

Prendre le bus, c'est écologique. Mais le diesel, c'est pas super...

Les transports publics ont fait de gros efforts. Mais le moteur diesel crache encore trop de particules. Alors que la parade existe.

Les transports publics urbains méritent leur image écologique. Reste à assainir les bus diesel. Même s'ils respectent les normes légales sur les gaz d'échappement, ils produisent une quantité inquiétante de fines particules nocives pour la santé, sous forme de suies. Il en va de même avec les émissions d'oxydes d'azote. La parade existe : poser des filtres à particules, encourager trams et trolleybus, mettre en service des bus à gaz. C'est maintenant aux pouvoirs publics de relever le défi.

En matière de qualité de l'air, la nécessité d'agir est manifeste dans l'ensemble des villes européennes. C'est dans ce contexte qu'a été lancé le programme COST-CITAIR « Science et recherche pour l'amélioration de la qualité de l'air dans les villes européennes ». Ce programme vise à fournir une vue d'ensemble des mesures envisageables pour réduire la pollution atmosphérique et tend à comparer leur efficacité respective.

Dans les centres urbains, les problèmes essentiels de pollution de l'air sont liés aux oxydes d'azote (NO_x) et aux particules fines (« particulate matter » PM). Principaux responsables : les moteurs diesels qui équipent la plupart des poids lourds actuels. Dans certaines rues, là où la fréquence des autobus est élevée, ces derniers peuvent contribuer notablement à la pollution locale. Raison pour laquelle une partie du programme est consacrée aux nouvelles technologies dans les transports publics.

Cet article présente les résultats de l'étude spécifique réalisée dans ce contexte par le bureau d'ingénieurs bernois INFRAS. Celui-ci passe en revue l'état de la technique et les perspectives de développement dans les autobus urbains. Il présente également une estimation sommaire du potentiel d'amélioration de ces techniques : moins de pollution, moins de bruit, moins d'énergie.

Dans la mesure où cette contribution suisse au programme CITAIR a été réalisée pour l'essentiel dans les années 1994 et 1995, nous l'actualisons et la complétons ici en tenant compte des nouvelles priorités, en particulier l'importance accrue des particules fines en matière de santé publique.

Il faut agir

Grâce aux efforts conséquents accomplis par le passé, les transports en commun jouissent de l'image méritée d'un mode de déplacement écologique. Cela est indéniable dans le cas de l'entraînement électrique (trolleybus, tram). L'appréciation est cependant à nuancer dans le cas des autobus diesel.

Le moteur diesel est le plus répandu en raison de sa fiabilité, de sa simplicité et, pour l'entrepreneur, de sa rentabilité. Les deux problèmes cruciaux qui lui sont liés concernent ses fortes émissions d'oxydes d'azote et de particules.

De récentes études suisses (SAPALDIA et SCARPOL) ont démontré que les fines particules sont un excellent indicateur de la pollution atmosphérique et de ses effets sur la santé humaine (voir encadré : « Les suies du diesel encrassent les poumons »). De plus, sur la base d'études toxicologiques et épidémiologiques, les suies de diesel sont mentionnées (classe 2A) parmi les substances cancérigènes par l'Agence internationale pour la recherche sur le cancer, qui fait partie de l'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS).

Autre problème, les NO_x . Compte tenu des progrès substantiels réalisés dans la dépollution des voitures particulières (pots catalytiques), l'autobus diesel émet en utilisation moyenne environ 40 % de plus de NO_x par personne-kilomètre que la voiture. Bien sûr, il s'agit là d'un cas extrême. Les transports publics urbains, même à moteur diesel, conserveront encore longtemps des atouts écologiques importants par rapport aux automobilistes : moins d'énergie consommée (fig. 1), donc moins de gaz à effet de serre, moins de bruit, faible utilisation des sols...

Il faut donc réduire rapidement les émissions des autobus diesel. L'encouragement de l'usage des transports publics étant l'une des priorités dans les politiques suisses des transports, les pouvoirs publics se doivent d'agir (cf. encadré « Nécessité d'agir ») afin d'atténuer le problème des particules qui n'est pas suffisamment pris en compte par les normes en matière de gaz d'échappement.

