalités de consommation (lenteur de l'adoption des innovations).
- Défaillances des marchés des capitaux (financement limité de l'investissement à haut risque).
- Puissance de marché au sein du secteur manufacturier.

Les pouvoirs publics ont recours à divers moyens pour remédier à ces insuffisances et obstacles, notamment les suivantes :

- Aide directe à la R-D (financement public, incitations fiscales, prix).
- Normes de performance (obligations).
- Tarification (taxes sur les carburants, différenciation des taxes sur les véhicules).
- Mesures concernant l'information (étiquetage).
- Projets de démonstration, marchés publics.
- Investissements dans les infrastructures.

- Dispositions du droit et de la politique de la concurrence destinées à empêcher la collusion en matière d'innovation.

Le présent rapport est centré précisément sur les politiques et mesures qui sont susceptibles de stimuler l'innovation dans le secteur des technologies automobiles, et en particulier celles qui sont à même d'encourager l'innovation dans le segment des véhicules alternatifs.

Aide directe à la R-D

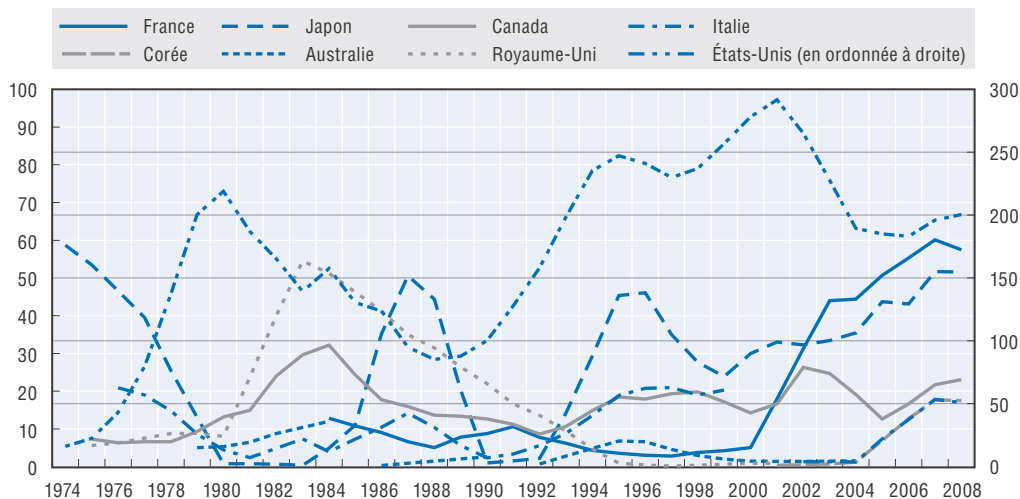
L'un des moyens les plus répandus d'encourager l'activité inventive est l'aide financière directe à la recherche et au développement à même les budgets publics, qui prend la forme de subventions ou de crédits d'impôt. Plusieurs pays de l'OCDE ont mis en place des programmes de subventions à la R-D axés expressément sur le développement des technologies des véhicules alternatifs. Ainsi, au Japon, le *Programme d'innovation pour une économie et une société vertes*, lancé en 2009, encourage le développement de batteries solaires hautes performances et peu coûteuses, de voitures électriques d'utilisation facile et bon marché, ainsi que la production d'hydrogène à partir de combustibles non fossiles⁶. Aux États-Unis, l'*Energy Independence and Security Act*, adoptée en 2007, contient des dispositions relatives au financement de la recherche sur les technologies de l'hydrogène (AIE, 2009a). Au Royaume-Uni, la *Low Carbon Transport Innovation Strategy*, mise en œuvre en 2007, mobilise le financement public pour accélérer le développement et la pénétration du marché des nouvelles technologies à basse teneur en carbone (AIE, 2009a) (voir également www.dft.gov.uk/pgr/scienceresearch/technology/lctis/lowcarbontis); Au Canada, enfin, le *Programme de recherche et de développement énergétiques* encourage la R-D fondamentale et appliquée sur l'énergie pour des transports propres, notamment l'hydrogène et la pile à combustible, les véhicules électriques hybrides rechargeables ainsi que les carburants avancés et la réduction des émissions (voir également www2.nrcan.gc.ca/ES/OERD/english/View.asp?x=1317).

Les données sur les dépenses de R-D concernant les technologies des véhicules alternatifs sont rares, mais on dispose de certaines données sur les dépenses publiques de R-D consacrées à l'amélioration de l'efficacité énergétique dans les transports. Les dotations budgétaires ont varié dans le temps, mais elles semblent augmenter de façon générale depuis quelques années dans beaucoup de pays. Les dépenses ont ainsi progressé sensiblement en France, en Corée et en Finlande, et dans une moindre mesure au Japon, au Canada, en Italie et en Suède. Elles ont en revanche diminué au Royaume-Uni, aux Pays-Bas, en Australie et en Turquie. Le graphique 3.10 illustre cette évolution pour un certain nombre de pays. La caractéristique peut-être la plus notable à cet égard est la grande variabilité constatée.

S'il existe d'importants écarts entre les pays quant à la taille des budgets de R-D consacrés à l'énergie (en termes absolus et en pourcentage du PIB), on constate également des différences dans les priorités financées. Le graphique 3.11 indique la proportion de R-D énergétique totale axée sur certains objectifs intéressant le développement des véhicules alternatifs. On y voit par exemple que la part la plus importante des budgets de R-D est consacrée à l'amélioration de l'efficacité énergétique des transports en Suède et en République tchèque, au stockage de l'électricité en Suisse et en Italie, aux piles à combustible en Turquie et au Danemark, et à l'hydrogène en Turquie, en Nouvelle-Zélande et en Norvège.

Graphique 3.10. Budgets publics consacrés à la R-D dans les technologies d'amélioration de l'efficacité énergétique dans les transports

En millions USD, prix 2008 et PPA, moyenne mobile sur trois ans

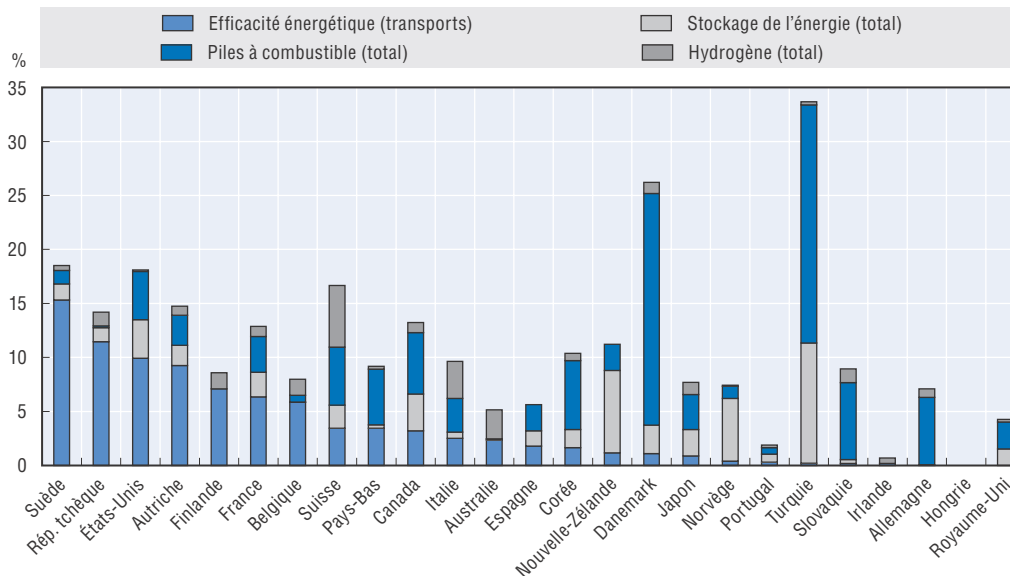


Note : Pas de données disponibles pour l'Allemagne.

Source des données : OECD.Stat (www.oecd.org/statistics) – Budgets de R-D sur les technologies énergétiques.

Graphique 3.11. Financement public de la R-D pour certains secteurs de technologie énergétique : 2004-08

Part en pourcentage des budgets publics totaux de R-D sur les technologies énergétiques



Source : Données OECD.Stat (www.oecd.org/statistics), Budgets de R-D sur les technologies énergétiques, 2010.

Les pays de l'OCDE ont récemment (re)découvert un autre moyen de stimuler directement la R-D – les concours dotés de prix (voir www.ieahev.org/hybrid.html pour des exemples) –, comme le H-Prize, aux États-Unis, qui encourage par des récompenses financières le développement des technologies de l'hydrogène (R-D, démonstration et application commerciale) (AIE, 2009a), ou encore l'EcoCAR Challenge, présenté dans l'encadré ci-dessous. Selon Newell et Wilson (2005), ces concours pourraient utilement

compléter les subventions habituelles à la R-D et même, s'ils sont bien pensés, comporter d'autres avantages théoriques, notamment récompenser les chercheurs pour leurs résultats et le risque qu'ils assument, réduire les obstacles à l'entrée et, en général, coûter moins cher aux pouvoirs publics que les contrats directs. Newell et Wilson signalent par ailleurs que ce type de concours peut aussi comporter des inconvénients (double emploi ou contraintes de liquidités initiales, par exemple).

Encadré 3.1. Le programme EcoCAR Challenge aux États-Unis

Le programme *EcoCAR Challenge* est un concours triennal, qui s'inscrit dans la tradition des concours sur les technologies automobiles avancées organisés depuis 19 ans par le ministère de l'Énergie des États-Unis. Il offre aux élèves ingénieurs la chance de concevoir et construire des véhicules de pointe dans le but de réduire au minimum l'impact environnemental des transports de personnes. Les candidats au programme EcoCAR travaillent sur les mêmes technologies que l'industrie automobile : véhicules entièrement électriques, hybrides, hybrides rechargeables et hybrides à pile à combustible. Les seules sources d'énergie autorisées dans le cadre du concours EcoCAR sont l'éthanol E10, l'éthanol E85, le biodiesel B20, l'hydrogène gazeux comprimé et l'électricité comme vecteur énergétique. À l'issue du concours, les sponsors attendent des véhicules au développement achevé, équivalant à des prototypes pouvant faire l'objet d'une décision de mise en production. Les équipes recevront 10 000 USD en capitaux d'amorçage la première année, un large éventail de composants de groupes motopropulseurs et un véhicule fourni gracieusement par GM et ils bénéficieront de l'aide technique et des conseils des sponsors du concours. Les équipes d'EcoCAR seront également assistées pendant la durée du concours par un mentor de GM possédant une solide connaissance des technologies en question. Les établissements d'enseignement participants devront apporter un concours financier équivalent aux capitaux d'amorçage fournis par les sponsors EcoCAR et accorder des crédits d'enseignement aux étudiants participant au concours (AIE, 2009a) (voir également www.ecocarchallenge.org).

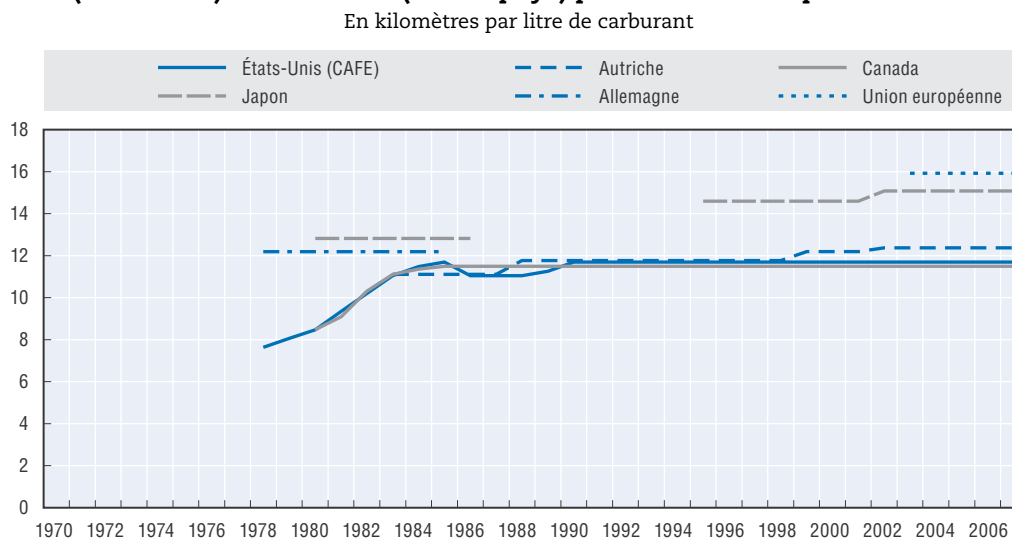
Normes de performance et obligations

Les normes de performances des véhicules fixent en général des limites de consommation de carburant et, depuis quelque temps, des plafonds d'émissions de CO₂. Une norme aura un potentiel de stimulation de l'innovation d'autant plus fort qu'elle prescrira des limites impossibles à respecter à l'aide des technologies actuelles, forçant ainsi le rythme du progrès technique.

Les normes de consommation de carburant d'application obligatoire sont rares. Il n'y a pas si longtemps encore, seules l'étaient les normes CAFE (*Corporate Average Fuel Economy*), adoptées aux États-Unis en 1975 et qui ont commencé à s'appliquer aux modèles 1978. Après un durcissement initial, le resserrement graduel s'est temporairement atténué après 1984, alors que cette série de normes devenait vraiment contraignante. Après une longue période pendant laquelle les normes américaines de consommation de carburant des voitures sont restées inchangées et celles applicables aux camions n'ont été que légèrement durcies, l'Agence de protection d'environnement et le ministère des Transports des États-Unis ont rendu publique en avril 2010 leur décision conjointe de créer les premières normes d'émissions de gaz à effet de serre, accompagnée du plus fort durcissement des normes CAFE en trente ans. Ainsi, d'ici à 2016, les véhicules légers neufs

(voitures particulières et utilitaires légers) devront respecter des normes d'émissions de GES et de consommation de carburant d'environ 35 miles/gallon, soit 6.7 litres aux 100 kilomètres (c'est-à-dire 1 litre aux 15 kilomètres). Ce chiffre représente une réduction de 23 % des niveaux de GES par rapport aux véhicules neufs de 2011 (USEPA/NHTSA, 2010). À la suite de l'adoption des normes CAFE aux États-Unis en 1975, l'Australie et le Canada ont adopté des normes similaires mais d'application volontaire seulement.

Graphique 3.12. **Normes de consommation de carburant d'application obligatoire (États-Unis) et volontaire (autres pays) pour les voitures particulières**



Source: Données reproduites avec l'aimable autorisation de Herman Vollebergh.

