

48^e CONGRES INTERNATIONAL
BUDAPEST 1989

RAPPORT 4

COMMISSION INTERNATIONALE POUR L'ETUDE DES AUTOBUS

a) Possibilités de réduction des rejets de substances nocives
par les moteurs Diesel

PAR

Hilmar FEUTLINSKE et Benno Bolleman KIJLSTRA

b) L'entretien des autobus — L'entretien dans les ateliers
de l'entreprise ou par des entreprises extérieures ?

PAR

Jean-Michel BARNIER, Georges CANAL, Rafael FLOR LECHAGO et Freddy VAN DE WEGHE

2684

UITP
UNION INTERNATIONALE DES TRANSPORTS PUBLICS
AVENUE DE L'URUGUAY 19
B-1050 BRUXELLES

RAPPORT 4
COMMISSION INTERNATIONALE POUR L'ETUDE DES AUTOBUS

TABLE DES MATIERES

	Page
a) Possibilités de réduction des rejets de substances nocives par les moteurs Diesel	
<i>Première partie : Fondements et possibilités d'amélioration grâce aux mesures prises sur les moteurs et aux qualités des carburants</i>	
Auteur : Benno Bolleman KIJLSTRA, Hoofdingenieur, Rotterdamse Elektrische Tram, Rotterdam (Pays-Bas)	4
<i>Deuxième partie : Considérations sur l'état actuel du développement des filtres anti-particules</i>	
Auteur : Hilmar FEUTLINSKE, Entwicklungingenieur, Hamburger Hochbahn AG, Hambourg (RF Allemagne)	15
 b) L'entretien des autobus — L'entretien dans les ateliers de l'entreprise ou par des entreprises extérieures ?	
Auteurs : Jean-Michel BARNIER, Ingénieur en Chef Adjoint, Régie Autonome des Transports Parisiens; Georges CANAL, Ingénieur en Chef, Régie Autonome des Transports Parisiens, Paris (France); Rafael FLOR LECHAGO, Adjunt à la Direcció, S.P.M. Transports de Barcelone S.A., Barcelone (Espagne), et Freddy VAN DE WEGHE, Ingénieur en Chef, Société Nationale des Chemins de Fer Vicinaux (SNCV), Bruxelles (Belgique)	24

a) Possibilités de réduction des rejets de substances nocives par les moteurs Diesel

Première partie : Fondements et possibilités d'amélioration grâce aux mesures prises sur les moteurs et aux qualités des carburants

PAR

Benno Bolleman KIJLSTRA,
Hoofdingenieur, Rotterdamse Elektrische Tram, Rotterdam (Pays-Bas)

1 Introduction

1.1 Le présent rapport traite de la pollution de l'air dont on parle partout et à laquelle les transports en commun ont également part par nature, mais à laquelle ils peuvent en même temps contribuer à apporter une solution.

Nous parlerons de l'action de ces transports mais aussi des possibilités d'améliorations ultérieures. Une bonne coopération entre les entreprises de transport en matière de spécifications et entre ces entreprises et les pouvoirs publics est donc indispensable. Il faudra également travailler en collaboration avec les constructeurs et les fournisseurs de carburant pour réduire encore les rejets.

1.2 En gros, on peut affirmer que la moitié de la pollution de l'air est due à la circulation et que l'autre moitié est due à l'industrie, à la production d'énergie, etc...

En certains endroits, villes, agglomérations, zones industrielles, le problème est plus grave.

Avec l'industrialisation rapide et la croissance de la circulation cette pollution est devenue l'objet d'attentions vers la fin des années soixante et le début des années soixante-dix.

On est ainsi arrivé aux premières mesures telles que les hautes cheminées pour l'industrie et les premières normes de rejets les véhicules à moteur et voitures particulières avec spécification du taux de monoxyde de carbone (CO) d'aldéhydes (C_xH_y) et de fumées pour les moteurs Diesel.

	Pays-Bas	Suède
<i>Pollutions d'origine nationale :</i>		
Véhicules	240	160
Autres sources	190	140
<i>Total des pollutions d'origine nationale</i>	<i>430</i>	<i>300</i>
Entrée de pollutions d'origine étrangère	- 300	- 210
Sortie de pollutions vers l'étranger	300	210
<i>Pollution NOx totale en milliers de tonnes/an</i>	<i>430</i>	<i>300</i>
<i>Origine des rejets d'oxydes d'azote (%)</i>		
Industrie et chauffage	9	10
Voitures particulières du pays	11	11
Camions du pays	5	4
Autobus du pays	1	1
Autres	4	4
<i>Total sources nationales</i>	<i>30</i>	<i>30</i>
<i>Sources étrangères</i>	<i>70</i>	<i>70</i>
<i>Total</i>	<i>100 %</i>	<i>100 %</i>
<i>Population (en millions d'habitants)</i>	<i>14,2</i>	<i>8,4</i>
<i>Superficie (en millions de km²)</i>	<i>41</i>	<i>450</i>
<i>Densité d'habitation (en habitants/km²)</i>	<i>348</i>	<i>19</i>
<i>Rejets d'oxydes d'azote (en kg/habitant et par an)</i>	<i>30</i>	<i>38</i>
<i>Rejets d'oxydes d'azote (en tonnes/km² et par an)</i>	<i>12</i>	<i>0,7</i>
<i>Rejets d'oxydes de soufre (en tonnes/km² et par an)</i>	<i>5</i>	<i>1,2</i>

Fig. 1 : Pollution due aux oxydes d'azote (NOx) aux Pays-Bas et en Suède.

Il est très important de réduire ces rejets car de sérieux problèmes de santé se posent, en particulier dans les villes où, en outre se produit une agression chimique des édifices. Par ailleurs, l'agression contre les forêts est manifestement sérieuse (on estime que plus de 50 % de celles-ci sont atteintes); les récoltes sont même atteintes dans certains cas.

Une image à titre d'exemple des rejets d'oxydes d'azote (NO₂) qui sont parmi les principaux polluants est donnée par le tableau de la figure 1 où sont comparés les Pays-Bas et la Suède.

1.3 Au vu de ce qui précède, il est urgent de faire porter toute l'attention sur ce point, c'est pourquoi nous nous limiterons aux transports en commun et plus particulièrement aux transports par autobus.

On peut se poser la question de savoir pourquoi, alors qu'ils contribuent si peu, on porte ici tant d'attention aux autobus.

Cette source, mais également d'autres, disent que dans de nombreuses villes, les autobus ne participent que pour 0,5 à 1 % de la pollution urbaine.

En prenant une occupation moyenne en circulation urbaine de 20 voyageurs par autobus et de 1,4 personne par voiture particulière, le tableau de la figure 2 (p. 5) montre que même vis-à-vis d'une voiture particulière à pot catalytique, l'autobus émet moins d'hydrocarbures et de monoxyde de carbone, ses rejets d'oxydes d'azote demeurant toutefois à peu près du même ordre voire légèrement supérieurs. D'autre part la consommation énergétique est bien plus faible.

Le passage de la voiture particulière à l'autobus, au tramway ou au train assure, lorsqu'il est possible, une grande amélioration. Celle-ci est particulièrement souhaitable parce que le trafic automobile ne cesse d'augmenter et que, malgré l'adaptation croissante de pots catalytiques, la pollution prend des formes plus sérieuses.

A côté de l'attention qui, pour ces motifs, doit être portée à la promotion des transports en commun, il convient également de songer à limiter les rejets des autobus. Deux considérations valent ici :

- l'utilité sociale générale,
- la gène que les rejets (odeurs et fumées) peuvent provoquer en certains cas en cas d'accumulation d'autobus en un point.

1.4 Dans ce qui suit nous porterons particulièrement notre attention sur les autobus à moteur diesel.

En effet 99 % des autobus sont équipés d'un tel moteur pour de très importantes raisons à savoir :

- les moteurs diesel ont le meilleur rendement;
- le carburant diesel a la plus grande teneur énergétique, autrement dit le plus grand pouvoir calorifique;

Véhicule	Personnes transportées par véhicule	Consommation et pollutions par voyageur-km			
		kWh/v-km	NOx g/v-km	HC g/v-km	CO g/v-km
Autobus	20	0,22	1,2-0,7	0,1-0,05	0,3-0,2
Voiture particulière 1	1,4	0,6	1,5	2,5	32
Voiture particulière 2	1,4	0,6	0,6	0,7	9
Train de banlieue	200	0,36	0,15	0	0

Transport de voyageurs à grande distance

Véhicule	Personnes transportées par véhicule	Consommation et pollutions par voyageur-km			
		kWh/v-km	NOx g/v-km	HC g/v-km	CO g/v-km
Autocar	11	0,27	1,4-0,9	0,1	0,2
Voiture particulière 1	2	0,4	1,1	0,6	4,6
Voiture particulière 2	2	0,4	0,3	0,1	0,4
Chemin de fer	150	0,3	0,2	0	0
Avion (DC9)	90	1	1	0,1	0,5

Voiture particulière 1: Sans pot catalytique.

Voiture particulière 2: Avec pot catalytique.

Fig. 2: Consommation et pollutions spécifiques (par voyageur-kilomètre).

- la durée de vie et l'entretien sont très intéressants pour l'exploitant;
- le moteur diesel dégage moins de gaz nocifs que les moteurs à essence.

Nous nous limiterons au moteur diesel et porterons notre attention sur les possibilités d'amélioration qui sont largement disponibles.

M. Zahumenszky traitera des possibilités d'adaptation à d'autres carburants tels que le gaz naturel, le gaz de pétrole liquéfié (propane), le méthanol pour lesquels, dans la plupart des cas, le moteur Diesel est transformé en moteur à quatre temps à allumage séparé.

2 Rejets polluants

2.1 Pour pouvoir juger correctement les rejets de gaz, il faut en premier lieu déterminer de quoi l'on parle :

- les différents constituants du gaz d'échappement et
- leur influence sur l'être humain et sur l'environnement.

Le premier point dépend du type de moteur, le moteur à essence est généralement utilisé sur les voitures particulières et les petits véhicules utilitaires, le moteur Diesel étant surtout utilisé pour les camions et autobus mais faisant une percée en direction des voitures particulières grâce à des améliorations techniques.

Les différences entre les systèmes d'injection et entre les systèmes d'allumage ainsi qu'entre les carburants engendrent des différences de composition des gaz d'échappement. L'essence fait partie des fractions les plus légères résultant de la distillation du pétrole brut, le carburant Diesel appartient aux fractions les plus lourdes.

Le moteur à essence aspire généralement le carburant et le mélange est mis à feu par un allumage à étincelle.

Le moteur Diesel comprime de l'air frais et y injecte le carburant. Le moteur à essence produit du CO (monoxyde de carbone) et des C_xH_y (hydrocarbures).

La proportion carburant/air peut être proche de 1 (teneur stoechiométrique) dans le moteur à essence.

Le moteur Diesel fonctionne avec un excès d'air et à de plus hautes températures de combustion. De ce fait, les gaz d'échappement ont comme on le verra plus loin, des effets négatifs voire nocifs mais uniquement à doses excessives tout comme certaines substances normalement présentes dans la nature et qui peuvent devenir toxiques.

La figure 3 donne une image de ces produits rejetés par des moteurs Diesel et à essence en Europe.

La quantité annuelle des émissions des véhicules automobiles à moteur Diesel en Europe a été évaluée comme suit:		
Hydrocarbures imbrûlés	(HC)	215×10^3 t
Oxydes d'azote	(NOx)	3525×10^3 t
Monoxide de carbone	(CO)	982×10^3 t
Particules	—	183×10^3 t
Afin de mettre ces chiffres dans un cadre global : les émissions des véhicules à moteur à essence en Europe ont été évaluées comme suit:		
Hydrocarbures imbrûlés	(HC)	2800×10^3 t
Oxydes d'azote	(NOx)	4000×10^3 t
Monoxide de carbone	(CO)	3500×10^3 t

Fig. 3.

On voit bien que le moteur à essence dégage surtout des excès de monoxyde de carbone et d'hydrocarbures.

2.2 On comprend que le législateur se soit d'abord intéressé aux moteurs à essence, non seulement à cause de l'utilisation croissante de la voiture particulière à moteur à essence mais également à cause des rejets de monoxyde de carbone et d'hydrocarbures.

— Le monoxyde de carbone qui contient moins d'oxygène que l'inoffensif dioxyde de carbone se forme en cas de déficit d'oxygène lors de la combustion. L'excès d'air avec lequel fonctionne un moteur diesel fait que ce dernier produit moins de monoxyde de carbone. Ce dernier empêche le transport de l'oxygène par le sang vers les cellules.

— Les hydrocarbures imbrûlés résultent d'une combustion incomplète du carburant et de l'huile de lubrification. C'est ce qui se passe dans les recoins éloignés de la chambre de combustion où le front de flamme ne parvient que tardivement, donc dans des conditions moins avantageuses.

En ce qui concerne les hydrocarbures aromatiques polycycliques (benzène, toluène) qui ne constituent qu'une faible proportion, les avis sont plus partagés.

On craint qu'ils soient cancérogènes mais des essais sur des animaux n'ont pas permis de conclure nettement. En tous cas il faut rejeter des quantités supérieures aux valeurs MAK pour avoir des effets nocifs.

— La législation porte une grande attention à ces deux substances dont les rejets ont été fortement réduits ces derniers temps sur les moteurs à essence grâce à des améliorations technologiques (moteurs à combustion faible ou lean-burn) et grâce aux pots catalytiques.

— Pour les moteurs aussi bien à essence que diesel, les oxydes d'azote (NO_x) sont à l'ordre du jour. Ces oxydes résultant de la réaction entre l'oxygène et l'azote (présent dans l'air en grande proportion). Cette réaction se fait mieux à température et concentration élevées. Mieux la combustion se passe et plus elle donne lieu à formation de NO_x (surtout du NO_2).

— Dans le carburant diesel (plus lourd) il y a, selon l'origine, plus ou moins de soufre. La réaction du soufre et de l'oxygène lors du processus de combustion de l'anhydride sulfureux (SO_2) se forme. Ce corps est le principal composant des pluies acides. Pour les raisons qui viennent d'être évoquées le moteur diesel est maintenant l'objet de l'attention du législateur bien qu'il s'agisse d'un moteur relativement propre.

— En outre le moteur Diesel rejette des « particules », élément qui ne désigne pas seulement la fumée visible. La définition des « particules » est « Toutes matières solides ou liquides restant sur un filtre placé dans un courant de gaz d'échappement dilué à une température inférieure ou égale à 52°C ». Ces particules sont constituées de suie (carbone), de composés carbonés ou sulfatés et d'autres particules telles que rouille, particule d'usure et additifs de carburant.

Les particules ont un effet nocif sur la santé en cas de pénétration profonde dans les poumons, elles sont en outre difficiles à éliminer par l'organisme. Par ailleurs, elles gênent la vue du fait de leur grande absorption de la lumière.

— Les aldéhydes sont présents en faible quantité dans les deux types de moteur (essence ou diesel), entre autres ils irritent les yeux.

La figure 4 donne une image de la contribution du trafic routier à la pollution atmosphérique relevée

Contribution du trafic routier à la pollution de l'air aux Pays-Bas (Année 1986). Valeurs en milliers de tonnes par an

Substances	Rejets dus au trafic routier		Autres rejets	Part relative de la circulation	
	Autobus (1)	Total			
SO_2	0,7	(7 %)	11	264	4 %
NO_x	9	(6 %)	282	278	50 %
CO	4,4	(1 %)	743	487	61 %
Pb	0	0	0,75(2)	0,33	70 % (2)
COV(4)	3,6	(2 %)	185 (3)	320	35 %
Benzène		2 %	7,1	2,5	78 %
HAP(5)		10 %	0,25(3)	2	10 %
Aerosols	2,2	10 %	31	—	(6)

(1) D'après la contribution relative des autobus en 1984 aux rejets en ville.

(2) En 1987 0,33 (50 %).

(3) Tous trafics y compris aérien et maritime.

(4) Composés organiques volatiles (sauf méthane).

(5) Hydrocarbures aromatiques polycycliques tels que le Bal.

(6) La proportion de fumée noire peut varier entre 20 et 60 %.

Normes (proposées) pour la qualité de l'air aux Pays-Bas

Dans les gaz d'échappement du trafic routier, on relève des centaines de substances. Les autorités des Pays-Bas ont arrêté (proposé) des normes relatives à la qualité de l'air pour neuf de ces substances. D'une manière générale, les valeurs-limite sont destinées à protéger la santé de l'homme alors que les valeurs indicatives visent à protéger l'environnement. Le tableau résume ces valeurs.

Substances	Concentration ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Valeur en pourcent (1)	
Monoxide de carbone (CO)	6 000 (2)	98	Pourcentage moyen sur 8 heures
Dioxyde d'azote (NO_2)	135 (2)	98	Pourcentage moyen sur 1 heure
	80 (3)		Pourcentage moyen sur 1 heure
Dioxyde de soufre (SO_2)	250 (4)	98	Pourcentage moyen sur la journée
	100 (3)		Pourcentage moyen sur la journée
Fumée noire	90 (4)	98	Pourcentage moyen sur la journée
Plomb (Pb)	0,5 (4)		Moyenne annuelle
Ozone (Oz)	240*	— 99,9	Pourcentage moyen sur 1 heure
Benzène (C_6H_6)	10*		Moyenne annuelle
Benz(a)pyrène (BaP)	0,005*		Moyenne annuelle
Formaldéhyde (CH_2O)	40*	98	Pourcentage moyen sur 1 journée

(1) Un pourcentage de (98) correspond à la concentration qui ne peut pas être dépassée pendant plus de (2 %) du temps.

(2) Valeur limite : au niveau de la chaussée de voies très fréquentées, des valeurs plus élevées sont autorisées : $15\ 000 \mu\text{g.m}^{-3}$ pour le CO et $160 \mu\text{g.m}^{-3}$ pour le NO_x jusqu'en 1992. Ces valeurs seront progressivement réduites pour atteindre en l'an 2000 des valeurs limite « normales ».

(3) Valeur indicative.

(4) Valeur limite.

* Valeur limite proposée.

Fig. 4 : Gaz d'échappement et qualité de l'air aux Pays-Bas.

sur un vaste réseau de mesures aux Pays-Bas. Les rejets des autobus et autocars sont relativement faibles. Les gaz d'échappement des moteurs Diesel sont constitués à 99,7 % de substances normalement présentes dans l'air et de 0,3 % de corps étrangers. (Voir également la figure 5).

