

Centre Économie et Gestion

**Réductions des externalités : impacts du  
progrès technique et de l'amélioration de  
l'efficacité énergétique**

*Jean Philippe CUEILLE*

*Estelle JOURDAIN*

janvier 1997

**Cahiers du CEG - n° 26**

**Texte de conférence**

ENSPM - Centre Économie et Gestion  
232, avenue Napoléon Bonaparte  
92852 RUEIL-MALMAISON CEDEX.  
télécopieur : + 33 1 47 52 70 66 - téléphone : + 33 1 47 52 64 08



La collection "Cahiers du CEG" est un recueil de présentations de travaux réalisés au Centre Économie et Gestion de l'ENSPM, Institut Français du Pétrole, travaux de recherche ou notes de synthèse. Elle a été mise en place pour permettre la diffusion de ces travaux, parfois sous une forme encore provisoire, afin de susciter des échanges de points de vue sur les sujets abordés.

Les opinions émises dans les textes publiés dans cette collection doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement le point de vue de l'ENSPM ou de l'IFP.

Pour toute information complémentaire, prière de contacter :

**Axel PIERRU tél. : + 33 1 47 52 64 08**

The "Cahiers du CEG" is a collection of articles carried out at the Center for Economics and Management of ENSPM, Institut Français du Pétrole. It is designed to promote an exchange of ideas on the topics covered.

The opinions expressed are the sole responsibility of the author(s) and do not necessarily reflect the views of ENSPM or IFP.

For any additional information, please contact :

**Axel PIERRU tél. : + 33 1 47 52 64 08**



La conférence suivante a été prononcée lors du 2ème Congrès national de l'Asociacion Mexicana para la Economia Energetica qui s'est tenu à Mexico du 23 au 25 septembre 1996.

La faible utilisation du gazole carburant au Mexique explique l'absence de développements particuliers relatifs aux moteurs diesel lors de cette présentation.



## Réductions des externalités : impacts du progrès technique et de l'amélioration de l'efficacité énergétique

Je suis à la fois très honoré et très heureux d'être parmi vous ce matin. Très honoré, d'avoir été invité à participer au congrès de la Asociación Mexicana para la Economía Energética qui, pour sa deuxième édition nationale, réunit un auditoire particulièrement choisi. Très heureux, car cela me permet de redécouvrir le Mexique quinze ans après ma première visite. A cette époque les prix internationaux de l'énergie étaient élevés et les préoccupations environnementales basses. Aujourd'hui, la situation est totalement inversée. Les pressions de l'opinion publique sont telles que les problèmes environnementaux ont remplacé les questions de prix et de sécurité d'approvisionnement dans les priorités des responsables industriels et politiques. Mais le sujet est vaste et ardu, avec de nombreuses questions encore en suspens. Qu'il s'agisse du réchauffement planétaire ou d'un niveau optimal d'émissions polluantes à définir, de nombreuses incertitudes subsistent : des batailles d'experts sont engagées et il ne semble pas que des réponses définitives existent. L'organisme auquel j'appartiens, l'Institut Français du Pétrole, grâce à ses compétences de raffineur, de chimiste et de motoriste, contribue depuis de nombreuses années à la mise en oeuvre d'innovations permettant l'amélioration de l'efficacité énergétique et la réduction des émissions polluantes. Je voudrais donc aujourd'hui partager avec vous, modestement puisque le temps imparti est limité, quelques réflexions sur les perspectives technologiques en regard de l'efficacité énergétique et de la réduction des externalités environnementales. Je m'appuierai sur ce que je connais le mieux, à savoir la situation européenne, mais je suis certain que la mondialisation croissante du monde que nous connaissons permettra la transposition à l'Amérique latine.

Les quantités de polluants issues de sources anthropiques (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, hydrocarbures imbrûlés, ...) représentent généralement une part importante des émissions totales (annexe T1), avec des conséquences locales, régionales et globales. En 1992, le sommet de Rio a fortement souligné les risques de réchauffement planétaire, mais les problèmes de pollution urbaine et de qualité de l'air apparaissent aujourd'hui d'une urgence au moins aussi grande pour de nombreux pays. Il m'a donc paru nécessaire de consacrer l'essentiel de ma présentation à l'analyse des externalités liées à la pollution de l'air au niveau local, en relation avec le secteur du transport routier.

Les besoins de mobilité des personnes et des marchandises s'accroissent avec le développement économique et leur satisfaction correspond à une aspiration forte des populations. C'est pourquoi, l'automobile, symbole moderne de liberté et de standing, pèse d'un poids aussi important dans nos sociétés. Mais le secteur des transports routiers génère aussi, et c'est le revers de la médaille, une part significative de la pollution locale. L'annexe T2, indiquant la part des produits pétroliers et du transport dans les rejets de polluants, illustre cette situation. Les chiffres présentés concernent la France et ne sont pas directement extrapolables au cas des autres pays industrialisés, en raison du poids du nucléaire dans la

génération d'électricité. Ainsi, la part des produits pétroliers est certainement surévaluée puisque dans le reste du monde la production d'électricité fait fortement appel aux combustibles fossiles (charbon en particulier), qui participent largement à la formation des émissions polluantes. Néanmoins, ce tableau confirme la responsabilité du secteur des transports routiers, dans la mesure où celui-ci constitue l'origine principale des émissions de CO, de COV, de NO<sub>x</sub>. Cela est d'autant plus vrai que la production d'un polluant secondaire, l'ozone troposphérique, s'effectue dans la basse atmosphère par photochimie en raison de la présence d'hydrocarbures imbrûlés (COV), de NO<sub>x</sub> et d'un rayonnement solaire intense. Les troubles respiratoires que l'on peut parfois ressentir dans des zones trop polluées en été proviennent de cet excès d'ozone troposphérique et du dioxyde d'azote dans l'air ambiant.

L'augmentation attendue du parc automobile mondial risque d'accentuer les problèmes de pollution liés au secteur des transports (annexe T3). En 1994, on évalue à environ 780 millions le nombre total de véhicules (voitures particulières, utilitaires, camions, 2 roues et 3 roues). Les perspectives d'accroissement retenues par l'OCDE prévoient qu'à l'horizon 2020, le parc mondial dépassera 1 350 millions. En raison de la saturation relative du marché des pays de l'OCDE, la croissance la plus forte est attendue dans les pays en voie de développement, plus particulièrement au Moyen-Orient, en Amérique Latine et en Asie du Sud. Le parc de cette zone pourrait alors tripler, passant de 100 à 300 millions de véhicules. Corrélativement la consommation de carburants pétroliers au niveau mondial pourrait s'accroître d'environ 50 % d'ici 2010 (annexe T3b). Compte tenu que la pollution urbaine atteint déjà un niveau critique dans certaines agglomérations, ce scénario met bien en évidence la nécessité absolue d'actions dans le domaine des transports routiers.

Les pouvoirs publics, conscients du problème, ont mis en place dans le passé récent des solutions réglementaires, telles que l'adoption de normes d'émissions maximales (annexe T4), de normes de qualité des carburants, ou de consommation unitaire des véhicules. Le transparent projeté décrit l'évolution des normes d'émission de CO, de COV et NO<sub>x</sub> des voitures particulières en Europe entre 1972 et 2000. En ordonnée, l'échelle est logarithmique, ce qui témoigne du chemin parcouru. En moins de 3 décennies, grâce aux progrès technologiques réalisés par les constructeurs automobiles, les rejets de CO d'une voiture neuve auront été divisés par 40, tandis que la somme des hydrocarbures imbrûlés et des oxydes d'azote émis par les moteurs aura été divisée par 70. Ces progrès s'expliquent en grande partie par l'amélioration du post-traitement des fumées de combustion grâce à la mise en place du pot catalytique à 3 voies. En ce qui concerne la qualité des carburants issus de la raffinerie, le développement des essences sans plomb et du gazole à basse teneur en soufre a permis de réduire très fortement les émissions de ces deux produits. De même aux États-Unis, la fabrication d'essences reformulées, incorporant obligatoirement des produits oxygénés, a contribué à l'amélioration de la qualité de l'air dans des zones critiques.

