

NOVEMBRE 2005

## La consommation énergétique des transports franciliens

L'énergie consommée par les transports terrestres représente près de 23 % de la consommation énergétique régionale. Il s'agit à 95 % de carburants fossiles, essentiellement du pétrole.

Entre 1990 et 1999, la croissance de la consommation énergétique en carburants fossiles (+ 3 %) a été nettement inférieure à l'augmentation du trafic routier (+ 10 %), performance essentiellement imputable à la percée des véhicules diesel dans le parc automobile régional.

Plus on s'éloigne de Paris, plus la dépendance automobile s'accroît, pesant lourd dans le budget des ménages à faible revenu. Les transports routiers dépendront pendant longtemps du pétrole, d'une part parce qu'il n'existe pas actuellement d'énergie alternative massive et satisfaisante, d'autre part à cause du lent renouvellement du parc de voitures particulières.

Or, le prix du pétrole est voué à être durablement cher, à moyen terme.

### Transports franciliens : 42 % de la consommation de l'énergie régionale finale en 1999

En 1999, les seuls transports terrestres franciliens consommaient 22,6 % de l'énergie finale régionale. Cette consommation a peu évolué entre 1990 et 1999 (+ 4 %), malgré une augmentation du trafic de l'ordre de 10 %<sup>(1)</sup>. La croissance moyenne de la consommation énergétique régionale totale entre 1990 et 1999 a été de + 2 % par an.

L'essence aviation (hors étude) occupe une place importante et fortement croissante dans le bilan régional : 19,5 % du total en 1999 ; une croissance moyenne de + 5,8 % par an. Cette consommation correspond au remplissage des réservoirs d'avions effectué dans les aéroports franciliens ; la consommation réelle est effectuée en vol, essentiellement sur les liaisons internationales. En 1990, elle représentait 56 % de l'énergie des carburants auto-

mobiles (essence et gazole) consommés par les transports franciliens ; en 2004, elle la dépassait de 3 %<sup>(2)</sup>.

Cette place prépondérante du kérosène dans les carburants livrés en Île-de-France, alliée à sa forte progression, pose tout d'abord un problème de sécurité d'approvisionnement croissant. En outre, même s'il est difficile d'en répartir la responsabilité entre pays, elle renvoie à la participation grandissante du transport aérien à l'effet de serre additionnel d'origine anthropique<sup>(3)</sup>.

(1) Nous verrons plus loin que ceci est essentiellement imputable à la forte progression du gazole.

(2) En 1990 : 2 967 ktep pour le kérosène contre 5 270 ktep pour les carburants automobiles ; en 2004 : 5 363 ktep pour le kérosène contre 5 183 ktep pour les carburants automobiles (calculs faits à partir des données DGEMP).

(3) Actuellement, on estime que l'aviation commerciale émet 2,5 % des émissions mondiales de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). S'y ajoutent d'autres contributions, notamment la vapeur d'eau et les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>). In fine, l'aviation commerciale équivaldrait à 5 % du réchauffement climatique imputable à l'ensemble des activités humaines. On prévoit une multiplication par 3,5 de la mobilité aérienne entre 2004 et 2030 (IFEN, Les données de l'environnement, n° 97, novembre 2004).

L'observatoire national de l'énergie de la DGEMP (direction générale de l'Énergie et des matières premières) publie régulièrement des statistiques sur la consommation d'énergie dans les régions. La dernière édition date de décembre 2003 et couvre la période 1990-1999\*. Dans cette édition, les auteurs ont appliqué rétroactivement à la consommation d'électricité la nouvelle convention adoptée en février 2002 par la DGEMP pour se conformer à la méthode commune aux organisations internationales : désormais, la consommation électrique finale est décomptée selon son équivalence énergétique réelle\*\*.

\* L'énergie dans les régions. Édition 2003, Observatoire de l'énergie, DGEMP, décembre 2003.

\*\* Soit 1 MWh = 0,086 tep, alors qu'avant février 2002 on la décomptait selon l'équivalent énergétique nécessaire pour la produire, soit 1 MWh = 0,222 tep.