Composition des gaz d'échappement des moteurs Diesel

	Volume	%
<i>Substances gazeuses</i>		99,7
Azote	N ₂	75,7
Monoxyde de carbone	CO	8
Vapeur d'eau	H ₂ O	8
Oxygène	O ₂	2
Autres		2
<i>Autres substances</i>		0,3
Oxydes d'azote	NO	0,20
Dioxyde d'azote	NO ₂	0,01
Hydrocarbures	HC	0,03
Monoxyde de carbone	CO	0,05
Dioxyde de soufre	SO ₂	0,01
Particules de suie		

Fig. 5: Composition des gaz d'échappement des moteurs Diesel.

3 Valeurs limites pour les gaz d'échappement

Les moteurs Diesel doivent en principe satisfaire aux valeurs fixées pour les moteurs à essence mais qui ne posent aucun problème aux moteurs diesel.

3.1 Les valeurs limites pour les gaz d'échappement des moteurs Diesel à service dur sont fixées par la réglementation RE 49 de la CEE qui, par ailleurs, n'est pas encore partout en vigueur. Les valeurs limites sont :

pour le monoxyde de carbone (CO): 14,9 g/kWh
 pour les hydrocarbures (HC): 3,5 g/kWh
 pour les oxydes d'azote (NO_x): 18 g/kWh

Ces valeurs s'appliquent à tous les véhicules diesel de plus de 3 500 kg de PTC (Poids total en charge).

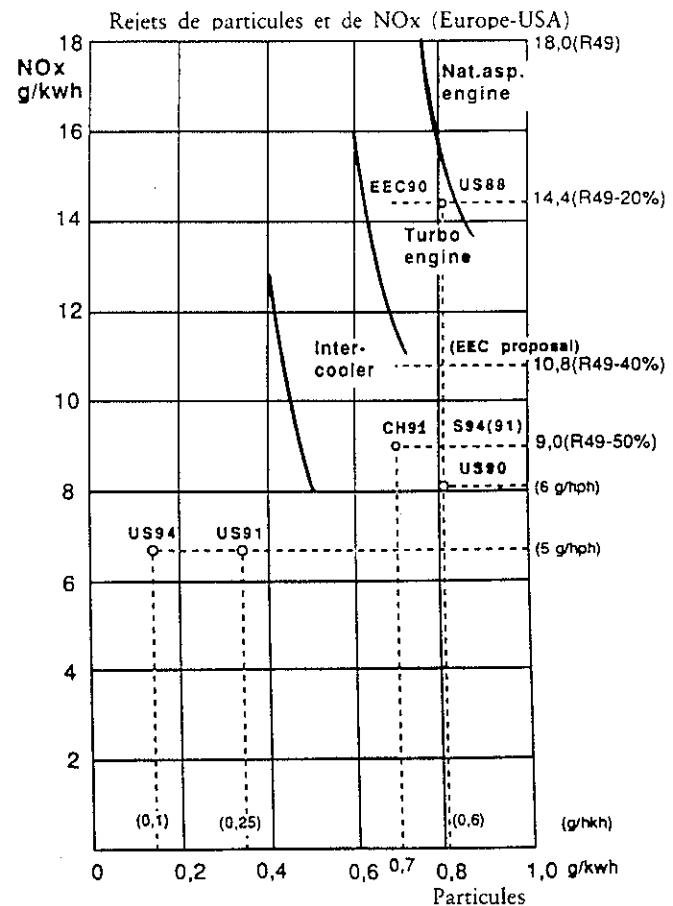
La procédure d'essais est basée sur l'ancien cycle US-13. Certains pays imposent des valeurs plus sévères avec souvent une réduction de 20 % par rapport aux valeurs ci-dessus soit :

pour le monoxyde de carbone (CO): 11,2 g/kWh
 pour les hydrocarbures (HC): 2,4 g/kWh
 pour les oxydes d'azote (NO_x): 14,4 g/kWh

Ces valeurs sont tout à fait à la portée des moteurs diesel modernes qui, tous comptes faits, sont peu sollicités sur les autobus. L'industrie accepte également ces valeurs.

La tendance est nettement orientée vers une réduction supplémentaire de ces chiffres ce qui, en particulier pour les rejets d'oxydes d'azote des moteurs diesel, exigera encore d'importants travaux de développement.

3.2 Les rejets de particules ne sont encore réglementés nulle part en dehors des Etats-Unis où de très sévères normes sont fixées pour 1994.



Nat. asp. engine : Moteur atmosphérique.

Turbo engine : Moteur suralimenté.

Inter cooler : Moteur suralimenté avec refroidissement de l'air de suralimentation.

EEC 90 : Norme CEE applicable en 1990.

EEC proposal : Proposition de norme CEE.

US 91 : Norme US applicable en 1991.

US 94 : Norme US applicable en 1994.

CH 91 : Norme suisse applicable en 1991.

R 49-20%, 40% : Valeur de la norme R49 diminuée de 20%, 40%.

S 94 (91) : Norme suédoise applicable en 1994 (1991).

Fig. 6: Rejets de particules et d'oxydes d'azote en Europe et aux USA.

La figure 6 indique les rejets de NO_x et de particules réglementés par le texte RE 49 de la Communauté européenne (avec les réductions proposées) et par les textes américains pour 1990, 1991 et 1994. Il est très important que pour la Communauté et pour l'Association Européenne de Libre Echange une ligne soit tracée, compte tenu des difficultés de développement et des inévitables dépenses qui seront à supporter par l'industrie automobile et les utilisateurs.

4 Influence du moteur Diesel sur les rejets

4.1 En gros, les rejets dépendent :

- de la construction du moteur;
- du réglage de l'arrivée de carburant et de l'injection;
- de la qualité et des spécifications du carburant;

— le cas échéant, du traitement des gaz d'échappement en sortie par des filtres anti-suie ou quelque chose d'analogique.

De notables progrès sont certainement possibles dans ces voies. En raison du développement technique et des possibilités de réalisation pratique, l'une ou l'autre de ces dernières l'emportera sur les autres mais toutes doivent préalablement être explorées.

Une nouvelle coopération est nécessaire, également avec les fournisseurs de carburant et les constructeurs de moteurs, en vue d'étudier ces possibilités. Mais l'utilisateur joue aussi un rôle, étant donné qu'il stimule le développement déjà en cours, puisque dans les villes également la réduction des rejets des véhicules de transport public confère un net avantage à ce mode de transport. De bonnes spécifications — établies autant que possible collectivement pour les produits à utiliser — sont, ici, très importantes. Nous n'évoquerons pas ici les autres possibilités telles qu'autobus bi-mode, traction électrique, autobus à accumulation d'énergie, piles à combustible parce qu'il a déjà été écrit sur ces moyens qui sont coûteux, voire très coûteux et, dans la plupart des cas, pas encore mûrs pour une réalisation de série.

Le moteur diesel peut satisfaire à de très sévères exigences et a encore beaucoup de possibilités dans ce domaine auxquels s'ajoutent le meilleur rendement, la plus faible consommation d'énergie et les plus faibles dépenses d'entretien.

4.2 Le carburant est la source de la conversion d'énergie dans le moteur, il doit donc satisfaire aux exigences du système de combustion.

4.2.1 En raison du processus de combustion dans lequel le carburant est injecté à haute pression dans l'air comprimé où il s'enflamme spontanément, il faut

Pays	Teneur maximum en soufre (% par t de poids)
<i>Pays CEE</i>	
Belgique	0,3 (0,2 à partir du 1.10.1989)
Danemark	0,3 (0,2 à partir du 1.11.1988)
République d'Irlande	0,3
Italie	0,3
France	0,3
Luxembourg	0,3 (0,2 à partir du 1.10.1989)
Pays-Bas	0,3 (0,2 à partir du 1.10.1988)
Espagne	0,3
Royaume-Uni	0,3
RF d'Allemagne	0,2
Grèce	0,5 (0,3 probable à partir du 1.1.1989)
Portugal	0,5 (0,3 probable à partir du 1.1.1989)
<i>Autres pays</i>	
Autriche	0,15
Brésil	1,3 (0,7 proposé 1988)
Finlande	0,3 (limite volontaire; 0,2 proposé pour le 1.1.1991)
Japon	0,5
Norvège	0,5
Suède	0,3*
Suisse	0,2
USA	0,5 (quelques Etats et villes exigent des valeurs moins élevées)

* La Suède a instauré une moyenne annuelle de 0,2 % à partir de juillet 1988.

Fig. 7: Teneur en soufre autorisée pour le carburant Diesel.

un produit mi-lourd de distillation du pétrole. Les qualités du produit pétrolier obtenu dépendent largement du lieu d'extraction. Par exemple, le pétrole de la Mer du Nord est plus léger, contient moins de soufre et, partant, exige moins de raffinage que les pétroles plus lourds des Etats du Golfe Persique ou d'Union Soviétique.

En outre le mode et le degré de raffinage sont responsables du produit final. Par un procédé de raffinage adapté on peut en fin de compte obtenir n'importe quelles caractéristiques du produit final, le prix jouant un rôle bien sûr. Tant le motoriste que l'utilisateur ont besoin d'une spécification uniforme de carburant, essentielle en ce qui concerne les rejets et le bon fonctionnement du moteur.

4.2.2 Les valeurs les plus importantes pour la définition du carburant, surtout en ce qui concerne la qualité de la combustion, et, partant, les rejets sont :

4.2.2.1 La densité

La densité d'un carburant détermine la teneur énergétique du produit injecté dans le moteur.

Un carburant moins dense que les spécifications entraîne une perte de puissance ou de rendement.

Un carburant plus dense que les spécifications donne lieu à des rejets et à une émission de fumée noire.

La viscosité a le même effet que la densité.

L'indice de cétane est le paramètre qui permet de prévoir l'aptitude du carburant à s'enflammer. Il dépend de la densité et du point d'ébullition moyen. Cela nous donne une bonne appréciation de qualité.

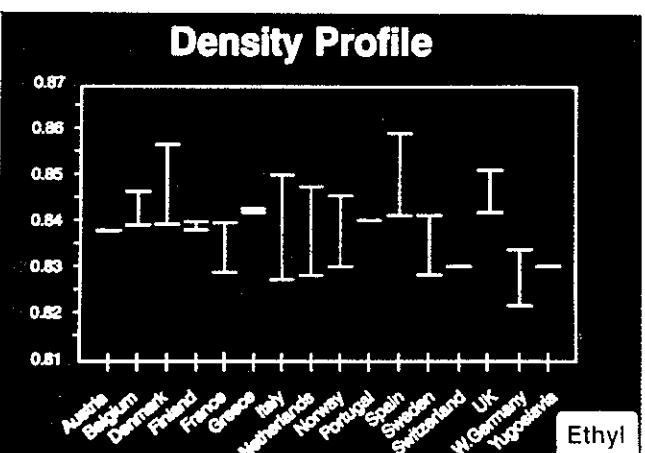
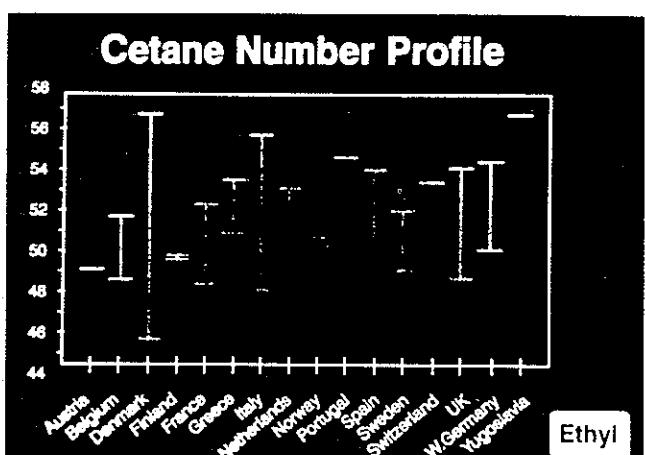


Fig. 8: Indice de cétane et densité du carburant Diesel.

Le taux de soufre a une influence sur les rejets de particules et n'a pas d'incidence sur la qualité de la combustion dans le moteur. Un faible taux de soufre est tout de même préférable.

Le nombre de cétane indique la durée du retard entre le moment de l'injection et le début de l'inflammation. Plus ce nombre est élevé et plus bref est ce retard donc meilleure est la qualité de l'inflammation.

4.2.2.2 Toutes sortes d'additifs peuvent être adaptés pour améliorer :

Le point de condensation dit CFPP (cold filter plugging point : point d'engorgement du filtre froid) qui indique à quelle basse température le carburant peut encore s'enflammer et la gazéification peut encore se produire faute de quoi les filtres pourraient se boucher.

La résistance de l'oxydation constitue une mesure de l'aptitude à la conservation et affecte l'encaissement des injecteurs.

La corrosion affecte la formation de rouille dans les réservoirs et le moteur.

L'indice de cétane peut aussi être modifié par des additifs.

4.2.3 Pendant l'hiver 1987-88, la firme Ethyl Europe a mené une importante étude sur le carburant Diesel en Europe. 53 échantillons de carburant Diesel ont été prélevés par des laboratoires indépendants dans 16 pays européens.

Les échantillons ont été prélevés en des lieux tels qu'ils fournissent un bon panorama de la qualité du carburant diesel en Europe. Ces échantillons ont été complètement testés selon les méthodes ASTM (American Society for Tests of Materials : Société Américaine des essais de matériaux) (voir Annexe).

On trouvera en figure 8 les caractéristiques par pays ainsi que les spécifications nationales — quand elles existent — pour une comparaison mutuelle.

Les différences entre pays sont considérables, il existe également des différences à l'intérieur de chaque pays. Toutes ces différences sont si importantes qu'elles affectent certainement le fonctionnement optimal des moteurs diesel et les rejets.

Le tableau ci-dessous (fig. 9) donne une idée des différences entre les carburants Diesel européens.

C'est surtout la densité et l'indice de cétane plus ou moins couplé à celle-ci qui donnent une mesure de la qualité du carburant. Le nombre de cétane, représentatif de l'inflammabilité est également déterminant pour les rejets.

L'une et l'autre grandeurs sont indiquées dans les histogrammes par pays, la ligne verticale indique la dispersion.

Ce qui est remarquable ce sont les grandes différences, non seulement entre les pays les plus pauvres de la CEE et les pays industrialisés plus riches, mais tout particulièrement entre par exemple l'Allemagne, l'Angleterre, la France et les Pays-Bas, alors que ces états ont un important trafic entre eux par camions à moteur diesel.

Des écarts de densité entre 0,83 (à 0,835) et 0,85 et un nombre de cétane entre 49 et 54 sont sans doute possibles voire souhaités. On ne connaît pas bien précisément l'influence de ces valeurs sur les rejets, qui dépendent d'ailleurs largement de la réalisation des moteurs, toutefois les experts pensent qu'elles ont certainement une grande influence.

Quelques remarques intéressantes sur ce panorama des carburants ont été formulées par Ethyl Europe, par exemple :

- L'Autriche a un carburant diesel très léger (tendance à le remplacer par un carburant plus lourd).
- La Belgique a toujours eu une grande dispersion de qualité (l'entrée en vigueur d'une norme nationale devrait améliorer la situation).
- Le Danemark a une très grande dispersion de qualité (pas de norme nationale).
- La Finlande a un point de condensation (CFPP) très bas en raison des très faibles températures.
- La France a fait entrer en vigueur une spécification du point de condensation sans influence négative sur les valeurs de cétanes.
- La Grèce a un carburant lourd avec cependant un fort pourcentage de soufre (0,5 %) ce qui a certainement beaucoup d'influence sur les rejets.
- L'Italie a de très grandes différences sur les grandeurs fondamentales telles que la densité, les cétanes, la tenue aux basses températures. Le pourcentage d'aldéhydes et la corrosion sont très élevés (les plus forts d'Europe).
- Les Pays-Bas bien que n'ayant pas de spécifications minimales ont tout de même de bons résultats en matière de nombre de cétane, de point de condensation et de corrosion.
- La Norvège a d'excellents résultats en tenue aux basses températures. L'indice de cétane est un peu faible.
- Le Portugal a un indice de cétane satisfaisant. Le taux de soufre est élevé.
- L'Espagne a également une densité élevée et un fort taux de soufre.
- La Suède a de bons résultats en tenue au froid. La corrosion constitue encore un problème.
- La Suisse est moins exigeante en matière de point de condensation (CFPP). Le pourcentage de soufre est bas.
- L'Angleterre a amélioré le comportement à basse température mais en subit le contrecoup quant à la qualité en cétane.
- L'Allemagne de l'Ouest a une faible densité donc un faible indice de cétane. La qualité d'Allemagne (nombre de cétane) est satisfaisante.
- La Yougoslavie a une bonne qualité en cétanes mais un fort taux de soufre.

Fig. 9 : Gamme des carburants Diesel européens.

	Densité	Point de condensation	Aldéhydes	Soufre %	Indice de cétane CI	Nombre de cétane CN
Minimum	0,8215	- 36	23,2	0,05	46,6	44,4
Maximum	0,8590	- 6	52,1	0,65	55,4	56,7
Moyenne	0,8388	- 19	32,1	0,27	50,4	51,0

Le pourcentage de soufre est très disparate puisque les normes sont divergentes. Dans certains pays on admet 0,5 %. Dans la CEE, on admet 0,3 % avec possibilité de descendre à 0,2 % alors qu'en Suisse on en est à 0,15 %.

Le taux de soufre n'a aucune influence sur le comportement du moteur et n'affecte que la qualité des rejets en particulier le taux de particules de suie. Ces particules de soufre ne sont pas grand chose par rapport aux rejets totaux (NO_x) mais leur réduction est toutefois vivement souhaitée. Même le traitement éventuel des gaz d'échappement par des filtres à particules ou analogues est rendu beaucoup plus difficile par la présence de soufre.

Des techniques de raffinage adaptées permettent de désulfurer davantage le carburant mais elles exigent des investissements et conduisent à une augmentation du prix du carburant mais qui vaut certainement la peine pour les entreprises de transport.

Qualité du carburant — Réduction du rejet de particules		
	Modification des normes de carburant	Réduction du rejet de particules
Soufre	0,5 % → 0,05 %	
Aromates	30 % → 10 %	25 %

Fig. 10: Qualité du carburant et réduction du rejet de particules.