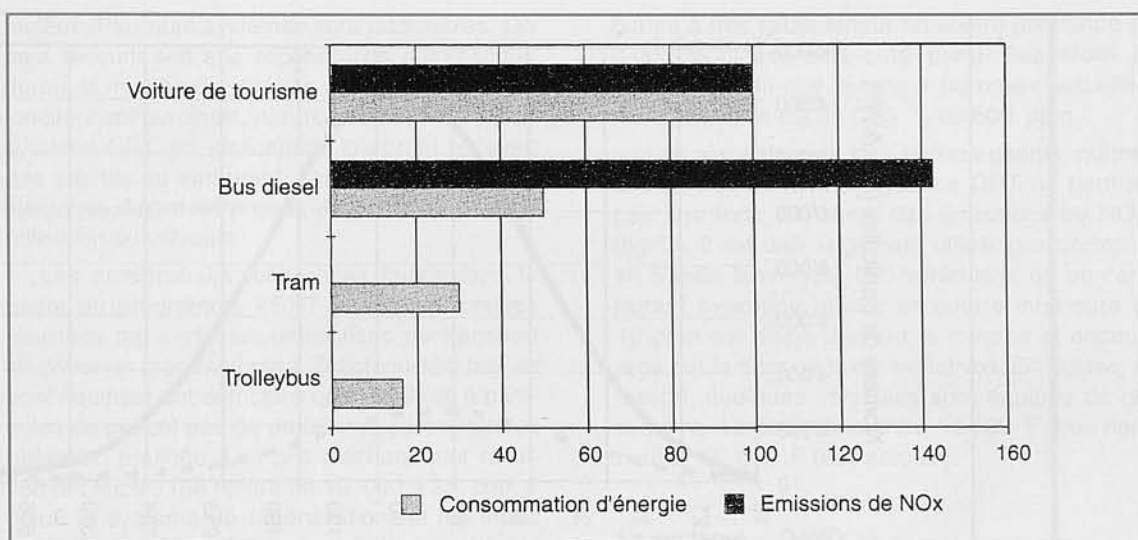


Figure 1.

Emission (NO_x) et consommation relatives (Voiture = 100 %).

Comparaison relative des émissions d'oxydes d'azote (NO_x) et de la consommation d'énergie par personne-kilomètre en phase d'utilisation pour différents modes de transports en Suisse en 1993. (Source : rapport SET 1/97).

Améliorer les moteurs diesel

Le développement technique des nouveaux moteurs est largement dicté par les prescriptions sur les gaz d'échappement (cf. tableau 1). Celles-ci ont été progressivement renforcées au cours des dernières années : norme « OEV 2 » spécifiquement suisse en 1987, puis adoption des normes européennes « EURO 1 » en 1993 et « EURO 2 » depuis 1996. Un nouveau renforcement « EURO 3 » est en préparation et devrait entrer en vigueur à partir de l'an 2000. Une étape ultérieure « EURO 4 » est envisagée à l'horizon 2005 (proposition de la Commission européenne jusqu'à fin 1999).

Les valeurs limites « EURO 2 », actuellement en vigueur, ont été atteintes par des mesures internes au moteur (systèmes d'injection à haute pression, gestion électronique du moteur,

mélange air-carburant plus homogène par exemple). Si ces techniques ont apporté de réelles améliorations en matière d'émission de polluants gazeux des nouveaux véhicules, le progrès est un peu moins évident dans le cas des particules. En effet, celles-ci étant mesurées de manière gravimétrique, ce sont les plus grosses d'entre elles qui déterminent le résultat de la mesure. Or, les techniques utilisées par les constructeurs pour respecter « EURO 2 » ont certes réduit la quantité de grosses particules émises (d'où une émission massique nettement plus faible) alors que le nombre des très fines particules a, quant à lui, tendance à augmenter (fig. 2).

Il faut s'attendre à ce que les futures valeurs limites « EURO 3 » pourront être satisfaites également par le biais de mesures internes au moteur encore plus perfectionnées, conjointe-

Tableau 1.

Evolution des prescriptions sur les gaz d'échappement applicables aux poids lourds.

Norme/directive	Date en mise	Cycle de mesure	CO	HC	NO _x	Part.
OE2	1.10.87 1.10.91	CEE R49 CEE R49	8,4 4,9	2,10 1,23	14,4 9,0	— 0,70
91/542/CEE EURO 1 EURO 2	1.07.92/1.10.93 1.10.95/1.10.96	CEE R49 CEE R49	4,9 4,0	1,23 1,10	9,0 7,0	0,40 0,15
Proposition EURO 3	dès 2000	OICA FIGE	2,1 5,45	0,66 0,85	5,0 5,0	0,10 0,16

Cycles :

- CEE R49 : cycle stationnaire à 13 modes élaboré dans le cadre de la CEE/ONU.
- OICA : nouveau stationnaire européen développé par l'Organisation internationale des constructeurs automobiles (OICA).
- FIGE : nouveau cycle instationnaire européen élaboré par le bureau d'ingénieurs FIGE.