Comment peut-on aller plus loin ? Tout d'abord, il me semble que sauf cas d'une révolution technologique, les produits pétroliers resteront durablement les carburants de prédilection du transport routier. En effet, aujourd'hui, un siècle après leur invention, les moteurs à combustion interne ont des performances en termes d'efficacité, de fiabilité et de coût difficiles à égaler. Et même si on assiste à un début de développement de carburants oxygénés, de véhicules au gaz naturel ou électriques, les volumes envisagés actuellement ne remettent pas en cause fondamentalement l'origine essentiellement pétrolière des carburants au cours des prochaines décennies. D'un point de vue technique, les améliorations dans le domaine des émissions de polluants résulteront donc en grande partie d'évolutions progressives des technologies actuelles. Celles-ci concernent, comme nous l'avons déjà vu, la qualité des carburants produits, les moteurs et les traitements de post combustion. A titre d'illustration, sans rechercher l'exhaustivité, je voudrais maintenant envisager avec vous quelques pistes qui me semblent prometteuses. Celles-ci font l'objet de recherches à l'Institut Français du Pétrole (IFP). Dans la perspective d'une meilleure formulation des supercarburants sans plomb, les travaux portent sur la production de bases essence à haut indice d'octane, la réduction de la teneur en aromatiques, la diminution des oléfines et la réduction de la teneur en soufre à moins 50 ppm (annexe T5). Les procédés existants peuvent encore progresser, grâce en particulier à l'utilisation de catalyseurs plus performants. Il faut souligner que cette démarche n'est pas limitée aux bases essences, et qu'elle a des conséquences plus larges, puisqu'au niveau global de l'ensemble de la raffinerie, ces nouveaux catalyseurs devraient permettre au début du XXIème siècle d'extraire 60 à 70 % du soufre contenu dans le pétrole brut, à comparer à une situation actuelle de 30 à 50%. Par ailleurs, une formulation plus fine des carburants, par une diminution de la tension de vapeur ou de la teneur en GPL, pourrait permettre de réduire les pertes par évaporation au moment du remplissage du réservoir.

La consommation unitaire des véhicules constitue un autre point crucial. A la suite des chocs pétroliers, les constructeurs automobiles, incités par les pouvoirs publics, ont proposé des véhicules neufs à faible consommation spécifique. Mais ces dernières années, la tendance s'est inversée. Les raisons de cette évolution sont diverses : poids accru des véhicules, à performance égales, pour des raisons de sécurité; puissance plus élevée; développement des véhicules à quatre roues motrices; surconsommation de 7 à 12 % liée à l'adoption du catalyseur 3 voies, qui impose des réglages moteur particuliers. Ces explications techniques ne sont en fait que la conséquence de la perception de la voiture comme une manifestation de standing. L'identification inconsciente du conducteur à son véhicule ne favorise pas l'achat de modèles économes. Néanmoins, la volonté actuelle de maîtriser les émissions de CO2 peut conduire à une nouvelle prise de conscience collective, qui pourra fortement inciter les constructeurs à aller plus loin dans la conception de véhicules à faible consommation unitaire. Des progrès sont possibles au niveau du moteur, de l'aérodynamisme et par l'utilisation de nouveaux matériaux pour réduire le poids des véhicules. Ainsi, selon l'AIE, une amélioration de l'aérodynamisme et une réduction du poids de 10 % peuvent entraîner des diminutions respectives de consommation de 4 et 10 %.

En ce qui concerne les moteurs à combustion interne, il existe aussi un potentiel significatif d'améliorations. Une étude américaine, citée par l'OCDE, indique que l'efficacité énergétique des nouveaux véhicules pourrait être améliorée de plus de 50 % à l'horizon 2010 par la mise en oeuvre d'options techniques disponibles aujourd'hui ou dans les années qui viennent. Le renforcement du contrôle électronique de l'alimentation et de la combustion constitue une des actions indispensables. Quelques-unes des autres voies envisagées sont évoquées en annexe T6, avec les économies en carburant associées. La combustion en mélange pauvre pourrait conduire à des gains de 10 à 30 %. Elle nécessite des avancées dans la conception et le contrôle du moteur, ainsi que la mise au point de catalyseurs capables d'opérer dans ces conditions particulières de combustion. De même des progrès sont possibles concernant le moteur diesel. Celui-ci, très largement utilisé en Europe, a un rendement plus élevé que le moteur à essence et permet de ce fait une économie d'énergie de 15 à 25 %. Des gains plus importants sont même réalisables grâce à des systèmes d'injection directe récemment mis au point pour les applications automobiles. Les moteurs deux temps constituent un autre axe de recherche possible qui s'applique aussi aux véhicules à deux roues. Ce dernier point représente un enjeu important dans la mesure où les deux-roues prennent de l'importance dans les pays développés en raison des difficultés de la circulation urbaine et qu'ils correspondent à une part importante du parc de véhicules dans les pays en développement. Comme vous le savez, les moteurs deux temps conventionnels utilisés par les deux-roues peuvent constituer une source majeure de pollution. Ils rejettent dans l'atmosphère sous forme d'hydrocarbures imbrûlés, environ 40 % du carburant qu'ils consomment. Un nouveau type de moteur 2 temps, à haut rendement et à basses émissions polluantes est à l'étude (annexe T7). L'IFP applique une technologie d'injection directe, appelée Injection Assistée Par Air Comprimé (IAPAC) à un scooter PIAGGIO. Cette approche entraîne une économie de carburant d'environ 40 %, et conduit à une très forte réduction des émissions polluantes. L'ajout d'un petit catalyseur d'oxydation permet même d'atteindre un niveau d'émission très inférieur à la norme proposée par l'Union européenne pour l'an 2000.

Pour conclure sur ces évolutions techniques, je voudrais évoquer en un mot la post combustion. Les performances des catalyseurs utilisés peuvent encore être améliorées, tant en régime permanent que durant les phases transitoires. Le pot catalytique à trois voies ne fonctionne en effet pleinement que lorsqu'il a atteint sa température d'équilibre. On estime que environ 25 % des déplacements urbains sont effectués durant la phase de montée en température pendant laquelle le catalyseur n'a qu'une efficacité limitée. Un autre axe de recherche important consiste donc à limiter les effets ou la durée de cette phase transitoire, en abaissant par exemple la température d'amorçage du catalyseur. Les constructeurs automobiles travaillent aussi sur des systèmes de piégeage temporaire des gaz d'échappement, qui seraient recyclés lorsque le catalyseur serait à sa température de fonctionnement.

Par ces quelques exemples technologiques, qui sont loin de couvrir exhaustivement le sujet, j'espère vous avoir convaincus de l'existence de nombreux gisements de progrès possibles. Ceux-ci passent aussi par la compréhension intime des phénomènes physiques au sein de la chambre de combustion et des interactions entre formulation des carburants, géométrie des moteurs et conditions de formation des émissions polluantes. Les programmes Auto/Oil américain et européen ont à cet égard bien mis en évidence le bien-fondé d'une collaboration étroite entre industrie pétrolière et constructeurs automobiles pour définir les solutions ayant le meilleur rapport coût/efficacité. Dans cet ordre d'idées, il faut aussi prendre en compte l'apport des carburants de substitution et les conditions d'utilisation des véhicules. Je voudrais donc aborder avec vous ces deux points.