4.3 Influence de la réalisation du moteur sur les rejets

4.3.1 Il existe d'autres possibilités d'agir sur les rejets par la réalisation et l'adaptation du circuit de carburant du moteur.

Les éléments ci-après doivent être successivement étudiés à la loupe ce que bien sûr nous n'allons pas faire du point de vue des constructeurs. Ricardo Ingénieurs Conseil (Sussex Angleterre) a effectué un gros travail de recherche sur le sujet pour le compte de la Communauté européenne.

— La combustion doit être optimale — ce qui n'est généralement pas le cas — pour avoir la plus faible consommation d'énergie avec — par exemple — le plus faible rejet de NO_x possible.

Il existe en principe deux systèmes d'injection du carburant :

1. L'injection indirecte dans laquelle le carburant est injecté dans une pré-chambre.
2. L'injection directe dans laquelle il est injecté directement dans le cylindre.

- Le réglage du carburant, autrement dit la quantité et l'instant de l'injection.
- Le lubrifiant employé pour le moteur et qui se retrouve en partie dans les cylindres se trouve rejeté partiellement sous forme d'huile lubrifiante imbrûlée.

En outre, diverses techniques ont une influence, les plus importantes sont :

- la suralimentation par turbocompresseur où l'air comburant se trouve d'abord comprimé avant d'entrer dans le cylindre; cette suralimentation peut éventuellement être complétée par :
- le refroidissement intermédiaire où l'air comprimé est refroidi de façon à diminuer la température à l'admission.

On peut également songer :

- à faire revenir une partie des gaz d'échappement à l'admission de façon à ce qu'en principe une partie des rejets soit réutilisée;
- à la possibilité connue de longue date d'injecter de l'eau dans le cylindre, ce qui provoque un refroidissement au cours du processus de combustion et améliore le rendement.

Nous reviendrons dans un chapitre particulier sur les possibilités controversées de retraitement des gaz d'échappement par des filtres « anti-suie » (à ne pas confondre avec les pots catalytiques des moteurs à essence).

Cette technique est encore en cours de développement et ne fait pas (encore) partie des techniques éprouvées dont une longue pratique a prouvé la valeur. On peut en attendre une réduction des rejets de particules mais pas de réduction des NO_x .

Nous allons étudier successivement ces effets.

Dans le chapitre qui suivra nous ferons la liste des possibilités et des souhaits alors que l'éventuelle influence des entreprises de transport sur une réduction des rejets vient à l'ordre du jour.

4.3.2 On étudie généralement un moteur à construire avec le système de combustion qui ait le meilleur rendement.

Ici le mélange complet et rapide du carburant injecté et de l'air joue un grand rôle. Divers types de chambres de combustion et d'injecteurs ont été et seront développés à cet effet.

De même, le rapport carburant/air doit-il être le plus proche possible de l'optimum. L'air contient beaucoup d'azote (N_2) qui, à très haute température, se combine avec l'oxygène de l'air pour donner les très nocifs NO_x . L'élévation des pressions et, partant, des températures peut donc conduire à un meilleur rendement avec une moindre consommation de carburant, mais elle conduit en même temps à davantage de rejets de NO_x .

Cela se manifeste également dans les deux principes de moteur diesel. Le moteur à injection indirecte (IDI) vise à obtenir un meilleur mélange et procure de plus faibles rejets de NO_x avec un rendement un peu moins bon mais aussi avec moins de bruit. Le moteur à injection directe qui est le plus utilisé pour les grandes puissances procure une combustion plus difficilement maîtrisable et produit généralement, à haute pression et haute température, davantage de NO_x . Dans certains pays, tels que le Japon, on fait, pour ce motif, une différence entre les rejets admissibles pour les moteurs à injection directe et pour ceux à injection indirecte.

De ces points de vue, il y a longtemps que l'amélioration de la combustion est à l'ordre du jour chez les constructeurs, mais cela exige du temps de développement et ne produit d'effet qu'à long terme.

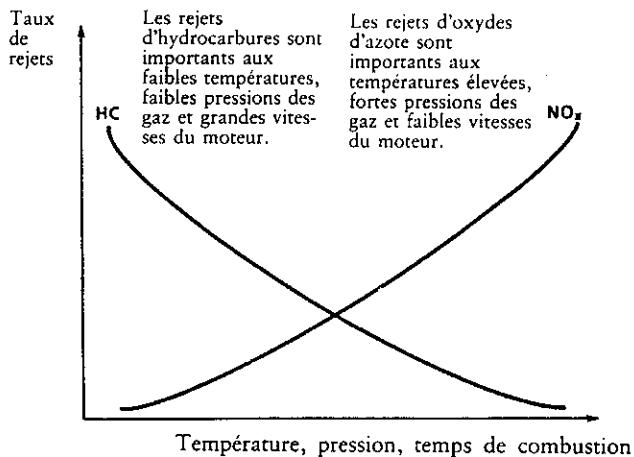


Fig. 11: Variations en sens contraire des rejets d'hydrocarbures et d'oxydes d'azote.

4.3.3 Les recherches ont montré que les aldéhydes (hydrocarbures aromatiques) prennent surtout naissance aux faibles charges et faibles températures alors que les oxydes d'azote (NO_x), ainsi qu'il vient d'être dit, se forment au contraire aux hautes puissances et aux températures élevées (voir graphique figure 11).

Pour pouvoir agir sur ces rejets il faut, outre une bonne combustion, avoir un réglage de l'injection le plus proche possible de l'optimum. Avec une réglage mécanique normal de la pompe d'injection, qui assure l'amenée du carburant à haute pression, on a uniquement la possibilité de régler la quantité et, dans une certaine mesure, l'instant d'injection en fonction de la vitesse de rotation du moteur.

Un réglage plus souple est toutefois nécessaire pour diminuer les rejets de NO_x aux hautes puissances. Cela peut se faire en retardant un petit peu l'instant d'injection aux grandes vitesses et grandes puissances de façon à abaisser la température de combustion. Cela ne diminue que légèrement le rendement dans ces conditions de fonctionnement.

Les hydrocarbures imbrûlés, comme on le voit à gauche de la figure 11, sont les produits d'une combustion incomplète du carburant. La quantité d'hydrocarbures imbrûlés dépend de la chambre de combustion mais aussi de l'instant de l'injection. Avec les moteurs Diesel la production d'aldéhydes est, de toute façon, proportionnellement très faible. Une amélioration est possible, et même certaine, aux faibles charges, à vitesse de rotation constante et lors des démarriages à froid, ce qui est particulièrement nécessaire car c'est à ces moments que beaucoup d'aldéhydes sont libérés et ce genre de situation survient lorsque les autobus desservent leurs arrêts.

Un réglage optimal de la quantité de carburant injecté et de l'instant de l'injection est particulièrement souhaitable pour les autobus des services urbains. Les mauvaises odeurs d'aldéhyde perçues par le public pourraient ainsi être réduites.

Ce type de réglage électronique sera mis en service à court terme. Le prix du moteur s'en trouve certes augmenté puisque la réalisation de celui-ci devra être adaptée mais de notre point de vue il s'agit de quelque chose d'urgent.

Le type de carburant a également une influence sur la formation des aldéhydes.

4.3.4 Une technique largement acceptée sur les moteurs Diesel consiste à les suralimenter en comprimant l'air d'admission au moyen d'une pompe généralement entraînée par les gaz d'échappement. Ce procédé n'est, de ce fait, efficace qu'aux régimes élevés. En premier lieu on l'emploie pour augmenter la puissance. Le rendement du moteur peut s'en trouver augmenté. Aux faibles charges ce n'est pas forcément le cas. Sur les gros camions et les autobus la suralimentation est de plus en plus utilisée au fur et à mesure que les puissances augmentent.

D'après le cabinet Ricardo, la suralimentation réduit les rejets de fumées et de particules, par contre on a à l'inconvénient d'augmenter les rejets de NO_x.

Aux faibles charges, l'éventualité existe de consommer davantage de carburant du fait des pertes de la pompe, l'effet sur les gaz d'échappement, en particulier sur les aldéhydes, n'est pas favorable.

Le retard à l'injection, tel qu'il a été décrit plus haut, demeure possible en cas de suralimentation, il réduit les rejets d'oxydes d'azote.

Du fait de ses caractéristiques, la suralimentation ne sera pas la solution préférée en cas de faible charge.

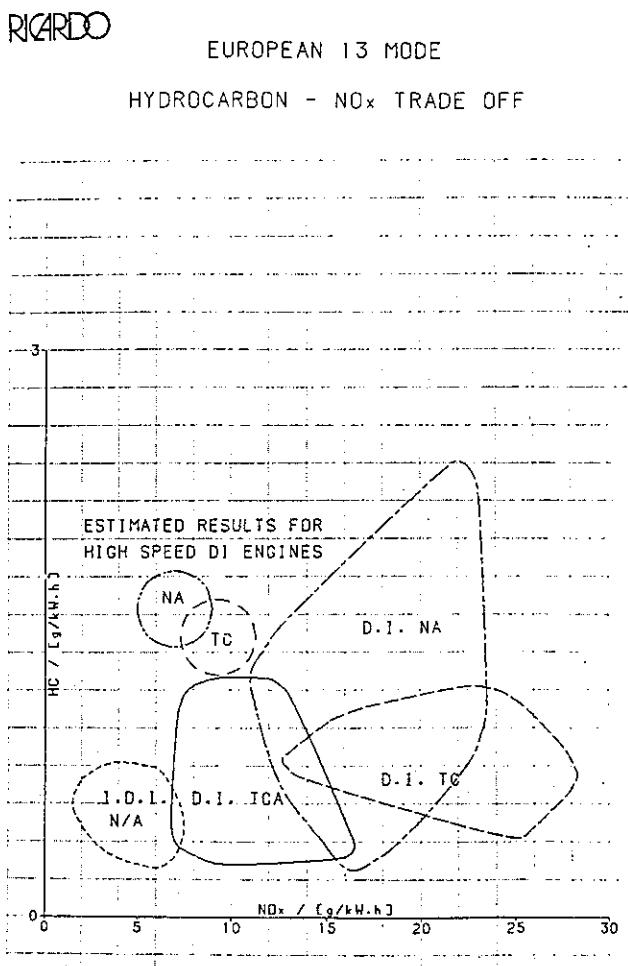


Fig. 12: Taux d'hydrocarbures et d'oxydes d'azote selon les dispositions européennes.

4.3.5 Le refroidissement de l'air de suralimentation (intercooling) est un perfectionnement de la suralimentation où l'on abaisse la température de l'air admis après avoir été comprimé. Du fait de l'augmentation de la densité de l'air ainsi obtenue, on peut obtenir une plus grande puissance et on réduit la consommation de carburant. Cette réduction de température réduit significativement les rejets d'oxydes d'azote. On voit sur le graphique de la figure 11 l'effet de cette réduction.

La figure 12 (établie par le cabinet Ricardo, voir p. 11) indique la dispersion sur les essais de plusieurs moteurs. On y voit les valeurs de NO_x et d'aldéhydes. Il apparaît que les moteurs suralimentés avec refroidissement de l'air de suralimentation obtiennent selon les tests européens les meilleurs résultats pour des autobus face aux moteurs atmosphériques (NA) et aux moteurs simplement suralimentés (TC).

4.3.6 Le recyclage des gaz d'échappement dans le système de combustion est concevable au plan théorique. Une partie de l'air d'admission est remplacée par du gaz d'échappement. On réduit ainsi l'excès d'air. Toutefois pour les plus lourds véhicules il y a très peu d'oxygène en excès ce qui limite sérieusement les possibilités d'adaptation de ce système aux diesels suralimentés.

Même sur les moteurs atmosphériques on ne peut guère s'attendre qu'à une très faible réduction des NO_x . La durée de vie des organes du moteur s'en trouve abrégée. L'adaptation de ce recyclage aux moteurs Diesel européens n'est donc pas intéressante.

4.3.7 Comme pour le recyclage, il y a longtemps que l'on réfléchit à l'injection d'eau. Celle-ci a un effet de refroidissement lors du processus de combustion du fait de la décomposition et de la vaporisation de l'eau. Ceci réduit les rejets d'oxydes d'azote.

Il faut par ailleurs une grande quantité d'eau (estimée à environ la moitié du réservoir de carburant) ce qui implique des précautions contre le gel en période d'hiver ce qui, à son tour, implique un effet sur les rejets et sur l'usure. L'installation sur des véhicules n'est donc pas intéressante.

4.3.8 Les huiles de lubrification imbrûlées forment une partie des rejets de particules. Cette fraction dépend de la consommation d'huile du moteur. On l'estime en moyenne à à peu près un quart des particules rejetées. Sur les gros moteurs, qui consomment relativement moins d'huile, elle est plus faible.

BREAKDOWN OF TYPICAL PARTICULATE COMPOSITION

Moteur à injection directe suralimenté avec refroidissement de l'air de suralimentation

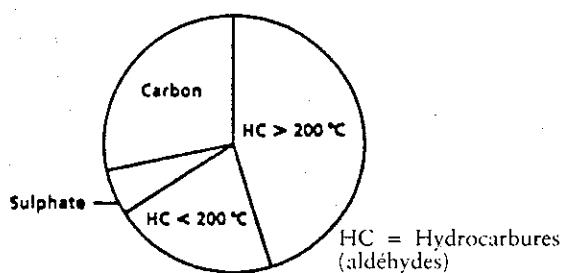


Fig. 13: Analyse des particules.

L'autre partie des rejets de particules est constituée d'oxydes de soufre et autres corps semblables. Il y a également un peu de carburant imbrûlé (hydrocarbures) et le reste est de la suie (carbone).

5 Dispositions pour réduire les rejets

Ces dispositions se répartissent en diverses catégories.

- Ce qui vient en premier ce sont les spécifications et normes à imposer auxquelles doivent se conformer les rejets.
- Il faut ensuite fixer les normes pour les nouveaux véhicules à créer. Ces normes consistent essentiellement dans les critères auxquels doivent satisfaire les moteurs et leurs rejets.
- Les spécifications en matière de carburant imbrûlé.
- Les normes d'exploitation. Il s'agit du mode de conduite et des éventuelles mesures relatives à l'environnement.

5.1 Normes et spécifications

5.1.1 Ainsi qu'il a déjà été exposé au chapitre 2, le trafic routier à propulsion diesel n'est pas le plus gros pollueur, rien que dans le domaine des oxydes d'azote, il est comparable aux moteurs à essence.

Les valeurs (estimées) suivantes de la pollution en Europe sont pour les moteurs diesel :

Hydrocarbures (HC) imbrûlés : 215 000 tonnes/an;
Oxydes d'azote (NO_x) : 3 520 000 tonnes/an;
Monoxyde de carbone (CO) : 982 000 tonnes/an;
Particules : 183 000 tonnes/an.

A titre de comparaison les moteurs à essence dégagent :

Hydrocarbures (HC) imbrûlés : 2 800 000 tonnes/an;
Oxydes d'azote (NO_x) : 4 000 000 tonnes/an;
Monoxyde de carbone (CO) : 3 500 000 tonnes/an.

En d'autres mots, ainsi qu'il a été dit plus haut, les autobus ne produisent qu'une petite partie de cette pollution.

Le remplacement du trafic automobile par les transports en commun (par voie ferrée mais aussi par autobus) procure une nette amélioration.

La diminution de la pollution grâce aux autobus passera surtout par une réduction des rejets d'oxydes d'azote et par une réduction des rejets de particules.

Mais en circulation urbaine également les rejets sont importuns lors des fortes concentrations d'autobus, aux arrêts et dans les files de circulation. Aux faibles charges des moteurs dans de telles circonstances, il y a également rejet d'aldéhydes (hydrocarbures imbrûlés) qui jouent un grand rôle et dont l'odeur également est gênante.

5.1.2 Les législations de la Communauté Européenne et autres unions de pays sont, dans ce domaine, très sommaires et différent d'un pays à l'autre.

En raison des besoins à venir et de l'augmentation de la pollution il ne faut rien enlever au corps des spécifications minimales de la CEE mais, maintenant ou dans le plus proche avenir possible, il faudra s'efforcer de réduire les rejets même si cela signifie des coûts de production plus élevés.

La législation américaine « proposée » pour 1991, et encore plus celle de 1994, sont des objectifs pour l'industrie mais sont difficiles à atteindre et nécessiteront en tout état de cause des travaux supplémentaires de développement.

Nous allons détailler ci-après les spécifications qui dans un avenir immédiat ou aussi proche que possible constitueront une situation pratique susceptible d'être atteinte. Les matériels en cours de production actuellement devront servir jusque dans les années qui suivront l'an 2000.

Si nous, entreprises de transport en commun, voulons alors pouvoir utiliser les possibilités de ces années nous devrons travailler dans cette optique, il en va de même pour les industriels.

Il est en outre vivement souhaitable qu'une limite soit définie par les utilisateurs de façon à ce que, dans la mesure du possible, ce soit celle-ci et non pas ces exigences excessives qui soit fixée par le législateur.

5.1.3 De ce qui précède, entre autres du chapitre 4, on peut déduire que pour les constructeurs de moteur, il y a encore des travaux de développement à effectuer pour que la réduction des rejets soit effective :

- La régulation électrique (ou une commande mécanique perfectionnée) de l'injection en fonction de la vitesse de rotation et de la puissance. Ceci doit être obtenu dans la pratique immédiatement ou dans un très proche avenir. Ceci est particulièrement intéressant pour les rejets d'oxyde d'azote mais aussi pour les hydrocarbures imbrûlés aux faibles régimes (circulation en file en cas d'encombrement).
- La suralimentation mais seulement avec refroidissement de l'air de suralimentation (intercooling) et si possible avec régulation de l'injection.
- Eventuellement des filtres anti-suie pour le traitement des gaz d'échappement si leur possibilité technique et leur réalisation pratique sont vérifiées.

Ces filtres n'ont d'action que sur les rejets de particules qu'ils peuvent, en combinaison avec les mesures qui précédent et avec des spécifications des carburants, contribuer à réduire. En eux-mêmes les filtres anti-suie n'ont aucun effet sur les NOx.

- Un moteur diesel rapide a un plus bref temps de combustion, donc une combustion plus éloignée de l'optimum. Il faudrait donc donner la préférence à un moteur plus lent éventuellement réétudié.