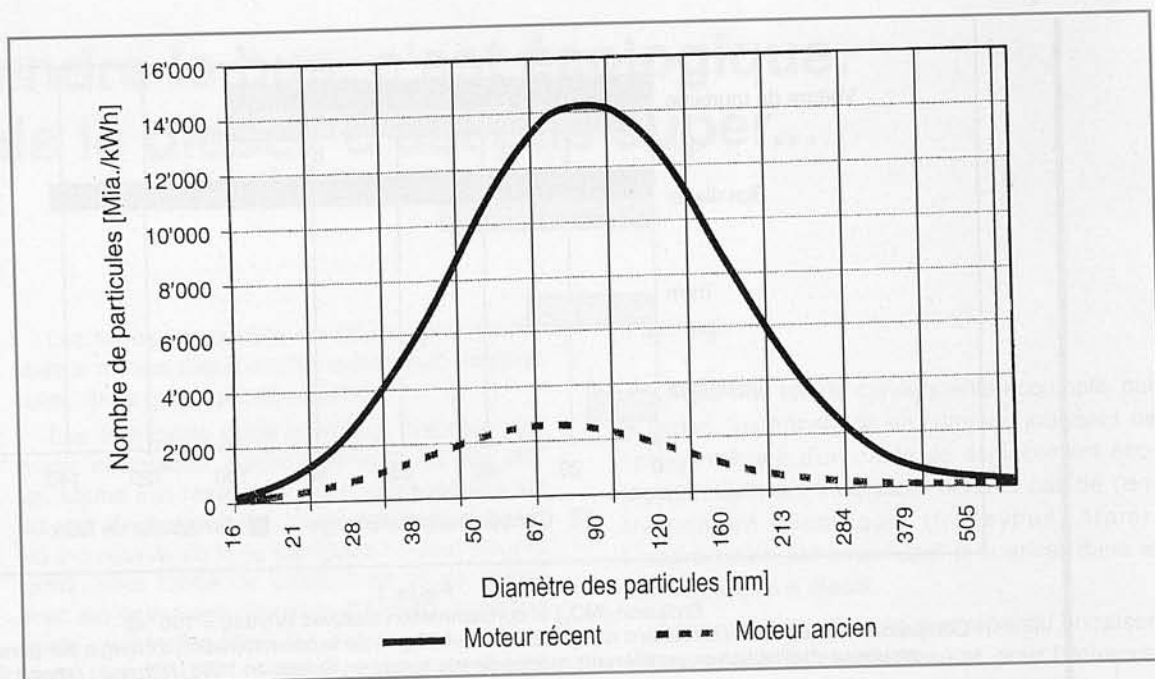


Figure 2.

Exemple de l'augmentation du nombre de particules ultrafines. Moteur récent et sa version antérieure de dix ans à pleine charge, en régime stationnaire. Le graphique indique le nombre de particules (exprimé en milliards de particules par kWh) en fonction de leur diamètre exprimé en nanomètres. (Source : Vert).

ment à une amélioration de la qualité du carburant (teneur en soufre fortement abaissée, taux de cétane plus élevé, densité réduite).

Pour aller au-delà de ces exigences minimales et en vue de protéger la santé de la population au moyen de véhicules véritablement peu polluants, on peut envisager différentes solutions techniques de traitement des gaz d'échappement.

Catalyseur d'oxydation

Les catalyseurs d'oxydation réduisent avant tout les émissions d'hydrocarbures (HC) et de monoxyde de carbone (CO) dans une proportion de l'ordre de 50 % et plus. Ces deux polluants ne sont toutefois pas critiques dans le cas des moteurs diesel. Le recours au catalyseur d'oxydation implique l'utilisation de carburant pauvre en soufre. Sinon il en résultera la formation de sulfates ce qui engendrera une quantité de particules supplémentaire.

L'avantage principale du catalyseur d'oxydation réside dans sa capacité à réduire les fortes émissions d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) — un atout en matière de santé — et les gênes olfactives (odeurs) caractéristiques de ce type de moteur. Ils n'ont par contre aucune incidence positive sur les émissions problématiques de particules et de NO_x . Au contraire, ils accélèrent même l'oxydation du monoxyde d'azo-

te (NO) en dioxyde d'azote (NO_2), gaz encore plus nocif, ce qui tend à augmenter les concentrations de NO_2 aux abords immédiats des routes. A lui seul, le catalyseur d'oxydation n'apporte donc pas d'améliorations substantielles en matière de qualité de l'air.

Filtre à particules

Si la future législation européenne (EURO3) ne semble pas vouloir rendre rapidement « obligatoire » le filtre à particules, celui-ci demeure pourtant nécessaire sous l'angle de l'hygiène de l'air. En effet, la réduction de la masse totale des particules émises est insuffisante si elle ne s'accompagne pas d'un abaissement simultané du nombre des particules fines et ultrafines.

Le filtre à particules constitue en fait la mesure immédiate la plus efficace et la moins onéreuse pour réduire massivement ce type d'émission. Il permet de réduire de 90 % la masse totale des particules émises par le moteur. Il est encore plus efficace dans la rétention — à raison de 99 % — du nombre des très fines particules d'un diamètre entre 10 et 500 nanomètres. Par ailleurs, selon des mesures effectuées dans le cadre du programme VERT (cf. encadré « Le programme VERT »), le filtre à particules réduit également la teneur en HAP des gaz d'échappement.

Le filtre à particules nécessite une régénération afin de brûler les suies qui s'y sont accu-

mulées. Plusieurs systèmes sont disponibles. On peut recourir soit à la régénération automatique durant la marche du véhicule à l'aide d'un brûleur fonctionnant au diesel, par oxydation à l'aide d'un système CRT (*cf. description ci-après*) ou avec des additifs au carburant, soit à la régénération électrique durant les phases de ralenti ou de non-utilisation du véhicule.

Les nombreuses recherches faites dans le cadre du programme VERT et les expériences réalisées par certaines entreprises de transport en commun (par exemple à Zurich où 150 bus en sont équipés) ont démontré que les filtres à particules ne posent pas de problèmes particuliers en utilisation pratique. Les prix d'achats sont relativement faibles (de l'ordre de 10 000 à 25 000 F selon le système de régénération) et les filtres sont disponibles sur le marché. Ils constituent donc un « must » et devraient équiper la totalité des autobus diesel urbains.

Les filtres à particules impliquent toutefois une consommation, accrue d'énergie (de 2 à 4 %). Ils restent aussi inefficaces en regard des émissions d'oxydes d'azote.