### La consommation finale d'énergie en Île-de-France (en milliers de tep\*)

Secteur	Année		Répartition (%)		Évolution (%) 1990-1999
	1990	1999	1990	1999	
Transports terrestres	5 501	5 727	26,0	22,6	4
Essence aviation (kérosène)	2 967	4 955	14,0	19,5	67
Total transports	8 468	10 682	40,0	42,1	26
Industrie	2 594	2 210	12,2	8,7	- 15
BTP	50	123	0,2	0,5	146
Résidentiel et tertiaire	9 968	12 243	47,1	48,3	23
Agriculture	98	98	0,5	0,4	0
Total	21 178	25 356	100	100	20

Source : DGEMP, Observatoire de l'énergie\*\*

\*tep : tonne équivalent pétrole (équivalent énergétique exprimé par rapport au pétrole).

\*\* Pour les carburants, les calculs sont faits à partir des ventes en Île-de-France (Source : CPDP).

La consommation énergétique des transports franciliens

La consommation d'énergie des transports terrestres franciliens (en milliers de tep)

Énergie	Année		Répartition (%) 1999	Variation (%) 1990-1999
	1990	1999		
Essence	3 222	2 519	44	- 22
Gazole	2 048	2 922	51	43
<b>Total carburants</b>	<b>5 270</b>	<b>5 441</b>	<b>95</b>	<b>3</b>
Électricité	231	286	5	24
<b>Total</b>	<b>5 501</b>	<b>5 727</b>	<b>100</b>	<b>4</b>

Source : DGEMP, Observatoire de l'énergie

On rappelle qu'en 2004 les livraisons de kérosène en Île-de-France représentaient 83,7 % du total national. **Les transports terrestres franciliens sont dépendants à 95 % des produits pétroliers et à 5 % de l'électricité.**

Les produits pétroliers sont consommés par la circulation routière régionale (comprenant des transports de voyageurs, dont les transports en commun routiers, ainsi que des transports de marchandises). L'électricité est l'apanage des transports en commun ferrés de voyageurs (métro, RER, tramway, chemin de fer de banlieue).

On note la diminution de l'énergie imputable à l'essence (- 22 % entre 1990 et 1999, soit - 2,8 % par an) et la très forte croissance de l'énergie provenant du gazole (+ 43 % entre 1990 et 1999, soit + 4 % par an). Ceci explique pourquoi la consommation énergétique globale des carburants n'a progressé que de 3 % en neuf ans car, comme on va le préciser ci-après, le moteur diesel (utilisant du gazole) a une meilleure efficacité énergétique que celui à essence. La consommation électrique, elle, a augmenté à un rythme moyen de + 2,4 % par an.

**La faible augmentation de la consommation énergétique utilisant des carburants fossiles est essentiellement imputable à la forte progression relative de la consommation de gazole.**

On rappelle qu'à puissance équivalente un moteur diesel à injection directe (désormais le standard en diesel) consomme environ 30 % moins d'énergie qu'un moteur à essence à allumage par étincelles.

À kilométrage égal, le remplacement d'un moteur à essence par un moteur diesel se traduit donc par une économie de consommation en volume (de l'ordre de 20 % car le gazole est environ 10 % plus dense que l'essence).

C'est ce que l'on vérifie en analysant l'évolution des ventes de carburants en Île-de-France : le ratio gazole/essence est passé de 0,59 en 1990 à 1,55 en 2004.

Le volume total a crû jusqu'en 1996 (+ 11 %), pour redescendre en 2004 à un niveau légèrement inférieur à celui de 1990 (à énergie constante, plus la proportion de gazole augmente plus le volume de carburant nécessaire baisse).

## Des évolutions contradictoires : moteurs plus économes, mais véhicules plus lourds

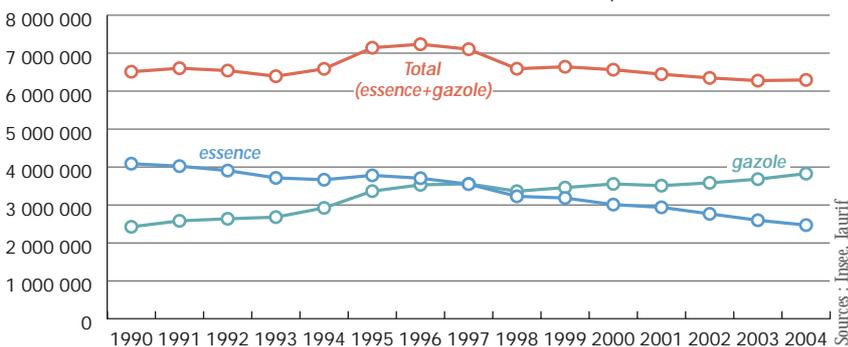
L'amélioration du rendement énergétique des moteurs est largement contre-carrée par l'augmentation du poids moyen des véhicules liée aux équipements de sécurité, dépollution et confort.