Même avant ces évolutions, plusieurs pays de l'OCDE, comme l'Allemagne et le Japon, ont lancé des programmes de réduction volontaire de la consommation de carburant au moment des chocs pétroliers des années 70 (OCDE/AIE, 1984). Au milieu des années 90, les Japonais ont intégré à leur *Top Runner Program* des normes de consommation pour les voitures particulières beaucoup plus rigoureuses que celles précitées. Comme pour d'autres catégories de produits, le programme exige que la technologie la plus efficace du moment devienne la norme de l'industrie (niveau moyen de performances) d'ici une date précise. En 2005, le gouvernement japonais a fixé de nouvelles normes de consommation de carburant auxquelles les voitures particulières devront se conformer d'ici à 2015. Les constructeurs et importateurs devront respecter le niveau de consommation moyen, calculé selon la moyenne harmonisée des niveaux de consommation pondérée par le nombre de véhicules expédiés. L'application de ces normes devrait se traduire par une réduction de 23.5 % de la consommation des véhicules particuliers d'ici à 2015 par rapport au niveau de 2004 (OCDE/AIE, 2009a) (voir également www.eccj.or.jp/top_runner/index.html).

En 1990, l'État de Californie, dans le cadre de son programme général en faveur des véhicules à faibles émissions, a introduit le règlement « *Zero Emission Vehicle* » (ZEV) qui avait pour objectif direct de développer des technologies de véhicules zéro émission pouvant être produits en série et proposées à un prix abordable sur le marché dès que possible. Ce règlement fixe certaines normes techniques minimales destinées à rendre le véhicule attractif pour les consommateurs américains⁷, mais laisse aux constructeurs le

choix de la technologie à utiliser pour respecter ces normes (neutralité technologique). Le règlement ZEV était visiblement destiné à forcer le rythme du progrès technologique car aucune technologie capable d'en respecter les normes n'existait à l'époque. Certes, les objectifs originaux n'ont pas été atteints aussi rapidement qu'on le souhaitait, et le règlement a été modifié plusieurs fois pour permettre une certaine flexibilité dans l'exécution du mandat, mais l'objectif axé sur la commercialisation de véhicules zéro émission a été maintenu. De fait, il y a lieu de croire que le mandat ZEV a joué un rôle de premier plan pour favoriser le développement des technologies des véhicules électriques et connexes⁸ (voir à ce sujet l'encadré 3.2).

En Europe, des accords d'application volontaire sur des objectifs chiffrés de consommation sont entré en vigueur d'abord en Allemagne, mais dans d'autres pays par la suite, notamment en Italie et en Suède (OCDE/AIE, 1984). En 1998, l'UE a négocié des engagements volontaires avec l'industrie. L'impossibilité de respecter les objectifs fixés a amené l'UE à adopter, en 2009, des plafonds d'émissions d'application obligatoire (voir à ce sujet l'encadré 3).

En 2003, l'industrie automobile australienne s'est fixé un objectif volontaire. L'élaboration de normes similaires est en cours au Canada (voir également www.ec.gc.ca/default.asp?lang=En&n=714D9AAE-1&news=29FDD9F6-489A-4C5C-9115-193686D1C2B5). Aux États-Unis, à la suite de la « conclusion sur la mise en danger » (USEPA, 2009), il a été envisagé d'introduire, pour les émissions de GES, des normes réglementaires nationales, qui pourraient englober des normes spécifiques applicables aux véhicules automobiles neufs et aux nouveaux moteurs⁹.

Politiques tarifaires

On examine dans la présente section les diverses mesures qui ont pour but de modifier le prix relatif des facteurs de production (fiscalité des carburants, taxes sur le CO₂, taxes sur les vecteurs énergétiques en général) et le prix des produits. Les dispositions fiscales applicables en aval peuvent être distinguées selon qu'elles visent l'achat (taxe à l'achat d'un véhicule, crédits d'impôt ou subventions), la possession d'un véhicule (vignette automobile annuelle) ou son utilisation (taxe ou tarification kilométrique ou routière). En outre, des systèmes d'échange de permis d'émission peuvent être envisagés pour les grandes entreprises de transport. Toutes ces mesures auront pour effet – directement ou indirectement – d'encourager l'utilisation des véhicules alternatifs (et par conséquent l'innovation dans ce domaine).

Taxes sur les carburants

Une comparaison des prix des carburants donne une indication de la politique de tarification pratiquée dans les pays de l'OCDE, étant donné que les prix des carburants toutes taxes comprises comprennent intègre les droits d'accise, la taxe sur la valeur ajoutée ainsi que diverses formes de réglementation des prix. Entre 1978 et 2008, les prix de l'essence (en PPA) ont été multipliés, dans la plupart des pays de l'OCDE, par un facteur de 2 à 5. En Turquie, par un facteur 7 (graphique 3.13).

On dispose également d'un certain nombre de données sur les pays non membres de l'OCDE (graphique 3.14). En 2000, ce sont les consommateurs indiens et thaïlandais qui payaient de loin les prix les plus élevés (en PPA), devant les Hongrois et les Slovaques. Les prix les plus bas (en PPA) étaient observés aux États-Unis, au Brésil, en Chine et au Canada. Entre 2000 et 2008, les prix ont en général augmenté (sauf en Hongrie et en République tchèque).

Encadré 3.2. Le règlement sur les véhicules zéro émission (« Zero Emission Vehicle » – ZEV) en Californie

En 1990, la *California Air Resources Board* (CARB), une agence publique responsable du contrôle de la qualité de l'air, a adopté un programme d'élimination totale des émissions des véhicules et introduit le règlement sur les véhicules zéro émission (ZEV). À l'origine, ce règlement prévoyait que d'ici à 1998, 2 % des véhicules que les gros constructeurs produisaient pour le marché californien devaient entrer dans la catégorie ZEV, 5 % en 2001 et 10 % en 2003. Les constructeurs ne se conformant pas à cette obligation s'exposaient à une amende pouvant atteindre 5 000 USD pour chaque infraction.

En 1996, le programme ZEV permettait des crédits ZEV « partiels » (PZEV) pour les véhicules « extrêmement » peu polluants qui n'entraient pas dans la catégorie ZEV stricto sensu, pour répondre aux prescriptions ZEV pendant la période initiale (1998-2003), mais tout en maintenant l'objectif sous-jacent d'atteindre 10 % de ZEV en 2003.

En 2001-03, compte tenu des problèmes de coûts, des délais et des difficultés techniques, le CARB a modifié son programme pour mieux harmoniser la réglementation avec l'état du développement technologique : en 2003, seuls 2 % des voitures devaient être de purs ZEV (c'est-à-dire des véhicules électriques à batterie ou à pile à combustible), 6 % pouvaient être des PZEV (c'est-à-dire des véhicules à essence classique à très faibles émissions), et les 2 % restants pourraient être des PZEV utilisant des technologies avancées (autrement dit des véhicules électriques hybrides, ou au gaz naturel). En fait, ce sont les progrès réalisés dans la technologie des batteries qui (contre toute attente) ont favorisé le développement des voitures hybrides (Calef et Goble, 2007).

Dans l'examen (www.arb.ca.gov/msprog/zevprog/2009zevreview/2009zevreview.htm) du programme ZEV réalisé en 2009, il a été suggéré, au vu du succès de la commercialisation des PZEV*, le CARB envisage de lever l'option permettant d'utiliser des PZEV AT PZEV pour répondre aux exigences du programme ZEV. Il a été plutôt proposé que l'on s'efforce dorénavant principalement de favoriser l'évolution des technologies ZEV pures précommerciales (véhicules électriques à batterie, à pile à combustible, véhicules électriques hybrides rechargeables et véhicules à moteur à combustion interne à hydrogène) du stade de la démonstration à celui de la commercialisation en 2015. En outre, des mesures complémentaires visant à développer l'infrastructure de soutien (stations de recharge électriques et à l'hydrogène) sont à l'étude (CARB, 2009a).

Au cours de la révision du programme ZEV réalisée fin 2009, la possibilité d'utiliser les PZEV a été conservée mais les normes globales ont été relevées à 11 % pour les modèles des années 2009-11, 12 % pour les modèles 2012-14, 14 % pour les modèles 2015-17 et 16 % pour les modèles 2018 et au-delà. Pour les véhicules des années 2009-11, les normes minimales sont fixées à 2.5 % de ZEV (ou crédits acquis au titre de véhicules ZEV), une autre tranche de 2.5 % de PZEV de pointe – AT PZEV – (ou crédits correspondants), et le reste du contingent ZEV fixé pour les constructeurs peut être rempli par des PZEV. La proportion du contingent global ZEV qui peut être satisfaite par des véhicules alternatifs (autrement dit, des ZEV ou des AT PZEV) augmentera avec le temps pour atteindre 10 % en 2018 (CARB, 2009b).

* De fait, les PZEV sont considérés comme une retombée indirecte du programme ZEV. Au total, plus d'un million de PZEV et 250 000 AT PZEV ont été livrés à la vente en Californie à la suite de l'application du programme ZEV. www.arb.ca.gov/msprog/zevprog/2009zevreview/zevwhitepaper.pdf.

Source : Voir à ce sujet CARB (2009), www.arb.ca.gov/msprog/zevprog/background.htm.

Encadré 3.3. Les limites d'émissions de dioxyde de carbone dans l'Union européenne¹

Des objectifs chiffrés de réduction des émissions de dioxyde de carbone ont été fixés pour la première fois en 1998-99 pour les voitures particulières neuves dans le cadre d'accords volontaires entre la Commission européenne et l'industrie automobile. Ces accords, qui visaient une moyenne à l'échelle du parc de 140 g/km d'émissions de CO₂ d'ici à 2008-09, ont initialement permis de réduire sensiblement les émissions, mais après 2004, les objectifs n'ont plus été tenus². Face à l'échec des objectifs volontaires pour réduire encore les émissions de CO₂, la Commission a élaboré en 2009 un programme de réduction obligatoire pour les voitures particulières et les véhicules commerciaux légers³.

Les nouvelles normes d'émissions de CO₂ sont contraignantes et sont applicables à compter de 2012. S'agissant des voitures particulières, chaque constructeur devra, d'ici à 2015, se conformer à l'objectif de 130 g de CO₂/km en moyenne pour le parc automobile neuf. Une réduction supplémentaire de 10 g/km sera réalisée par des mesures comme l'utilisation de systèmes de climatisation ou de pneus plus efficaces et de biocarburants. Le nouveau règlement rend ces objectifs obligatoires sur la moyenne du parc automobile d'un constructeur donné, par étapes successives : en 2012, 65 % du parc doit être conforme à l'objectif, en 2013, 75 % et en 2014, 80 %, pour atteindre 100 % à partir de 2015. Le règlement fixe également un objectif à long terme de 95 g de CO₂/km à atteindre à partir de 2020, les modalités de réalisation de cet objectif devant être examinées par la Commission en 2013.

Les constructeurs qui n'atteignent pas leur objectif moyen de réduction des émissions de CO₂ doivent payer des *primes* sur les émissions excédentaires. Entre 2012 et 2018, celle-ci est de 5 EUR par véhicule pour le premier gramme/km de CO₂ excédentaire, de 15 EUR pour le deuxième gramme et de 25 EUR pour le troisième gramme. Pour les émissions de plus de 3 grammes excédentaires, la prime est de 95 EUR par véhicule neuf immatriculé. À compter de 2019, elle sera de 95 EUR par voiture neuve pour chaque gramme dépassant l'objectif.

Pendant la période initiale, certains types de véhicules bénéficient d'incitations supplémentaires. Par exemple, des *bonifications* sont accordées pour les véhicules émettant moins de 50 g de CO₂/km. Ainsi, chaque véhicule de cette catégorie compte pour 3,5 voitures en 2012 et 2013, 2,5 voitures en 2014, 1,5 voiture en 2015 et une voiture à partir de 2016. Les émissions de CO₂ des véhicules capables d'utiliser un mélange de carburant comportant 85 % d'éthanol (E85) sont diminuées de 5 % jusqu'à la fin de 2015. Cette réduction ne s'applique que lorsqu'au moins 30 % des stations d'essence d'un État membre proposent du carburant E85⁴.

Le programme offre également aux constructeurs une certaine souplesse : a) ils sont autorisés à former un regroupement pour réaliser les objectifs de réduction des émissions de CO₂ qui leur sont assignés ; b) ils peuvent demander que soit prise en compte la contribution de technologies innovantes de réduction des émissions de CO₂ qui ne sont pas couvertes dans le cycle d'essai normalisé actuel (par exemple, lampes basse consommation), la contribution totale de ces technologies « éco-innovantes » à la réduction de l'objectif spécifique moyen de chaque constructeur pouvant atteindre au maximum 7 g CO₂/km; enfin, c) les constructeurs produisant de faibles volumes (moins de 10 000 voitures neuves immatriculées par an) peuvent, dans certaines conditions, introduire une demande de dérogation à l'objectif d'émissions spécifiques.

1. D'après www.dieselnet.com/standards/eu/ghg.php et ec.europa.eu/transport.

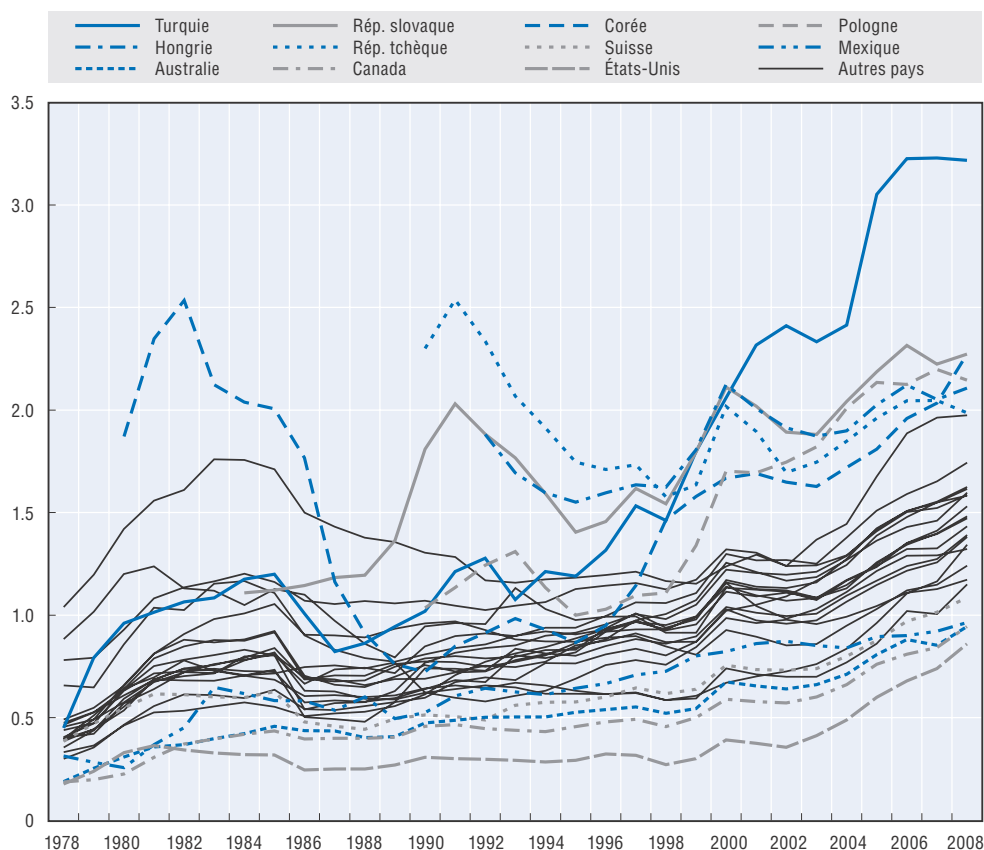
2. Selon une étude (T&E, 2006) seules trois marques sur 20 (Fiat, Citroën et Renault) étaient, en 2005, en voie de respecter l'engagement de 140 g/km. Plusieurs constructeurs de grosses cylindrées (BMW, Volvo, Audi) sont à la traîne ; Mazda, Suzuki et Nissan sont les marques les plus mal classées à cet égard.