Le système CRT : une variante du filtre à particules

Une variante particulièrement intéressante réside dans le système CRT (Continuously Regenerating Trap). Il allie les effets du filtre à particules et ceux du catalyseur d'oxydation. Le dioxyde d'azote (NO_2 formé dans le catalyseur permet la combustion continue des suies dans un domaine de températures entre 200 et 450 °C. Ce système exige, toutefois, l'utilisation d'un car-

burant à très faible teneur en soufre (inférieure à 0,001 % masse, soit < 10 ppm). Rappelons à titre comparatif que la teneur maximale actuellement autorisée est de 0,05 % ou 500 ppm.

Les résultats sont très encourageants, même si bien évidemment le système CRT ne permet pas une forte réduction des émissions de NO_x (fig. 3). Il est déjà largement utilisé, par exemple en Suède (environ 2 000 véhicules), où un carburant avec une teneur en soufre inférieure à 10 ppm est disponible sur le marché et encouragé par le biais de taxes incitatives. En Suisse, à Liestal, quelques véhicules sont équipés de ce système. Le coût varie entre 10 000 F (bus normal) et 15 000 F (bus articulé).

Le système « Dé NO_x »

Les oxydes d'azote (NO_x) constituent le deuxième problème majeur des moteurs diesel actuels. Leur réduction (procédé « Dé NO_x ») est courante pour les gros moteurs diesel stationnaires. L'application aux moteurs de véhicules, qui se caractérisent par un fonctionnement fortement dynamique, est maintenant fort avancée et des premiers essais en grandeur nature sont actuellement en cours en Allemagne sur des camions. Une recherche intensive est menée pour améliorer l'activité du catalyseur aux basses températures de gaz d'échappement typiques des autobus urbains.

La réduction des NO_x dans le système d'échappement s'obtient par injection d'urée ou d'ammoniaque. Le dosage doit être continuellement adapté à l'émission momentanée de NO_x . Celle-ci est estimée indirectement à partir du

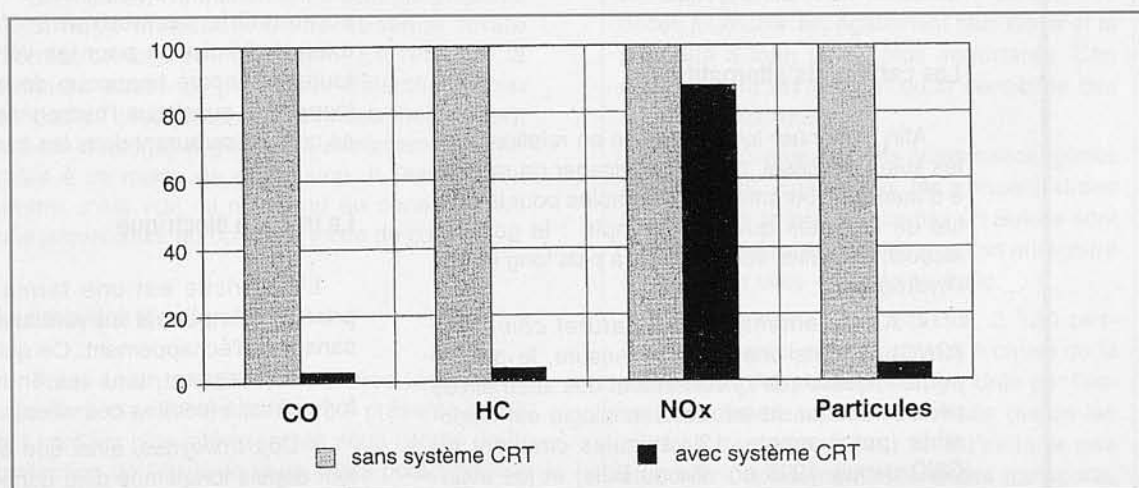


Figure 3.
CRT : taux de conversion des émissions en %.
Taux de réduction du système CRT (catalyseur d'oxydation et filtre à particules combinés) en comparaison avec un bus conventionnel (EURO 2) en utilisant un carburant avec une teneur en soufre de 10 ppm.
(Source : Daimler Benz).

régime et de la charge actuels du moteur. Les taux de réduction atteignent environ 75 %.

Le grand avantage de cette technique : elle permet de réduire simultanément les émissions de NO_x et la consommation d'énergie, ce qui est normalement très difficile. Il est ainsi possible d'optimiser les paramètres moteur pour une faible consommation tout en réduisant les plus fortes émissions de NO_x qui en résultent à un faible niveau final grâce au traitement catalytique à l'échappement. Les gains en matière de consommation (jusqu'à 10 %) devraient permettre de rentabiliser assez rapidement les surcoûts du système « Dé NO_x ».

Carburant diesel amélioré

Plusieurs compagnies de transports publics utilisent déjà un carburant diesel à faible teneur en soufre. Celui-ci permet de réduire proportionnellement les émissions de dioxyde de soufre (SO_2) et abaisse ainsi jusqu'à 10 % la masse totale de particules (sans réduire toutefois la partie carbonée). En outre, il permet l'application de systèmes Dé NO_x et l'utilisation du système CRT pour autant que la teneur en soufre soit inférieure à 10 ppm.

Certains carburants offerts sur le marché contiennent également moins de composés aromatiques, d'où une réduction substantielle (jusqu'à 90 %) des HAP et une légère amélioration des NO_x (jusqu'à 10 %) à l'échappement.