5.1.4 *Spécifications d'exploitation*

- Aux faibles régimes, par exemple en circulation en file en cas d'encombrement, mais aussi aux ralentis du moteur, les moteurs Diesel n'ont pas une forte consommation mais produisent beaucoup d'hydrocarbures gênants et les moteurs deviennent polluants avec de ce fait davantage de rejets. Il est donc souhaitable de couper le moteur pour les temps de stationnement d'au moins une minute, ceci pourrait devenir un règlement général. Pour les temps de stationnement plus brefs l'arrêt du moteur n'aurait aucun sens car le redémarrage donne lieu à des rejets supplémentaires.
- En principe, l'échappement doit être relié à un système d'aspiration dans les garages et ateliers, de sorte que les hommes qui se trouvent à proximité ne soient pas incommodés. Ce n'est toutefois pas un motif pour laisser le moteur tourner au ralenti car les gaz d'échappement finissent par rejoindre l'atmosphère.
- Il faut également surveiller les poêles à fioul.
- Le tuyau d'échappement ne doit pas être tourné vers le trottoir mais du côté opposé.
- L'entretien du moteur joue un grand rôle sur les rejets. Un contrôle régulier des fumées peut à juste titre être considéré comme la seule possibilité d'avoir rapidement un aperçu sur les rejets mais ne saurait suffire à lui seul.

Les filtres et injecteurs doivent être propres.

Il ressort de ce qui précède que l'instant de l'injection joue un grand rôle, un contrôle régulier est donc nécessaire; il en va de même pour l'huile de lubrification utilisée.

SUMMARY OF TEST METHODS

1.) DENSITY (*ASTM D 1298*)

The density of a fuel affects the mass of fuel injected into the engine. High density fuels in excess of the certification fuel for which the engine is calibrated will de-rate black smoke and emissions. Fuels of a low density below that of certification fuel will result in engines not achieving their rated power or economy.

2.) DISTILLATION (*ASTM D 86*)

The distillation characteristics of a fuel are a measure of its volatility. In addition very high boiling fractions are considered to influence emissions. For European diesel fuels, regulations limit such fractions through specifying a maximum recovery temperature of 350°C for 85% of the fuel.

3.) VISCOSITY (*ASTM D 445*)

The variation in a fuel's viscosity has similar effects to those described for density. Additionally, viscosity affects the timing of the start of injection. Thus factors such as emission levels and hot re-starts are affected by viscosity.

4.) FLASH POINT (*ASTM D 93*)

Flash point measures the tendency of a fuel to form a flammable mixture with air under controlled laboratory conditions. Diesel fuel regulations typically specify a minimum flash point of 55°C.

5.) CLOUD POINT (*ASTM D 2500*)

The cloud point of a fuel is the temperature at which the onset of waxing occurs and is taken as a measure of the base cold flow characteristics of a fuel.

6.) COLD FILTER PLUGGING POINT (*IP 309*)

This test measures the temperature at which a fuel plugs a filter under prescribed conditions. It gives a good indication of a fuel's low temperature operability limit in the field, provided the differential with the Cloud Point is not excessively wide.

7.) ANILINE POINT (*ASTM D 611*)

The aniline point of a fuel is the minimum equilibrium solution temperature for equal volumes of aniline and sample. As such it reflects the aromatic nature of a fuel; the lower the aniline point the more aromatic a fuel. Ethyl employ aniline point, along with other parameters, to predict ignition quality to a higher level of accuracy than the conventional cetane index equation.

8.) AROMATICS (*ASTM D 1319*)

There is some evidence that aromatic levels of a fuel may have some relation to emissions. Several studies are currently ongoing to further clarify this area.

9.) SULPHUR (*ASTM D 4294*)

Current sulphur specifications in Europe, apart from Austria, range from 0.3% to 0.5% weight. Certain researchers have suggested that sulphur contents in diesel fuels relate to particulate emissions from vehicles. Sulphur contents of diesel fuels generally reflect crude origin and the degree of hydrotreatment.

10.) OXIDATION STABILITY (*ASTM D 2274*)

This test involves passing oxygen through diesel fuel under elevated temperatures. The amount of residue formed is recorded as mg/100ml. For military and contract specifications an upper limit of 1.5mg/100ml is considered to give satisfactory evidence of storage stability characteristics. Additionally it has been suggested that stability is a key factor in nozzle fouling and filter blocking.

11.) CORROSION (*IP 135A*)

In this test a steel pin is immersed in diesel fuel with a small amount of distilled water at 60°C for 24 hours. At the end of this time period the steel pin is inspected and rated according to the following NACE scale.

Rating	Proportion of Test Surface Rusted				
A	None	Pass	Pass	Pass	Pass
B +	Less than 0.1%*	Pass	Pass	Pass	Pass
B +	Less than 5%	Pass	Pass	Pass	Pass
B	5-25%	Pass	Pass	Pass	Pass
C	25-50%	Pass	Pass	Pass	Pass
D	50-75%	Pass	Pass	Pass	Pass
E	75-100%	Pass	Pass	Pass	Pass

*2 or 3 spots of not more than 1mm diameter.

Operational corrosion could impact on fuel storage tanks, vehicle fuel tanks and diesel engine metallurgy. In addition rust particles could impair fuel filter performance.

12.) CETANE INDEX (*ASTM D 976*)

This parameter, based on density and mid point boiling point, is used to predict a fuel's ignition quality. As such it is a convenient quality control tool for conventional fuels and non ignition improved fuels.

13.) CETANE NUMBER (*ASTM D 613*)

When a diesel fuel is sprayed into the combustion chamber of a diesel engine there is a slight time delay between the start of injection and the start of combustion. The higher the Cetane Number of a fuel the shorter the delay period and hence the better the ignition quality.

14.) ADDITIVE IMPACT

Additives can enhance the following diesel fuel properties studied in this European survey:

- 1.) CFFP
- 2.) Oxidation Stability
- 3.) Corrosion
- 4.) Cetane Number

b) Possibilités de réduction des rejets de substances nocives par les moteurs Diesel

Deuxième partie: Considérations sur l'état actuel du développement des filtres anti-particules

PAR

Hilmar FEUTLINSKE,
Entwicklungsingenieur, Hamburger Hochbahn AG, Hambourg (RF Allemagne)

1 Introduction

Malgré toutes les recherches en vue de développer des modes nouveaux de propulsion des autobus urbains, on peut considérer comme certain que, même au-delà du tournant du siècle, le moteur diesel demeurera la solution la plus économique pour les autobus.

Mesurée à son impact sur l'environnement et compte tenu des possibilités d'amélioration, cette position peut objectivement être tenue pour légitime.

L'estime dont bénéficie le moteur diesel et la façon dont il est accepté ont toutefois été affectées plus que proportionnellement à ce que l'on sait réellement quant à la nocivité de ses rejets.

Les manchettes des journaux reflètent quels conflits d'objectifs font obstacle à des activités de développement déterminées et sérieuses plutôt que motivées par la panique.

Il est donc heureux, même si la rédaction de notre rapport en a été rendue plus difficile, que l'industrie ait été discrète et n'ait pas multiplié les publications porteuses d'espoir.

Les entreprises de transport en commun ont également adopté cette attitude sérieuse et mènent leurs essais en exploitation quotidienne sans en tirer d'images peu réalistes.

Des exemples négatifs font croire à la population que la technologie des filtres est mûre pour la production de série et que seule l'ignorance des entreprises de transport empêche de l'utiliser pour améliorer la situation écologique.

Il faut bien retenir que, plus que tous les autres organismes, les entreprises de transport en commun ont soutenu les efforts de développement et pris une part active aux essais.

Dès 1986, les entreprises de transport public participaient aux essais sur le terrain.

Dès 1987, 100 autobus de 45 entreprises de transport en commun étaient en essais en Allemagne Fédérale.

En Italie, 10 autobus urbains sont équipés d'installations expérimentales de filtrage et sont en essais en ligne.

Ces nombres montrent clairement que l'on travaille résolument à l'amélioration des moteurs diesel.

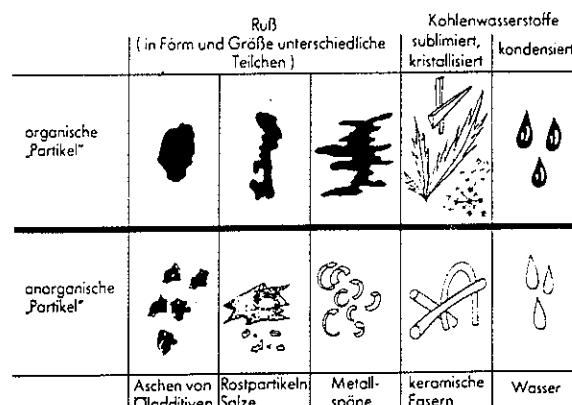
Les constructeurs et les exploitants sont bien d'accord pour dire que la proportion de particules telles que cendres, imbrûlés, particules d'usure et rouille doit être radicalement réduite afin de diminuer la teneur en substances telles que le carbone, les hydrocarbures condensés et les produits contenant du soufre.

Bien sûr, il conviendra de s'attaquer avec la même priorité à la réduction des substances toxiques gazeuses.

2 Possibilités techniques

Le principal problème dans le filtrage de la suie réside, à côté de la séparation avec un bon rendement, dans l'élimination non nocive de quantités de suie occupant un grand volume.

Il est unanimement admis que la meilleure solution consiste à consumer dans le filtre les matières qui s'y sont accumulées. La figure 1 indique la composition des particules.



Russ... = suie (en particules de formes et dimensions différentes);

Kohlenwasserstoffe = Hydrocarbures

Sublimiert, kristallisiert = sublimés, cristallisés

Kondensiert = condensés

Organische Partikel = particules organiques

Anorganische Partikel = particules inorganiques

Aschen... = cendres des additifs

Rostpartikeln... = sels des particules de rouille

Metallspäne = copeaux métalliques

Keramische Fasern = fibres céramiques

Wasser = eau

Fig. 1: Particules dans les gaz d'échappement des moteurs Diesel.

Les filtres mis au point ne peuvent pas résoudre le problème des rejets d'oxydes d'azote (NO_x , fig. 2).

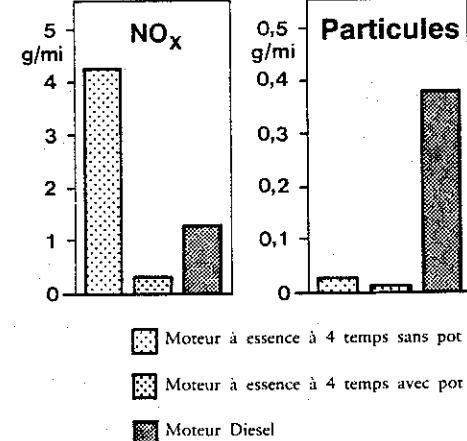


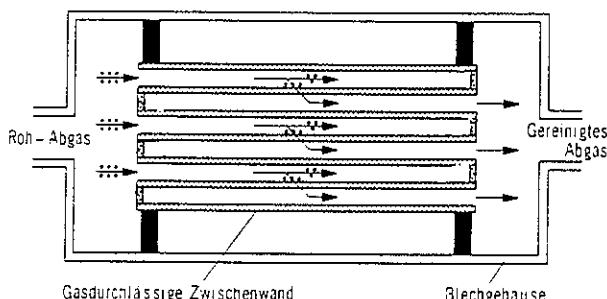
Fig. 2: Rejets d'oxydes d'azote (NO_x) et de particules dans le test de voitures particulières des USA (Test FTP 75).

Source: Bulletin de l'Association des Ingénieurs Allemands (VDI) (N° 49/1988).

Il y a déjà un certain temps que l'on travaille au développement de filtres catalytiques pour moteur diesel destinés à réduire les rejets d'oxydes d'azote. Au dire de Volkswagen il n'existe pas, en décembre 1988, de solution applicable à court terme (VDI - Nachrichten N° 49/1988).

Les constructeurs ont (ou ont eu) en essai les systèmes de filtrage suivants :

Filtre en céramique monolithique (Fig. 3)



Roh-Abgas = gaz d'échappement tels qu'ils sortent du moteur
Gasdurchlässige... = paroi poreuse aux gaz
Blechgehäuse = corps de tôle
Gereinigtes Abgas = gaz d'échappement purifiés

Fig. 3 : Filtre à monolithe de céramique.

Encore aujourd'hui — bien que des évolutions vers de plus gros blocs soient déjà envisagées — le bloc de céramique est, dans la plupart des cas, constitué de plusieurs parties collées ensemble. Les gaz d'échappement chargés de particules passent dans des tubes obturés alternativement d'un côté et de l'autre et sont donc forcés de passer à travers les parois poreuses du bloc de céramique.

Les particules se déposent dans les pores et à la surface des parois. Grâce à sa grande surface développée, le filtre a une grande capacité de stockage des particules retenues.

Le bloc de céramique est lui-même encastré dans un corps d'acier inoxydable étanche et résistant aux chocs. Des filtres céramique de plus grandes dimensions sont, encore aujourd'hui, constitués de monolithes collés ensemble.

Les études relatives à la durabilité des collages ne sont pas encore terminées. Dans le passé, il y eut des problèmes liés au collage et qui étaient dus à la surchauffe survenant en cas de régénération après une saturation excessive. Au dire des industriels, des monolithes d'un seul bloc sans collage seront disponibles à grande échelle, à court terme.

La combustion d'une quantité excessive de suie accumulée peut, en raison d'éventuelles irrégularités de déposition, conduire à des températures irrégulières et excessives et, partant, à des contraintes différentielles pouvant entraîner la rupture des collages, ce qui réduit considérablement le rendement global.

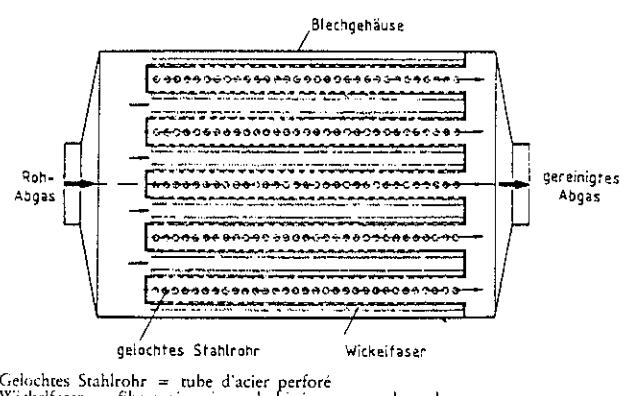
Le matériau céramique — de la cordiérite — est, à 1300 °C, à la limite de ses possibilités. Cette limite de température doit donc être respectée avec une marge de sécurité, grâce à une commande fiable et par une surveillance accrue du processus de combustion.

Pour obtenir une plus grande marge, il semble indispensable de développer un matériau céramique

tenant à de plus hautes températures. Le rendement indiqué, d'environ 70 % de toutes les particules retenues, peut être amélioré par l'emploi d'un matériau à pores plus fins. Pour compenser la perte de charge plus importante liée à ces pores plus fins, le monolithe devrait être plus gros. Outre le plus grand encombrement, cela conduirait à un plus fort poids et, en fin de compte, à des prix plus élevés.

Le rendement en particules de suie retenues s'élève toutefois dès à présent à environ 99 %.

Filtre à bobines de céramique (Fig. 4)



Gelochtes Stahlrohr = tube d'acier perforé
Wickelfaser = fibres céramiques bobinées autour des tubes

Fig. 4 : Filtre à bobines de céramique (voir aussi légende fig. 3).

Le développement de ce type de filtre est, comme celui du filtre monolithique, bien avancé. Le corps du filtre est constitué d'une multitude de tubes percés entourés de fils de céramique enroulés. Les gaz d'échappement passent de l'extérieur vers l'intérieur des bobines de céramique où se déposent les particules. Grâce à un nouveau procédé les fils peuvent être recouvert d'une mince couche d'oxyde de cuivre qui exerce un effet catalytique.

L'oxyde de cuivre étant utilisé à de nombreuses reprises, des discussions ont déjà eu lieu pour savoir l'importance des rejets de métaux lourds. Ce sujet devra faire l'objet d'études. On ne peut toutefois guère imaginer que ces rejets modérés, à peine mesurables, puissent donner lieu à des difficultés de la part des autorisés responsables de la protection de l'environnement.

Le rendement en particules de suie retenues est supérieure à 95 %. Rapporté à l'ensemble des particules, il se situe en moyenne au-dessus de 80 %.

La durée de vie théorique des filtres à gaz d'échappement est limitée par le fait que le filtre ne peut pas être débarrassé des particules incombustibles. Au total, ce filtre offre une relativement plus faible perte de charge, une moindre tendance à se boucher, une aptitude à prendre des formes diverses et une grande durée de vie.

Filtre en mousse de céramique (Fig. 5)

On ne dispose pas de résultats publiés sur les filtres en mousse de céramique parce que les recherches ne sont pas si avancées que pour les autres filtres. Ce propos vaut au moins pour les recherches effectuées en Allemagne.

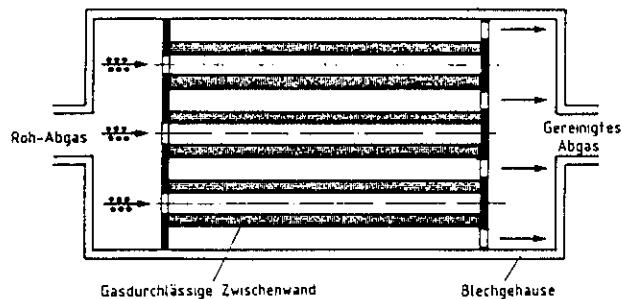
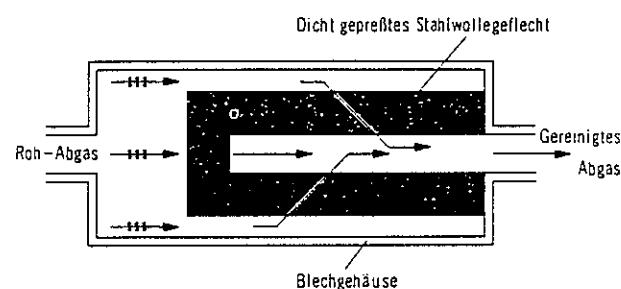


Fig. 5: Filtre à mousse de céramique (voir légende figure 3).

Filtre en laine d'acier (Fig. 6)



Dicht gepresstes Stahlwollgeflecht = treillis de laine d'acier fortement comprimé

Fig. 6: Filtre à laine d'acier (voir légende figure 3).