Les carburants non conventionnels, comme les gaz de pétrole liquéfiés, le gaz naturel comprimé, le méthanol ou l'éthanol peuvent contribuer à la réduction de la pollution urbaine. Ils présentent néanmoins un certain nombre de contraintes qui restreignent généralement leur utilisation à des usages spécifiques. Le tableau présenté en annexe T8 résume leurs principales caractéristiques. Le gaz de pétrole liquéfié est un excellent carburant, avec de faibles émissions polluantes et une bonne efficacité énergétique. En Europe, il est utilisé de manière notable en Italie et aux Pays-Bas. Ces performances en termes d'émissions polluantes sont remarquables, ainsi qu'en témoigne le développement d'un moteur spécialement adapté au GPL par le constructeur automobile Renault en collaboration avec l'IFP. À titre expérimental, un véhicule de série, la Clio, a été équipé d'un moteur de ce type. Doté en outre d'un petit catalyseur d'amorçage agissant avant le catalyseur principal, ce véhicule a récemment obtenu le label ULEV (Ultra Low Emission Vehicle) par le California Air Resources Board (CARB). Dans la mesure où les disponibilités mondiales en GPL sont limitées, ce type de carburant ne peut pas remplacer les carburants traditionnels à grande échelle, mais il peut être utilisé pour un marché limité. En France, les taxes sur ce produit ont été réduites en janvier 1996 pour promouvoir son usage.

Le gaz naturel comprimé présente des caractéristiques encore meilleures en termes d'émissions que le GPL. Néanmoins les véhicules au gaz naturel comprimé requièrent une technologie complexe en raison de la pression élevée (200 bars) qui existe dans le réservoir. En outre, pour une quantité d'énergie équivalente, le gaz naturel comprimé nécessite un volume quatre fois plus important. Ce carburant est donc bien adapté pour approvisionner des véhicules lourds comme les bus urbains pour lesquels il est compétitif avec le coût élevé de la traction électrique. Une croissance importante de son utilisation est attendue dans de nombreuses régions, notamment aux États-Unis et en Europe.

Les alcools purs, comme le méthanol ou l'éthanol, constituent eux-aussi d'excellents carburants, mais ils nécessitent une optimisation complexe des moteurs. Ils sont actuellement mieux utilisés pour la synthèse d'esters, comme le MTBE ou l'ETBE, qui sont ajoutés, avec une concentration maximale de 15 %, au pool essence en vue d'accroître le nombre d'octane.

Les véhicules électriques sont sur le plan local des véhicules à émissions nulles. Ils présentent des problèmes de durée excessive des temps de recharge, d'autonomie et surtout ils sont encore loin d'être à un prix concurrentiel. Par ailleurs, la génération d'électricité qui est majoritairement effectuée à partir de charbon, conduit au niveau de la centrale électrique à des émissions de polluants encore relativement importantes avec les technologies actuelles. Néanmoins ces émissions s'atténueront au fil du temps avec des modes de génération d'électricité moins polluants.

Comme je l'indiquais précédemment, ces nouveaux carburants ne constituent pas à eux-seuls la réponse unique à la pollution urbaine. Mais dans de nombreux cas, en étant par exemple progressivement développés dans le cadre de flottes captives ou de véhicules hybrides, ils peuvent contribuer à résoudre des problèmes locaux.

Je voudrais maintenant souligner un point important, concernant les conditions d'utilisation des véhicules. Les avancées techniques, aussi importantes soient-elles, dans la formulation des carburants, la conception des moteurs ou les carburants de substitution, ne constituent pas à elles seules la meilleure réponse économique à la pollution urbaine. En effet, dans de nombreux cas, on peut appliquer au parc automobile la règle des 80/20. 20 % des véhicules sont responsables de 80 % de la pollution. L'abaissement continu des normes d'émission des véhicules neufs risque de revenir de plus en plus cher à la collectivité, car l'élimination des derniers ppm a un coût qui peut croître démesurément. Il peut être plus efficace d'adopter des mesures incitatives ou réglementaires visant à accélérer le renouvellement du parc et de durcir les normes d'inspection et d'entretien des véhicules en circulation. Ainsi, l'OCDE estime qu'une action effective dans ce domaine est susceptible de réduire les émissions de CO et HC d'environ 25 % et celles de NO<sub>x</sub> de l'ordre de 10 %. Par ailleurs, comme l'illustre le tableau T9, les conditions réelles d'utilisation des voitures influent fortement sur les niveaux d'émission. La congestion urbaine est responsable d'un accroissement élevé des rejets de CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> et d'hydrocarbures imbrûlés. L'amélioration des conditions de circulation en ville, le développement des transports en commun, la mise en place de systèmes de navigation informatique permettant au conducteur d'éviter les zones encombrées font donc aussi partie des solutions à envisager.

En Europe, les gouvernements ont aussi largement utilisé la politique fiscale pour inciter ou pénaliser l'utilisation des différentes sortes de carburants. À titre d'exemple, on peut citer le cas de la France où le prix du supercarburant est constitué pour plus de 80 % de taxes diverses. Cette action sur les prix se justifie à la fois par une volonté d'essayer de réduire les consommations et par le souhait d'internaliser les externalités liées au transport. Ici se pose la question de leur évaluation monétaire. Celle-ci fait appel à des outils théoriques et à une méthodologie complexes reposant sur la révélation des préférences des agents économiques. Les résultats obtenus, encore généralement fragiles, nécessitent une certaine prudence dans l'interprétation des valeurs monétaires obtenues. En effet, selon les méthodes d'évaluation utilisées, celles-ci peuvent sensiblement varier. Néanmoins, il est clair, que au-delà de la stricte faisabilité technique, il faut conduire des évaluations économiques pour déterminer le meilleur rapport

coût-efficacité, afin de pouvoir comparer le surcoût lié à l'adoption de technologies moins polluantes aux bénéfices environnementaux en découlant.

Bien que jusqu'à maintenant, je n'ai évoqué que les émissions polluantes, les externalités environnementales ne se réduisent bien évidemment pas seulement aux rejets de polluants. Elles recouvrent aussi en particulier le bruit, les pertes de temps dues à la congestion urbaine et l'insécurité routière. Une étude conduite récemment à l'IFP, dans le cadre d'un projet européen, a tenté de chiffrer le coût de ces externalités (annexe T10). En raison des incertitudes méthodologiques, ces évaluations doivent davantage être considérées comme une base de discussion nécessitant des validations ultérieures, que comme des valeurs absolues incontestables. La dernière colonne fournit d'ailleurs la gamme des ordres de grandeur d'études analogues, conduites dans d'autres pays européens. Nous avons distingué dans ce tableau les externalités liées à des aspects technologiques, telles que la pollution locale et le bruit, des externalités provenant d'usages imparfaits des véhicules tels que la congestion urbaine et les accidents de la route. Les secondes résultent du mouvement d'un véhicule d'un point à un autre, tandis que les premières sont principalement la conséquence de l'énergie ou la technologie mises en oeuvre pour assurer ce mouvement. Cela permet de mettre en évidence les difficultés d'internaliser les externalités environnementales. En effet, outre la question des valeurs à retenir, se pose le problème d'une répartition appropriée. La prise en compte des externalités, dans la plupart des pays européens, se fait par le biais d'une taxation essentiellement basée sur la consommation de carburants, alors qu'il semble que les externalités liées à la congestion ou aux accidents sont prépondérantes en zones urbaines. Il ne semble donc pas adéquat de faire porter le poids de l'ensemble des externalités sur les carburants, alors même qu'une part importante d'entre elles résulte de comportements liés au véhicule. De même, un traitement différent pour zones urbaines et non urbaines serait nécessaire, compte tenu de la gravité et du coût plus élevés des accidents en zones non urbaines.