L'avantage environnemental est certes faible mais, par contre, immédiat pour toute la flotte des véhicules en service (pas de délais liés au renouvellement du parc). Toutefois, les surcoûts d'un tel carburant (4 à 5 centimes par litre) ne sont pas négligeables, surtout si l'on considère la durée de vie totale d'un bus.

Les carburants alternatifs

Afin d'atténuer les problèmes en relation avec les suies de diesel, on peut envisager de recourir à d'autres carburants plus favorables pour la qualité de l'air, tels que par exemple : le gaz, les alcools, les huiles végétales et, à plus long terme, l'hydrogène.

- Actuellement, le *gaz naturel comprimé* (GNC) et, dans une moindre mesure, le *gaz de pétrole liquéfié* (GPL) constituent des alternatives séduisantes au diesel. La technologie est disponible (par exemple, 12 véhicules circulent au GNC depuis 1995 en ville de Bâle) et les avantages en matière d'émissions polluantes sont indéniables. Un moteur à gaz moderne (avec pot catalytique régulé) présente en effet des émissions de NO_x qui sont d'ores et déjà largement en dessous des futures normes EURO 3. La masse

des particules émises est nettement plus basse que celle du moteur diesel conventionnel. Par ailleurs, le gaz ne contient pas de soufre (donc pas d'émission de dioxyde de soufre). Le moteur à gaz est aussi nettement moins bruyant et occasionne moins de gênes olfactives que la version diesel. Ce sont là des avantages indéniables, en particulier pour les bus des transports en commun. De manière générale, on constate que le GNC est un peu plus favorable que le GPL en regard des émissions d'hydrocarbures non méthaniques (NMHC) et de monoxyde de carbone (CO). Inconvénients de ce carburant : la surconsommation et le prix relativement élevé du gaz naturel, les surcoûts lors de l'achat du véhicule (60 000 à 80 000 F par bus) et au coût considérable du système de ravitaillement (0,5 à 1 MF). Pour rentabiliser l'investissement d'une installation de distribution du gaz, il serait donc judicieux qu'un nombre maximum de véhicules captifs (voirie, véhicules de service, etc.) recourent à un tel carburant.

- Parmi les carburants produits à partir des *huiles végétales*, la forme la plus discutée aujourd'hui est l'huile de colza (ester méthylique). Ce carburant n'apporte toutefois que peu d'avantages sous l'angle de la pollution atmosphérique ; en ce qui concerne l'effet de serre, l'avantage des plus faibles émissions de CO_2 est contrebalancé par de plus fortes émanations de N_2O lors de la production du colza.

- Dans les conditions européennes, le méthanol est le seul *alcool* envisageable. Les avantages en matière d'émissions polluantes sont faibles. La plupart des expériences de mises en circulation en Suisse avec ce type de carburant ont été abandonnées.

- L'*hydrogène* est considéré comme le carburant de l'avenir. Son utilisation dans une pile à combustible permettrait un fonctionnement exempt d'émission pour les véhicules. Il faudra toutefois encore beaucoup de travaux de développement avant que l'hydrogène ne se généralise comme carburant dans les transports.

La traction électrique

L'électricité est une forme d'énergie très prisée ; elle permet au véhicule de se mouvoir sans gaz d'échappement. Ce qui est particulièrement intéressant dans les endroits critiques à forte densité (centres des villes).

- Des *trolleybus*, ainsi que des trams, circulent depuis longtemps déjà dans de nombreuses villes suisses ainsi que dans quelques villes européennes. Les désavantages du système sont d'une part les coûts élevés (investissement pour l'alimentation électrique et le prix d'achat des véhicules) et, d'autre part, le peu de flexibilité

dans l'exploitation en raison de la liaison rigide au tracé.

- Dans le cas de l'alimentation par *batteries*, ce sont ces dernières qui créent des problèmes. Les caractéristiques de puissance des batteries actuellement commercialisées sont faibles ; parallèlement, les coûts sont élevés. Des batteries plus performantes et moins chères ne sont pas encore pour demain.

- Avec le véhicule *hybride* électrique/thermique, on tente d'allier les avantages du moteur diesel (simplicité) à ceux inhérents à l'entraînement électrique (moindre pollution). Il existe nombre de possibilités de réalisation technique.

L'une des plus intéressantes est la version *bimode* (entraînement hybride parallèle) : le véhicule est propulsé soit par le moteur diesel, soit par le moteur électrique alimenté par caténaire (correspond à l'état actuel de la technique). Cela permet le fonctionnement sans gaz d'échappement sur les tronçons équipés de la caténaire tout en présentant une plus grande flexibilité dans l'exploitation. A Fribourg, 12 bus bimode articulés sont en service depuis 1989.

Une autre variante non moins intéressante mais plus futuriste est l'entraînement *hybride en série* : le moteur électrique est alimenté continuellement en électricité via un générateur entraîné par un moteur thermique diesel. Dans un tel système, le moteur diesel et les roues motrices ne sont pas reliés mécaniquement. Il est ainsi possible de faire fonctionner le moteur thermique dans une plage optimale et d'obtenir certains avantages constructifs pour la réalisation d'un autobus à plancher bas. L'hybride en série ne permet cependant pas un fonctionnement exempt d'émission. Son développement est proche de la production en série.

En résumé, l'entraînement électrique présente l'avantage manifeste d'une absence totale d'émission lors de l'utilisation. En retenant la structure suisse de production d'électricité (peu ou pas de production par centrales thermiques), le bilan écologique global est extrêmement favorable à ce mode de propulsion. Il l'est un peu moins, c'est vrai, si on prend en considération une provenance européenne mixte du courant.