Un autre facteur de diminution de la consommation énergétique est l'amélioration des moteurs. Cependant, l'augmentation du poids moyen des véhicules liée aux équipements de sécurité (freinage ABS, sacs gonflables...), de dépollution (pot catalytique...) et surtout de confort (climatisation, direction assistée...) atténue largement le gain d'efficacité énergétique de la motorisation.

Dans le récent «Carrefour à mi-parcours du PREDIT» (Clermont-Ferrand 15-17 mars 2005) M. Perrard de PSA Peugeot-Citroën a rappelé que, entre 1995 et 2004, le véhicule type de gamme moyenne (M2) de Peugeot a vu son poids augmenter de 33 %<sup>(4)</sup>.

Il a aussi rappelé que le durcissement des normes de sécurité et d'émissions de polluants atmosphériques se paie par une surconsommation énergétique<sup>(5)</sup>. De plus, la climatisation est un équipement grand consommateur d'énergie. D'après une étude<sup>(6)</sup> de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, la climatisation est responsable, en moyenne, d'une surconsommation de 30 % en circulation urbaine, de 20 % en extra-urbain, et de 10 % sur autoroute.

Ventes de carburants en Île-de-France entre 1990 et 2004, en m<sup>3</sup>



(4) Plus précisément, la Peugeot 405 sortie en 1995 pesait 1 130 kg ; en 2004, son équivalente, la Peugeot 407, pèse 1 510 kg, soit 380 kg de plus (dont 50 kg imputables aux équipements sécuritaires).

(5) Les émissions de CO<sub>2</sub> sont directement proportionnelles à la consommation de carburant fossile.

(6) Stéphane Barbuse, La climatisation automobile. Données et références, Ademe, 2001.

La consommation énergétique des transports franciliens

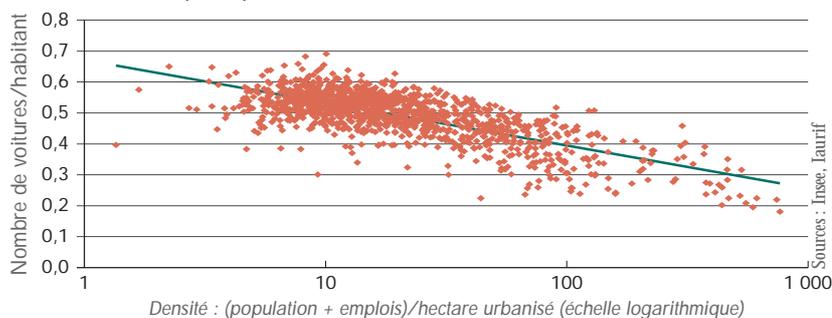
## Dépendance automobile et densité urbaine

La dispersion des activités urbaines accroît la dépendance à l'automobile des habitants pour leurs déplacements quotidiens dans leur agglomération de résidence et par suite leur consommation de carburant.

La figure ci-contre montre le taux de motorisation communal (nombre de voitures particulières par habitant : VP/hab) en fonction de la densité communale nette [ratio (population + emplois)/surface (en ha)]<sup>(7)</sup>. Pour Paris, les calculs ont été réalisés au niveau de l'arrondissement.

On constate que plus la densité nette diminue, plus le taux de motorisation augmente. Ainsi on passe de valeurs voisines de 0,20 VP/hab pour les quatre arrondissements centraux de Paris, où la densité nette se situe entre 500 et 700 (hab + emplois)/ha, à des valeurs voisines de 0,60 VP/hab pour les communes rurales les moins denses de la grande couronne, où la densité nette est inférieure ou égale à 10 (hab + emplois)/ha. Soit, au final, une motorisation auto-

Nombre de voitures par habitants selon la densité humaine nette communale en Île-de-France (1999)



mobile trois fois plus élevée qu'au centre de Paris pour les communes rurales les moins denses d'Île-de-France.

La dispersion des activités urbaines – et la dépendance automobile qui en résulte – aggrave le bilan énergétique et d'émission de gaz carbonique, comme le montre le tableau ci-après (calculs faits par l'Inrets à partir des résultats de l'Enquête globale de transport 1990).