En conclusion de ma présentation, je voudrais considérer la dynamique des évolutions à venir. L'ensemble des améliorations techniques évoquées précédemment, la sévèrisation croissante des normes d'émission et la mise en place de normes concernant le bruit vont contribuer à une baisse par véhicule des externalités environnementales. La diminution du nombre des accidents et une plus grande rigueur dans les conditions d'utilisation des véhicules renforceront les progrès issus de la technique. Ces deux axes de progrès seront-ils suffisants pour faire face aux effets de l'accroissement du parc mondial de véhicules ? Quelles seront les mesures les plus efficaces à prendre, pour respecter un équilibre entre les impacts sur la pollution et les coûts financiers à supporter par la société ? Les économistes de l'énergie, en affinant les méthodes d'évaluations des dommages et en proposant des modes d'internalisations plus précis, devront, avec d'autres, tenter de répondre à ces questions.



## RÉFÉRENCES

Babusiaux D., Chollet P., Furlan S., *External cost in the road transport sector: a lack of consensus in monetary evaluation making internalisation difficult*, Congrès AIE, Washington, 5-7 juillet 1995

Dautray R., *Environnement et IFP*, 1995

Degobert P., *Automobiles et pollution*, Éditions Technip, Paris, 1992

Douaud A., Girard C., *Les moteurs et les carburants face à la maîtrise de l'énergie et de l'environnement en Europe*, Culture technique, n° 25, octobre 1992

Douaud A., *Les moteurs et les carburants de demain*, *Profil IFP*, 1994

Moisan F. et all., *Energy Efficiency Policies*, Report 1995, World Energy Council, septembre 1995, Londres

Tissot B., *Les oxydes d'azote de la troposphère*, *Profil IFP*, 1996

Tissot B., *Ozone troposphérique et pollution urbaine*, *Profil IFP* 1995

*La pollution des véhicules à moteur, stratégie de réduction au-delà de 2010*, OCDE, 1995, Paris

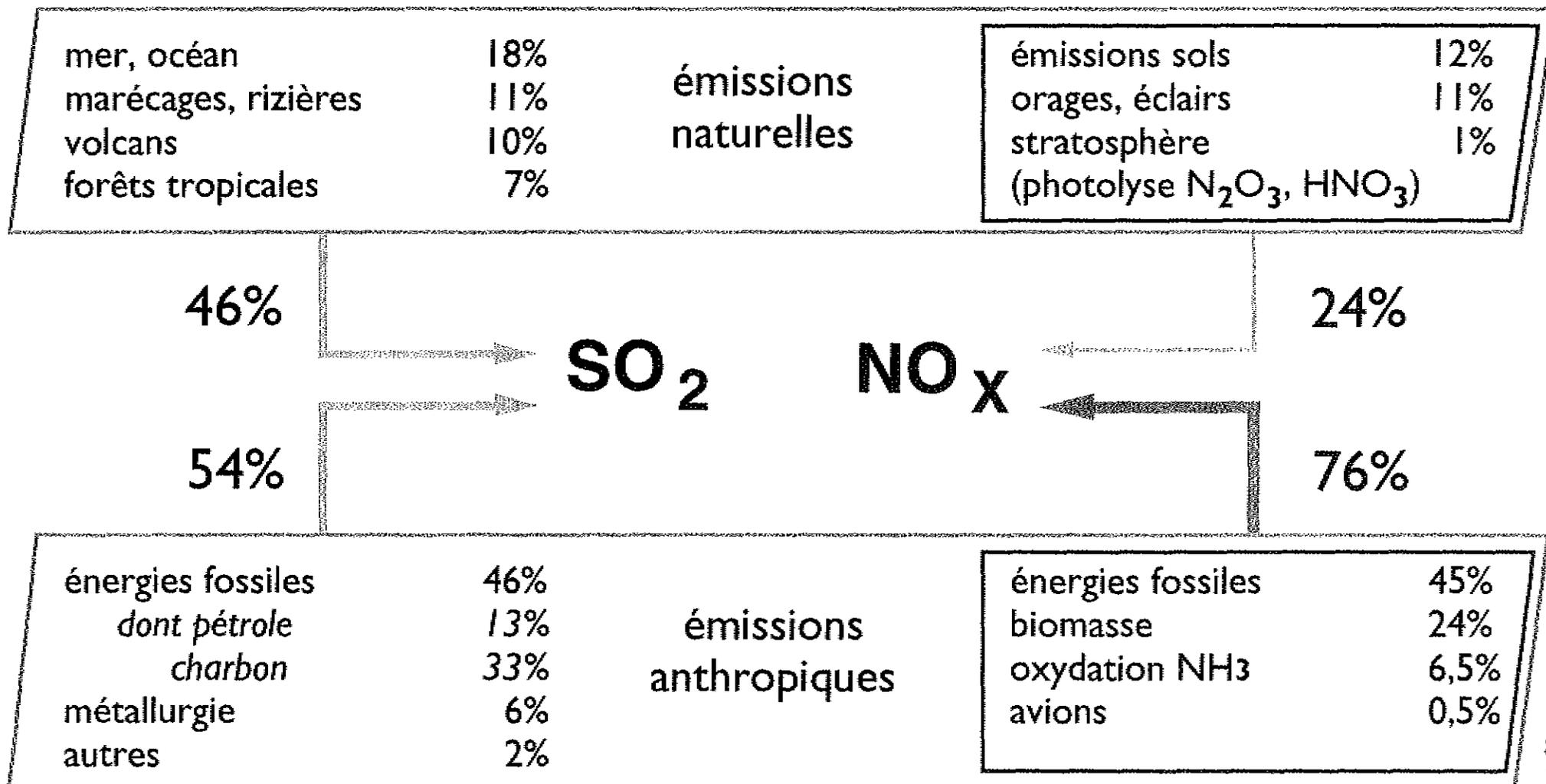
*Problèmes d'environnement, dires d'experts*, Collection Entreprises pour l'environnement, Éditions Lavoisier, Tec & doc, Paris, 1996



## ANNEXES

- T1 Sources mondiales d'émissions de SO<sub>2</sub> NO<sub>x</sub>
- T2 Part des produits pétroliers et du transport dans les rejets de polluants en France
- T3 Évolution du parc de véhicules automobiles mondial
- T3b Évolution de la consommation de carburant automobile à l'horizon 2010
- T4 Évolution des normes européennes d'émission par les voitures particulières
- T5 Supercarburant sans plomb (perspectives)
- T6 Amélioration de l'efficacité énergétique des moteurs
- T7 Émissions d'un scooter PIAGGIO équipé d'un moteur IAPAC
- T8 Carburants de substitution
- T9 Effets de la congestion urbaine sur les émissions de polluants atmosphériques
- T10 Évolution des externalités pour les voitures particulières