Les moyens d'action

Toute une panoplie de mesures techniques sont donc disponibles. La figure 4 présente celles qui sont les plus intéressantes sous l'angle de la protection de l'air avec leurs effets potentiels sur les émissions de NO_x et de particules.

La partie gauche montre l'effet du renforcement des prescriptions sur les gaz d'échappement, via des mesures techniques internes au moteur. Cela a certes permis et permettra encore

Danger : les suies de diesel encrassent les poumons

Les gaz d'échappement des moteurs diesel contiennent une grande quantité de fines particules. Elles se composent des suies (résultant de la combustion incomplète du diesel), des sulfates ainsi que des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et des métaux adsorbés sur les noyaux carbonés.

Plus les particules sont fines, plus elles vont pénétrer profondément dans les voies respiratoires. En effet, le nez a une action filtrante très peu efficace pour celles d'un diamètre inférieur à 10 micromètres (PM10). Elles peuvent s'infiltrer dans les bronches, les bronchioles et les alvéoles pulmonaires. Plus de 80 % des très fines particules se déposent dans les alvéoles d'où elles ne seront éliminées que très lentement. C'est durant ce temps de résidence prolongé qu'elles constituent un danger pour la santé, en particulier leur noyau carboné et les HAP qui y sont adsorbés.

Lors d'importantes immissions de PM10, on constate un recrudescence des dyspnées, des toux chroniques, des expectorations et des infections des voies respiratoires ainsi que des problèmes et des maladies affectant les voies respiratoires. On observe en outre une aggravation des maladies dont certains patients sont déjà atteints : les fonctions pulmonaires sont perturbées et les consultations en urgence ainsi que les admissions en hôpital dues à des affections des voies respiratoires augmentent sensiblement. Le taux de décès journalier est également plus élevé et la mortalité à long terme plus importante. Ces effets varient en fonction de la sensibilité des différents individus !

En ce qui concerne les suies cancérigènes (OMS, IARC classe 2A), les concentrations enregistrées le long des routes en Suisse sont 10 fois supérieures à celles que l'on enregistre à l'écart des sites exposés au trafic.

Chaque année, en Suisse, 2 100 personnes meurent prématurément à cause de la pollution de l'air excessive engendrée par l'ensemble des transports motorisés (selon les chiffres de 1993). C'est ce qu'indique une étude du Département fédéral des transports, des communications et de l'énergie, intitulée « Monétarisation des coûts externes de la santé imputables aux transports ».