3. Règlement 443/2009/CE et COM(2009)593.

4. Ces dispositions ont été critiquées par certains groupes de défense de l'environnement (voir par exemple CE Delft, 2010).

Graphique 3.13. Prix de l'essence dans les pays de l'OCDE

Prix à la pompe, toutes taxes comprises, pour les ménages, en USD par litre, prix et PPA 2008

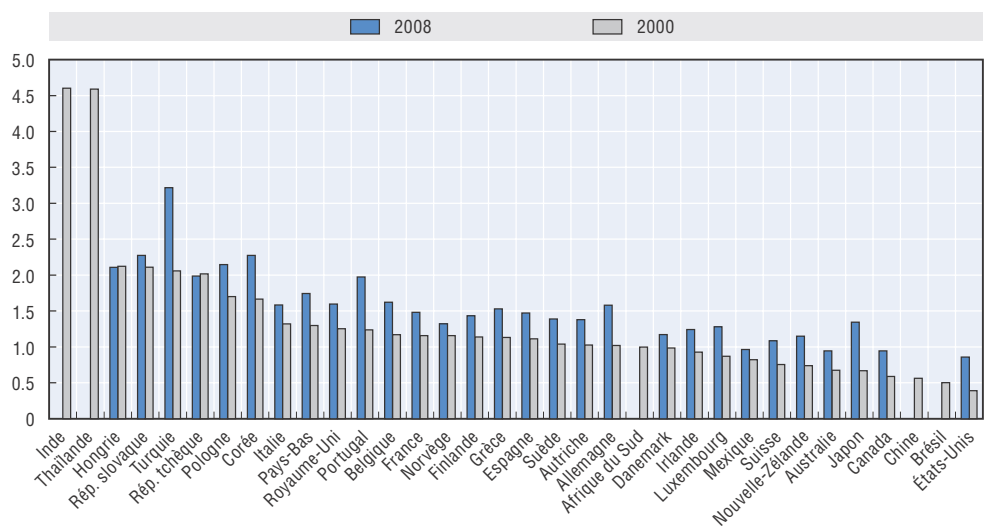


Note : Les prix indiqués représentent la fourchette la plus basse des prix du carburant dans un pays ; la plupart du temps, cela correspond à l'essence au plomb super (avant le milieu des années 80), à l'essence sans plomb super (95 IOR) en Europe et l'essence sans plomb ordinaire à l'extérieur de l'Europe.

Source : OECD.Stat, Prix de l'énergie, utilisation finale (3T 2009).

Graphique 3.14. Prix de l'essence toutes taxes comprises

Prix à la pompe, toutes taxes comprises, pour les ménages, en USD par litre, prix et PPA 2008



Note : Chine 1998 ; Brésil 1994.

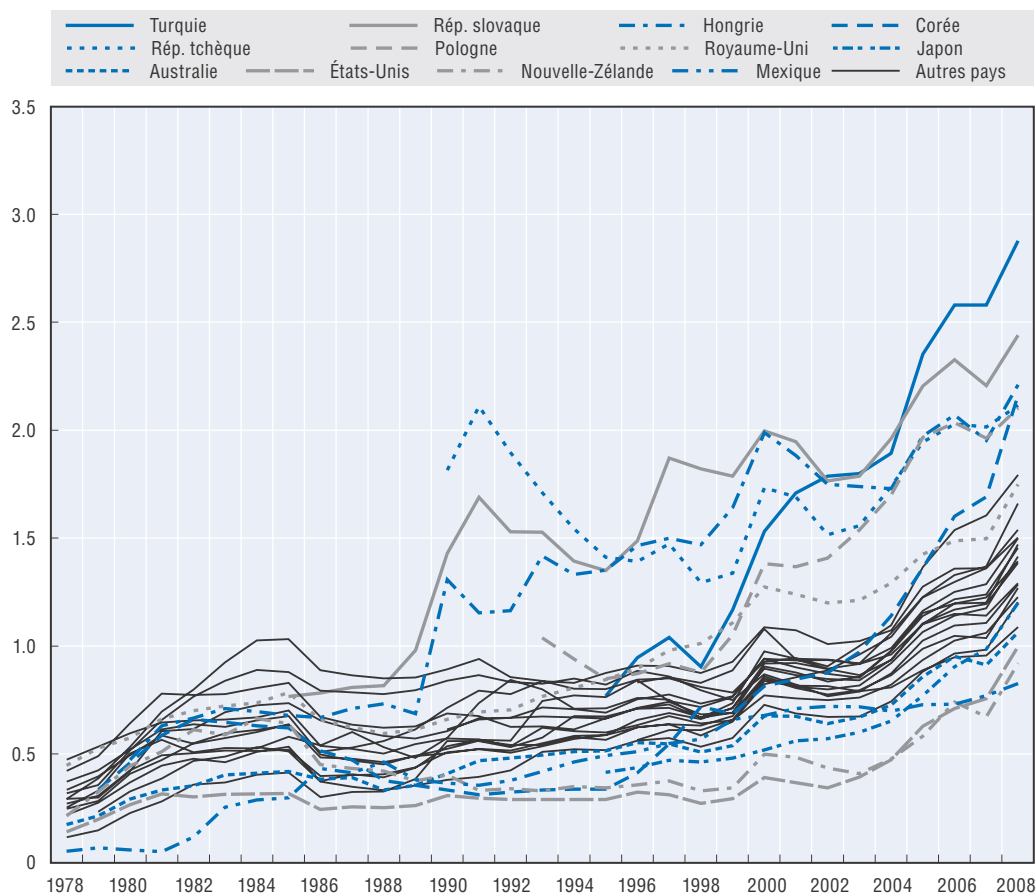
Source : OECD.Stat, Prix de l'énergie, utilisation finale (3T 2009).

Les hausses de prix absolues les plus fortes ont été enregistrées en Turquie, au Portugal et au Japon, tandis que le pourcentage d'augmentation le plus élevé a été observé aux États-Unis, au Japon, au Portugal et au Canada.

Les prix du gazole ont connu une évolution analogue (graphique 3.15). Entre 2000 et 2008, ils ont augmenté dans tous les pays pour lesquels on dispose de données. Les hausses absolues les plus élevées ont été enregistrées en Corée et en Turquie tandis que les hausses en pourcentage les plus fortes concernaient la Corée, les États-Unis et le Japon (graphique 3.16).

Graphique 3.15. Prix du gazole, toutes taxes comprises

Prix à la pompe toutes taxes comprises, pour les ménages, en USD par litre, prix et PPA 2008



Source : OECD.Stat, Prix de l'énergie, utilisation finale (3T 2009).

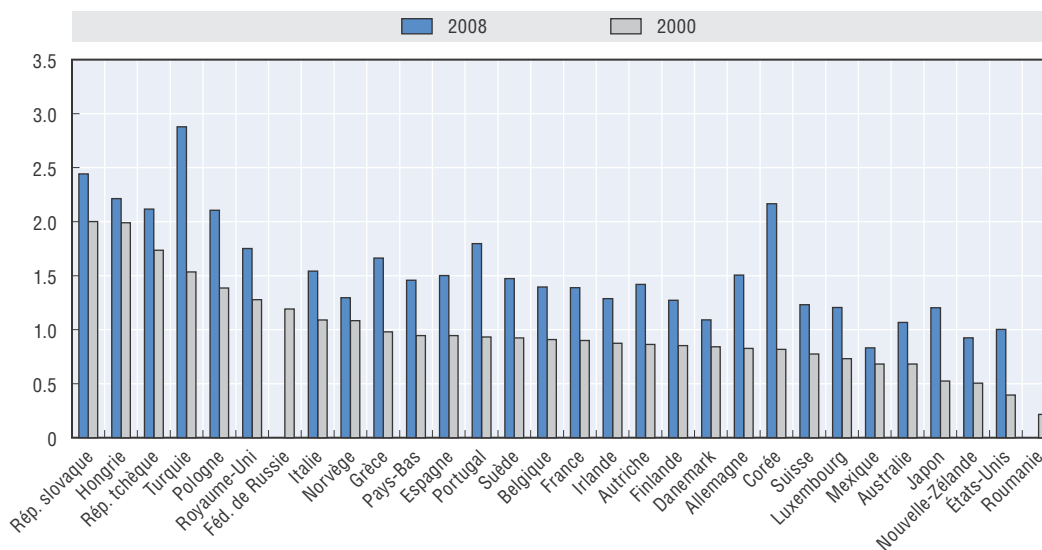
Indépendamment des taxes visant expressément les carburants, certains pays taxent les carburants en incluant les émissions des transports dans leur régime d'échange de droits d'émission (voir l'exemple de la Nouvelle-Zélande dans l'encadré 3.4).

Taxes et crédits d'impôt à l'achat des véhicules

Dans un certain nombre de pays de l'OCDE, les pouvoirs publics ont intégré à leur régime des incitations fiscales destinées à encourager l'achat de véhicules moins polluants. Par exemple, dans le cadre de son Grenelle de l'environnement, la France a introduit un système de bonus-malus¹⁰ qui subventionne le prix d'achat de voitures à

Graphique 3.16. **Prix du gazole, toutes taxes comprises**

Prix à la pompe, toutes taxes comprises, pour les ménages, en USD par litre, prix et PPA 2008



Source : OECD.Stat, prix de l'énergie, utilisation finale (3T 2009).

Encadré 3.4. **Les émissions des transports dans le régime d'échange de droits d'émission de la Nouvelle-Zélande¹**

En novembre 2009, il ne restait plus au gouvernement néo-zélandais qu'à adopter la nouvelle législation devant encadrer le fonctionnement d'un système complet d'échange de droits d'émission (ETS) couvrant tous les secteurs de l'économie. Le système entrera en vigueur graduellement dans les différents secteurs entre 2008 et 2013². Le secteur des transports, considéré comme faisant partie du secteur « combustibles fossiles liquides », sera intégré au système d'échange de droits d'émission néo-zélandais le 1^{er} juillet 2010. Au cours d'une phase de transition (qui durera jusqu'en décembre 2012), les obligations au titre du système seront mises en œuvre progressivement ; les participants devront restituer seulement une unité pour deux tonnes d'équivalent CO₂ émises ; l'équivalent prix est fixé à 25 NZD.

Le système d'échange couvre les combustibles fossiles liquides utilisés en Nouvelle-Zélande (essence, gazole, carburant aviation, kérosène, fioul léger et fioul lourd). Les biocarburants ne sont pas pris en compte. Le système s'applique aux combustibles fossiles liquides en remontant la chaîne d'offre aussi haut que possible – autrement dit, au moment où les produits pétroliers raffinés quittent la raffinerie ou sont importés. Par conséquent, ce sont les fournisseurs de combustibles qui acheminent le combustible de la raffinerie ou qui l'importent qui seront tenus de participer au système. Les automobilistes ne sont pas concernés.

1. D'après AIE (2009a) et www.climatechange.govt.nz/emissions-trading-scheme/index.html.
2. Communication personnelle. Délégation de la Nouvelle-Zélande auprès de l'OCDE, réunion du GPEN, novembre 2008.

faibles émissions (dans une fourchette variant de 5 000 EUR pour les voitures produisant de 0 à 60 g CO₂/km à 100 EUR pour la tranche 111-120 g CO₂/km, barème 2011-12) mais impose une taxe sur le prix des véhicules les plus polluants (qui va de 200 EUR pour la tranche de

151-155 g CO₂/km à 2 600 EUR pour la tranche 240 g CO₂/km et plus, barème 2011-12) (www.legrenelle-environnement.fr/spip.php?rubrique195). Le programme français se veut globalement sans incidence sur les recettes.

Au Japon, le système de développement et de diffusion des technologies bas-carbone prévoit des subventions et des abattements fiscaux à l'achat de véhicules économes en carburant¹¹. En outre, le programme japonais d'innovation pour une économie et une société vertes prévoit des incitations fiscales au développement et à la diffusion de véhicules de la prochaine génération¹².

Aux États-Unis, en vertu de l'Energy Policy Act de 2005, les acheteurs de véhicules alternatifs spécifiques ont droit à un crédit d'impôt pouvant atteindre 4 000 USD. Le crédit d'impôt auquel donne droit un véhicule à pile à combustible peut atteindre 8 000 USD. Son maximum est de 3 400 USD pour un véhicule hybride¹³. Plus récemment, l'American Recovery and Reinvestment Act (2009), prévoit une enveloppe d'incitations fiscales d'environ 30 milliards USD pour encourager les activités de recherche, de développement et de diffusion relatives aux énergies propres. En outre, les acheteurs de véhicules électriques hybrides rechargeables ont droit à un crédit d'impôt pouvant atteindre 7 500 USD (AIE, 2009a).