# Sources mondiales d'émissions de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>

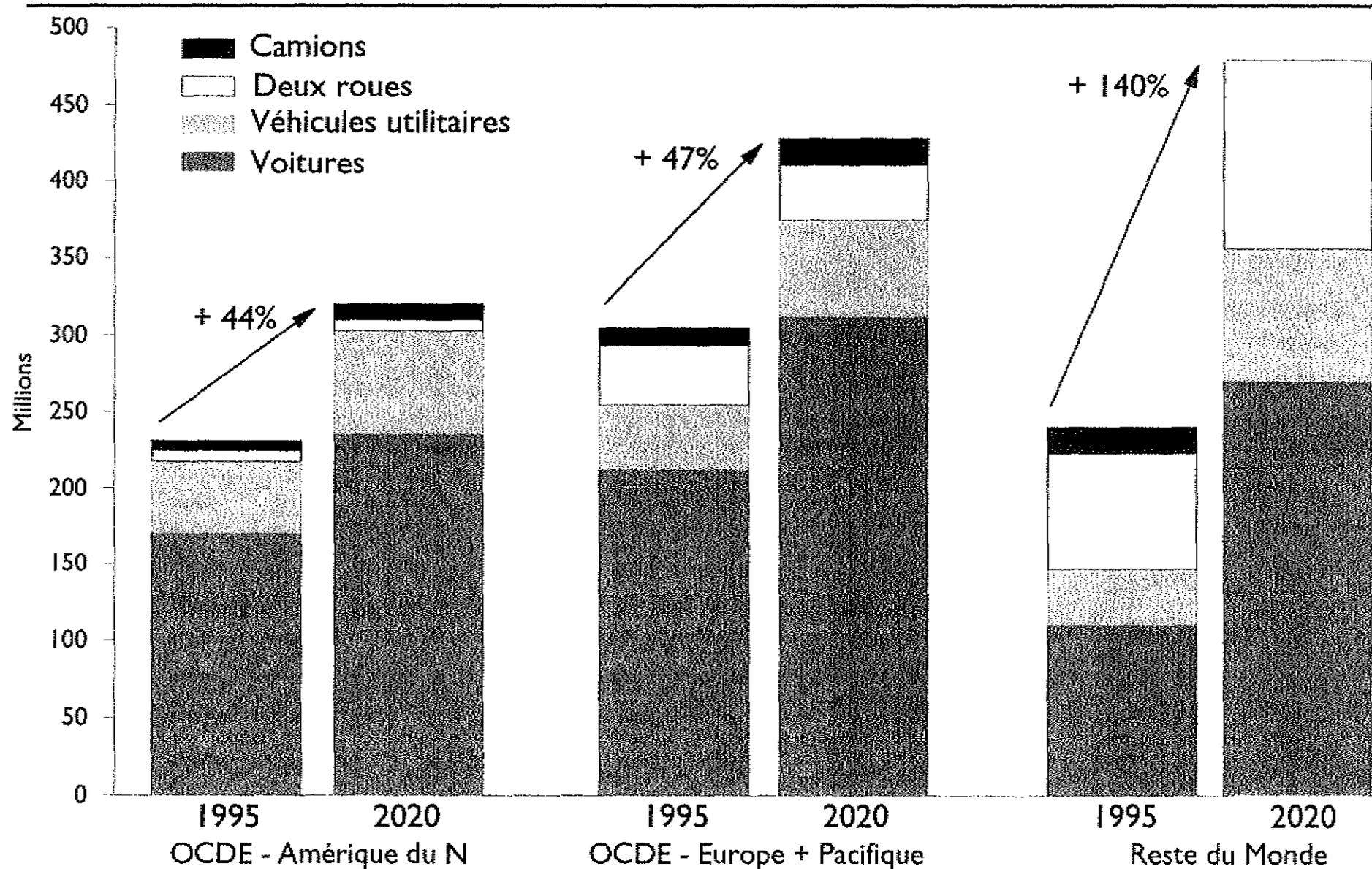


Source : Académie des Sciences 1993, IFP/DCC/DSEP 1995

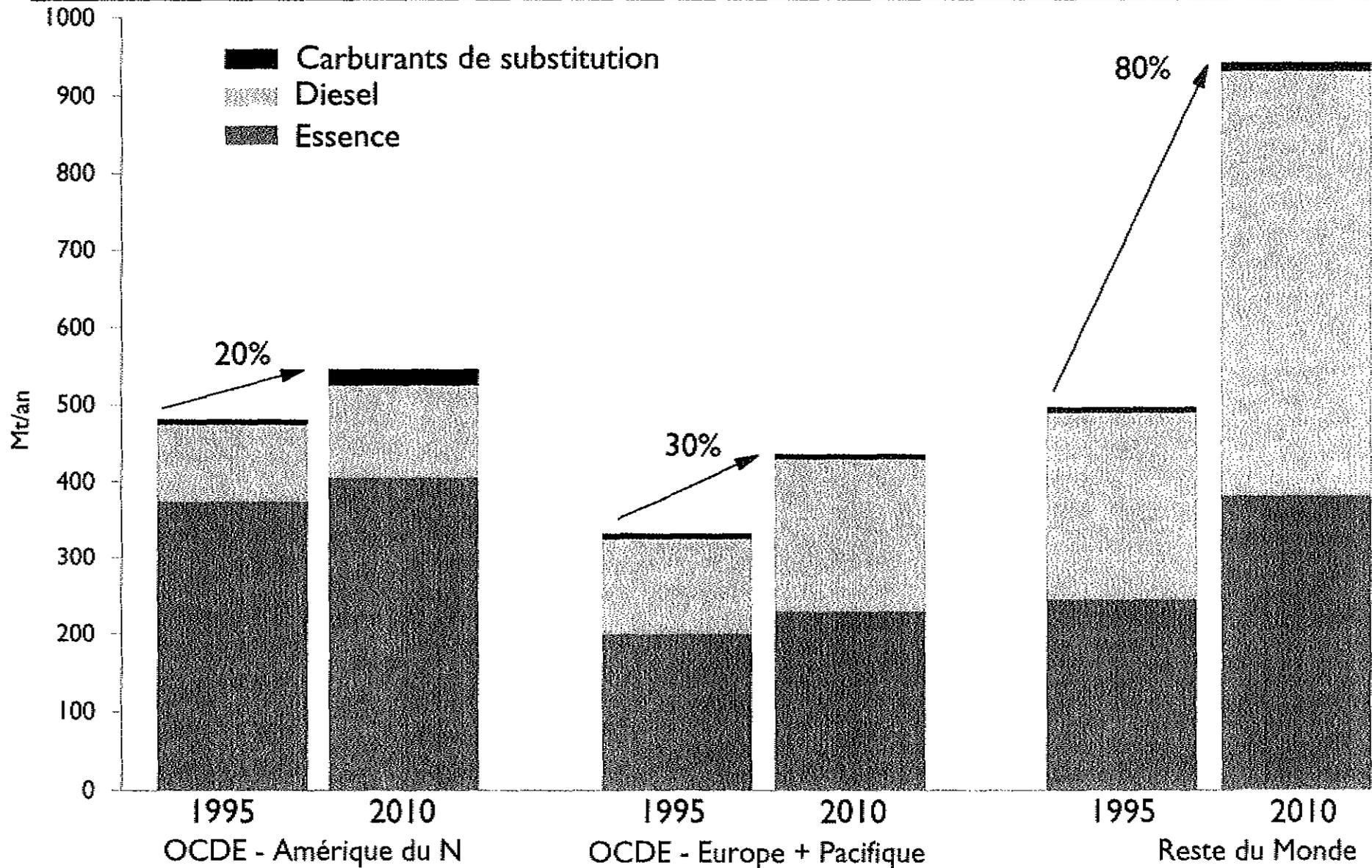
## Parts des produits pétroliers et du transport dans les rejets de polluants en France

	Emissions (Kt)	Part des produits pétroliers (%)	Part du transport (%)
SO <sub>2</sub>	1 314	47,8	11,6
CO	7 338	87,5	87,2
COV	2 928	70,0	55,0
NO <sub>x</sub>	1 507	78,5	72,2
Poussières	283	-	30,0
CO <sub>2</sub>	393 617	57,9	32,5