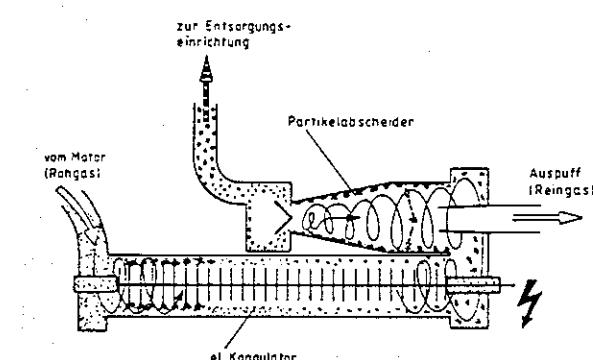
Le taux de séparation des filtres en laine d'acier est, rapporté au rendement global, de 60 % au plus.

L'action du filtre est largement déterminée par la tendance des particules à adhérer.

Au fur et à mesure que se remplit le filtre, son rendement s'améliore progressivement sans toutefois dépasser les chiffres ci-dessus.

Une bonne régénération est obtenue par un remplissage régulier et pas trop poussé, pour ne pas avoir le risque d'incendie du filtre.

Séparateur électrostatique de suie (Fig. 7)



vom Motor (Rohgas) = gaz d'échappement en provenance du moteur

el. Koagulator = electrocoagulateur

Partikelabscheider = séparateur de particules

zur Entstörungseinrichtung = vers le dispositif de démarrage

Auspuff (Reingas) = sortie des gaz purifiés

Fig. 7: Séparateur électrostatique de suie.

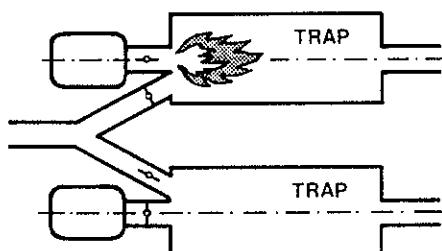
On ne connaît pas le résultat des essais en ligne de ce système. Des essais au banc et des considérations théoriques permettent de déduire que des taux de séparation de 50 à 80 % peuvent être atteints. Les particules de suie n'ayant qu'une très faible masse et ne pouvant donc être séparées par la force centrifuge, elles sont d'abord rassemblées dans l'électrocoagulateur puis comprimées.

Grâce à la plus grande densité ainsi acquise, les particules peuvent être séparées dans le dispositif centrifugeur situé en aval. Le taux de séparation de ce filtre n'est que de 70 % environ. Il n'a pas encore été développé de système approprié de vidange des particules recueillies.

Disposition des filtres

Il existe pratiquement trois dispositions possibles pour les filtres. Elles ont toutefois en commun que les filtres sont régénérés à bord du véhicule. Des filtres interchangeables pourraient être installés sur des véhicules se déplaçant peu, par exemple des chariots élévateurs utilisés dans une usine.

Filtre double (Fig. 8)

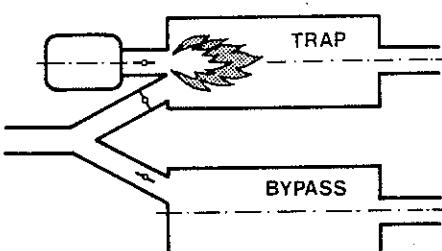


Trap = piège (filtre)

Fig. 8: Filtre double.

Le montage de deux filtres en parallèle permet de régénérer un de ceux-ci pendant le fonctionnement du moteur sans que le processus de brûlage soit perturbé par les gaz d'échappement. Un système de soupapes dirige le flux des gaz d'échappement vers un des deux filtres jusqu'à ce que celui-ci soit saturé.

Filtre simple à by-pass (Fig. 9)



Trap = filtre

By-pass = pot d'échappement en dérivation

Fig. 9: Filtre simple avec by-pass par un pot d'échappement classique.

Cette disposition diffère du montage à filtre double en ceci, que pendant le processus de régénération du filtre, les gaz d'échappement partent directement (by-pass) à l'extérieur à travers un pot d'échappement classique sans être filtrés. On peut ainsi régénérer le filtre pendant que le moteur fonctionne.

Avec un moteur moderne refroidi par air, un filtre monolithique a été saturé en 780 minutes (13 heures). Le temps de régénération, pendant lequel les gaz d'échappement sont sortis sans être filtrés, a été de 7 minutes.

Pendant le temps de filtrage, 55 g de suie ont été filtrés et, pendant le temps de by-pass, 0,5 g de suie a été émis.

Filtre unique sans by-pass (Fig. 10 et 11)

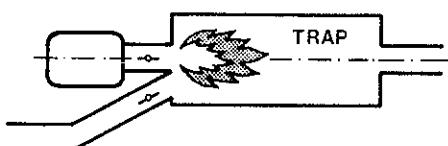


Fig. 10: Filtre unique avec brûleur supplémentaire.

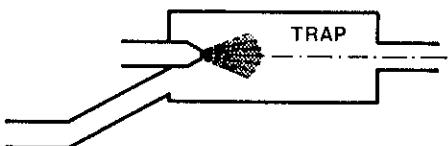


Fig. 11: Filtre unique avec injection d'agent oxydant.

Les filtres uniques sans pot d'échappement classique en by-pass ont, quant à l'installation sur les véhicules, l'avantage de nécessiter moins de place. La régénération pendant le fonctionnement du moteur pose néanmoins des problèmes. La combustion pendant l'arrêt du moteur est bien sans problème mais exige que le temps d'arrêt soit au moins aussi long que le temps nécessaire à la régénération.

Cette prévision de la durée de l'arrêt ne pouvant se faire électroniquement, l'équipement doit alors être démarré manuellement. Les fausses manœuvres, telles qu'un allumage trop tardif après une saturation excessive du filtre, peuvent endommager ce dernier.

Techniques de régénération

Le principal problème lié à la régénération du filtre est la température nécessaire à l'inflammation des particules collectées qui est de 500 à 600 °C.

Pour avoir une combustion assurée et rapide, des températures d'au moins 700 °C sont nécessaires.

Une fois que l'allumage de la combustion est amorcé, celle-ci se poursuit quelle que soit l'évolution ultérieure de la température des gaz d'échappement ou de la température du brûleur du fait de l'arrivée d'oxygène. Sur les autobus urbains, la température des gaz d'échappement excède rarement 300 °C.

Outre les dispositions relatives au moteur et à l'exploitation, les mesures à prendre, largement expérimentées lors d'essais au banc et sur le terrain sont :

- L'installation de brûleurs supplémentaires adéquats, alimentés en carburant Diesel. La puissance de ces brûleurs est de 15 à 50 kW.
- L'injection de substances oxydantes dans le filtre afin d'amorcer la combustion à une température inférieure à 300 °C.
- L'incorporation d'additifs dans le carburant destinés également à abaisser la température d'amorçage de la combustion.
- Le revêtement catalytique des surfaces du filtre et l'injection d'agents (tels que l'acétylacétone) permettant la régénération catalytique à de plus faibles températures.

L'adjonction de substances oxydantes et le revêtement catalytique sont encore controversés en raison

des risques de rejets de métaux lourds. Cependant leur mise en œuvre permettrait d'obtenir d'excellents résultats quant à la régénération des filtres. On sait cependant que les substances oxydantes donnent naissance à des dépôts incombustibles affectant le fonctionnement et la durée de vie des filtres.

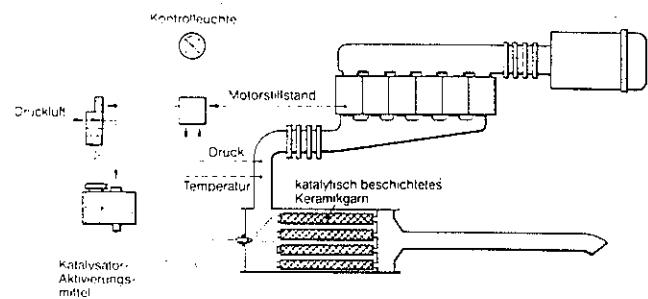
La mise en œuvre de brûleurs spécialement étudiés à cet effet a montré qu'il est possible d'obtenir un bon allumage et une bonne combustion même pendant que le moteur fonctionne.

3 Etat de la technique

Malgré ce qu'affirment de nombreux avis et communiqués de presse il faut garder à l'esprit qu' : à ce jour, il n'existe, chez aucun constructeur de véhicules ni de moteurs, aucun système de filtrage pour autobus qui soit suffisamment développé pour être produit en série et non pas à des fins expérimentales.

Les principaux constructeurs de moteurs et d'autobus ont présenté comme suit l'état de la technique en décembre 1988. Les constructeurs non européens n'ont pas fait connaître l'état de leurs travaux.

DAIMLER-BENZ Société Anonyme (Fig. 12)



Druckluft = air comprimé
 Kontrollleuchte = lampe-témoin
 Motorstillstand = contrôle de l'arrêt du moteur
 Druck = capteur de pression
 Temperatur = capteur de température
 Katalysator-Aktivierungs-mittel = agent d'activation du catalyseur
 Katalytisch beschichtete Keramikgarn = bobines de céramique recouverte d'un revêtement catalytique

Fig. 12: Schéma de principe de l'équipement de filtrage Daimler-Benz.

Dans le programme de développement de véhicules utilitaires de la Société Anonyme DAIMLER-BENZ, un filtre à bobines de céramique a été développé en étroite collaboration avec la société Mann & Hummel.

Le filtre est constitué d'une multitude de tubes percés montés axialement dans un pot d'échappement en acier inoxydable et sur lesquels sont bobinés des fils de céramique.

Les gaz d'échappement traversent les bobines de l'extérieur vers l'intérieur en y abandonnant leurs particules.

Comme avec les filtres monolithiques, le rendement global atteint 70 % et lorsque le filtre approche de la saturation, il peut, comme avec ce type de filtre, dépasser 80 %. En ce qui concerne la suie proprement dite le rendement peut atteindre plus de 95 % en régime établi; par contre, au cours du test transitoire US par exemple, cette valeur diminue.

Après avoir essayé de nombreux procédés de régénération du filtre, Daimler-Benz s'est décidé en faveur d'un procédé catalytique. Un mince revêtement d'oxyde de cuivre a été déposé sur les fils de céramique.

Lorsque l'épuisement de régulation électronique a déterminé, par mesure de la contre-pression, que le filtre est saturé, le revêtement catalytique est activé, dès le premier arrêt du moteur, par injection d'acétone. La régénération du filtre est déclenchée dès le redémarrage du moteur lorsque la température normale de fonctionnement est atteinte.

Le filtre à bobines de céramique possède une grande résistance mécanique et est relativement insensible à la fusion car il possède une température de fusion élevée alors que les températures développées pendant la régénération sont plus faibles qu'avec un filtre monolithique (fig. 13).

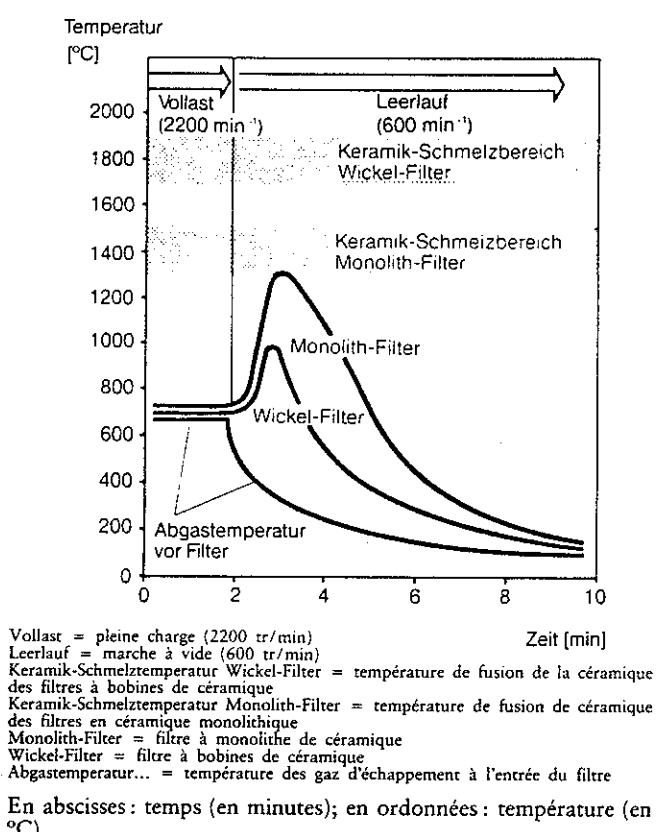
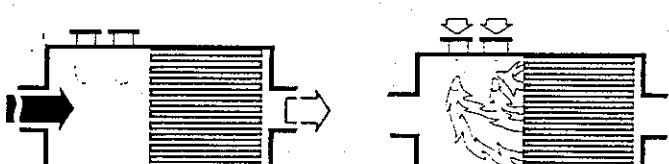


Fig.13 : Température de fusion et de régénération des filtres monolithiques et à bobines de céramique.

Cette courbe de température n'existe, bien sûr, que pour un filtre normalement saturé. Au-delà de la saturation du filtre à bobines de céramique, les températures critiques peuvent naturellement être dépassées. Ainsi, les problèmes de température ne peuvent se produire sur ces types de filtre qu'en cas de saturation excessive.

En ce qui concerne le comportement à long terme et la durée de vie, Daimler-Benz déclare que :



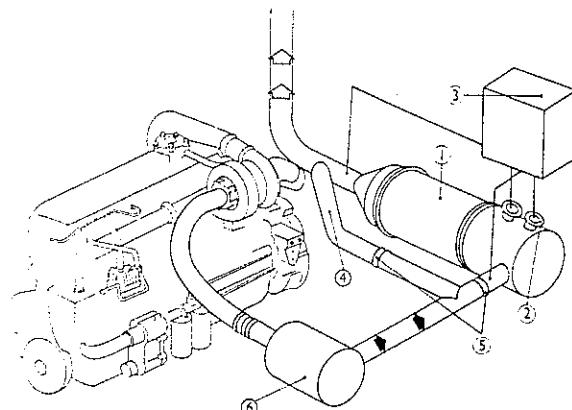
Le filtre à bobines de céramique a été soumis à des conditions d'essai extrêmes avec un grand nombre de cycles de remplissage/régénération. En outre l'exploitation normale en service quotidien a commencé en 1985.

Depuis le début de 1986 le parc d'essais a été étendu à 60 autobus qui, à ce jour, ont parcouru à eux tous 8 millions de kilomètres.

Le but de cet essai est de vérifier l'aptitude au fonctionnement et la durabilité de ces filtres dans des conditions variées et proches de la pratique. Après 100 000 à 150 000 km parcourus, chaque équipement d'essai a été démonté et soumis à ces examens de laboratoire. On ne pourra se prononcer sur la durée de vie susceptible d'être atteinte dans la pratique qu'après achèvement des essais. On compte toutefois sur des durées de vie supérieures à 150 000 km. Certains filtres ont atteint des durées de vie de 200 000 km.

L'ensemble de l'équipement a fait la preuve de son aptitude à être monté en série. L'aptitude à être produit en série ne pourra toutefois être affirmée qu'après 1989 avec l'achèvement d'essais complémentaires sur de grands effectifs dans les conditions de l'exploitation normale.

IVECO Fiat Société Anonyme (Fig. 14)



- 1 Filtre en céramique monolithique
- 2 Brûleurs de régénération du filtre
- 3 Bloc de contrôle et régulation
- 4 By-pass
- 5 Soupapes d'aiguillage vers le filtre ou le by-pass
- 6 Pot d'échappement

Fig. 14 : Schéma de principe de l'équipement de filtrage IVECO-Fiat avec filtre unique et by-pass installé sur un autobus urbain.

Le cœur du filtre à particules IVECO est constitué d'un filtre à deux monolithes de 230 mm de diamètre et 300 mm de longueur.

Pendant la régénération de l'équipement actuel (la deuxième génération, à partir de 1989, comportera deux filtres en parallèle) les gaz d'échappement passent par un by-pass. La régénération utilise deux brûleurs radiaux d'une puissance de 15 kW.

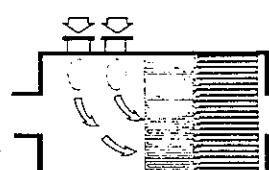


Fig. 15 : Disposition du brûleur.
Flèches noires : cheminement des gaz d'échappement tels qu'ils sortent du moteur.
Flèches blanches : cheminement des gaz d'échappement purifiés.

Pendant les huit premières minutes les brûleurs portent le filtre à la température nécessaire à l'oxydation, ensuite seulement de l'air est insufflé dans le filtre pour maintenir la combustion qui a été amorcée (fig. 15, p. 19).

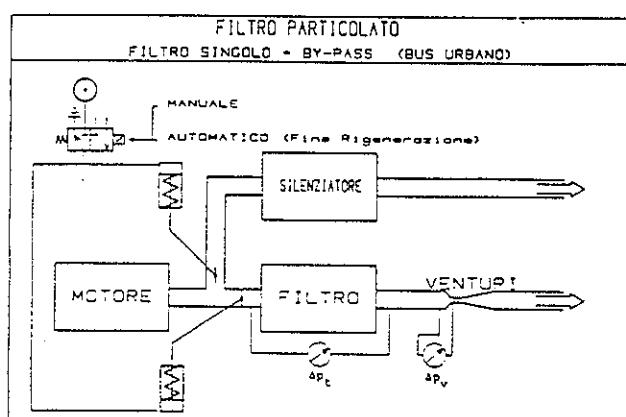
Le temps de remplissage du filtre est, selon les conditions d'exploitation, de 2 à 8 heures. Les conditions topographiques et d'utilisation du véhicule ainsi que le poids total de celui-ci déterminent ces grandes différences. En exploitation en terrain plat le filtre reçoit 16 g par heure lorsque le véhicule est complètement chargé et moins de 9 g par heure lorsqu'il est vide.

Le principal problème est le contrôle de l'état de remplissage optimal ou maximal du filtre.

La détermination du moment de la régénération est d'une grande importance pour la durée de vie du filtre.

Pour pouvoir déterminer avec certitude cet instant, la régulation électronique mesure non seulement la différence de pression entre l'entrée et la sortie du filtre mais aussi la vitesse de circulation dans le tube de Venturi monté en aval.

Après l'achèvement du développement de l'équipement à filtre unique, cinquante autobus seront équipés du filtre double en 1989 et essayés en service de ligne dans différentes conditions d'exploitation (fig. 16 et 17).