Taxes annuelles sur les véhicules

De nombreux pays de l'OCDE ont perçu dans le passé des taxes sur les véhicules assises sur le poids et la cylindrée du véhicule. Depuis peu, la taxe sur les véhicules est assise sur les émissions de CO₂ (c'est le cas, par exemple, en Allemagne¹⁴ et en Italie¹⁵). Cette évolution qui consiste à lier la fiscalité des véhicules neufs, dans sa totalité ou en partie, aux émissions de CO₂ est encouragée par la Commission européenne dans d'autres États membres de l'Union. Par exemple, le Royaume-Uni a déjà répondu à la demande de la Commission en liant aux émissions de CO₂ sa taxe sur les véhicules (taxe routière) et la prise en compte dans le revenu imposable de l'utilisation d'une voiture de société à titre privé. L'objectif ainsi visé par les autorités britanniques est que 10 % de toutes les voitures neuves vendues au Royaume-Uni en 2012 produisent au maximum 100 g/km d'émissions de CO₂ (AIE, 2009a). En outre, le Royaume-Uni a réformé sa taxe annuelle sur les véhicules en y intégrant des incitations en faveur des véhicules peu polluants (voir encadré 3.5).

Encadré 3.5. La taxe annuelle britannique*

Au Royaume-Uni, toutes les automobiles sont assujetties à une taxe annuelle (*Vehicle Excise Duty* – VED). Cette taxe, qui était auparavant forfaitaire pour tout type de véhicule, a été réformée en 2001 de façon à encourager les véhicules économes en carburant et à faibles émissions de carbone. Dans le cadre de ce nouveau système, la taxe sur les nouveaux véhicules immatriculés était ventilée en bandes tarifaires en fonction des émissions de CO₂. À l'intérieur de chaque bande, les voitures à énergie alternative, y compris les véhicules hybrides, bénéficiaient d'une réduction. Ce système se veut sans incidence sur les recettes.

En 2006, le taux d'imposition pour les voitures les moins polluantes (bande A : 0-100 g/km) a été réduit à zéro, tandis que celui des voitures les plus polluantes (bande G : 226 g/km et plus) a été porté à 300 GBP à partir de 2007 et à 400 GBP à partir de 2008.

Encadré 3.5. **La taxe annuelle britannique*** (suite)

En 2009, le système de la VED a été profondément remanié. Il s'articule maintenant sur 13 bandes différenciées en fonction des émissions de CO₂. Le nouveau système augmente le nombre de bandes pour les véhicules les plus polluants et fixe des taux plus bas pour les véhicules alternatifs.

Taux d'imposition des véhicules (2010-11) pour les voitures immatriculées depuis le 1^{er} mars 2001

Bande	CO ₂ (g/km)	Taux standard	Taux pour les énergies alternatives
A	Jusqu'à 100	£0	£0
B	101-110	£20	£10
C	111-120	£30	£20
D	121-130	£90	£80
E	131-140	£110	£100
F	141-150	£125	£115
G	151-165	£155	£145
H	166-175	£180	£170
I	176-185	£200	£190
J	186-200	£235	£225
K	201-225	£245	£235
L	226-255	£425	£415
M	Plus de 255	£435	£425

Le nouveau système comporte de nouveaux éléments en faveur de l'achat de voitures peu polluantes. Les taux d'imposition pour les voitures neuves, lors de leur première immatriculation (taux de première année) sont maintenant tels qu'ils creusent l'écart entre les véhicules les plus propres et les plus polluants. L'objectif est ici de renforcer le signal aux acheteurs quant aux implications environnementales de leur choix de véhicule.

Taux d'imposition des véhicules (2010-11) pour les voitures neuves

Bande	CO ₂ (g/km)	Taux standard de première année	Taux pour les énergies alternatives, première année
A	Jusqu'à 100	£0	£0
B	101-110	£0	£0
C	111-120	£0	£0
D	121-130	£0	£0
E	131-140	£110	£100
F	141-150	£125	£115
G	151-165	£155	£145
H	166-175	£250	£240
I	176-185	£300	£290
J	186-200	£425	£415
K	201-225	£550	£540
L	226-255	£750	£740
M	Plus de 255	£950	£940

* D'après AIE (2009a) et www.direct.gov.uk/en/Motoring/OwningAVehicle/HowToTaxYourVehicle/DG_172916.

Taxes kilométriques (taxe d'utilisation de la route)

Le principal objectif des politiques de tarification routière, outre la collecte de fonds destinés à l'entretien du réseau routier, est d'encourager la diminution de la part relative du transport individuel au profit d'autres modes de transport. La tarification routière peut donc avoir une incidence sur le volume global de trafic, mais il est peu probable qu'elle encourage la réduction de la consommation de carburant unitaire et des émissions de CO₂. Cependant, les systèmes de tarification routière peuvent être modifiés en ce sens. Par exemple, une mesure intéressante et novatrice, qui sera mise en œuvre aux Pays-Bas, consiste à taxer l'utilisation du réseau (c'est-à-dire le nombre de kilomètres parcourus chaque année) en appliquant un taux différencié en fonction du type de véhicule et de ses émissions de CO₂. On combine donc ainsi les éléments d'une taxe kilométrique au sens strict et d'une taxe sur les émissions de CO₂ au sens strict également (voir encadré 3.6 pour plus de détails).

Encadré 3.6. Taxe sur l'utilisation des infrastructures routières aux Pays-Bas*

Confronté à une augmentation du trafic routier, de la congestion et des problèmes environnementaux connexes, le gouvernement néerlandais (après consultation des associations d'automobilistes et de l'industrie, des syndicats et des organismes de défense de l'environnement) a introduit une taxe kilométrique applicable aux véhicules circulant sur le réseau routier néerlandais, différenciée en fonction de l'heure, du lieu et de divers facteurs environnementaux. Le système de tarification fera appel à la technologie des satellites. Après une période d'essai initiale, le système devrait être opérationnel en 2011 (pour le transport de marchandises) et en 2012 (pour le transport de voyageurs) (AIE, 2009a).

La taxe kilométrique remplace les taxes fixes jusque là prélevées sur les véhicules (vignette annuelle et taxe à l'achat des véhicules), qui sont supprimées. Par conséquent, la charge fiscale ne portera plus sur la possession d'un véhicule mais sur son utilisation. Dans le nouveau système, les automobilistes ne paieront donc qu'en fonction de la distance effectivement parcourue. On appliquera un taux de base par kilomètre parcouru sur le territoire néerlandais. Ce taux de base sera différencié selon les émissions de CO₂ du véhicule. En outre, une surtaxe kilométrique pourrait être appliquée pour l'utilisation d'itinéraires particulièrement fréquentés aux heures de pointe. Cette mesure a pour but de réduire à la fois les émissions de CO₂ et le trafic (surtout aux heures de pointe). On s'attend que la réduction du nombre de véhicules en circulation aux heures de pointe, qui sera de l'ordre de 10 %, mettra fin aux embouteillages. Cette politique se veut sans incidence sur les recettes.

* D'après www.verkeerenwaterstaat.nl/english/topics/mobility_and_accessibility/road_pricing/index.aspx.

Mesures axées sur l'information

L'asymétrie de l'information entre acheteurs et vendeurs se traduit par une inefficacité du marché car les acheteurs ne sont pas en mesure de se procurer des produits possédant l'ensemble des caractéristiques qui répondent à leurs préférences. Indépendamment de ce type d'imperfection du marché, il arrive que certains types de produits ne soient carrément pas offerts sur le marché (marchés incomplets).

Sur les marchés des voitures neuves, les deux types de défaillance du marché peuvent coexister. Ainsi, une information insuffisante ou manquant de clarté quant aux

caractéristiques des véhicules peut dissuader le consommateur d'acheter un véhicule économe en carburant ou peu polluant. Pour remédier à ce genre de situation, de nombreux pays de l'OCDE ont pris des mesures pour que les consommateurs puissent faire des choix avisés (par exemple, l'étiquetage des produits) et pour influencer ces choix en faveur de véhicules plus économes en carburant (par exemple, guides des véhicules verts, conseils gratuits aux consommateurs). De plus, ces mesures peuvent contribuer à atténuer le problème des marchés incomplets car elles peuvent être articulées avec d'autres (par exemple, l'octroi d'une réduction ou d'une subvention à l'achat d'un véhicule labellisé à faibles émissions de CO₂).

Étiquetage des produits

En Australie, la spécification de la consommation de carburant (en litres par 100 km) est obligatoire depuis 2001. Elle s'applique aux voitures particulières neuves, aux véhicules à traction intégrale et aux véhicules commerciaux légers vendus sur le marché national. Depuis 2004, cette spécification doit également indiquer les émissions de CO₂ (g/km). Le système s'applique désormais à tous les véhicules jusqu'à 3.5 tonnes de masse brute (y compris certains véhicules hors route de taille importante) (AIE, 2009a) (voir également www.environment.gov.au/settlements/transport/fuelguide/label.html).

En Nouvelle-Zélande, l'étiquetage de la consommation de carburant est obligatoire sur les voitures neuves et d'occasion (construites après 2000 et pour lesquelles on dispose de données) au point de vente. L'information concernant la consommation de carburant comprend trois éléments : i) coût de la consommation de carburant par an ; ii) notation de la consommation de carburant sur une échelle de six étoiles ; et iii) consommation de carburant en litres aux 100 km (AIE, 2009a) (voir également www.rightcar.govt.nz et www.fuelsaver.govt.nz).

Au Japon, un système d'étiquetage de la consommation de carburant a été introduit en 2004 pour sensibiliser le public aux véhicules qui sont conformes aux normes de consommation du programme Top Runner. L'étiquetage indique la consommation de carburant par une vignette portant la mention « entièrement conforme » ou « +5 % », « +10 % » ou « +20 % par rapport à la norme » (AIE, 2009a) (voir à ce sujet www.eccj.or.jp/summary/local0703/eng/02_04_06.html).

Des systèmes analogues ont été introduits également dans d'autres pays, notamment aux États-Unis, où une étiquette indiquant la consommation de carburant et les estimations de consommation (en ville ou sur route) doit être apposée sur le pare-brise de toute voiture particulière et tout camion léger neuf vendus sur le marché national (AIE, 2009a). Un système d'étiquetage obligatoire de la consommation de carburant et d'émissions de CO₂ a également été mis en place au sein de l'UE. Depuis 2008, la consommation et les émissions de CO₂ doivent également être indiquées sur les véhicules neufs en Corée¹⁶ et en Turquie (voir également www.sanayi.gov.tr) (AIE, 2009b).

Éducation du consommateur

Pour aider davantage le consommateur à choisir un véhicule économe en carburant et à faibles émissions de CO₂, de nombreux gouvernements ont diffusé des guides et mis en place des programmes qui conseillent gratuitement les ménages et les entreprises sur les moyens d'améliorer leur consommation de carburant et leurs émissions de CO₂. Des ont ainsi été publiés aux États-Unis (voir encadré 3.7) et en Australie (voir www.greenvehicleguide.gov.au et www.environment.gov.au/settlements/transport/fuelguide/index.html). Au Canada, les

ménages (voir également www.ecoaction.gc.ca/ecoenergy-ecoenergie/personalvehicules-vehiculespersonnels-eng.cfm) et les entreprises bénéficient de conseils gratuits (voir encadré 3.8). En outre, certains pays ont activement encouragé une modification des habitudes de conduite qui contribue à améliorer la consommation de carburant, ce que l'on appelle « l'écoconduite » (par exemple, au Japon, au Canada, en Finlande et aux Pays-Bas) (voir également www.ecodriving.org, www.hetnieuwerijden.nl, www.asiaeec-col.eccj.or.jp/eng/e3105promo_ecod.html, www.ecoaction.gc.ca/ecoenergy-ecoenergie/personalvehicules-vehiculespersonnels-eng.cfm).

Encadré 3.7. Le guide de la consommation de carburant et le guide des véhicules verts (États-Unis)*

Ce programme conjoint du ministère de l'Énergie et de l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis, en place depuis 2000, consiste à produire un guide annuel de la consommation de carburant et à tenir un site Internet qui informe sur la consommation des véhicules neufs (www.fueleconomy.gov). Le guide de la consommation de carburant fournit aux consommateurs une information détaillée sur la consommation, l'empreinte carbone et la pollution atmosphérique des derniers modèles de véhicules, mais également des renseignements sur les véhicules hybrides, à énergie alternative, électriques et à pile à combustible. On y trouve également une liste des véhicules les mieux classés en matière de consommation de carburant pour l'année en cours.

Le guide des véhicules verts a pour but d'informer les consommateurs sur la consommation de carburant et les émissions de tous les véhicules légers et voitures vendus aux États-Unis. Le consommateur y trouve le véhicule le plus propre et le plus économe en carburant répondant à ses besoins. Chaque véhicule est noté en ce qui concerne la pollution atmosphérique et les émissions de gaz à effet de serre sur une échelle de 0 à 10 (10 étant la meilleure note). Le consommateur peut comparer les véhicules ou les types de véhicules en termes de consommation et d'émissions. Le guide informe sur la consommation, et les émissions polluantes et de gaz à effet de serre pour des modèles et configurations de véhicules spécifiques.

* D'après (AIE, 2009a). Pour plus de détails, voir www.fueleconomy.gov/feg et www.epa.gov/greenvehicles.

Programmes de démonstration et de mise en circulation

Les marchés publics peuvent être un moyen efficace d'encourager l'innovation dans le segment des véhicules alternatifs. Étant donné les importantes externalités positives et économies d'échelle associées à l'infrastructure d'approvisionnement en carburant, le démarrage du marché peut dépendre de l'exemple donné par un important acheteur (effets de réseau). À cela peuvent s'ajouter des effets de démonstration sensibles (externalités de l'information du côté de la demande). Compte tenu de cette conjugaison d'effets de réseau et de démonstration, des programmes publics d'acquisition de véhicules alternatifs peuvent encourager les acheteurs privés à adopter ce type de véhicule, stimulant ainsi l'innovation (voir OCDE [2003] pour un examen des types de biens pour lesquels les marchés publics constitueraient un moyen efficace de stimuler l'innovation). Plusieurs exemples de ce type de programme sont passés en revue ci-après.