Ainsi, en 1990, un habitant moyen des communes les moins denses de l'Île-de-France parcourait environ deux fois plus de distance dans ses déplacements quotidiens internes à la Région qu'un Parisien, nécessitant trois fois plus d'énergie et émettant quatre fois plus de CO<sub>2</sub>.

**La dépendance automobile pèse lourd dans le budget des ménages à faible revenu résidant en périphérie de l'agglomération parisienne et ne pouvant accéder, pour des raisons financières, à un logement plus proche de Paris à cause des prix de l'immobilier.**

Jean-Pierre Orfeuil et Annarita Polacchini (Inrets) ont étudié, pour l'année 1994, l'importance des dépenses de logement et de transports régionaux dans le budget des ménages selon leur zone de résidence ; ces zones correspondent à divers niveaux de prix immobiliers<sup>(8)</sup>. Pour des raisons pratiques, le zonage retenu (9 zones) repose sur l'enquête de l'Olap (Observatoire des loyers de l'agglomération parisienne). La

Écart entre la tranche des communes de densités minimales et celle des communes de densités maximales en Île-de-France (1990)

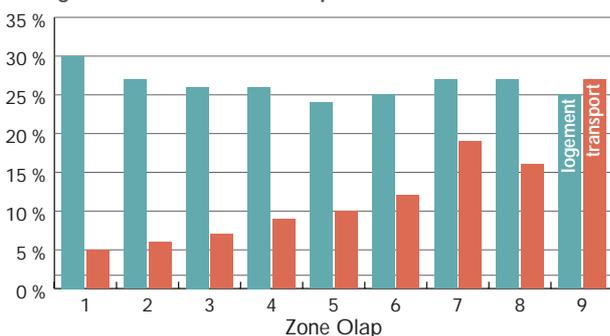
Facteur mesuré	Écart entre les tranches de densité minimales et maximales
Distance parcourue	x 2,3
Consommation énergétique	x 3,2
CO <sub>2</sub>	x 4,4

Source : Vincent Fouchier, «La planification urbaine peut-elle conduire à une mobilité durable?», La Jaune et la Rouge, mars 1997

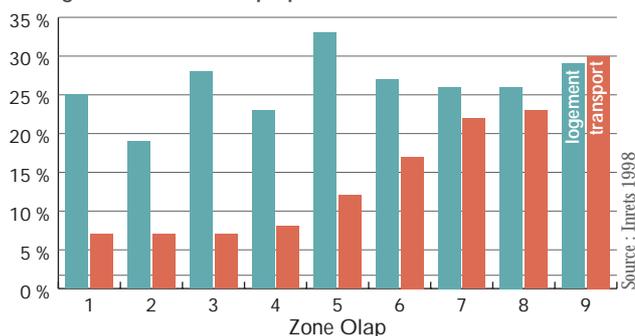
(7) Calcul fait à partir du recensement national 1999 (pour le taux de motorisation) et du système d'information géographique régional (SIGR) de l'aurif (pour la densité nette).

(8) Jean-Pierre Orfeuil et Annarita Polacchini, Dépenses pour le logement et pour les transports en Île-de-France, INRETS, janvier 1998.

Dépenses logement et transports régionaux en 1994 ménages de locataires du secteur privé



ménages d'accédants à la propriété



zone 1 est la plus chère et correspond aux arrondissements de l'Ouest parisien et quelques communes attenantes des Hauts-de-Seine ; la zone 9 est la moins chère et correspond aux communes de la Seine-et-Marne éloignées du centre de l'agglomération.

Cette comparaison a été faite pour les ménages locataires du secteur privé et ceux accédant à la propriété<sup>(9)</sup>. Le ratio des revenus entre les ménages de zone 1 et 9 est de 1,4 pour les ménages locataires et 1,8 pour les accédants à la propriété.

Le poids du poste logement dans le budget des ménages varie peu selon les zones et les statuts d'occupation (de 24 à 30 % pour les ménages locataires du secteur privé ; de 19 à 33 % pour les accédants à la propriété).

En revanche, le poids du poste transports varie énormément. Pour les ménages locataires du secteur privé, il passe de 5 % pour ceux de la zone 1 (les plus riches) à 27 % pour ceux de la zone 9 (les plus pauvres). Pour les ménages accédant à la propriété, la variation va de 7 % dans la zone 1 à 30 % dans la zone 9.