Manuale = commande manuelle
Automatico = commande automatique de fin de régénération
Silenziatore = port d'échappement; Motore = moteur; Filtr = filtre
Venturi = cône de Venturi pour mesurer la vitesse des gaz

Fig. 16: Schéma de l'équipement de filtrage 1988 à filtre unique et by-pass.

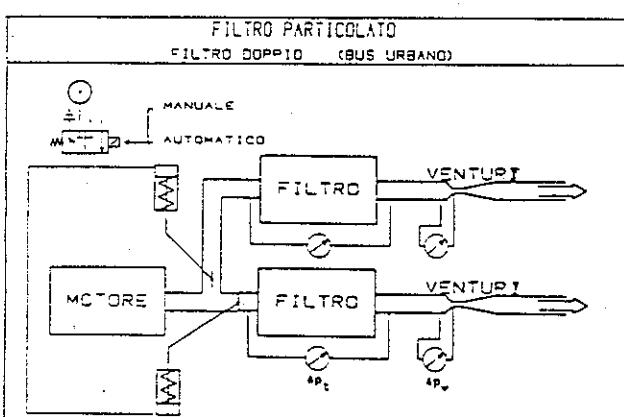
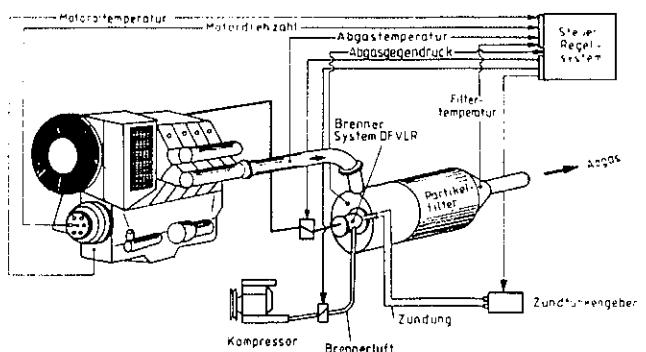


Fig. 17: Schéma de l'équipement de filtrage 1989 à double filtre
Voir légende figure 16.

KHD Klöckner-Humboldt-Deutz AG (Fig. 18)

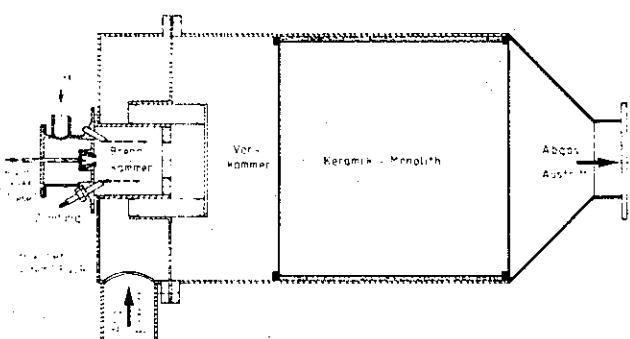


Steuer/Regelsystem = bloc de contrôle et régulation
Motortemperatur = capteur de température du moteur
Motordrehzahl = capteur de vitesse de rotation du moteur
Abgastemperatur = capteur de température des gaz d'échappement à leur sortie du moteur
Filtertemperatur = capteur de température des gaz d'échappement filtrés
Zündung = inflammation
Zünd...geber = dispositif de commande de l'inflammation
Kompressor = compresseur
Brennstoff = combustible du brûleur (carburant)
Brennersystem DFVLR = système de brûleur DFVLR (Organisme allemand de recherches et d'essais pour l'aéronautique et l'espace).
Partikelfilter = filtre anti-particules; Abgas = gaz d'échappement
DFP System mit Regenerationsautomatik = filtre anti-particules à commande automatique de la régénération.

Fig. 18: Schéma de principe de l'équipement de filtrage KHD Klöckner-Humboldt-Deutz.

Après quelques années de développement et d'essais de systèmes bypass visant à étudier la durabilité des monolithes, Klöckner-Humboldt-Deutz a déclaré disposer d'un équipement de filtrage qui, pour le moment, serait la dernière étape avant la prochaine production de série. Il y aurait toutefois encore besoin d'essais en ligne dans diverses entreprises de transport, qui ont commencé.

Ce qui est nouveau sur cet équipement, c'est le brûleur, développé spécialement pour cette application avec l'organisme allemand de recherches et d'essais pour l'aéronautique et l'espace (DFVLR), et dont le fonctionnement n'est pas affecté par le flux des gaz d'échappement et dont la puissance est adaptée sans constante de temps à celle du moteur par un asservissement de son alimentation en combustible. L'électronique procure ainsi à la régénération une température constante en amont du filtre



Abgaseintritt = entrée des gaz d'échappement provenant du moteur
Brennersystem DFVLR = système de brûleur DFVLR (voir figure 18)
Zündung = inflammation
Brennstoff = carburant
Luft = air (comprimé)
Brennkammer = chambre de combustion du brûleur
Vorkammer = chambre intermédiaire
Keramik-Monolith = monolithe de céramique
Abgas-Austritt = sortie des gaz d'échappement vers l'air libre.

Fig. 19: Filtre anti-particules à brûleur incorporé.

quel que soit le régime du moteur à tout instant (fig. 19).

Sur cet équipement également le remplissage se déduit de la mesure de la contre-pression donc de la différence de pression entre l'entrée et la sortie du filtre.

Un compresseur fournit l'air nécessaire au brûleur et maintient le processus de combustion jusqu'à ce qu'un certain seuil de différence de pression soit atteint pendant trois minutes et indique ainsi la fin de la régénération. Le rendement global est de 60 à 70 % et est aux alentours de 99 % en ce qui concerne les suies.

La puissance de ce brûleur fonctionnant dans le flux de gaz d'échappement garantit une commande de la régénération au moment optimal pendant le fonctionnement du moteur indépendamment de la charge ou de la vitesse de rotation de celui-ci.

Le filtre est constitué d'un monolithe de céramique sans revêtement catalytique.

Les essais en usine ont montré qu'après 500 heures de fonctionnement environ, l'effet de catalyse et, partant, la réduction de la température de régénération avaient disparu.

MAN Nutzfahrzeuge GmbH (Fig. 20)

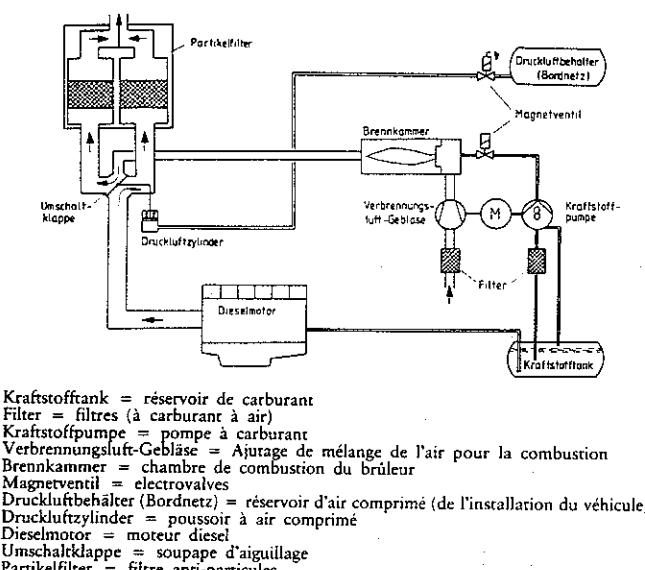


Fig. 20 : Schéma de principe de l'équipement de filtrage MAN.

Les travaux de MAN ont surtout porté sur le développement d'un système d'ensemble dans lequel il soit actuellement possible d'incorporer différents types de filtres anti-particules.

Les filtres actuellement en essais au banc et en ligne sont d'abord des filtres à monolithe de céramique et les filtres à bobines de céramique de Mann & Hummel.

Le système le plus récent est l'équipement à double filtre. En fonctionnement normal le flux de gaz passe par les deux filtres. Les particules retenues par chaque filtre sont brûlées alternativement dans l'un ou dans l'autre pendant que le moteur fonctionne.

Le processus de combustion est amorcé par un brûleur développé spécialement par MAN à cet effet. Les deux filtres sont régénérés par ce brûleur unique. La partie essentielle de cet équipement sont les soupapes d'aiguillage des flux de gaz actionnées par un poussoir à air comprimé. Ces soupapes sont un organe critique. D'une part elles doivent être le plus étanche possible quand elles sont fermées, d'autre part elles ne doivent pas se coincer malgré les différences et les valeurs extrêmes de température des gaz d'échappement.

A côté de la régénération par brûlage, des systèmes à catalyse sont également étudiés afin de diminuer la température de régénération. Des systèmes à base de cuivre et de fer ont été réalisés qui sont particulièrement efficace. L'avantage de ce principe est la simplicité et, partant, les faibles coûts obtenus. MAN considère par contre que subsiste l'inconvénient du rejet de métaux lourds. Ce principe devra encore être essayé jusqu'à ce qu'on connaisse son impact sur l'environnement.

On entrera au début de 1989 dans la seconde phase des essais qui devrait durer environ deux ans. De ce fait, MAN, comme tous les autres constructeurs, n'envisage pas une adaptation en série avant 1990.

Renault Véhicules Industriels (RVI)

Renault déclare avoir un système de filtrage en cours de développement. Très bientôt, un équipement d'essai devrait être monté sur un autobus urbain nouveau modèle pour vérifier tout de suite les problèmes d'encombrement. Toujours en 1989 devraient avoir lieu les essais en service.

Ensuite il faudra optimiser les besoins en place et procéder à l'adaptation au moteur suralimenté.

Des essais au banc sont en cours avec un moteur suralimenté à 6 cylindres et un équipement à double filtre en céramique monolithique et à brûleur de régénération.

A l'époque de l'enquête (janvier 1989), DAF, SCANIA et VOLVO n'ont rien pu déclarer sur les systèmes qui seraient éventuellement en essais.

4 Résumé

Presque tous les grands constructeurs prennent une part plus ou moins active au développement de filtres anti-particules.

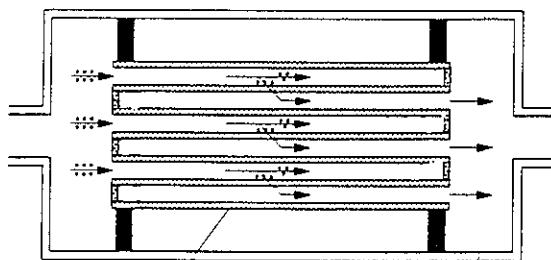
Les différents travaux — en particulier en Europe — sont à ce point avancés qu'à l'issue des derniers grands essais en ligne, prévus pour 1989, on peut espérer démarer la production de série à partir de 1990.

En particulier, les entreprises de transport en commun ont pris une part active à ces essais.

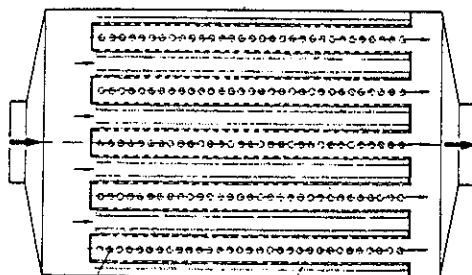
Les développements en vue de la diminution catalytique des oxydes d'azote (NO_x) viennent de commencer.

Il n'est pas encore possible aujourd'hui de faire de pronostics sur ce point.

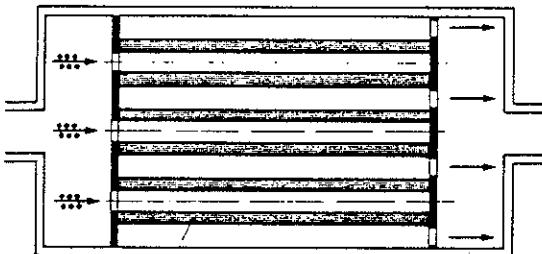
Les principaux systèmes essayés sont décrits aux figures 21, 22 et 23. La figure 24 représente sous forme de tableau les systèmes qui doivent être produits en série après 1989.



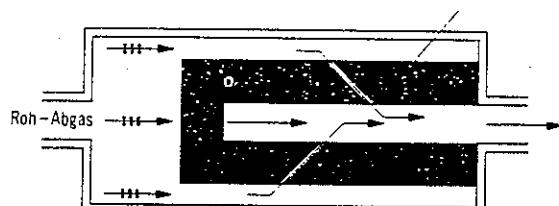
Filtre à céramique monolithique



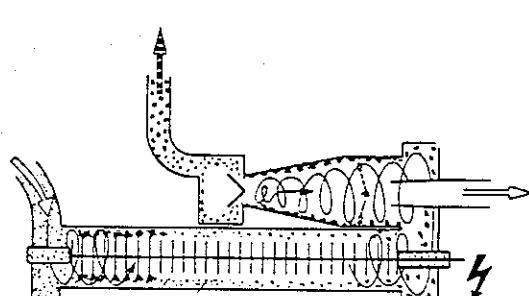
Filtre à bobines de céramique



Filtre à mousse de céramique



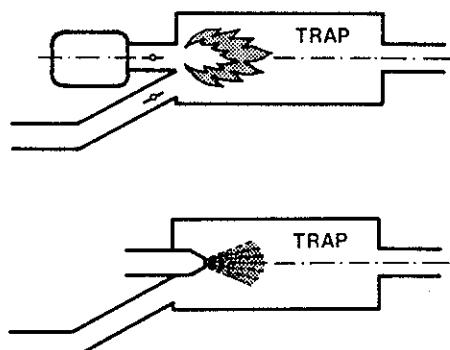
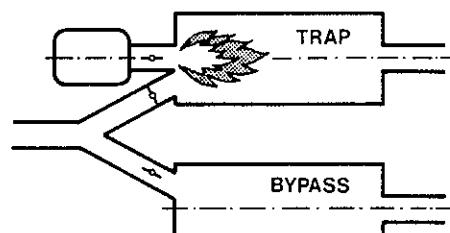
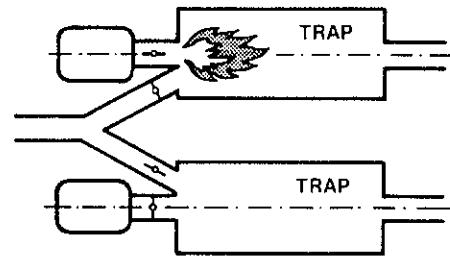
Filtre à laine d'acier



Séparateur électrostatique de suie

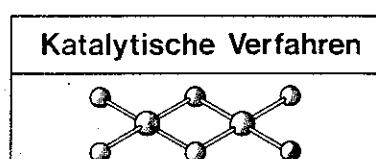
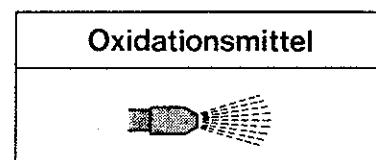
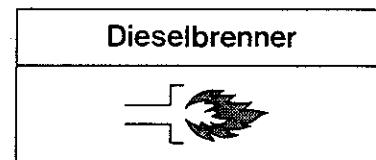
Fig. 21: Types de filtres antiparticules.

(*) Une partie des illustrations utilisées ici sont extraites de publication des entreprises citées ainsi que du rapport du syndicat professionnel de l'Industrie Automobile Allemande (VDA).



Trap = filtre
By-Pass = by-pass

Fig. 22: Dispositions des filtres.



Dieselbrenner = brûleur de carburant diesel
Oxidationsmittel = injection d'agent oxydant
Additive im Kraftstoff = additifs dans le carburant
Katalytische Verfahren = procédés catalytiques

Fig. 23: Modes de régénération des filtres.

Constructeur	DAIMLER-BENZ	IVECO	KHD	MAN
Schéma général				
Type de filtre	Bobines de céramique	Céramique monolithique	Céramique monolithique	Divers types en essai
Disposition du (des) filtre(s)	Filtre unique sans by-pass	Filtre double	Filtre unique sans by-pass	Filtre double
Mode de régénération	Catalytique	Brûleur	Brûleur	Brûleur ou catalytique
Démarrage de la régénération	Automatique	Automatique	Automatique	Automatique
Régénération	Pendant le fonctionnement du moteur	Pendant le fonctionnement du moteur	Pendant le fonctionnement du moteur	Pendant le fonctionnement du moteur
Etat des essais	Essais au banc 60 autobus en essais en ligne 1989 Versions spéciales selon les souhaits des entreprises de transport sur un nombre limité de véhicules	Essais au banc 9 autobus à filtre unique en essai en ligne 1989 50 autobus	Essais au banc 20 autobus en essai en ligne avec des filtres de la 1 ^{re} génération 1989 80 autobus	Essais au banc Essais en ligne: — 10 autobus — 5 autobus 1989 2 ^e phase avec 15 autobus supplémentaires
Durée de vie prévisionnelle	150 000 km	Aucune évaluation n'est encore possible	150 000 km	150 000 km
Masse de l'équipement	environ 40 kg	environ 80 kg	environ 45 kg	60 à 80 kg
Prix	?	?	?	?
Construction en série	Après 1989	Après 1989	Après 1989	Après 1989

Fig. 24: Comparaison des systèmes dont se prépare la réalisation en série.

5 Conclusions

1. Le moteur Diesel émet un moindre proportion de matières nocives que le moteur à essence.
2. Le développement des moteurs à essence et des catalyseurs a diminué l'avance que détenait le moteur Diesel.
Mais le moteur Diesel a été développé à son tour. les améliorations réalisées sur le système d'injectin ont eu pour conséquence une réduction des matières nocives dans les gaz d'échappement et de la consommation de carburant. Compte tenu des conséquences nocives éventuelles des particules, les travaux visant à réduire leur proportion dans les gaz d'échappement se poursuivent.
3. La poursuite des développements dans ce domaine est importante également pour les entreprises de transports publics, en particulier dans les agglomérations, bien que la proportion des transports en commun est faible par rapport à l'ensemble des matières nocives émises par la circulation routière. La fréquentation plus assidue des transports publics contribue également à réduire les émissions des matières nocives. En dépit de la faible proportion prise par les autobus dans les émissions de

matières nocives, les constructeurs et les entreprises de transport devraient poursuivre leur efforts visant à réaliser des améliorations.

4. Les développements s'orientent vers :

- le moteur où les améliorations peuvent être obtenues dans le domaine du contrôle électronique de l'injection;
- l'emploi de gazole de bonne qualité;
- la réduction au minimum de la teneur en soufre (< 0,15 %).