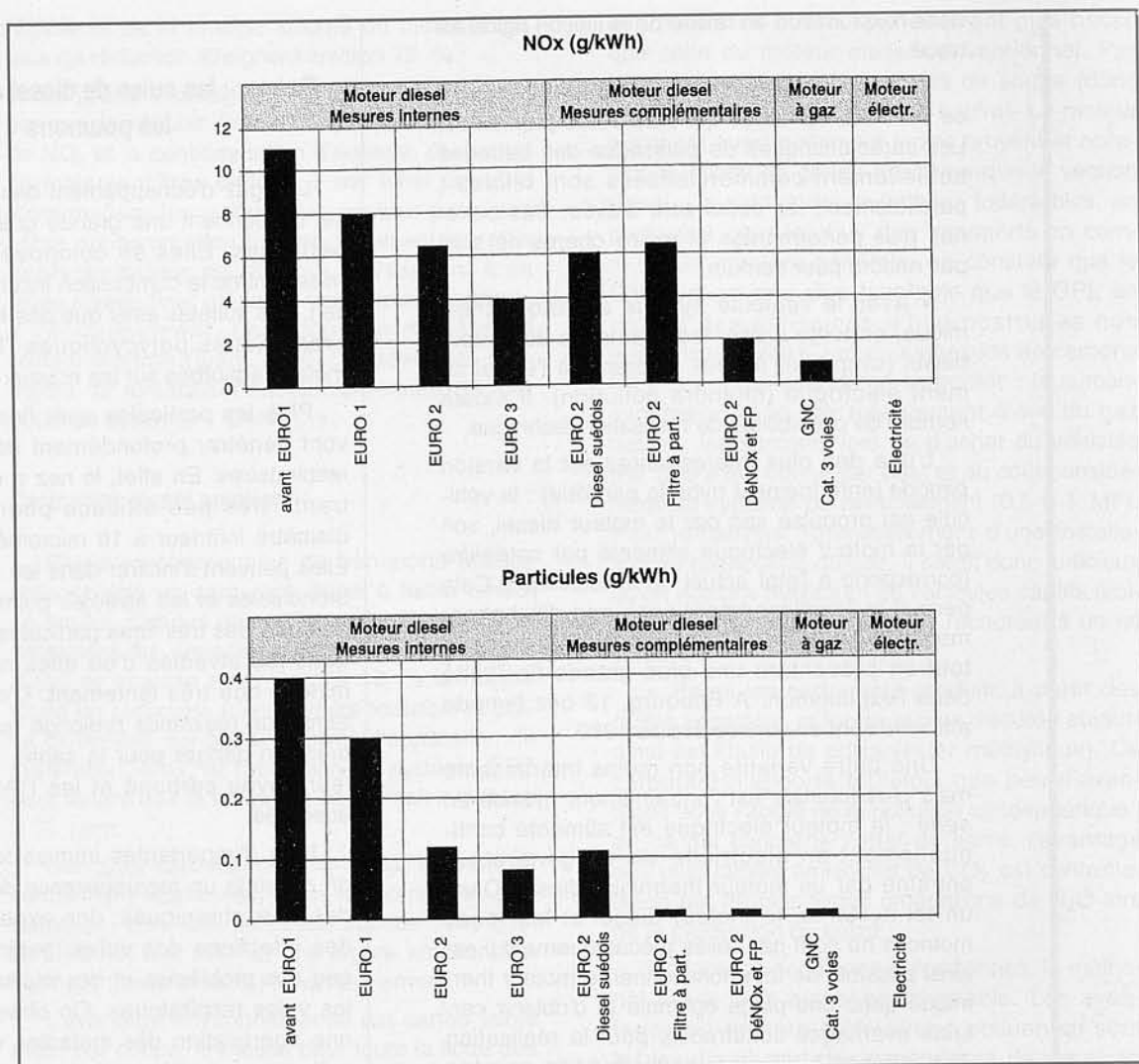


Figure 4.

Réductions estimées des émissions.

Réductions estimées des émissions d'oxydes d'azote (en haut) et de la masse totale des particules (en bas) dans le cycle de mesure stationnaire à 13 modes pour diverses techniques de dépollution d'un moteur diesel et pour un entraînement au gaz naturel comprimé (GNC) ou électrique (phase d'exploitation uniquement, valeurs en g/kWh).

d'atténuer les émissions de particules et de NO_x. Mais cela ne suffira pas. La problématique aiguë des particules demande des mesures allant au delà des simples exigences réglementaires.

La partie centrale de la figure 4 illustre le potentiel d'amélioration d'un moteur diesel actuel (EURO 2 à titre d'exemple) par des mesures externes au moteur :

- L'utilisation d'un carburant diesel amélioré (ici un diesel suédois de la classe 1) apporte une réduction des émissions certes modeste, mais immédiatement perceptible pour l'ensemble de la flotte des autobus en circulation. En outre, il ouvre la voie à l'utilisation de filtres à particules de type CRT.
- Le filtre à particules permet de réduire de 90 % (non représenté dans le graphique) le nombre des particules ultrafines. Il constitue donc la

mesure la plus efficace et la moins onéreuse pour résoudre rapidement le problème lié aux fines particules des véhicules diesel actuellement en circulation ou lors de nouvelles acquisitions.

- Le système « DéNO_x » est le complément idéal au filtre à particules puisqu'il permet de réduire fortement les émissions de NO_x. Technologie encore récente, elle devrait s'appliquer surtout aux nouveaux moteurs. A l'avenir, un moteur diesel devrait être impérativement équipé de ces deux systèmes pour mériter le qualificatif « peu polluant ».

La partie droite de la figure 4 présente deux alternatives encore plus séduisantes au moteur diesel :

- Le moteur au gaz naturel équipé d'un pot catalytique à trois voies présente des émissions de particules et de NO_x nettement inférieures à celle

Nécessité d'agir

A proximité des routes, où circulent un grand nombre de véhicules à moteur diesel, des concentrations élevées de particules fines sont enregistrées. Ces concentrations (moyennes annuelles) peuvent atteindre le double de la valeur limite d'immission de PM10 récemment introduite dans l'Ordonnance sur la protection de l'air (OPair). C'est particulièrement le cas dans les rues encaissées des villes où la desserte par les bus diesel est fréquente avec des démarrages rapprochés et des émissions spécifiques par véhicule plus élevées que dans le cas d'une circulation fluide.

Compte tenu des effets nocifs de cette pollution et du nombre considérable de personnes exposées, que ce soit en marchant sur les trottoirs ou en résidant dans les maisons voisines, la lutte contre de telles émissions est urgente.

L'usage de filtres à particules, par exemple, est un moyen très efficace pour réduire à plus de 90 % aussi bien la quantité que le nombre des particules fines et des suies. L'intérêt de la santé publique justifie que les compagnies de transports fassent un effort pour équiper leurs véhicules avec ces systèmes de dépollution.

Cet effort est d'ailleurs exigé par la Loi fédérale sur la protection de l'environnement qui prévoit que les émissions doivent être limitées, à titre préventif, dans la mesure que permettent l'état de la technique et les conditions d'exploitation et pour autant que cela soit économiquement supportable. En outre, les émissions seront limitées plus sévèrement s'il appert ou s'il y a lieu de présumer que les atteintes, eu égard à la charge actuelle de l'environnement seront nuisibles ou incommodes (LPE, art. 11). C'est manifestement le cas pour les fines particules respirables. En ce qui concerne les suies de diesel cancérigènes, le besoin d'agir est évident.

du moteur diesel. La technique est d'ores et déjà disponible avec des émissions largement en dessous des futures normes EURO 3. Cette alternative devrait donc être sérieusement envisagée lors de l'acquisition de nouveaux véhicules ou moteurs.

- L'entraînement électrique (tram, trolleybus) reste bien entendu le mode de propulsion le plus

écologique puisque exempt d'émissions en phase d'utilisation. Il s'agit donc de maintenir et même d'étendre autant que possible les réseaux existants.