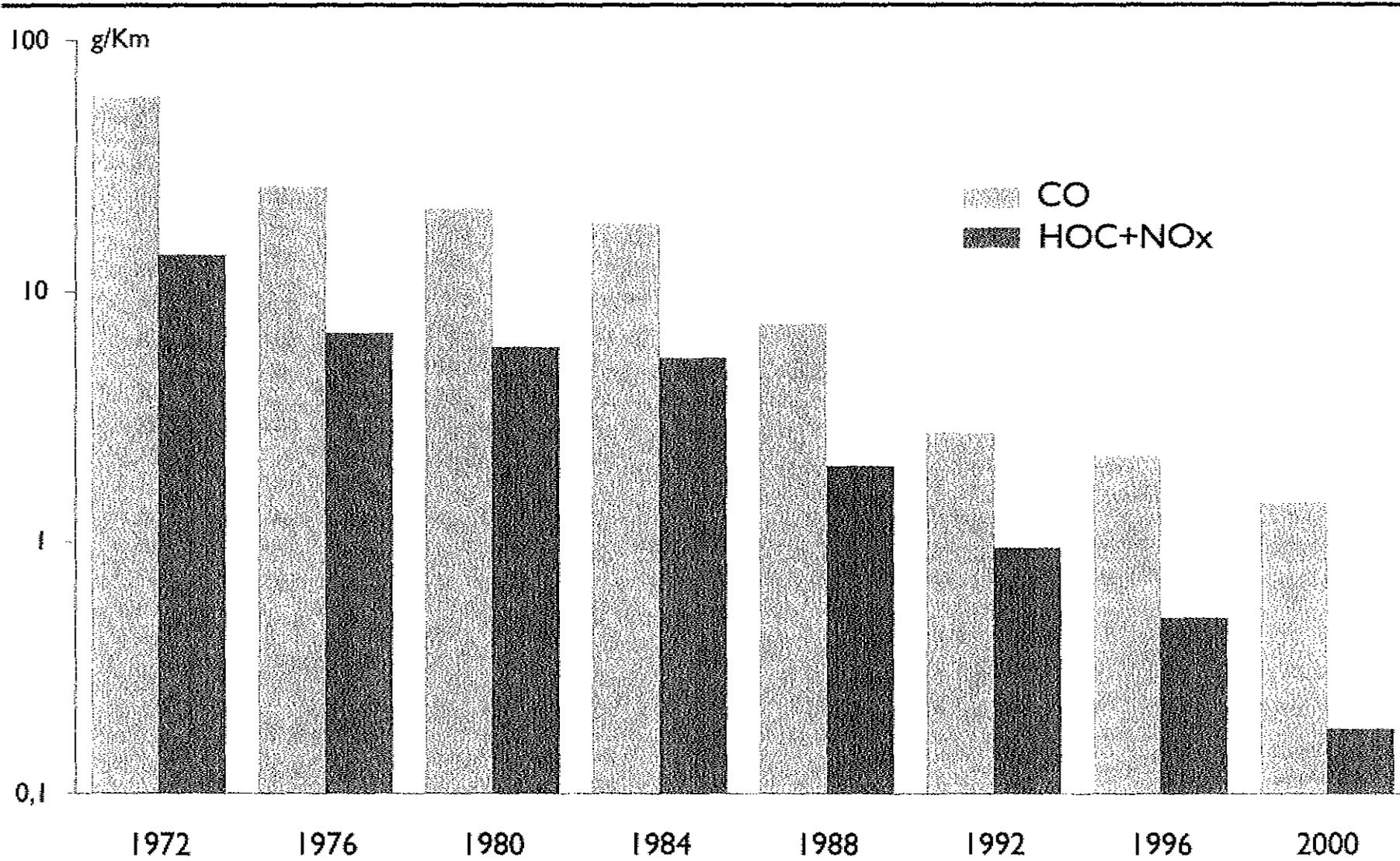
# Evolution du parc de véhicules automobiles mondial - 1995-2020