Ces spécifications doivent être mises en place par les entreprises de transports publics.

Il a déjà été prouvé que le filtre à particules permet d'obtenir des améliorations. Les essais actuellement en cours doivent fournir des indications sur la question de savoir si et quand ces filtres pourront être employés dans l'exploitation courante.

5. Il convient d'encourager les développements précités. La réduction plus forte des émissions nocives des moteurs Diesel est dès à présent possible, et elle peut être intensifiée encore à l'avenir. Même au siècle prochain, le moteur Diesel sera encore l'organe de propulsion le plus important pour les autobus, pour des motifs technologiques autant que pour d'autres raisons.

b) L'entretien des autobus — L'entretien dans les ateliers de l'entreprise ou par des entreprises extérieures ?

PAR

Jean-Michel BARNIER, Georges CANAL, Rafael FLOR LECHAGO et Freddy VAN DE WEGHE

Avant-propos

Avant d'analyser l'ensemble des réponses au questionnaire, nous tenons à adresser nos remerciements à tous les réseaux, dont la liste est jointe en annexe 1, qui ont eu l'amabilité de répondre en grand nombre et avec soin aux questions qui leur ont été posées.

Le dépouillement de ce questionnaire a été effectué à l'aide de l'outil informatique. Les listings joints en annexe 2 font apparaître, pour chaque question, les valeurs minimales, moyennes et maximales ou les tendances pour l'ensemble des réponses.

Introduction

- La maintenance se définit d'une manière normative, comme l'ensemble des actions permettant de maintenir, ou de rétablir un bien (en l'occurrence un autobus) dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé.
- D'une manière générale, les techniques de la maintenance, comme beaucoup de domaines de la production ont connu, surtout au cours de ces dernières années, une mutation très profonde des habitudes et des méthodes, marquée par le fait que celle-ci n'est plus subie comme un mal nécessaire, car elle ne se trouve plus essentiellement liée aux défaillances.
- Au contraire la maintenance est actuellement intégrée dans les préoccupations des entreprises (constructeurs et exploitants), dès le stade de la conception, au même titre que la qualité.
- L'évolution des caractéristiques essentielles des matériels est suivie pendant toute la vie de l'équipement et la tendance fondamentale réside dans la prévision des défaillances, de manière à minimiser leurs conséquences.
- Ceci conduit à un principe primordial qui consiste à subordonner les opérations de maintenance à des indications de capteurs de mesure qui renseignent en permanence (ou à un moment donné) sur l'évolution du système et permettent de prévoir le moment où une intervention va devenir nécessaire.
- On assiste dans certains cas, à une évolution consistant à passer de la maintenance corrective, intervenant après la panne, à la maintenance préventive.
- Elle a d'abord été effectuée de façon systématique en fonction d'un échéancier ou du kilométrage, mais on s'oriente à présent vers une maintenance conditionnelle ou prévisionnelle, dite prédictive, se fondant essentiellement sur des systèmes d'aide à la maintenance (SAM), capables de recueillir des informations sur l'état des caractéristiques de fonctionnement ou l'évolution de symptômes de dégradations.

— Il est des domaines industriels où la maintenance assistée par ordinateur (MAO) est devenue pratique courante. De nombreux réseaux d'autobus utilisent également ce puissant outil pour la gestion de la maintenance de leur parc, ce qui leur permet notamment un suivi rigoureux, permanent et rapide des principaux indicateurs, permettant d'évaluer le niveau de qualité de l'entretien.

— Bien au delà des «SAM» et de la «MAO», on constate dans certains secteurs en matière de maintenance industrielle, le développement de systèmes experts tels que l'intelligence artificielle, bases de connaissance, moteurs d'inférence..., procurant une aide au diagnostic.

Ces nouveaux moyens d'investigation offrent une plus grande efficacité dans la recherche des causes de défauts affectant des systèmes relativement complexes, et jouent un rôle didactique indéniable pour appréhender les dispositifs électroniques, gestion de fonctions par microprocesseurs, commandes, régulations, asservissements...

Analyse des réponses

Les responsables des réseaux d'autobus manifestent un vif intérêt pour ce qui concerne tous les aspects liés à la maintenance. Le nombre important de réponses (75) au questionnaire qui a été envoyé aux réseaux membres de l'UITP, ainsi que l'attention qui a été portée à chacune des questions en sont la meilleure preuve.

Compte tenu des différences entre les parcs d'autobus d'une part, du nombre variable de lignes exploitées d'autre part, il existe une très grande disparité entre les réseaux qui sont par conséquent difficilement comparables. Toutefois la quantité de réponses fait clairement apparaître certaines tendances permettant de décrire les orientations principales que se sont fixées la plupart des entreprises de transport.

1. Réseau et conditions d'exploitation des autobus

L'exploitation des autobus est essentiellement urbaine et suburbaine. Hormis les quelques très gros réseaux, le nombre moyen de lignes exploitées est de l'ordre de 35.

D'une façon générale, la topographie des lignes est plutôt moyenne (50 % des réseaux) ou plate (30 % des réseaux). Moins fréquents sont les réseaux qui exploitent des lignes accidentées (20 % des cas).

Le nombre moyen d'accidents de circulation qui représente une partie non négligeable du budget d'entretien est compris pour l'ensemble des réseaux dans une fourchette allant de 0,137 à 5 pour 10 000 kilomètres. La moyenne est de l'ordre de 0,96 accident pour 10 000 kilomètres.

Le nombre d'accidents graves de voyageurs (aux accès ou à l'intérieur de l'autobus) pour lesquels il y a au moins hospitalisation est en moyenne de 9 par an.

Pour ce qui concerne l'évolution du vandalisme celle-ci est progressive. Le vandalisme ne régresse que pour 16 % des réseaux. C'est la raison pour laquelle les sièges anti-vandalismes sont de plus en plus adoptés.

II. Parc d'autobus

La très grande majorité des réseaux fait appel aux constructeurs nationaux pour la constitution de leur parc d'autobus. Bien souvent ce parc est composé de toute une gamme de véhicules allant du minibus, parfois dérivé de véhicules utilitaires, au bus articulé.

Dans 69 % des cas le nombre d'autobus en service est plus important à la pointe du matin qu'à la pointe du soir. Le taux de disponibilité varie selon les réseaux de 0,65 à 0,94, sa valeur moyenne est 0,84. Cependant, il faut mentionner que pour les réseaux ayant un très faible taux de réserve, le nombre d'autobus en service à la pointe du matin et à la pointe du soir est très différent. Cela permet, lorsque c'est possible, d'effectuer les opérations d'entretien soit le soir, soit le matin selon le cas, sans altérer le taux de disponibilité. De plus, ces réseaux ont fréquemment un autre mode de transport à proposer aux voyageurs (métro, tramway, etc...).

Actuellement la durée de vie moyenne des autobus est de 14 ans pour un âge moyen du parc de 7,5 ans environ. Il faut noter que les quelques réseaux qui conservent leurs autobus beaucoup plus longtemps (20 à 25 ans) procèdent à une révision voire une remise en état très complète de leurs autobus après une durée d'utilisation de 11 à 12 ans environ. 40 % des réseaux ont l'intention d'accroître la durée de vie de leurs autobus de 2 ans environ. En conséquence, la durée de vie moyenne des autobus devrait atteindre progressivement 15 ans. Le kilométrage annuel moyen de ces autobus étant de l'ordre de 40 000 kilomètres, ces véhicules parcourent au total 600 000 kilomètres en moyenne.

III. Remisage des autobus

Compte tenu de la très grande disparité entre les réseaux, le nombre de dépôts distincts est très variable. A l'exception des quelques très gros réseaux, la majorité d'entre eux a entre 1 et 4 dépôts. Le nombre moyen d'autobus par dépôt est de l'ordre de 150 véhicules alors que le nombre optimum semble être autour de 200 autobus.

Il n'existe pas de solution idéale pour ce qui concerne le mode de remisage (épis, ligne, etc.) qui est en général adapté à la configuration du dépôt. Pour cette zone de remisage, le pourcentage de bus garés à ciel ouvert est sensiblement équivalent au pourcentage de bus garés dans les halls couverts. Par contre le pourcentage de bus garés dans les ateliers de réparation est relativement faible (de l'ordre de 7 %). Cette solution est plus particulièrement adoptée dans les dépôts situés en milieu urbain et pour lesquels la zone de remisage n'est pas suffisante. Par ailleurs, pour ces mêmes dépôts, on constate que les

contraintes d'environnement deviennent de plus en plus importantes. Effectivement les riverains acceptent de moins en moins les nuisances dues aux autobus (bruit, pollution). Cela explique en partie l'implantation de plus en plus fréquente de réseaux d'air comprimé permettant de « gonfler les autobus » sans faire tourner le moteur.

Pour ce qui concerne les installations particulières retenues dans le cas du remisage en plein air, on constate que dans la majorité des réseaux les véhicules n'ont pas d'équipements particuliers. Les dispositifs les plus fréquents sont le chariot mobile de batteries et le réseau d'air comprimé. Toutefois, dans les régions froides, les générateurs d'eau chaude (type Webasto) sont largement utilisés pour le démarrage, le chauffage, le dégivrage etc.

IV. Les opérations systématiques d'entretien courant, les opérations dites de station service

Dans 66 % des cas les opérations de station service sont effectuées dans une zone d'atelier spécialement aménagée. De nombreux réseaux ont choisi d'intervenir à la rentrée (par le chauffeur dans certains cas) ou alors le soir.

Pour la très grande majorité des réseaux le remplissage du réservoir de carburant s'effectue manuellement à la rentrée de l'autobus. Toutefois, 28 % des réseaux utilisent des dispositifs d'aide à la charge. Les dispositifs automatiques n'en sont qu'au stade de l'expérimentation dans un réseau sur sept.

Le lavage extérieur est une opération systématique effectuée dans 100 % des cas par une machine automatique, mais il peut être complété par un lavage manuel réalisé selon une périodicité moins importante. Le lavage automatique, effectué tous les 2 jours par le réseau, dure en moyenne 3 minutes.

Pour ce qui concerne le nettoyage intérieur, il s'agit également d'une opération quotidienne d'une durée moyenne de 8 minutes lorsqu'il est quotidien ou de 20 minutes lorsqu'il est hebdomadaire. Cette opération est effectuée par les réseaux dans 60 % des cas. 40 % des réseaux passent des contrats de sous-traitance. Bien que cette opération soit effectuée au remisage dans la plupart des cas, elle peut également être réalisée au poste de charge (très rarement en reprise). Elle est exécutée de façon semi-automatique par aspiration centrale de préférence.

Le nettoyage intérieur est complété par un époussetage dont la périodicité est de 2 à 3 fois par semaine environ et d'une durée approximative de 15 minutes. Cette opération manuelle est sous-traitée par 40 % des réseaux et peut être indifféremment dépendante ou indépendante du balayage.

Le lessivage intérieur est une opération beaucoup moins fréquente (2 à 3 fois par an), sa durée moyenne est de 2 heures et demi environ. Cette opération est également sous-traitée dans 40 % des cas.

Pour ce qui concerne les sièges, il est clair que les réseaux optent pour des revêtements bien spécifiques qu'ils adoptent pour la très grande majorité de leur parc. Les types de revêtements les plus fréquents sont le tissu puis le vinyl. Cependant les nappes antilacérations sont de plus en plus souvent utilisées.

Le nettoyage des glaces et pare-brises est effectué de préférence par le réseau selon des périodicités variables liées aux conditions climatiques (opération essentiellement manuelle).

Compte tenu de la disparité entre les réseaux et de leur différence d'organisation, il n'est pas aisé de connaître la durée moyenne des opérations journalières correspondant à une tâche déterminée (une enquête bien plus approfondie sur ce point serait nécessaire). Il en est de même pour ce qui concerne le personnel affecté à l'entretien des voitures (nombre de maîtrises, d'ouvriers etc.).

Pour des raisons d'organisation, il semble nécessaire de disposer de 2 postes de charge pour un dépôt type de 150 autobus. Le débit optimal de ces postes est compris entre 80 et 90 l/min, au-delà le gazole mousse.

Compte tenu des instructions découlant des spécifications des constructeurs, la périodicité des lubrifications est de l'ordre de :

- 18 000 kilomètres pour le moteur;
- 30 000 kilomètres pour la boîte de vitesses;
- 50 000 kilomètres pour le pont arrière;
- 15 000 kilomètres pour le compresseur qui est dans bien des cas lubrifié avec le moteur;
- 70 000 kilomètres pour la servo-direction.

La durée moyenne nécessaire pour effectuer l'ensemble de ces opérations, qui est bien sûr variable selon les réseaux et les autobus, est de 4 heures. On remarque par ailleurs l'intérêt des dispositifs à niveaux constants pour l'appoint en huile, largement adoptés par les réseaux.

Pour ce qui concerne l'entretien préventif, il concerne différents types d'organes. Les critères essentiels qui déterminent ces échanges sont en priorité :

- la sécurité;
- la fiabilité et les pannes-avaries.

Pour les opérations systématiques exigées par la réglementation en vigueur, on constate que certains réseaux sont soumis à un contrôle effectué par un organisme d'état ou agréé par l'état. Ces contrôles concernent essentiellement des organes de sécurité.

Le nettoyage approfondi du véhicule (lessivage intérieur, shampooing extérieur etc.) fait partie de l'entretien préventif. La périodicité de cette opération est variable, mais elle a lieu en général 3 ou 4 fois par an, sa durée moyenne est de 4 heures 30. Pour ce qui concerne l'extérieur, les dispositifs d'eau chaude sous pression sont fortement utilisés.

V. Réparations et révisions

80 % des réseaux possèdent un atelier central chargé des réparations et des rénovations. L'effectif en personnel de chacun d'entre eux est très variable.

Les organes essentiels (moteurs, boîtes de vitesses, ponts arrière, etc.) déposés de l'autobus ne proviennent pratiquement que d'une maintenance corrective. Cependant on assiste actuellement à un début d'évolution de la maintenance prédictive par transfert de la maintenance corrective et d'une partie de la maintenance systématique. La maintenance prédictive est pourtant encore assez peu répandue par rapport à la maintenance préventive systématique qui est essentiellement adoptée pour ce qui concerne les organes de sécurité (commandes de freinage, tambour, garnitures, etc.).

VI. Résultats et ratios de la maintenance

Le nombre moyen de pannes aux 10 000 kilomètres (incidents entraînant une perturbation d'exploitation) est de 1,97. Cette moyenne est un peu élevée et l'on peut considérer que l'objectif à atteindre se situe autour de 1 panne/10 000 km.

Le nombre moyen d'incidents aux 10 000 kilomètres (véhicules signalés sans interruption de trafic) est de 2,70. Cette valeur semble également un peu élevée, un objectif de 2 incidents/10 000 km paraît tout à fait accessible.

La distinction entre les 2 rubriques précédentes n'est pas toujours évidente, par conséquent un objectif de 3 (pannes + incidents)/10 000 km semble réaliste mais nécessite tout de même de disposer d'un bon matériel et d'adopter une organisation appropriée de la maintenance.

La consommation moyenne de gazole fortement liée aux conditions d'exploitation (charge, vitesse, relief, etc.) est de 45 litres, environ plus ou moins 30 %.

La durée de vie moyenne d'un pneumatique en utilisation urbaine est de l'ordre de 90 000 kilomètres.

Actuellement, la moyenne pour l'ensemble des réseaux atteint la valeur de 0,45 ouvrier/autobus (dépôts et ateliers). L'objectif à atteindre dépend de l'organisation et des sous-traitances éventuelles.

Les dépenses matières, pièces, organes, par autobus s'élèvent en moyenne à 35 000 FF par an.

VII. Les systèmes d'aide à la maintenance

La très grande majorité des réseaux envisage d'adopter à l'avenir un système d'aide à la maintenance. Cependant pour la plupart ils n'en sont qu'à une prospective des systèmes existants. 29 % de ces réseaux procèdent à un début d'expérimentation. Les motivations principales sont par ordre de priorité :

- l'amélioration de la disponibilité;
- la réduction des coûts;
- l'abaissement des charges d'exploitation;
- l'augmentation de la fiabilité.

Parmi les réseaux qui s'orientent d'ores et déjà vers ce nouveau type de maintenance, le choix semble s'orienter essentiellement vers les systèmes embarqués. Pourtant les réseaux qui ont optés pour le diagnostic externe sont ceux dont l'expérimentation est la plus avancée. Le principal argument en faveur de cette option est très certainement le coût qui est moindre que celui de l'option diagnostic embarqué.

VIII. Gestion informatisée de la maintenance

Dans la majorité des réseaux, l'organisation de la maintenance est informatisée, mais à peine 10 % des réseaux utilisent globalement l'ordinateur pour ce type de gestion.

Les différentes parties informatisées et les plus importantes sont :

- les statistiques diverses, ratios;
- les pannes et avaries;
- les stocks;
- les visites.

Une minorité de réseaux traite aussi les réparations et les révisions. Rare est encore l'application de l'informatique dans le domaine des procédures et méthodes, particulièrement en ce qui concerne la fiabilité.

Une majorité de réseaux utilise l'informatique pour contrôler les tâches du personnel de maintenance, cependant l'application s'effectue pratiquement indépendamment.

La charge du ou des ateliers de réparation et de rénovation des pièces et organes est relativement peu informatisée.

Les quelques entreprises qui utilisent des systèmes automatiques de diagnostic recherchent toujours une compatibilité avec l'informatique de gestion.

Un traitement et une analyse des défauts et des avaries (fiabilité: MTBF) sont pratiqués dans un certain nombre d'entreprises, mais souvent de manière indépendante.

Le suivi de la consommation kilométrique en carburant pour chaque autobus est pratiqué de manière quasi générale, apparemment d'une façon globale ou individuelle (par autobus), mais non automatique. Une relation avec la longévité des organes de l'autobus ou la dureté du réseau n'est pas établie avec certitude.

La gestion des coûts de la fonction maintenance est suivie de manière quasi générale, plutôt au niveau global (peu par autobus). L'imputation des coûts se pratique souvent aussi de manière indépendante. Un exemple de gestion informatisée de la maintenance est donné en annexe 3.

IX. *Les systèmes experts*

Les systèmes experts sont encore très peu répandus puisque 6 % seulement des réseaux les utilisent. A ce jour aucune conclusion ne peut être dégagée pour ce qui concerne les enseignements que l'on peut tirer de cette application.