À la suite de l'introduction de la directive ZEV en Californie en 1990, le gouvernement français a mis en place, en 1992, un programme national de développement et de mise en

Encadré 3.8. Canada – conseils au secteur du fret

Le secteur du transport routier commercial est responsable de près de 10 % des émissions de gaz à effet de serre du Canada. Le programme « ecoENERGY pour les parcs de véhicules » informe les responsables de parcs de véhicules des pratiques écoénergétiques susceptibles de réduire la consommation de carburant et les émissions. Ce programme diffuse gratuitement de l'information pratique et montre comment les véhicules à haut rendement énergétique et les pratiques commerciales écoénergétiques peuvent réduire les coûts d'exploitation du parc de véhicules, améliorer sa productivité et accroître la compétitivité. Le programme vise à faire connaître aux propriétaires et gestionnaires de parcs de véhicules les avantages des nouvelles technologies, existantes et émergentes. On prévoit que plus de 200 000 conducteurs professionnels (véhicules lourds, autobus, camions de construction et autres véhicules) recevront au cours des quatre prochaines années une formation en techniques écoénergétiques pour la conduite et l'entretien de leurs véhicules (AIE, 2009a) (voir également www.ecoaction.gc.ca/ECOENERGY-ECOENERGIE/fleets-parcsvehicules-fra.cfm).

circulation de véhicules électriques, qui engageait les constructeurs à développer les véhicules électriques, et la compagnie d'électricité nationale à construire l'infrastructure de recharge nécessaire. Les objectifs de l'accord officiel signé en 1995 étaient de mettre en circulation sur les routes françaises 100 000 véhicules électriques d'ici à 1999, pour que ce type de véhicule représente 5 % des nouvelles immatriculations. L'accord prévoyait également que 10 % des parcs de véhicules du secteur public devaient être électriques. Un an plus tard, l'objectif a été relevé à 20 % pour les parcs d'organismes publics comptant au moins 20 véhicules. Le programme d'acquisition a été complété par plusieurs programmes de location visant à familiariser le public avec les véhicules alternatifs et à encourager le changement de comportement des automobilistes (covoiturage). Malgré ces efforts, fin 2002, on ne comptait que 7 500 véhicules électriques en circulation en France (dont plus de 90 % faisaient partie des parcs de municipalités ou d'entreprises publiques) – un chiffre très éloigné de l'objectif initial de 100 000, mais malgré tout plus élevé que dans tout autre pays industrialisé à l'époque (on comptait alors environ 3 500 véhicules électriques dans le reste de l'Europe) (Calef et Goble, 2007) (voir également Richard (1992) et Groupe interministériel véhicules électriques, 1995).

En 1993, la Suède a décidé de lancer son propre programme de R-D sur les véhicules électriques et hybrides, qui comprenait, outre le développement technologique, des essais de véhicules à vocation privée et commerciale, et l'expérimentation d'infrastructures de recharge, d'échange de batteries et de services. L'objectif était d'évaluer la possibilité d'introduire à grande échelle les véhicules alternatifs sur le marché suédois. À la faveur de ce programme, 650 véhicules électriques et hybrides étaient en circulation dans le pays en 2000, alors qu'on n'en comptait aucun en 1993 (KFB, 2000).

En 1995, le Japon a mis en place un programme d'acquisition destiné à remplacer 10 % des véhicules des parcs publics par des véhicules alternatifs d'ici à 2000 (véhicules à batterie, hybrides, à pile à combustible, au GNC, au GPL, et véhicules au méthanol remplissant les conditions voulues). En 2001, l'objectif a été modifié et c'était dorénavant la totalité des véhicules utilisés par le secteur public qui devaient être remplacés par des véhicules alternatifs d'ici à 2004. Selon Åhman (2006), le premier programme d'acquisition n'a pas atteint son objectif, car seuls quelques véhicules alternatifs ont été mis en

circulation, essentiellement en raison de contraintes budgétaires. Le programme d'acquisition a complété un certain nombre de mesures de promotion et d'incitation à la location et à l'achat qui existaient depuis 1976. Par exemple, le programme d'incitation à l'achat de 1996 subventionnait à hauteur de 50 % le surcoût d'un véhicule à batterie. Initialement, le nombre de véhicules de ce type mis en circulation a été limité (655 entre 1977 et 1996, pour la plupart des véhicules classiques reconvertis), mais il a commencé à augmenter plus rapidement à compter de 1997, avec l'élargissement des politiques gouvernementales aux véhicules hybrides. Comme le fait remarquer Åhman (2006), cela a aidé le Japon à devenir le premier pays à disposer d'un modèle électrique hybride pour le marché des voitures particulières. En 2001, on comptait ainsi plus de 50 000 véhicules hybrides au Japon. Pour la prochaine étape, il est prévu d'introduire d'ici à 2010 environ 50 000 véhicules électriques à pile à combustible dans les parcs des entreprises publiques et de l'industrie (Åhman 2006).

Plus récemment, d'autres pays de l'OCDE ont lancé de nouveaux programmes de marchés publics ou élargi ceux qui existaient déjà afin d'accélérer l'introduction des technologies de motorisation alternative sur le marché, notamment le Royaume-Uni (par exemple, voir le « *Low Carbon Vehicle Procurement Program* » à www.dft.gov.uk/pgr/scienceresearch/technology/lowcarbonvehicleprocurementprog), les États-Unis (par exemple, voir le « *Clean Cities Program* » de 1993 à www1.eere.energy.gov/cleancities), le Japon (par exemple, voir la loi sur les achats verts de 2000, à www.env.go.jp/en/laws/policy/green et le plan de contrôle des émissions de GES à www.env.go.jp/earth/action), l'Australie (Nouvelle-Galles du Sud) et la Corée. Au sujet des initiatives prises dans le monde entier pour accélérer l'adoption des véhicules alternatifs, voir AIE (2009c) et SEI (2008).

Mesures visant à améliorer la coordination

Développement de l'infrastructure du côté de la demande

Les marchés des véhicules alternatifs sont pénalisés par d'importantes externalités de réseau (infrastructure de recharge). Il est essentiel de remédier à ces insuffisances du marché pour favoriser la diffusion ou l'adoption de l'innovation. Une large diffusion non seulement contribuera à la réalisation des objectifs environnementaux mais créera également une demande sur le marché qui encouragera elle-même d'autres innovations de produit (et permettra ainsi aux pouvoirs publics de mettre fin à l'aide à la R-D).

Par exemple, l'*American Recovery and Reinvestment Act* de 2009 prévoit un « crédit pour installation de recharge d'énergie alternative » – un crédit d'impôt aux entreprises (par exemple, les stations d'essence) qui se dotent d'installations pour les véhicules à énergie alternative (par exemple, E85, électricité, hydrogène et gaz naturel) (AIE, 2009a).

Un autre exemple est, en Allemagne, le *Plan de développement national de la mobilité électrique* (2010-20), qui soutient la R-D sur les batteries et la conception des voitures électriques, mais vise également le développement de l'infrastructure nécessaire à l'introduction à grande échelle de véhicules à batterie en Allemagne. Ce plan porte également sur l'utilisation d'énergies renouvelables et de moyens de recharge intelligents des batteries afin de stabiliser le réseau électrique et d'intégrer des énergies renouvelables variables. Un autre important objectif est la normalisation (technique) internationale des infrastructures de recharge et des composants connexes des véhicules dans le but de réduire le coût global des investissements infrastructurels nécessaires et d'accroître les retombées sur le marché. L'objectif déclaré du plan est de mettre en circulation un

million de véhicules électriques sur le réseau allemand d'ici à 2020, et cinq millions à l'horizon 2030¹⁷.

Le Portugal a adopté un ambitieux projet de diffusion de la technologie. Son *programme national en faveur de la mobilité électrique*, adopté en 2009, vise à créer une infrastructure nationale devant permettre la diffusion à grande échelle des véhicules électriques. Il a pour objectif de mettre en place un réseau entièrement intégré et offrant une interopérabilité totale permettant à tout automobiliste d'accéder à n'importe quel fournisseur d'électricité, à partir de n'importe quel point de recharge, quel qu'en soit l'opérateur. Les autorités veulent assurer la transparence sur le marché et abaisser les barrières à l'entrée et à la concurrence le long de la chaîne de valeur. Le réseau de mobilité électrique portugais devrait comprendre 1 300 points de recharge lente et 50 de recharge rapide qui seront installés à travers le pays au cours des deux prochaines années. Un autre objectif du plan est de réaliser l'intégration du système en faisant de plus en plus appel à l'électricité renouvelable¹⁸.

En résumé, les gouvernements nationaux prennent actuellement des mesures qui vont configurer le marché futur des véhicules électriques. Chacune de ces mesures constitue une importante contribution individuelle à l'élargissement de la diffusion sur le marché, mais une coordination internationale est souhaitable, notamment pour assurer un certain degré d'interopérabilité des différents systèmes nationaux. Cette coordination peut consister à harmoniser les normes techniques (pour les infrastructures de recharge, par exemple). Il importe toutefois que la normalisation ne soit pas trop rapide et que ses avantages soient évalués par rapport à ses coûts (réduction de la concurrence, risque de verrouillage de la technologie, etc.).

Plates-formes d'innovation du côté de l'offre et réseaux industriels

Indépendamment des externalités de réseau qui influent sur la demande, les marchés de l'innovation sont souvent entravés par des problèmes de coordination qui engendrent des coûts de transaction élevés. La *plate-forme nationale sur la mobilité électrique*, envisagée dans le plan allemand déjà mentionné en faveur du développement national de la mobilité électrique, est un exemple de mesure visant à réduire ces coûts.

Au Royaume-Uni, la « Low Carbon Vehicles Innovation Platform » a été mise en place sous l'égide du Conseil de stratégie technologique qui joue un rôle de premier plan dans l'amélioration de la coordination des divers organismes publics et établissements de recherche dans le but de stimuler la R-D et l'innovation dans l'entreprise, en particulier en coordonnant l'aide à la R-DD et en améliorant la concertation stratégique et réglementaire, articulée autour des possibilités de marchés publics (AIE, 2009a) (voir également www.innovateuk.org et www.innovateuk.org/ourstrategy/innovationplatforms/lowcarbonvehicles.ashx).

Mesures prises dans un certain nombre de pays non membres de l'OCDE

La Chine perçoit des droits d'accise sur les véhicules, et applique des normes de consommation de carburant et des taux de TVA différenciés. Les droits d'accise sur les véhicules sont fonction de la cylindrée depuis 1994. En 2006, le barème d'imposition a été élargi pour accentuer les différences entre les petites et grosses cylindrées. Des normes de consommation obligatoires pour les voitures particulières, mises en place en 2004, classent les véhicules en 16 catégories en fonction de leur poids. Des normes différentes s'appliquent aux véhicules à boîte manuelle et à boîte automatique. Les valeurs standard

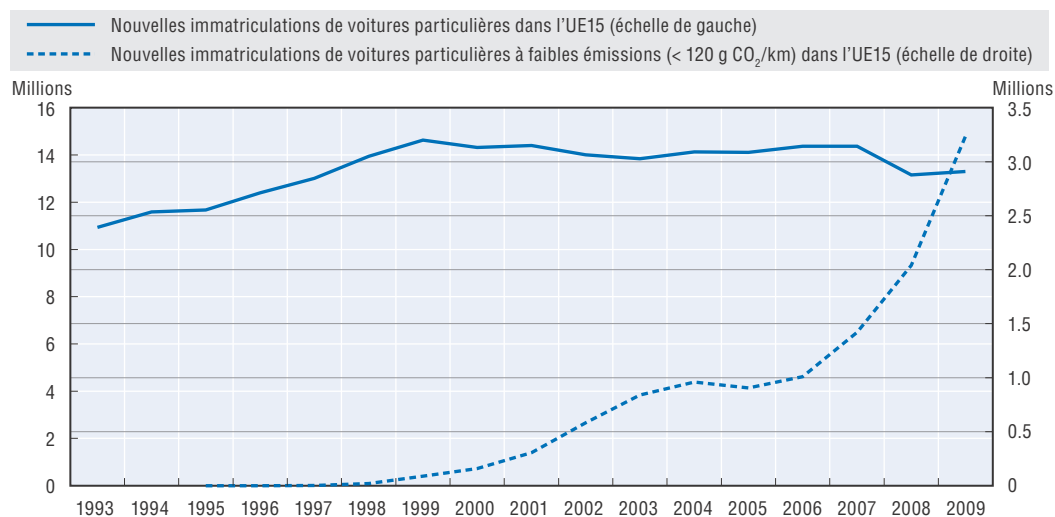
sont les limites maximales autorisées pour chaque type de véhicule, et non celles de la moyenne du parc des catégories concernées. Des taux de TVA différenciés s'appliquent à l'achat des véhicules – 3 % pour les cylindrées de moins de 1.5 litre et 20 % sur celles de 4 litres et plus (AIE, 2009a).

Beaucoup d'autres pays non membres de l'OCDE ont adopté des mesures pour réduire la consommation de carburant des véhicules classiques [par exemple, l'Inde (www.dhi.nic.in/autopolicy.htm) et l'Afrique du Sud (www.polity.org.za/pdf/notice3324.pdf)]. De plus, plusieurs paraissent déterminés à orienter leur marché de l'automobile vers l'éthanol et d'autres biocarburants, et à accroître l'offre intérieure de biocarburants. Ils semblent accorder moins d'importance aux politiques visant à développer les marchés de véhicules électriques et hybrides, qui sont parfois inexistantes. Cet état de choses contraste nettement avec la situation de nombreux pays de l'OCDE et pourrait être lié au stade de développement technologique ainsi qu'à des questions de ressources naturelles. Des mesures en faveur des biocarburants ont été mises en œuvre par exemple au Brésil (R-D sur le biogazole, teneur obligatoire en éthanol et en biogazole), (www.iea.org/textbase/pm/?mode=cc&id=4109&action=detail, www.iea.org/textbase/pm/?mode=weo&id=3437&action=detail; voir également www.mme.gov.br/site/home.do et www.anp.gov.br, en Inde (subventions à la production d'éthanol, mélange obligatoire) (www.iea.org/textbase/pm/?mode=cc&id=3840&action=detail; planningcommission.nic.in/reports/genrep/cmtt_bio.pdf), en Afrique du Sud (stratégie en faveur des biocarburants) (www.dme.gov.za) et en Chine (villes pilotes pour l'utilisation de carburants à l'éthanol) (www.china5e.com/laws/index2.htm?id=200503220009).

Adoption de technologies de motorisation alternative

À l'évidence, l'adoption de véhicules économes en carburant et peu polluants (y compris ceux dotés de moteurs classiques) a progressé et les parts de marché correspondantes ont considérablement augmenté ces dernières années (graphiques 3.17 et 3.18). Par exemple, au cours des trois dernières années, la part des ventes de voitures à faibles émissions

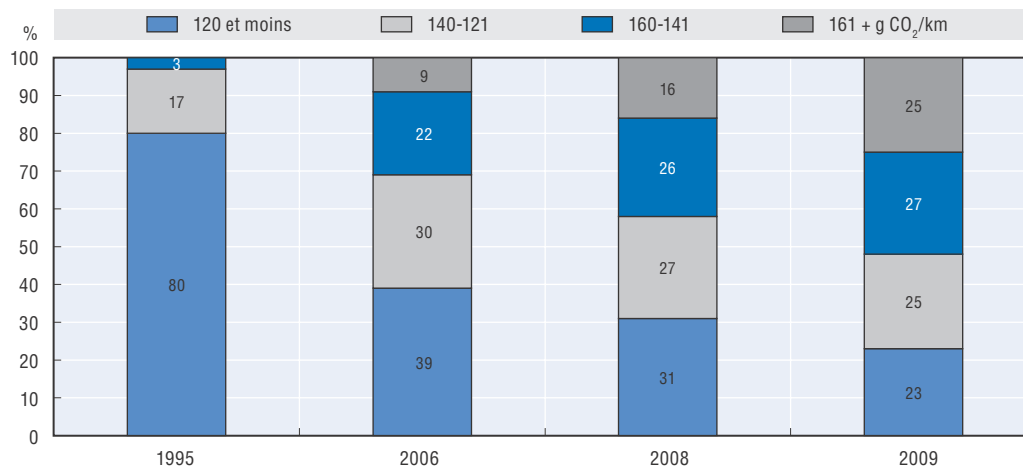
Graphique 3.17. **Adoption des technologies de véhicules économes en carburant**



Source : ACEA (2010).