# Evolution de la consommation de carburant automobile à l'horizon 2010



# Evolution des normes européennes d'émission par les voitures particulières

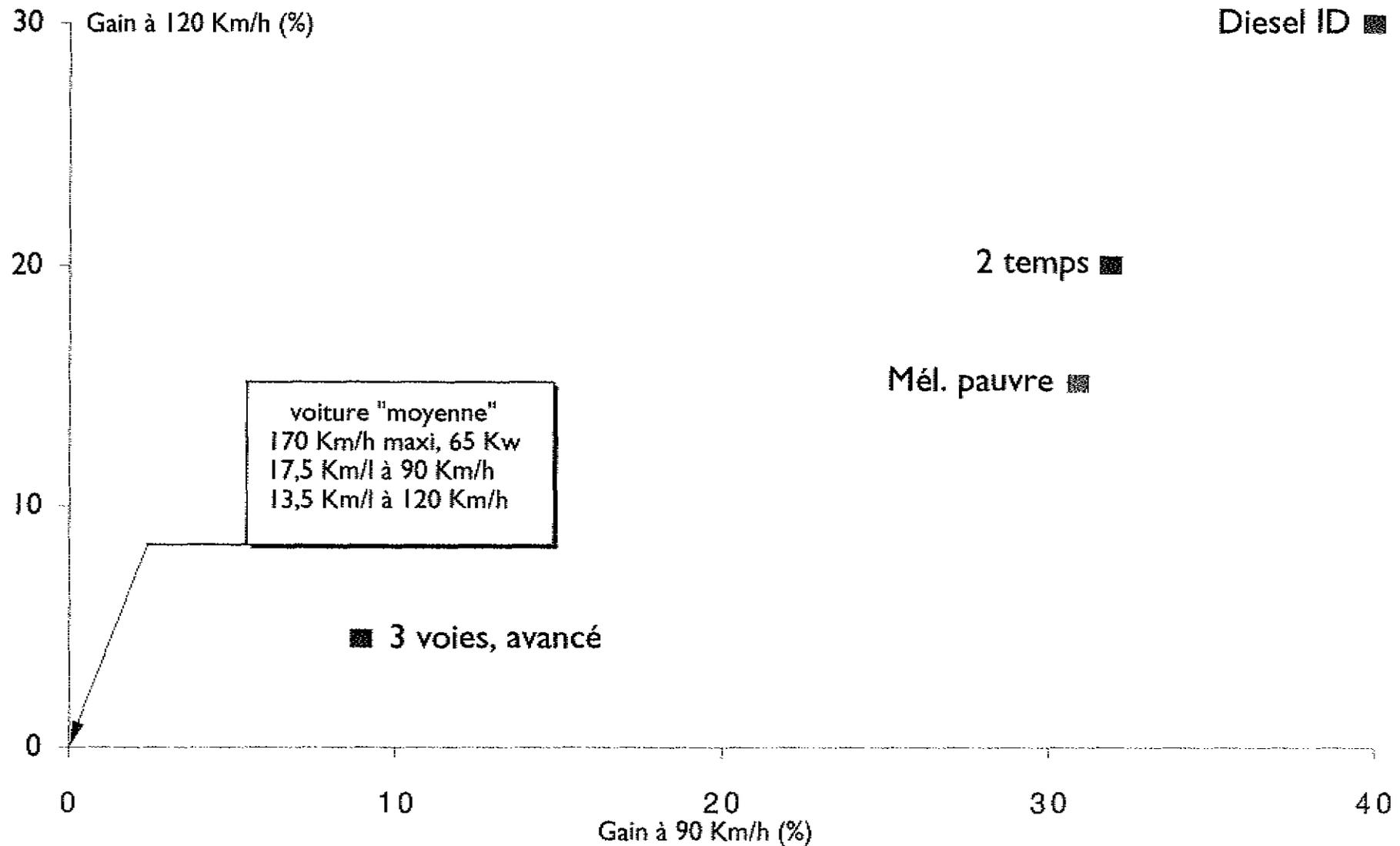


Source: IFP

© CEG-IFP, Sept. 96

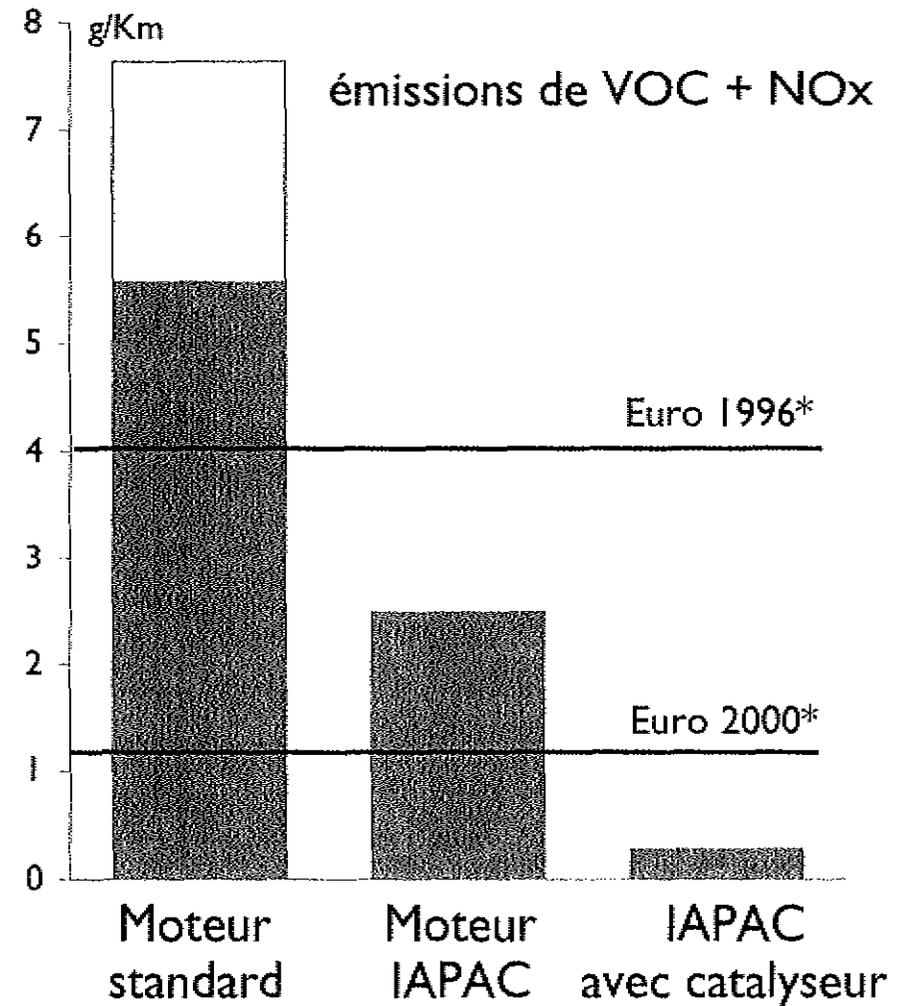
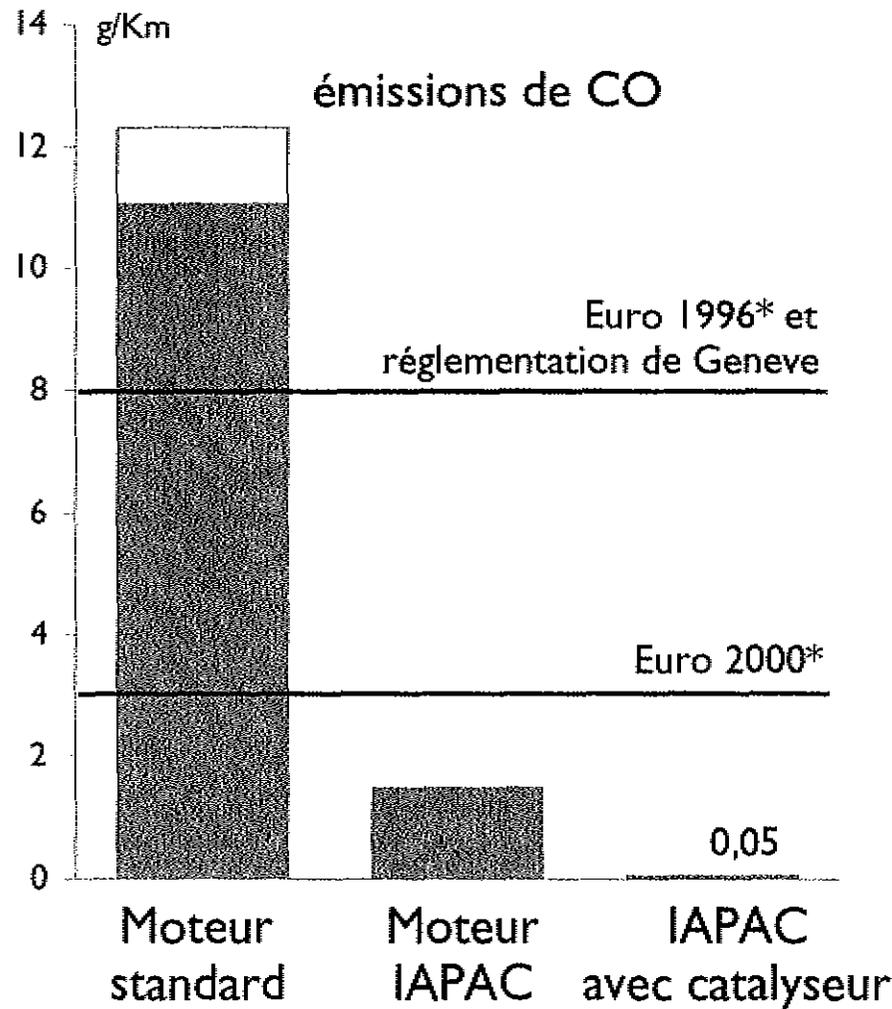
- Production de bases essence à haut indice d'octane par  
l'amélioration des procédés existants (reformage catalytique, isomérisation, production d'éthers) grâce à des catalyseurs plus performants
- Réduction de la teneur en aromatiques par  
de nouveaux catalyseurs et des techniques innovantes d'extraction
- Diminution des oléfines par  
une évolution de craquage catalytique
- Réduction des teneurs en soufre à moins de 50 ppm par  
de nouvelles conditions d'hydrodésulfuration