Cette variation peut s'expliquer par la croissance des distances parcourues et la dépendance de plus en plus importante à l'automobile à mesure que l'on s'éloigne de Paris.

## Efficacité énergétique des divers modes de transports en Île-de-France (2003)

Équivalence énergétique pour l'électricité : 1 kWh = 0,086 kep\* (énergie finale)

	Mode				
	MéTRO RATP	RER RATP	Tramway RATP	Bus RATP	VP (moyenne)
Km-voitures (millions)	217,7	91,7	4,5	144,1	
Voyageurs-km (millions)	6 014,9	4 084,1	138,2	2 513,4	
Taux d'occupation (voyageurs/voiture)	27,6	44,5	30,7	17,4	1,3
Énergie de traction (millions de kep)	44,4	32,5	0,8	68,3	
Efficacité énergétique - voy-km/kep	135,5	125,7	179,1	36,8	18,0
de traction - ratio mode/VP	7,5	7,0	10,0	2,0	1,0

Sources : RATP, Ademe, calculs Iaurif

\* kep : kilogramme équivalent pétrole (1 kep = 42 MJ = 11,666 kWh)

1 litre d'essence = 32 MJ = 0,761 kep et 1 litre de gazole = 36,4 MJ = 0,866 kep

## Des transports en commun globalement plus efficaces, mais pas toujours

Comme on peut s'y attendre, compte tenu de la configuration existante des réseaux de transport (le métro et le tramway desservant la zone centrale, le RER les grands corridors urbains, le bus RATP la zone agglomérée), les transports en commun (TC) ont globalement une meilleure efficacité énergétique que la voiture particulière (VP). En énergie finale (kep/voy-km), le métro est en moyenne 7,5 fois plus efficace que la VP, le RER 7 fois plus, le tramway 10 fois plus et l'autobus RATP 2 fois plus. Toutefois, ces valeurs moyennes TC cachent de fortes disparités.

En effet, le taux d'occupation des TC varie énormément selon le type de desserte géographique (zone de desserte plus ou moins dense) et la période horaire (heures de pointe ou heures creuses) ; par suite, l'efficacité moyenne supérieure des TC ne justifie pas, du point de vue énergétique, le recours systématique à ces derniers. Par exemple, en ce qui concerne le bus, son avantage énergétique ne vaut que si son taux d'occupation dépasse cinq personnes (si on considère que la VP ne contient que le conducteur) ou six (si on compare avec l'occupation moyenne de la VP en Île-de-France, soit 1,3 personne par VP).

## Un pétrole encore plus cher à l'avenir

Le pétrole deviendra durablement plus cher dans un avenir relativement proche. M. Jean-Marc Jancovici, expert-consultant indépendant sur l'énergie qui a présidé le comité consultatif du «Débat sur l'Énergie», résume ce problème ainsi<sup>(10)</sup> :

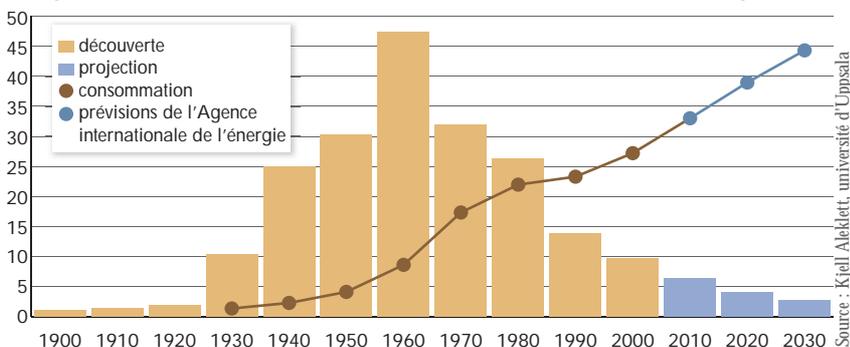
*«Bien des acteurs de l'industrie pétrolière considèrent qu'il est possible que, dans les dix ans, le marché passe par un baril*

(9) Ce sont les seules catégories pour lesquelles les données logement disponibles sont fiables.

(10) Extrait de l'entretien paru dans La Liberté de Fribourg (février 2005), version corrigée écrite envoyée par M. Jancovici au journal et mise sur son site Internet, [www.manicore.com](http://www.manicore.com).