Graphique 3.18. Adoption des technologies de véhicules économes en carburant

Voitures particulières neuves vendues dans l'Union européenne (UE15), ventilées selon leurs émissions de CO₂ (g CO₂/km)



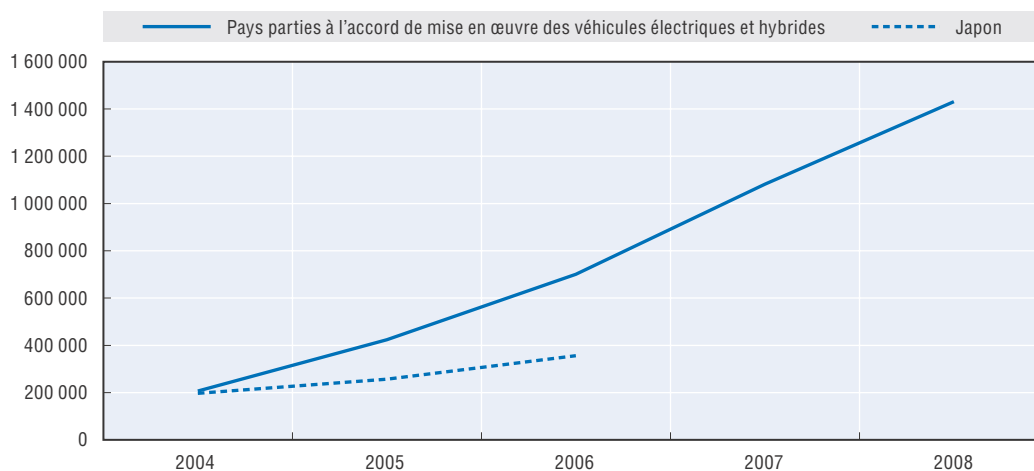
Source : ACEA (2010).

(moins de 120 g CO₂/km) dans l'Union européenne (UE15) est passée de 9 % en 2006 à 25 % en 2009.

S'agissant des véhicules alternatifs, les données limitées dont on dispose donnent à penser que si les ventes de ce type de véhicules (essentiellement hybrides) ont augmenté rapidement (graphique 3.19), leur part de marché demeure en revanche relativement limitée (par exemple, 2.8 % aux États-Unis) (www.electricdrive.org/index.php?ht=d/Articles/cat_id/5514/pid/2549).

Graphique 3.19. Adoption de véhicules électriques hybrides dans certains pays

Taille du parc

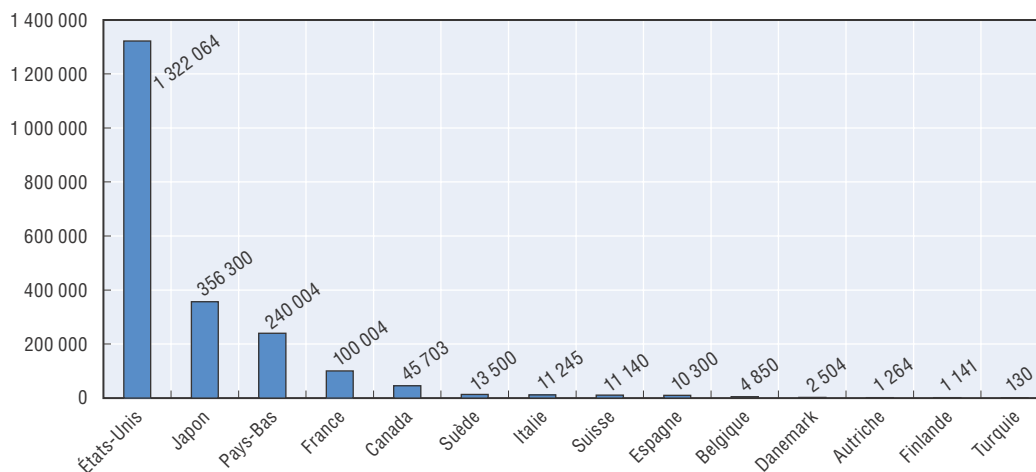


Note : Les pays participant à l'accord de mise en œuvre des véhicules électriques et hybrides sont les suivants : Autriche, Belgique, Canada, Danemark, Espagne, États-Unis, Finlande, France, Italie, Pays-Bas, Royaume-Uni, Suède, Suisse et Turquie.

Source : Accord de mise en œuvre des véhicules électriques et hybrides de l'AIE (www.ieahev.org/evs_hevs_count.html).

Selon les perspectives de l'AIE relatives aux véhicules hybrides et électriques, ce sont actuellement les États-Unis, le Japon et les Pays-Bas qui possèdent le parc le plus important de véhicules électriques hybrides (graphique 3.20). L'AIE prévoit que la part des voitures hybrides dans le monde devrait continuer de croître pour s'élever à 2.2 millions de véhicules en 2012, sans toutefois atteindre l'objectif de 10 % des ventes de voitures neuves fixé pour 2015 (en partie en raison de capacités de production limitées, par exemple pour les batteries). Enfin, la part des voitures électriques devrait se situer nettement en-dessous de celle des voitures hybrides en 2015 (AIE, 2009b).

Graphique 3.20. **Adoption de véhicules électriques hybrides dans certains pays**
Stock de véhicules en 2008 ou la dernière année disponible



Note : Les données concernant le Japon et la France sont celles de 2006 ; celles concernant la Suède, l'Autriche et la Turquie sont celles de 2007.

Source : Accord de mise en œuvre des véhicules hybrides et électriques de l'AIE (www.ieahev.org/evs_hevs_count.html).

Effets des politiques gouvernementales sur l'innovation : données empiriques extraites des données de brevets

Dans la présente section, nous exposons des données préliminaires sur les effets des mesures prises par les pouvoirs publics (par exemple, celles qui ont été examinées dans le chapitre 4) sur l'activité inventive. Comme il est impossible de développer des données comparables pour tous les types de mesures, tous les pays et toutes les années, nous nous concentrerons sur les effets des politiques de tarification, des normes et des dépenses publiques de R-D. Cependant, il est possible de procéder à une comparaison plus informelle de certaines mesures introduites dans certains pays dont on connaît les taux d'innovation.

Ainsi que cela a été noté, le comptage des brevets concernant les véhicules alternatifs se fonde sur l'extraction de données de la base PATSTAT (OEB, 2009). Nous avons ainsi constitué un panel de 17 pays¹⁹ sur 25 ans (1983-2007), mais faute d'observations complètes pour la variable R-D (notamment pour l'Allemagne), seules 337 observations ont été retenues pour une estimation par régression. La variable dépendante est construite comme la part des brevets relatifs aux véhicules alternatifs dans l'ensemble des brevets du secteur. Cette approche convient parce que i) le dénominateur est bien défini dans ce cas (contrairement à celui de certaines études antérieures²⁰) et ii) la prise de brevets relatifs aux véhicules alternatifs ne représente qu'une part relativement faible du secteur dans son

ensemble. Nous vérifions que le panel d'estimations n'est pas stationnaire. Nous estimons ensuite un MCO de données de panel à effets fixes avec écarts types robustes à l'hétéroscédasticité.

Nous avons testé plusieurs hypothèses d'action. Nous avons calculé une régression de la part des véhicules alternatifs dans la prise de brevets de l'ensemble du secteur sur des variables explicatives qui comprennent les dépenses publiques R-D consacrées à l'amélioration de la consommation de carburant dans les transports (en millions USD, en prix et PPA de 2008, d'après la base de données de l'AIE sur les budgets de R-D consacrés aux technologies énergétiques) et les prix de l'essence et du gazole toutes taxes comprises (en USD par litre, en prix et PPA 2008, d'après la base de données de l'AIE sur les prix de l'énergie, utilisation finale). Dans les deux cas, le signe attendu est positif. Notre troisième hypothèse d'action concerne l'effet du règlement ZEV adopté en 1990 en Californie (États-Unis), qui visait expressément le développement et la commercialisation d'un véhicule électrique²¹. Nous avons testé cette hypothèse en contrôlant l'effet des autres normes de consommation de carburant des véhicules en vigueur.

La norme ZEV prescrit la proportion des ventes futures des constructeurs qui doit être constituée de véhicules homologués ZEV. Avec le temps, la norme ZEV initiale a fait l'objet de plusieurs modifications. Compte tenu de cette évolution, une variable continue est construite comme « enveloppe » supérieure du flux actualisé (à 10 %) des prescriptions ZEV applicables pour une année donnée²². La variable représente donc la rigueur « implicite » de la série de prescriptions ZEV dans le temps. Enfin, le modèle comprend également des variables représentant les diverses normes de consommation de carburant (normes obligatoires et volontaires mesurées en km/litre, avec un décalage de trois ans). Les statistiques descriptives correspondant à l'ensemble de données de panel font l'objet du tableau 3.6.

Tableau 3.6. **Statistiques descriptives de l'ensemble de données de panel**

Variante	Unité	Nombre	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum
Part des brevets relatifs aux véhicules électriques dans l'ensemble des brevets du secteur	Nombre de revendications de priorité	337	0.0186	0.0304	0	0.2553
Part des brevets relatifs aux véhicules hybrides dans l'ensemble des brevets du secteur	Nombre de revendications de priorité	337	0.0118	0.0266	0	0.25
Dépenses publiques de R-D consacrées à l'efficacité énergétique dans les transports	Millions USD 2008 PPA	337	23.12	51.46	0.05	305.53
Prix de l'essence	USD/litre 2008 PPA	337	0.7964	0.2776	0.245	1.59
Normes ZEV États-Unis	Indice de rigueur	337	3.27	2.29	0	7.51
Norme CAFE États-Unis	Km/litre	337	11.28	0.80	8.47	11.70
Norme CAFE Japon	Km/litre	337	8.96	6.72	0	15.08

Note : Panel de 17 pays sur 25 ans (1983-2007).

Les résultats de la régression (exposés dans le tableau 3.7) démontrent clairement un effet positif et statistiquement significatif des dépenses de R-D sur l'activité inventive, à la fois pour les technologies de l'électrique et celles de l'hybride (étant donné que notre variable R-D est plutôt générique – elle n'indique pas la répartition des dépenses entre les deux types de technologies –, on ne s'étonnera pas que les résultats ne varient pas beaucoup entre les modèles estimés). Nous constatons également que les prix des carburants ont un effet positif et significatif sur l'activité inventive concernant la motorisation hybride, mais pas pour l'électrique. Enfin, nous remarquons qu'à l'inverse, la

norme ZEV a eu un effet positif et statistiquement significatif sur l'activité inventive concernant la propulsion électrique, tandis que son effet sur le secteur de l'hybride n'a pas été significatif. Ces résultats donnent à penser que la R-D ciblée encouragera l'invention dans les deux types de technologies. Cependant, si les prix des carburants sont davantage susceptibles d'avoir un effet sur les technologies qui sont plus proches du marché (voitures hybrides), les normes technologiques semblent nécessaires pour stimuler l'invention dans les technologies plus éloignées du stade de la commercialisation, ou plus « radicales » (voitures électriques).

Autre explication possible, une mesure peut favoriser des progrès dans le développement d'un véhicule électrique, mais ne pas aller suffisamment loin dans ses effets pour induire la masse critique d'inventions nécessaires à la production d'un véhicule électrique. Cependant, ce genre de progrès partiel peut se révéler suffisant pour produire un véhicule hybride. (Dans cette optique, les véhicules hybrides seraient un moyen de récupérer une partie des coûts au cours du processus devant mener à la mise au point un véhicule tout électrique, ce qui permettrait de réduire le risque associé à une innovation radicale de ce type)²³.

Tableau 3.7. **Estimation par régression de l'effet des normes, de la R-D et des prix sur l'activité inventive concernant les véhicules alternatifs**

Variable dépendante : part des véhicules alternatifs dans le nombre total de brevets du secteur	Électrique		Hybride	
	(1)	(2)	(3)	(4)
Dépenses publiques spécifiques de R-D	5.75e-05*	6.46e-05**	9.63e-05***	9.63e-05***
Prix de l'essence	0.0004	0.0058	0.0272*	0.0272*
Norme ZEV États-Unis	0.0029*	0.0026*	0.0005	0.0005
Norme CAFE États-Unis	0.0012	0.0011	0.0012	0.0012
Norme CAFE Japon		-0.0002		-2.07e-06
Point d'intersection	-0.0059	-0.0064	-0.0267	-0.0267
Effets fixes pays	Oui	Oui	Oui	Oui
N	337	337	337	337

*** < 0.1 %, ** < 1 %, * < 5 %. Panel de 17 pays sur 25 ans (1983-2007).

On ne constate pas d'effet statistiquement significatif pour les normes CAFE États-Unis. On obtient des résultats similaires avec les normes canadiennes ou australiennes (dont il n'est pas question), comme on pouvait s'y attendre étant donné leur forte corrélation avec la norme CAFE États-Unis. S'agissant des normes japonaises et européennes, rien ne montre un effet quelconque. Dans une autre spécification des modèles, nous avons également pris en compte les normes de consommation de carburant une par une (US, JP, AU, CA, UE), puis globalement, comme une seule variable (en supposant l'autarcie²⁴), mais nos conclusions restent inchangées. Bien que nous n'ayons pas constaté d'effet statistiquement significatif des normes CAFE sur la prise de brevets concernant les véhicules électriques/hybrides, ces normes peuvent avoir eu un effet sur l'activité inventive destinée à améliorer la consommation de carburant des véhicules classiques – qui était la cible des normes à l'origine (l'hypothèse n'a pas été testée).

En résumé, ces estimations montrent que des normes techniques peuvent avoir un effet sur l'activité inventive à condition qu'elles soient suffisamment rigoureuses. On pourrait faire valoir que l'effet différentiel des normes sur les différentes technologies s'explique par des différences dans i) le degré de rigueur de la norme, ii) son caractère

obligatoire ou volontaire et iii) sa distance par rapport à l'externalité visée (voitures électriques, voitures hybrides, voitures classiques).