# Amélioration de l'efficacité énergétique des moteurs



Source: IFP

# Emissions d'un scooter PIAGGIO équipé d'un moteur IAPAC



\* Directives européennes en discussion

Source: IFP

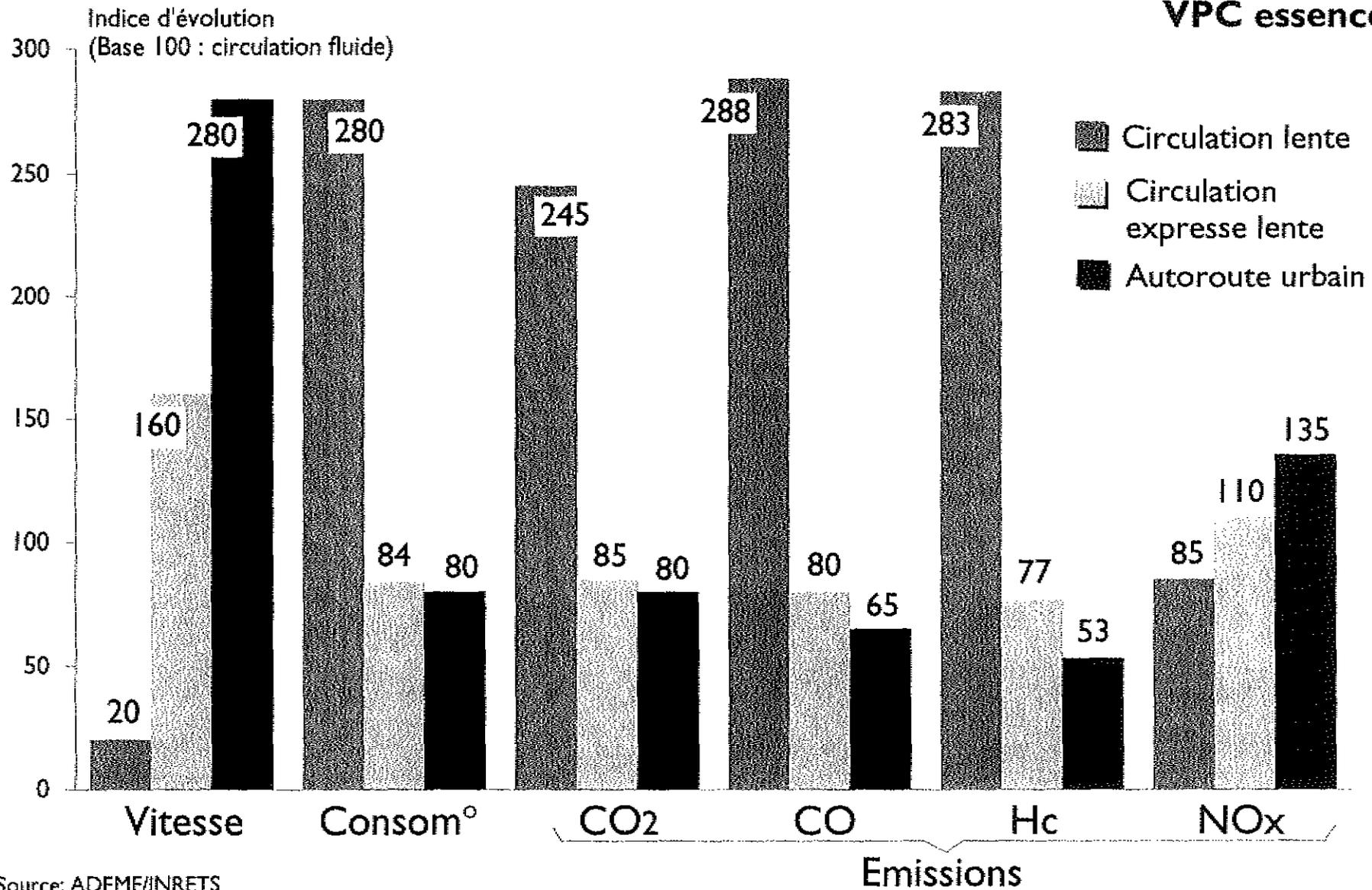
# Carburants de substitution

Fuel	Adaptation au véhicule	Economie de carburant	Emission			Confort de conduite	Emissions et autres	Force
			CO	VOC	NO			Faiblesse
LPG	+	+	-			++	-	Fiscalité attractive
CNG	-	++	--	-		+ -	-	Réserve
MeHO	+	+	-			+	Aldehyde	MTBE
EtOH	+	+	-			+	Aldehyde	ETBE
Electricité	--	+	--	-	-	++	Silence	Coût

Source: IFP

# Effet de la congestion urbaine sur les émissions de polluants atmosphériques

VPC essence



Source: ADEME/INRETS

© CEG-IFP, Sept. 96

# Evolution des externalités pour les voitures particulières

<i>Externalités liées aux aspects technologiques</i>	zone urbaine	zone non urbaine	gamme de variation en zone urbaine
Pollution de l'air	0,17	0,01	0,05 to 0,25
Bruit de la circulation	0,04	€	0,02 to 0,30
<i>Externalités liées aux mouvements des véhicules</i>			
Congestion	0,13	€	0,10 to 10
Accidents	0,12	0,27	0,07 to 0,32

Coûts et taxation (voitures et camionnettes) FF/ véhicule/Km

Source: IFP

Déjà parus

**CEG-1. D. PERRUCHET, J.-P. CUEILLE,**

Compagnies pétrolières internationales : intégration verticale et niveau de risque.

Novembre 1990.

**CEG-2. C. BARRET, P. CHOLLET,**

Canadian gas exports: modeling a market in disequilibrium.

Juin 1990.

**CEG-3. J.-P. FAVENNEC, V. PREVOT,**

Raffinage et environnement.

Janvier 1991.

**CEG-4. D. BABUSIAUX,**

Note sur le choix des investissements en présence de rationnement du capital.

Janvier 1990.

**CEG-5. J.-L. KARNIK,**

Les résultats financiers des sociétés de raffinage distribution en France 1978-89.

Mars 1991.

**CEG-6. I. CADORET, P. RENOU,**

Élasticités et substitutions énergétiques : difficultés méthodologiques.

Avril 1991.

**CEG-7. I. CADORET, J.-L. KARNIK,**

Modélisation de la demande de gaz naturel dans le secteur domestique : France, Italie, Royaume-Uni 1978-1989.

Juillet 1991.

**CEG-8. J.-M. BREUIL,**

Émissions de SO<sub>2</sub> dans l'industrie française : une approche technico-économique.

Septembre 1991.

**CEG-9. A. FAUVEAU, P. CHOLLET, F. LANTZ,**

Changements structurels dans un modèle économétrique de demande de carburant.

Octobre 1991.

**CEG-10. P. RENOU,**

Modélisation des substitutions énergétiques dans les pays de l'OCDE. Décembre 1991.

**CEG-11. E. DELAFOSSE,**

Marchés gaziers du Sud-Est asiatique : évolutions et enseignements.

Juin 1992.

**CEG-12. F. LANTZ, C. IOANNIDIS,**  
Analysis of the French gasoline market since the deregulation of prices.  
Juillet 1992.

**CEG-13. K. FAID,**  
Analysis of the American oil futures market.  
Décembre 1992.

**CEG-14. S. NACHET,**  
La réglementation internationale pour la prévention et l'indemnisation des  
pollutions maritimes par les hydrocarbures.  
Mars 1993.

**CEG-15. J.-L. KARNIK, R. BAKER, D. FERRUCHET,**  
Les compagnies pétrolières : 1973-1993, vingt ans après.  
Juillet 1993.

**CEG-16. N. ALBA-SAUNAL,**  
Environnement et élasticités de substitution dans l'industrie ; méthodes et  
interrogations pour l'avenir.  
Septembre 1993.

**CEG-17. E. DELAFOSSE,**  
Pays en développement et enjeux gaziers : prendre en compte les contraintes  
d'accès aux ressources locales.  
Octobre 1993.

**CEG-18. J.P. FAVENNEC, D. BABUSIAUX,\***  
L'industrie du raffinage dans le Golfe arabe, en Asie et en Europe : comparaison  
et interdépendance.  
Octobre 1993.

**CEG-19. S. FURLAN,**  
L'apport de la théorie économique à la définition d'externalité.  
Juin 1994.

**CEG-20. M. CADREN,**  
Analyse économétrique de l'intégration européenne des produits pétroliers : le  
marché du diesel en Allemagne et en France.  
Novembre 1994.

**CEG-21. J.L. KARNIK, J. MASSERON,\***  
L'impact du progrès technique sur l'industrie du pétrole.  
Janvier 1995.

**CEG-22. J.P. FAVENNEC, D. BABUSIAUX,**  
L'avenir de l'industrie du raffinage  
Janvier 1995.

**CEG- 23. D. BABUSIAUX, S. YAFIL,\***

Relations entre taux de rentabilité interne et taux de rendement comptable  
Mai 1995

**CEG-24. D. BABUSIAUX, J. JAYLET\*,**

Calculs de rentabilité et mode de financement des investissements, vers une  
nouvelle méthode ?  
Juin 1996

**CEG-25. J.P. CUEILLE, J. MASSERON\*,**

Coûts de production des énergies fossiles : situation actuelle et perspectives  
Juillet 1996

---

\* une version anglaise de cet article est disponible sur demande