Compte tenu des problèmes de santé publique liés aux moteurs diesel, les entreprises de transports se doivent donc d'agir afin d'améliorer les bus actuellement en circulation. Les mesures techniques existent (cf. encadré « Les priorités »). Certes, ces solutions sont relativement onéreuses et parfois difficiles à faire accepter, en particulier en période de restrictions budgétaires. Gageons toutefois que les pouvoirs publics se montreront à la hauteur de l'enjeu : rendre nos villes plus respirables.

Pour en savoir davantage

- OFEFP, Möglichkeiten des technischen Umweltschutzes beim öffentlichen Strassenverkehr (avec résumé français), Document environnement n° 79, Berne 1997.
- OFEFP, Particules en suspension : mesures et évaluation des effets sur la santé, Cahier de l'environnement n° 270, Berne 1996.
- VERT, Vergleich der Motoren Liebherr (86) und Liebherr II (96) mit Partikelfilter, Kraftstoffadditiven und eingehender Analyse der Partikel-emissionen, Laboratoire d'analyse des gaz d'échappement, Ecole d'ingénieurs de Bienne, 1997 (commande auprès de TTM, 5443 Niederrohrdorf).
- VERT, Diesel Nano-Particulate Emissions : Properties and Reduction Strategies, MAYER A., CZERVINSKI J., MATTER U., WYSER M., SCHEIDEGGER, KIESER D., WEIDHOFER J., 1997 (commande auprès de TTM, 5443 Niederrohrdorf).
- SET, Umweltindikatoren im Verkehr, Kennziffern für einen ökologischen Vergleich der Verkehrsmittel (avec résumé français). Rapport SET 1/97, Berne 1997.
- SET, Monétarisation des coûts externes de la santé imputables aux transports, mandat SET n° 272, Berne 1996.

Informations fournies par

Richard BALLAMAN, section Etudes de base, Roger EVÉQUOZ, section Trafic, division Protection de l'Air, et Mario KELLER, INFRAS, Berne.

Le programme VERT

VERT (prononcez « verte ») est l'abréviation allemande d'un projet de recherches visant à réduire les émissions des machines de chantier dans des conditions particulièrement exigeantes (exemple : construction des futures transversales alpines). En effet, il est apparu que l'apport d'air frais dans le tunnel lors des travaux de construction est largement insuffisant pour assurer la protection des travailleurs (respect des valeurs limites MAK pour les suies de diesel sur les places de travail). Il faut donc réduire les émissions des machines de chantier à la source. Ce projet est financé principalement par les caisses nationales d'assurance de Suisse, d'Autriche et d'Allemagne avec la participation de l'OFEFP et de divers partenaires industriels européens.

Le programme VERT, ce sont des mesures en laboratoire qui ont porté sur 5 moteurs, 23 filtres à particules (7 méthodes de régénération), 4 carburants. C'est aussi un essai en grandeur nature de quelques 18 000 heures de fonctionnement sur 9 machines différentes équipées de 7 types de filtre à particules différents et 7 méthodes de régénération. C'est encore l'utilisation et le développement de techniques sophistiquées de mesure des particules (masse, taille, composition chimique, etc.). C'est également la mise au point d'une procédure de validation des filtres à particules qui permettent de s'assurer de l'efficacité effective des filtres.

Voici quelques unes des conclusions du programme VERT :

- l'amélioration des carburants n'apporte que peu d'avantages en matière d'émission des moteurs diesel ;
- les effets positifs des catalyseurs d'oxydation sont largement contrebalancés par les désavantages qu'ils occasionnent (excès de NO₂ lors de travaux en tunnel) ;
- les mesures internes au moteur ne permettent pas de résoudre la problématique des particules ultrafines ; au contraire, elles augmentent le nombre ;
- les filtres actuels réduisent la masse des particules émises de 90 % et leur nombre dans une proportion de 99 % ; ils ne posent pas de problème en utilisation réelle ;
- la régénération correcte du filtre est assurée en recourant à un brûleur ou à un système électrique ; les additifs au carburant (fer ou cérium) ont prouvé leur efficacité ;
- les coûts totaux du filtre à particules (achat, entretien, surconsommation) pour un moteur diesel de 100 kW fonctionnant 6 000 heures est de l'ordre de 20 000 F ;
- des critères d'efficacité des filtres à particules ont été fixés et un test de conformité est en préparation. Une liste des différents systèmes approuvés et des fournisseurs correspondant sera établie par l'OFEFP.

Les priorités

Améliorer les bus diesel actuels

- Utiliser un carburant diesel amélioré.
- Equiper la flotte existante avec des filtres à particules permet de réduire de 90 à 99 % les émissions de suies de diesel.

Lors du renouvellement de la flotte d'autobus

- Favoriser l'acquisition de bus fonctionnant au gaz avec un pot catalytique à trois voies.
- Acquérir des bus diesel respectant les futures normes sur les gaz d'échappement (EURO 3) ; les équiper d'un filtre à particules et — dès qu'il sera disponible — d'un système « DéNO_x ».

Favoriser les véhicules électriques

- Maintenir et même étendre autant que possible les réseaux de trams et de trolleybus existants.
- Acquérir des véhicules électriques ou des bus bimode utilisant autant que possible le moteur électrique.

(Environnement 1/98, Office fédéral de l'Environnement, des forêts et du Paysage (OFEFP))