Des contrôles de robustesse supplémentaires ont été effectués à l'aide d'autres spécifications du modèle. Les conclusions qualitatives relatives aux normes et aux prix demeurent les mêmes lorsque la variable R-D est écartée du modèle, ce qui permet de prendre en compte l'Allemagne dans l'échantillon d'estimation car on ne dispose pas de données concernant la R-D pour ce pays. Il en est de même lorsqu'une autre variable R-D est incluse (nous avons utilisé les dépenses totales de R-D concernant l'énergie ; le coefficient estimé est non significatif, ce qui donne à penser que l'effet significatif de la variable R-D plus ciblée – dont il est fait état au tableau 3.4 – n'est pas une simple coïncidence).

Par ailleurs, les effets dynamiques ont été examinés plus largement. Par exemple, les décalages dans la norme CAFE États-Unis, qui varient d'un à cinq ans, produisent des résultats similaires ; en appliquant un décalage aux variables R-D et prix, ces variables explicatives deviennent moins significatives, ce qui tend à montrer que les décalages entre les modifications de ces variables et l'invention sont brefs, ou que ces modifications sont déjà prises en compte dans les attentes des inventeurs.

Afin de faciliter l'interprétation des résultats (ou de ce qu'ils impliquent pour la formulation des politiques), nous calculons les effets et élasticités marginaux correspondant aux modèles retenus, qui sont reproduits au tableau 3.8. Les élasticités estimées indiquent qu'à une modification de 1 % de la rigueur de la norme ZEV correspond une hausse d'environ 0.5 % du niveau d'activité inventive dans le segment de la propulsion électrique. De même, à une variation de 1 % des niveaux de prix des carburants correspond une intensification d'environ 1.8 % de l'invention pour la motorisation hybride. Cependant, la prise de brevets pour les véhicules électriques comme pour les hybrides est assez inélastique par rapport aux dépenses publiques de R-D, car une augmentation de 1 % de ces dépenses ne fera progresser l'activité inventive que de 0.07 à 0.19 %.

Globalement, ces résultats démontrent de façon empirique que l'élasticité de l'activité inventive dans le domaine des technologies des véhicules électriques par rapport à une norme est positive et que celle du développement des technologies hybrides par rapport au prix du carburant est forte. Enfin, pour les deux types de technologie, une augmentation des budgets publics de R-D a des effets positifs mais relativement négligeables.

Tableau 3.8. Élasticité estimée de la prise de brevets relatifs aux véhicules électriques et hybrides par rapport aux modifications des normes, de la R-D et des prix des carburants

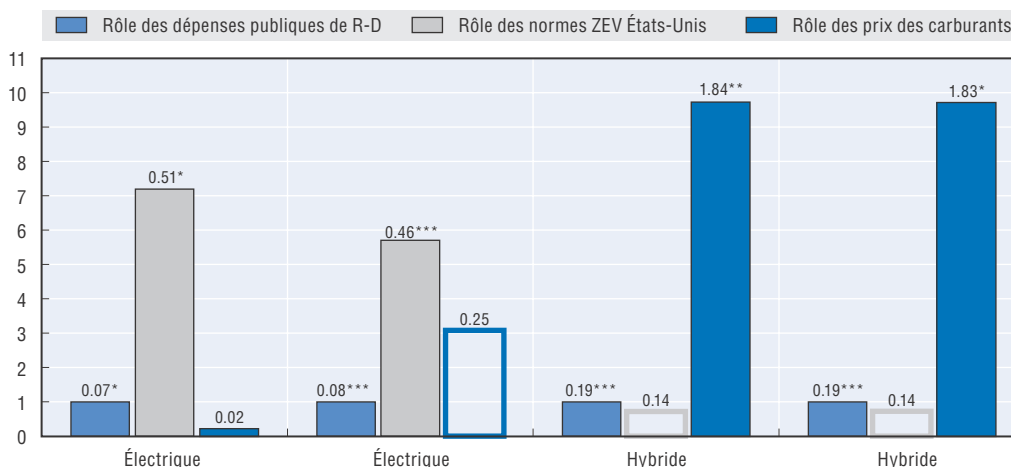
	Électrique		Hybride	
	(1)	(2)	(3)	(4)
Dépenses publiques de R-D	0.0714*	0.0802**	0.1887***	0.1886***
Prix de l'essence	0.0158	0.2469	1.8357**	1.8325*
Norme ZEV États-Unis	0.5134*	0.4575**	0.1357	0.1365
Norme CAFE États-Unis	0.7145	0.6745	1.1040	1.1046
Norme CAFE Japon		-0.1153		0.0016

Note : D'après les effets marginaux conditionnels évalués sur la moyenne de l'échantillon.

Pour préciser ce point, le graphique 3.21 illustre ces élasticités comme multiples de l'effet de la R-D (normalisé à R-D = 1). Cela indique que l'effet des prix des carburants sur

la prise de brevets relatifs aux véhicules hybrides est de 9 à 10 fois supérieure à celui des dépenses publiques de R-D, à pourcentage de variation marginale égal, et que l'effet des normes ZEV sur la prise de brevets relatifs aux véhicules électriques est de 6 à 7 fois plus important que celui de la R-D publique.

Graphique 3.21. **Effet des normes techniques et des prix des carburants par rapport à l'effet de la R-D publique (normalisé à R-D = 1)**



Note : L'histogramme montre les élasticités empiriques, évaluées à la moyenne de l'échantillon et normalisées en fonction de l'effet des dépenses publiques de R-D (R-D = 1.0). Les barres « vides » représentent les estimations qui ne sont pas statistiquement significatives à un niveau de 5 %. Les chiffres qui figurent au-dessus des barres indiquent l'estimation de l'élasticité proprement dite.

Il est difficile de traduire directement dans une recommandation pratique les résultats de la comparaison d'une variation en pourcentage des dépenses de R-D et de celle de la rigueur d'une norme technique. Cela étant dit, nous avons fait le contraire. Autrement dit, au lieu d'appliquer un pourcentage de variation égal aux politiques et d'en calculer les effets en bout de ligne, nous avons au préalable « fixé » un résultat final égal pour tous les scénarios d'action et avons ensuite calculé les modifications qu'il était nécessaire d'apporter aux politiques pour obtenir ce résultat. L'objectif est d'illustrer une importance relative des différentes politiques pour atteindre un but donné. En d'autres termes, nous nous sommes posé la question suivante : « quel changement faudrait-il apporter aux politiques pour obtenir une variation égale (et infinitésimale) de l'activité inventive » ?

- Par exemple, pour induire une augmentation de 1 % dans l'innovation relative aux véhicules *électriques*, les possibilités sont les suivantes :
 - ❖ relever les normes ZEV de 2 % (*)²⁵ – autrement dit, relever la norme obligatoire de 3.27 % à 3.33 % en moyenne ;
 - ❖ accroître les dépenses publiques de R-D de 14 % (*) – c'est-à-dire dépenser 26 millions USD au lieu de 23 millions USD par an par pays en moyenne ;
- De même, pour induire une augmentation de 1 % des innovations relatives aux véhicules *hybrides*, les possibilités sont les suivantes :
 - ❖ augmenter le prix du carburant de 5 % (*) – autrement dit, porter le prix du litre d'essence de 0.80 USD à 0.84 USD, en moyenne. Cependant, la hausse effective des taxes sur les carburants devra être supérieure, selon la part de ces taxes dans le prix final des carburants automobiles. Étant donné que cette part est d'environ 50 % dans

les pays de l'OCDE, la fiscalité des carburants (taxes sur la valeur ajoutée et droits d'accise) devrait par conséquent augmenter d'environ 10 % en moyenne²⁶ ;

- ❖ augmenter les dépenses de R-D de 53 % (***) – c'est-à-dire porter ces dépenses de 23 à 35 millions USD par an par pays en moyenne.

En résumé, ces résultats indiquent que des modifications relativement mineures d'une norme technique ou des prix des carburants induiraient des effets équivalant à ceux d'une hausse beaucoup plus importante des budgets publics de R-D. Il importe toutefois de noter que la faisabilité « politique » de ces possibilités n'est pas la même et peut varier selon les pays. C'est pourquoi, même si en théorie deux politiques présentant un degré de rigueur équivalent et la même incidence (c'est-à-dire visant la même externalité) devraient avoir le même effet sur l'innovation, celles que nous observons (selon nos données concrètes) ne présentent pas le même degré de rigueur « implicite » et produisent par conséquent des effets différents.

De plus, dans la pratique, les politiques associent habituellement divers instruments d'action, en partie en raison de la division des compétences entre divers organismes publics²⁷ et d'une coordination imparfaite de leur action (le dosage des différents instruments d'action peut être plus ou moins voulu ou accidentel). Ces instruments articulés dans une même politique peuvent avoir des effets positifs ou négatifs. Par exemple, d'une part, l'investissement public dans la R-D axée sur des technologies de rupture peut favoriser une réglementation plus stricte, et d'autre part, une régulation plus stricte peut nécessiter l'appui de la R-D dans certains domaines technologiques afin de faciliter la conformité du secteur privé. (Ces interactions peuvent être compliquées dans leur dynamique et ne seront pas examinées plus avant ici.)

Enfin, les objectifs d'action peuvent varier selon les politiques examinées, avec des implications du point de l'efficacité et de l'efficience. Par exemple, les normes techniques et les dépenses de R-D visent surtout à stimuler l'innovation. Elles n'ont qu'un effet indirect (et, s'agissant de la R-D, peut-être positif) sur le taux de motorisation ou l'utilisation de l'automobile. Inversement, les prix des carburants ont souvent pour premier objectif d'influer sur la motorisation et l'automobilité, et leur impact sur l'innovation est fortuit (mais peut être significatif). Néanmoins, nos résultats indiquent que même de légères modifications des politiques dont les effets sur l'innovation sont parfois secondaires peuvent se révéler plus intéressantes pour stimuler l'innovation qu'une augmentation des dépenses publiques.

La présente étude pourrait être prolongée dans plusieurs directions. Par exemple, il y aurait intérêt à définir des modèles d'estimation reposant sur des bases théoriques différentes. L'industrie automobile est pour l'essentiel fortement concentrée et multinationalisée. C'est pourquoi, au lieu d'examiner les déterminants de l'activité inventive (dans les pays inventeurs), il pourrait être intéressant de se pencher également sur l'« adoption » des inventions dans différents pays (compétences en matière de brevets). Cela permettrait d'étudier plus directement comment les mesures prises au plan national influent sur la prise de brevets internationale par rapport aux mesures mises en œuvre à l'étranger.

Conclusions et enseignements à tirer du point de vue de l'action des pouvoirs publics

Les marchés des véhicules alternatifs présentent un certain nombre d'insuffisances et d'obstacles, dont il convient de retenir au moins les suivants :

- externalités environnementales associées aux émissions de polluants atmosphériques locaux et régionaux, ainsi qu'aux gaz à effet de serre ;
- effets de réseau et situation monopolistique associés à l'infrastructure nécessaire l'approvisionnement en carburant ou à la recharge des différents types de véhicules ;
- externalités de consommation qui peuvent se traduire par une lenteur à adopter des véhicules « innovants » dont les caractéristiques n'ont pas encore fait leurs preuves sur le marché ; et
- insuffisance des marchés des capitaux, qui peuvent limiter les possibilités de financement des investissements à haut risque (comme ceux qui sont associés à la R-D axée sur les véhicules alternatifs).

Pour remédier à ces insuffisances du marché et à ces obstacles, les politiques gouvernementales doivent englober l'ensemble du spectre des mesures incitatives, depuis celles qui visent à encourager l'invention à celles qui soutiennent la commercialisation et la diffusion. L'élaboration de telles politiques doit être guidée par plusieurs principes généraux :

- Le dosage optimal de mesures devrait être axé sur les différents obstacles et insuffisances déjà énumérés – c'est-à-dire aide à la R-D (retombées de connaissances en amont), prix (externalités d'utilisation en aval), étiquetage (insuffisance de l'information) et marchés publics (effets de réseau et de démonstration).
- Les politiques dont les objectifs environnementaux sont déterminés sur la base des coûts de réduction à l'aide des technologies existantes ne sont guère susceptibles de stimuler l'innovation. Les politiques doivent être suffisamment rigoureuses pour forcer le rythme du progrès technique. Cela peut se faire par des normes de performance, des concours dotés de prix et des subventions, ainsi que par l'application de taxes à vocation environnementale. Cette dernière solution sera vraisemblablement moins exigeante en termes d'information nécessaire, mais elle pourrait se heurter à des obstacles politiques.
- Les politiques mises en œuvre devraient engendrer des coûts d'opportunité incitant les innovateurs à ramener les émissions à zéro (« profondeur » des mesures incitatives). Ces politiques sont à même d'encourager les innovations « radicales », qui n'ont pas été prévues par les décideurs.
- L'action menée doit offrir une certaine flexibilité de façon à englober un large éventail d'options technologiques – cela vaut pour les véhicules alternatifs par rapport à d'autres domaines ainsi qu'au sein même du segment des véhicules alternatifs. L'écrouillage (par exemple, par le biais de marchés publics, d'aide à la R-D ou de normes) risque d'occasionner un verrouillage technologique précoce.
- Enfin, et c'est peut-être là le plus important, un engagement dans la durée à l'égard de l'objectif d'action revêt une importance primordiale. Pour que les innovateurs prennent les risques nécessaires, ils doivent pouvoir compter sur un environnement crédible et prévisible.