Comparaison entre découverte et consommation (en milliard de barils par an)



© J.-L. Dubois/laurif

à plus – et peut-être bien plus – de 100 dollars. Pour que le choc pétrolier ait le même effet que celui de 1979, il faudrait un baril à 160 dollars. Certains experts que je consulte considèrent que dans cinq à quinze ans, le baril va s'équilibrer autour des 100 dollars.

La production de pétrole va passer par un maximum de production avant de tendre vers zéro à très long terme ; il ne s'agit là que de mathématiques. Ce maximum se situe quelque part entre aujourd'hui et 2035.

Du côté de chez Shell et Total, on le situe vers 2025. Certains géologues, certains experts pensent eux que ça pourrait déjà se produire vers 2010. D'autres disent que nous y sommes déjà.

Une courbe de production n'est pas extrêmement régulière, elle zigzague. Nous ne saurons donc que nous avons atteint le maximum de production que quelques

années après. L'économie, elle, s'en sera rendu compte plus vite, puisque, à partir de ce moment, nous encaisserons choc sur choc.»

Le fait important à retenir est que **les réévaluations des réserves<sup>(11)</sup> intervenues ces trente dernières années sont surtout dues aux progrès techniques – qui permettront d'extraire de manière quasi certaine beaucoup plus de pétrole dans les gisements déjà découverts – plutôt qu'aux découvertes de gisements nouveaux qui ne cessent de décroître en termes de capacité.**

Le maximum de découvertes de gisements (en termes de capacité) fut réalisé dans les années 1956 à 1965 (voir figure). À partir des années 1980, les découvertes (en moyenne annuelle) sont inférieures à la consommation mondiale et ne cessent de décroître.

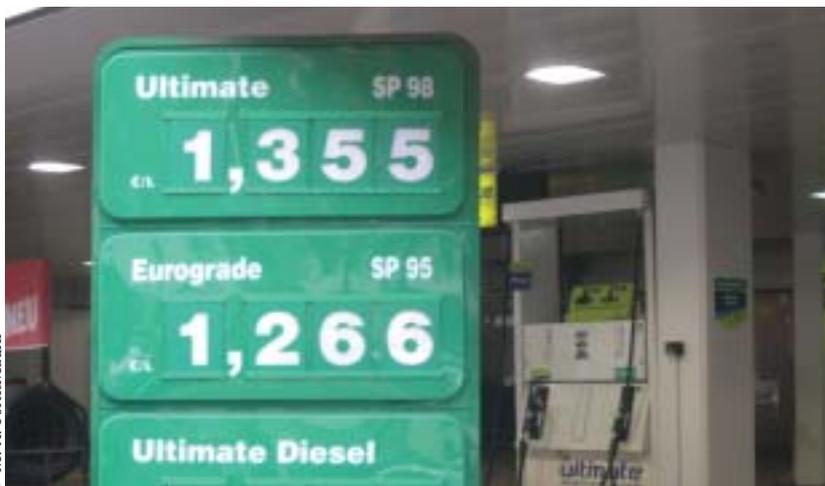
Actuellement, les découvertes représentent de 35 à 40 % de la consommation.

Pendant que la capacité moyenne des découvertes décroissait, les technologies d'extraction évoluaient fortement, de sorte que la quantité de pétrole que l'on est capable d'extraire d'un même gisement n'a cessé d'augmenter. Le «taux de récupération» moyen mondial a ainsi cru de 40 % en trente ans, augmentant d'autant les réserves des gisements connus à ce jour<sup>(12)</sup>. Ainsi il était juste de dire, en 1970, que l'on avait 30 ans de consommation en réserves (en fonction des technologies de l'époque) ; il est juste, aujourd'hui, de dire que nous avons 43 ans de consommation<sup>(13)</sup>, compte tenu des technologies actuelles. Mais, avant l'épuisement de ces réserves, la production passera par un maximum.

(11) Les professionnels du pétrole parlent de «réserves prouvées» à une date donnée, c'est-à-dire la quantité de pétrole que l'on estime pouvoir extraire des gisements connus à cette date de manière quasi certaine, compte-tenu des techniques et des conditions économiques existantes. La notion de réserves est donc variable dans le temps.