Notes

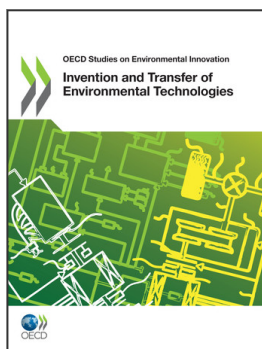
1. Par exemple, la généralisation de l'E85 pourrait considérablement aggraver la pollution atmosphérique locale en raison des émissions de formaldéhyde et d'acétaldéhyde, qui ont sur la santé des effets néfastes liés à l'ozone (Jacobson 2007).
2. Selon Masters et Ela (2008), la pile à membrane échangeuse de protons, également appelée « pile à acide polymère », est le type de pile le mieux adapté aux véhicules.
3. Une pile à combustible et une batterie fonctionnent selon un principe similaire car elles convertissent l'énergie chimique directement en énergie électrique, la différence étant que la batterie peut être régénérée quand on la charge, tandis que la pile à combustible doit être réalimentée.
4. Par exemple, les données indiquent qu'un moteur à essence classique est relativement inefficace pour convertir l'énergie chimique contenue dans le carburant en énergie cinétique, car seulement de 11 % (en ville) à 20 % (sur route) de l'énergie sont effectivement utilisés pour déplacer le véhicule.
5. Autre exemple, la production de méthanol à partir de gaz naturel, qui n'améliore pas la situation en ce qui concerne les émissions de CO₂ si l'on examine le cycle du puits à la roue (OCDE, 2004).
6. Communication personnelle, délégation du Japon auprès de l'OCDE, réunion du GTPEN, avril 2009.
7. Par exemple, le véhicule devait pouvoir franchir une distance minimale de 100 miles avant d'être rechargé, exigence qui a ultérieurement été ramenée à 50 miles (Calef et Goble, 2007).
8. Par exemple, voir Calef et Goble (2007) pour un examen des effets du règlement ZEV sur l'innovation. Voir également Gruenspecht (2001) et Calef et Goble (2007) (et les références qui y sont citées) pour des suggestions d'amélioration de la politique.
9. Communication personnelle. Délégation des États-Unis auprès de l'OCDE, réunion du GTPEN, novembre 2008.
10. Communication personnelle. Délégation de la France auprès de l'OCDE, réunion du GTPEN, novembre 2008.
11. Communication personnelle. Délégation du Japon auprès de l'OCDE, réunion du GTPEN, novembre 2008.
12. Communication personnelle. Délégation du Japon auprès de l'OCDE, réunion du GTPEN, avril 2009.
13. Communication personnelle. Délégation des États-Unis auprès de l'OCDE, réunion du GTPEN, avril 2010.
14. Communication personnelle. Délégation de l'Allemagne auprès de l'OCDE, réunion du GTPEN, novembre 2008.
15. Communication personnelle. Délégation de l'Italie auprès de l'OCDE, réunion du GTPEN, mai 2007.
16. Communication personnelle. Délégation de la Corée auprès de l'OCDE, réunion du GTPEN, avril 2009.
17. Communication personnelle. Délégation de l'Allemagne auprès de l'OCDE, réunion du GTPEN, novembre 2009. Voir également www.bmu.de/english/mobility/doc/44799.php.
18. Communication personnelle. Délégation du Portugal auprès de l'OCDE, réunion du GTPEN, avril 2010. Voir également le projet pilote « MOBI.E » (www.mobi-e.pt) et la stratégie énergétique nationale pour 2020 (www.portugal.gov.pt/pt/GC18/Governo/Ministerios/MEI/ProgramaseDossiers/Pages/20100415_MEID_Prog_ENE2020.aspx).
19. Allemagne, Australie, Autriche, Belgique, Canada, Danemark, Espagne, États-Unis, Finlande, France, Italie, Japon, Norvège, Pays-Bas, Royaume-Uni, Suède et Suisse.
20. Par exemple, les innovations en matière de réduction de la pollution de l'air et de l'eau ainsi que de gestion des déchets, examinées dans le chapitre 2 du présent ouvrage, peuvent concerner de nombreux « secteurs ». Par conséquent, il est difficile de définir le dénominateur correspondant aux brevets s'y rapportant.
21. Cela suppose que le mandat ZEV revêtait un grand intérêt pour l'ensemble des États-Unis et même à l'échelle internationale. Pour des données empiriques à ce sujet, voir, par exemple, Perkins et Neumayer (2011).
22. Seuls les objectifs obligatoires concernant les véhicules électriques et hybrides ont été pris en compte (ZEV purs et ATPZEV) ; la proportion qui pouvait être satisfaite par les ventes de véhicules dotés de moteurs classiques, même s'ils sont économes en carburant (PZEV) n'a pas été prise en compte.

23. De fait, il a été avancé que les véhicules hybrides (« ZEV partiels de pointe » ou ATPZEV) pourraient être considérés comme une retombée indirecte de la réglementation ZEV de la Californie. Selon un rapport, environ 250 000 ATPZEV ont été livrés en Californie à la suite de la réglementation ZEV (www.arb.ca.gov/msprog/zevprog/2009zevreview/zevwhitepaper.pdf).
24. Dans ce dernier cas, on part de l'hypothèse que la mesure en question ne peut avoir que des effets « internes », ce qui contraste avec les variables antérieures dans l'hypothèse d'une situation non autarcique, autrement dit que la politique d'un pays peut avoir des effets sur une activité à l'intérieur du pays comme à l'étranger.
25. Les astérisques indiquent la signification statistique, soit *** < 0.1 %, ** < 1 %, * < 5 %. Les valeurs numériques utilisées ici renvoient aux moyennes d'après le panel d'estimation.
26. La part des taxes varie de 17 % aux États-Unis à 67 % en Allemagne et au Royaume-Uni.
27. Par exemple, la fiscalité des carburants relève en général de la compétence du ministère des Finances, tandis que les normes d'émission peuvent relever du ministère de l'Environnement et les subventions à la R-D peuvent être versées par le ministère des Transports.

Références

- ACEA (2010), *New Vehicle Registration Statistics*, Association des constructeurs européens d'automobiles. (www.acea.be/index.php/collection/statistics, consulté le 6 avril 2010).
- Åhman, M. (2006), « Government Policy and the Development of Electric Vehicles in Japan », *Energy Policy*, vol. 34, n° 4, pp. 433-443.
- AIE (2009a), *Energy Efficiency Policies and Measures Database*, OCDE/AIE Paris, Agence internationale de l'énergie (dernière consultation le 4 mars 2010 sur www.iea.org/textbase/pm/index_effi.asp).
- AIE (2009b), « Outlook for Hybrid and Electric Vehicles 2009 ». Accord de mise en œuvre des véhicules hybrides et électriques, Agence internationale de l'énergie. (www.ieahev.org).
- AIE (2009c), *Deployment Strategies for Hybrid, Electric and Alternative Fuel Vehicles*, OCDE/AIE Paris. (www.iea.org/impagr/cip/hybrid.pdf).
- Calef D. et R. Goble (2007), « The Allure of Technology: How France and California Promoted Electric and Hybrid Vehicles to Reduce Urban Air Pollution », *Policy Sciences*, vol. 40, n° 1, pp. 1-34 (également publié comme document de travail 7.2005 de la FEEM).
- CARB (2009a), « Summary of Staff's Preliminary Assessment of the Need for Revisions to the Zero Emission Vehicle Regulation », Livre blanc rédigé par le personnel du California Air Resources Board (novembre 2009), www.arb.ca.gov/msprog/zevprog/2009zevreview/zevwhitepaper.pdf.
- CARB (2009b), « California Exhaust Emission Standards and Test Procedures for 2009 and Subsequent Model Zero-emission Vehicles and Hybrid Electric Vehicles, in the Passenger Car, Light-duty Truck and Medium-duty Vehicle Classes » (2 décembre 2009) (voir www.arb.ca.gov/msprog/levprog/cleandoc/clean_2009_my_hev_tps_12-09.pdf).
- CE Delft (2010), *Green Power for Electric Cars*, Synthèse préparée par le CE Delft, pour le compte de Greenpeace, Friends of the Earth Europe, et Transport and Environment, (février 2010), (consulté le 12 mars 2010 sur www.transportenvironment.org/Publications).
- CEMT (2007), *Transports et émissions de CO₂ : Quels progrès ?* Paris, OCDE.
- de Vries, F. et N. Medhi (2008), Réglementations environnementales et innovation internationale dans le domaine des technologies de réduction des émissions automobiles. Dans *Politique environnementale, innovation technologique et dépôts de brevets*, chapitre 2, OCDE, Paris, France.
- EIA (2006), *Eliminating MTBE in Gasoline in 2006*, Feature article, U.S. Energy Information Administration. (consulté le 9 avril 2008 sur www.eia.doe.gov/pub/oil_gas/petroleum/feature_articles/2006/mtbe2006/mtbe2006.pdf).
- Faust, K. (1990). « Early Identification of Technological Advances on the Basis of Patent Data », *Scientometrics* 19 (5-6), pp. 473-480.
- Griliches, Z. (1990), « Patent Statistics as Economic Indicators: A Survey », *Journal of Economic Literature* 28, pp. 1661-1707.
- Gruenspecht, H. (2001), « Zero Emission Vehicles: A Dirty Little Secret », *Resources*, Issue 142 (Winter 2001), Resources for the Future, Washington, DC.

- Guellec, D. et B. van Pottelsberghe de la Potterie (2000), « Applications, Grants and the Value of a Patent », *Economics Letters* 69, pp. 109-114.
- Harhoff, D., F.M. Scherer, et K. Vopel (2003), « Citations, Family Size, Opposition and the Value of Patent Rights », *Research Policy*, 32 : pp. 1343-63.
- Haščič, I., F. de Vries, N. Johnstone, et N. Medhi (2009), « Effets de la politique d'environnement sur le type d'innovation : le cas des technologies de réduction des émissions automobiles », dans *Revue économique de l'OCDE*, volume 2009, n° 1, pp. 49-66.
- Jacobson, M.Z. (2007), « Effects of Ethanol (E85) Versus Gasoline Vehicles on Cancer and Mortality in the United States ».
- Kerr, S. et R. Newell (2003), « Policy-induced Technology Adoption: Evidence from the US Lead Phasedown », *Journal of Industrial Economics* 51(3), pp. 317-343.
- KFB (2000), « The Swedish Electric and Hybrid Vehicle Program 1993-2000 » Swedish Transport and Communications Research Board, Stockholm, Suède, (www.kfb.se/pdf/1-00-23.pdf).
- MacLean, H.L. et L.B. Lave (2003), « Life Cycle Assessment of Automobile/Fuel Options » dans *Environmental Science & Technology* 2003 37 (23), pp. 5445-5452.
- Masters G.M. et W.P. Ela (2008), *Introduction to Environmental Engineering and Science*, 3^e éd. Pearson Education, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- OCDE (2003), *La performance environnementale des marchés publics*, OCDE, Paris.
- OCDE (2004), *Voitures propres : stratégies pour des véhicules peu polluants*, OCDE, Paris.
- OCDE/AIE (1984), *La consommation de carburants des automobiles*, OCDE/AIE, Paris.
- OEB (2009), *Base de données sur les statistiques mondiales de brevets (PATSTAT)*, édition de septembre 2009, Office européen des brevets.
- Pellegrino et al. (2007), *Energy and environmental profile of the U.S. Petroleum Refining Industry*, Préparé par Energetics Inc. Pour le ministère fédéral de l'Énergie des États-Unis.
- Perkins, R. et E. Neumayer (2011). « Does the "California Effect" Operate Across Borders? Trading- and Investing-Up in Automobile Emission Standards » (1^{er} juin 2010). *European Journal of Public Policy*, 2011, (voir SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1546558>).
- Richard, J.L. (1992), « Alternative Strategy for Introducing Electric Vehicles », Groupe interministériel véhicules électriques (GIVE), Paris, France, *Journal of Power Sources*, vol. 40, n° 1-2, pages 23-25.
- Roujol, S. (2005), *Influence of Passenger Car Auxiliaries on Pollutant Emissions*, Artemis 324 Report #LTE0502, INRETS France.
- SEI (2008), « Hybrid Electric and Battery Electric Vehicles: Measures to Stimulate Uptake », Sustainable Energy Ireland (www.sei.ie/News_Events/Press_Releases/Measures_to_Stimulate_uptake.pdf).
- T&E (2006), *How Clean is Your Car Brand ?* Une publication de la Fédération européenne pour le transport et l'environnement (octobre 2006) (consulté le 12 mars 2010 sur www.transportenvironment.org/Publications).
- USEPA (2007), *MTBE in Fuels* (consulté le 9 avril 2008 sur www.epa.gov/mtbe/gas.htm).
- USEPA (2009), « Endangerment and Cause or Contribute Findings for Greenhouse Gases under the Clean Air Act », USEPA (18 décembre 2009) (consulté le 23 février 2010 sur www.epa.gov/climatechange/endangerment.html).
- USEPA/NHTSA (2010), « Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Average Fuel Economy Standards; Final Rule », A joint US Environmental Protection Agency (USEPA) and National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) rule n° [75 Federal Register 25324].
- USGS (2007), *Methyl Tertiary-Butyl Ether (MTBE)* (consulté le 10 avril 2008 sur <http://ca.water.usgs.gov/mtbe/>).
- Vollebergh, H. (2010), « Fuel Taxes, Motor Vehicle Emission Standards and Patents Related to the Fuel-efficiency and Emissions of Motor Vehicles », Direction de l'environnement and Centre de politique et d'administration fiscales, Report n° COM/ENV/EPOC/CTPA/CFA(2008)32/FINAL, établi pour la Session conjointe des experts sur la fiscalité et l'environnement. ([www.oalis.oecd.org/olis/2008doc.nsf/linkto/com-env-epoc-ctpa-cfa\(2008\)32-final](http://www.oalis.oecd.org/olis/2008doc.nsf/linkto/com-env-epoc-ctpa-cfa(2008)32-final)).



Extrait de :
Invention and Transfer of Environmental Technologies

Accéder à cette publication :
<https://doi.org/10.1787/9789264115620-en>

Merci de citer ce chapitre comme suit :

Haščič, Ivan et Nick Johnstone (2012), « L'innovation dans les technologies des véhicules électriques et hybrides : le rôle des prix, des normes et de la R-D », dans OCDE, *Invention and Transfer of Environmental Technologies*, Éditions OCDE, Paris.

DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264168497-5-fr>

Cet ouvrage est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE. Les opinions et les arguments exprimés ici ne reflètent pas nécessairement les vues officielles des pays membres de l'OCDE.

Les données statistiques concernant Israël sont fournies par et sous la responsabilité des autorités israéliennes compétentes. L'utilisation de ces données par l'OCDE est sans préjudice du statut des hauteurs du Golan, de Jérusalem-Est et des colonies de peuplement israéliennes en Cisjordanie aux termes du droit international.

Ce document et toute carte qu'il peut comprendre sont sans préjudice du statut de tout territoire, de la souveraineté s'exerçant sur ce dernier, du tracé des frontières et limites internationales, et du nom de tout territoire, ville ou région.

Vous êtes autorisés à copier, télécharger ou imprimer du contenu OCDE pour votre utilisation personnelle. Vous pouvez inclure des extraits des publications, des bases de données et produits multimédia de l'OCDE dans vos documents, présentations, blogs, sites Internet et matériel d'enseignement, sous réserve de faire mention de la source OCDE et du copyright. Les demandes pour usage public ou commercial ou de traduction devront être adressées à rights@oecd.org. Les demandes d'autorisation de photocopier une partie de ce contenu à des fins publiques ou commerciales peuvent être obtenues auprès du Copyright Clearance Center (CCC) info@copyright.com ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC) contact@cfcopies.com.