(12) Le taux de récupération à une date donnée est le ratio entre la quantité de pétrole que l'on estime pouvoir extraire à cette date et la quantité totale contenue dans le gisement. Il est variable selon les gisements ; pour un gisement donné, il progresse avec le temps (amélioration des techniques d'extraction). Ces trente dernières années, le taux de récupération moyen mondial est passé de 0,25 à 0,35 (soit + 40 %).

(13) Cette évaluation est basée sur la consommation 2004. En réalité, la consommation de pétrole ne cesse de croître. Si on suppose que le rythme actuel de + 2 % par an est maintenu, les réserves ne représentent plus que 31 ans de consommation.



© M.-A. Portier/laurif

La consommation énergétique  
des transports franciliens

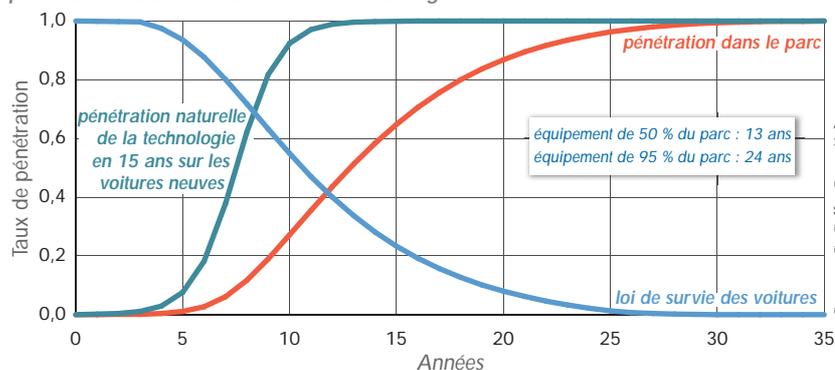
L'estimation de ce maximum dépend à la fois de celle des réserves «ultimes» que l'on pourra atteindre et de celle des évolutions technologiques.

**De plus en plus d'acteurs et spécialistes de l'énergie pensent que, au rythme actuel de consommation du pétrole, on s'achemine vers un maximum de production mondiale aux alentours de 2015 – valeur «moyenne» des estimations<sup>(14)</sup>.**

## Les transports routiers vont dépendre pendant longtemps du pétrole

Tout d'abord parce que les solutions alternatives actuelles sont partielles (gaz, biocarburants, électricité, véhicules hybrides) et, pour l'instant, plus coûteuses que le pétrole. Ensuite parce que la solution de rupture – la pile à combustible<sup>(15)</sup> – n'est pas encore au point industriellement et coûte encore plus cher. Enfin, parce que le renouvellement du parc possède une inertie très importante et que les mesures d'accélération de ce renouvellement n'ont pas un effet majeur ; par exemple, la mise

**Le lent renouvellement du parc de voitures particulières**  
pénétration naturelle d'une nouvelle technologie



Source : C. Galléz Imrets/Ademe

en vigueur d'une norme ne raccourcit les délais précités que de 3,5 ans<sup>(16)</sup>. Selon les constructeurs automobiles, l'ensemble des nouvelles technologies envisageables ne devrait représenter que 14 % du marché à l'horizon 2020<sup>(17)</sup>.

À l'heure où le prix de l'or noir s'envole et sachant qu'il est voué à grimper durablement à moyen terme<sup>(18)</sup>, il apparaît nécessaire de prendre en considération les conséquences de cet enchérissement, notamment sur le budget transport des ménages les plus pauvres. Les travaux prospectifs de la révision du schéma directeur de la région Île-de-France constituent un cadre idéal pour mener cette réflexion.

(14) Ce maximum est désigné «pic» de Hubbert, par référence à M. King Hubbert, géophysicien américain qui a prédit que la production des États-Unis atteindrait son maximum vers le début des années 1970 (ce maximum fut atteint en 1970). Le terme «pic» n'est pas approprié, car le maximum se fera plutôt selon un «plateau».

(15) Pile à combustible : générateur d'électricité à partir de l'hydrogène et de l'oxygène via une réaction électrochimique (réaction inverse de l'électrolyse de l'eau).

(16) Voir Alain Morcheoine, «Les transports au XXI<sup>e</sup> siècle», rencontre internationale de prospective du Sénat, 8 avril 2004.

(17) Source : Renault. Dossier sur les émissions polluantes et gaz à effet de serre.

(18) Même si une baisse est encore possible à court terme.