X. *Les équipes autonomes de maintenance*

Une minorité de réseaux envisage actuellement d'expérimenter l'organisation du travail en équipe autonome. Par contre, lorsque cette organisation est envisagée, elle concerne aussi bien les ateliers que les dépôts. Le cadre fixé à ce mode d'organisation concerne en priorité :

- l'auto-distribution des tâches au niveau du groupe;
- les méthodes, normes et cycles d'entretien.

Les objectifs à atteindre par les réseaux sont, par ordre de priorité :

- les coûts en personnel;
- les matières, pièces détachées;
- la réduction d'absentéisme.

Une majorité de réseaux envisage de distribuer un intérêsement au personnel dont elle souhaite accroître la motivation grâce à une telle organisation.

Actuellement, il est encore trop tôt pour tirer des enseignements définitifs sur cette nouvelle méthode, mais il semble qu'elle conduise à une meilleure organisation et à une amélioration de la productivité.

XI. *La maintenance sous-traitée*

50 % des réseaux passent des contrats de sous-traitance de préférence avec des sociétés spécialisées. Les constructeurs d'autobus n'interviennent qu'exceptionnellement en tant que sous-traitant.

Dans tous les cas, il s'agit d'une sous-traitance partielle qui concerne en particulier :

- le nettoyage intérieur ou extérieur (79 % des réseaux);
- l'entretien roues-pneus (45 % des réseaux).

Rares sont les réseaux qui sous-traitent :

- la charge en carburant;
- l'entretien des véhicules (opérations de station service, maintenance préventive, corrective, etc...). Un exemple de contrat de maintenance technique est donné en annexe 4.

Les principaux types de contrat de maintenance sont par priorité :

- la maintenance à forfait;
- la maintenance en dépenses contrôlées.

Les principaux objectifs assignés sont :

- les contraintes d'exploitation;
- les indicateurs de propreté;
- la disponibilité du matériel.

Conclusion

- Les résultats de l'enquête sur ce thème, réalisée par l'UITP auprès des réseaux montrent que le produit industriel que constitue l'autobus, ne semble pas a priori, pouvoir échapper à l'évolution technologique générale.
- Son objectif et son intérêt majeur sont d'obtenir à la fois une plus grande efficacité dans la mise en œuvre et le suivi de la maintenance de ce véhicule et par conséquent une réduction sensible de son coût par des gains de productivité.
- Actuellement la part prise par la maintenance dans l'ensemble des coûts globaux d'exploitation d'un réseau est relativement importante, car elle se situe approximativement entre 15 et 20 %.
- Comme tout produit industriel et particulièrement ceux du secteur des véhicules automobiles, l'autobus a subi dans le temps une importante évolution de sa conception, engendrée par les progrès techniques et technologiques et cela essentiellement pour répondre aux besoins découlant de divers facteurs tels que les performances, le confort, la sécurité, la réglementation, l'environnement, etc...
- Cette évolution a permis d'obtenir des progrès considérables sur la tenue et la fiabilité de nombreux organes, notamment mécaniques et sur la durée de vie des éléments structuraux et de la carrosserie.
- Cependant, du fait d'objectifs de performances, de niveaux toujours plus élevés, on assiste à l'utilisation massive d'équipements électro-pneumatiques et hydro-pneumatiques ainsi qu'à la pénétration progressive de l'électronique et de la micro-informatique industrielle dans le cadre de fonctions gérées par micro-processeurs qui vont des commandes de portes à la régulation de la transmission

- de puissance et de signalisation aux systèmes d'aide à l'exploitation...
- Il est donc devenu indispensable de maîtriser ces technologies pour maintenir ou obtenir un bon niveau de disponibilité des autobus concernés. Ceci passe :
 - d'abord par une construction avec des composants de qualité, dont les prix en première monte sont parfois peu compatibles avec les coûts de revient dans le domaine automobile,
 - ensuite par la généralisation de systèmes d'aide à la maintenance (SAM) conçus en même temps que le matériel roulant.

— L'enjeu de ces technologies nouvelles, indispensables pour satisfaire la clientèle des transports en commun par autobus, est de contribuer également, si elles sont bien maîtrisées, à l'optimisation du coût d'exploitation, la maintenance devant prendre alors une moindre part que précédemment dans le bilan global.

— Il faut cependant rester prudent vis-à-vis de ces nouveaux équipements pour ne jamais remettre en cause la sécurité des voyageurs et conserver la maîtrise de leur fiabilité et de leur coût de fonctionnement.

ANNEXE 1

Liste des entreprises ayant répondu au questionnaire

1. Stadtwerke Osnabrück AG, Osnabrück (RF Allemagne)
2. S.P.M. Transports de Barcelona S.A., Barcelona (Espagne)
3. Société des Transports Intercommunaux de Bruxelles — STIB, Bruxelles (Belgique)
4. Kölner Verkehrs-Betriebe AG, Köln (RF Allemagne)
5. Strathclyde Buses Ltd., Glasgow (Grande-Bretagne)
6. Göteborgs Spårvägar, Göteborg (Suède)
7. Compagnie des Transports en Commun de Neuchâtel et Environs, Neuchâtel (Suisse)
8. Stadtwerke Mönchengladbach GmbH, Mönchengladbach (RF Allemagne)
9. Stadtwerke Frankfurt am Main, Francfort (RF Allemagne)
10. AB Storstockholms Lokaltrafik, Stockholm (Suède)
11. Compagnie des Transports Strasbourgeois — CTS, Strasbourg (France)
12. Société Anonyme d'Economie Mixte des Transports Urbains de la Région de Valenciennes — Semurval, Saint-Saulve (France)
13. Société des Transports Intercommunaux de Charleroi, Montignies-sur-Sambre (Belgique)
14. Compagnie des Transports de Besançon, Besançon (France)
15. Compagnie Générale Française de Transports et d'Entreprises, Le Havre (France)
16. Verkehrs-Aktiengesellschaft — VAG, Nuremberg (RF Allemagne)
17. Régie Autonome des Transports Parisiens — RATP, Paris (France)
18. Dortmunder Stadtwerke AG, Dortmund (RF Allemagne)
19. Société des Transports Urbains de Nice, Nice (France)
20. Société des Transports Intercommunaux de la Région Liégeoise, Liège (Belgique)
21. Gemeentevervoerbedrijf Amsterdam, Amsterdam (Pays-Bas)
22. Transportes Urbanos de Zaragoza S.A., Saragosse (Espagne)
23. Grazer Stadtwerke AG, Graz (Autriche)
24. Compagnie des Transports de la Région Lorientaise, Lorient (France)
25. Städtische Verkehrsbetriebe Bern, Berne (Suisse)
26. Azienda Trasporti Municipali, Milan (Italie)
27. Stadtwerke München, Munich (RF Allemagne)
28. Berliner Verkehrs-Betriebe — BVG, Berlin (Allemagne)
29. Maatschappij voor het Intercommunaal Vervoer te Antwerpen, Anvers (Belgique)
30. Blackpool Transport Services Ltd., Blackpool (Grande-Bretagne)
31. Compagnie des Transports de la Communauté Urbaine de Brest, Brest (France)
32. Société des Transports Urbains Rennais, Rennes (France)
33. Stadtwerke Bonn, Bonn (RFA)
34. Stadtwerke Wiesbaden, Wiesbaden (RFA)
35. Hovedstadsområdets Trafikselskab, Valby (Danemark)
36. Transports Publics Genevois, Genève (Suisse)
37. London Buses Limited, Londres (Royaume-Uni)
38. Stuttgarter Strassenbahnen AG, Stuttgart (RFA)
39. Chemins de Fer Fribourgeois — GFM, Fribourg (Suisse)
40. Société Lyonnaise de Transports en Commun, Lyon (France)
41. Société des Transports Abidjanais — Sotra, Abidjan (Côte d'Ivoire)
42. Consorzio Provinciale Trasporti Pubblici, Como (Italie)
43. Duisburger Verkehrsgesellschaft AG — DVG, Duisbourg (RFA)
44. Régie des Transports de Marseille — RTM, Marseille (France)
45. Réseau de Transports en Commun de la Communauté Urbaine de Bordeaux, Bordeaux (France)
46. Gemeente Groningen, Groningen (Pays-Bas)
47. Aachener Strassenbahn und Energieversorgungs AG — ASEAG, Aix-la-Chapelle (RFA)
48. Bochum-Gelsenkirchener Strassenbahnen AG, Bochum (RFA)
49. Wiener Stadtwerke Verkehrsbetriebe, Vienne (Autriche)
50. Mannheimer Verkehrs-AG — MVG, Mannheim (RFA)
51. Essener Verkehrs-AG, Essen (RF Allemagne)
52. Metropolitan Transit Authority, Houston, Texas (USA)
53. Transports Publics de la Région Lausannoise S.A., Lausanne (Suisse)
54. Stadtwerke Offenbach GmbH, Offenbach am Main (RF Allemagne)
55. State Transport Authority, Adelaïde (Australie)
56. Brisbane City Council, Brisbane (Australie)
57. AS Oslo Sporveier, Oslo (Norvège)
58. Metropolitan Transit Authority of Victoria, Melbourne, Victoria (Australie)
59. Wellington City Transport, Wellington (Nouvelle Zélande)
60. Transperth, Perth (Australie)
61. Hamburger Hochbahn AG, Hambourg (RF Allemagne)
62. Urban Transport Corporation — EAS, Athènes (Grèce)
63. Niederrheinische Verkehrsbetriebe AG — NIAG, Moers (RF Allemagne)
64. Hannoversche Verkehrsbetriebe AG — ÜSTRA, Hanovre (RF Allemagne)
65. Budapesti Közlekedési Vallalat, Budapest (Hongrie)
66. Westfälische Verkehrsgesellschaft mbH, Münster (RF Allemagne)
67. Azienda Municipalizzata Trasporti, Gênes (Italie)
68. NJ Transit Bus Operations Inc., New Jersey (USA)
69. Dopravní Podniky Hlav. Města Prahy — Koncern, Prague (Tchécoslovaquie)
70. Gemeentelijk Vervoerbedrijf Utrecht, Utrecht (Pays-Bas)
71. Stadtwerke Mönchengladbach GmbH, Mönchengladbach (RF Allemagne) (complément d'information)
72. City Bus Limited, Belfast (Irlande du Nord)
73. Société de Transport de la Communauté Urbaine de Montréal, Montréal (Canada)
74. Société Montpelliéraine de Transport Urbain, Montpellier (France)
75. Azienda del Consorzio Trasporti Veneziano, Venise (Italie)

Analyse des réponses au questionnaire

I. Réseau et conditions d'exploitation des autobus UITP	Moyenne	Mini	Maxi
1.1 Nombre de lignes exploitées	94,28	4	651
1.2 Longueur totale des lignes exploitées (km)	1 587,35	15	30 180
dort urbain (%)	73,45	—	100
suburbain (%)	22,74	—	97
interurbain (%)	6,47	—	63
1.3 Voyageurs transportés/an (1987) (en millions)	119,68	1	1 000
1.4 Kilomètres-voitures effectués/an (en millions)	31,04	1,2	229
1.5 Topographie des lignes: accidentée/moyenne/plate	49 % moy. 31 % pla. 20 % acc.	— — —	— — —
1.6 Vitesses commerciales moyennes			
— heures de pointe	17,93	9,83	29
— heures creuses	20,28	11,32	35
1.7 Nombre d'accidents de circulation de toute nature touchant les autobus/10 000 km	0,96	0,137	5
1.8 Nombre de jours × autobus immobilisés annuellement pour réparations accidentielles de circulation	719,93	58	4 380
1.9 Nombre d'accidents graves de voyageurs			
— aux accès	8,54	0	46
— à l'intérieur de l'autobus	10,11	0	44
1.10 Importance des dégradations du matériel par vandalisme	2,20	0	20
— en pourcentage du coût global de la fonction entretien/maintenance	51 % stable	—	—
— Evolution: dégressive/stable/progressive	33 % prog. 16 % dég.	— —	— —

II. Parc d'autobus	Moyenne	Mini	Maxi
2.1 Nombre d'autobus d'un type donné (séries)			
— Années de mise en service			
— Km annuels moyen/autobus de la série			
— Service effectué (urbain, suburbain, etc.)			
— Capacité d'un autobus			
— Coût total de la fonction entretien en francs/km ou monnaie nationale (laquelle?)			Voir tableau ci-joint
2.2 Nombre d'autobus en service			
— A la pointe du matin	508,82	7	3 961
— A la pointe du soir	481,79	5	4 033
— Taux de disponibilité	0,84	0,65	0,94
2.3 Politique de renouvellement des autobus			
— Durée de vie réelle d'un bus en service normal (an)	13,61	6	25
— Age moyen du parc	7,29	3,75	20
— Tendances-évolution (+/- × ans)	13,91	8	25

III. Remisage des autobus	Moyenne	Mini	Maxi
3.1 Nombre de dépôts distincts	6,92	1	143
3.2 Nombre d'autobus par dépôt	139,31	14	300
3.3 Pour un dépôt type idéal, quel est à votre avis le nombre optimum d'autobus?	160,22	32	300
3.4 Mode de parage (ligne, épis, autre méthode)	variable		
3.5 Pourcentage moyen des autobus garés			
— à ciel ouvert (en %)	48,44	0	100
— dans les halles couverts, fermés (en %)	45,59	0	100
— dans les ateliers de réparation (en %)	7,40	0	100
3.6 Dans les cas de remisage en plein air, quelles sont les installations particulières			
A pour assurer le démarrage à froid des moteurs?			
B pour le chauffage du bus avant la mise en service?			
C pour le dégivrage des vitres?			
D pour la recharge des batteries?			
E pour la mise en pression des réservoirs d'air?			
			Equipements les plus fréquents
			— Chariots mobiles de batteries
			— Régions froides: Webasto

III. Parc moyen d'autobus (annexe)

Type d'autobus	Minibus	Standard	Articulé	Total
Composition du parc (nombre d'autobus)	5	550	45	600 Moyenne
Kilométrage annuel moyen	44 000	48 500	42 000	44 833
Coût total de l'entretien en francs/km	2,68	3,22	3,96	3,29

IV. Les opérations systématiques d'entretien courant Les opérations dites de station-service

	Moyenne	Mini	Maxi
4.1 Ces opérations se font-elles dans un hall spécialement aménagé à cet effet ou à l'entrée du dépôt ?	66 % zone atelier aménagée	—	—
4.2 Quand et comment se réalisent-elles ?	A la rentrée	en général ou alors le soir	
4.2.1 Remplissage réservoir carburant	70 % rentré	—	—
— Fréquence journalière	oui/non	0,96	—
— Manuellement	oui/non	0,90	—
— Aide à la charge	oui/non	0,28	—
— Automatique	oui/non	0,15	—
4.2.2 Lavage extérieur :			
— Systématique	oui/non	0,82	—
— Si non quels critères ?		—	—
— Manuellement		0,06	—
— Périodicité		—	—
— Durée moyenne (minutes/autobus)		42,70	2
— Par le réseau (personnel affecté)		1,00	—
— Par entreprise extérieure : coût/km ou coût/km/an		—	—
— Machine automatique		1,00	—
— Périodicité		—	—
— Durée moyenne (minutes/autobus)		3,23	0,66
— Par le réseau (personnel affecté)		0,98	—
— Par entreprise extérieure : coût/km ou coût/km/an		—	—
— D'autres moyens		—	—
4.2.3 Nettoyage intérieur :			
— Périodicité	60 % quot.	—	—
— Durée moyenne (minutes/autobus)		18,25	1
— Par le réseau (personnel affecté)		0,59	—
— Par entreprise extérieure : coût/km ou coût/km/an		0,40	—
— Au poste de charge		0,37	—
— En reprise		0,12	—
— Au remisage		0,66	—
— Manuellement		0,54	—
— Semi-mécanique		0,59	—
— Aspiration centrale		0,45	—
— Aspirateurs portables		0,40	—
— Aspirateurs au sol		0,30	—
— Courant d'air		0,23	—
— Autres, lequel ?		—	—
4.2.4 Epoussetage intérieur	46 % quot.	—	—
— Périodicité		—	—
— Durée moyenne (minutes/autobus)		14,89	0,5
— Par le réseau (personnel affecté)		0,65	—
— Par entreprise extérieure : coût/km ou coût/km/an		0,40	—
— Cette opération est-elle incluse dans le balayage		0,61	—
— De même fréquence que le balayage		0,63	—
— Indépendante du balayage		0,41	—
— Préciser la fréquence manuellement/mécaniquement	80 % manu	—	—
— Périodicité		—	—
— Durée moyenne (minutes/autobus)		158,00	76
— Par le réseau (personnel affecté)		1,00	—
— Par entreprise extérieure : coût/km ou coût/km/an		—	—
4.2.5 Lessivage intérieur	—	—	—
— Périodicité	2 à 3 fois/an	—	—

IV. Les opérations systématiques d'entretien courant Les opérations dites de station-service	Moyenne	Mini	Maxi
— Durée moyenne (minute/autobus)	144,44	6	480
— Par le réseau (personnel affecté)	0,63	—	—
— Par entreprise extérieure: coût/km ou coût/km/an	0,43	—	—
— Nettoyage des sièges	—	—	—
— Type de revêtement des sièges en % du parc:			
• Vinyl	28,48	—	—
• Tissus	45,22	—	—
• Plastique moulé	13,77	—	—
• Nappe anti-lacérations	2,84	—	—
• Autres	9,69	—	—
— Manuellement	0,62	—	—
— A l'aide de machines	0,56	—	—
4.2.6 Nettoyage des glaces et pare-brise			
— Périodicité	—	—	—
— Durée moyenne (minute/autobus)	43,50	4	120
— Par le réseau (personnel affecté)	0,68	—	—
— Par entreprise extérieure: coût/km ou coût/km/an	0,34	—	—
— Méthode employée	—	—	—
4.3 Durée journalière et moyenne des opérations journalières sur un autobus (minutes)	59,88	2	600
4.4 Personnel affecté à l'entretien journalier dans un dépôt de: (x bus)	148,76	14	350
— Maîtrise	3,95	—	30
— Ouvriers qualifiés	23,77	—	180
— Ouvriers non-qualifiés	12,94	—	70
4.5 Nombre de postes de charge de carburant Estimé nécessaires pour un dépôt de (x ? bus)	2,54	1	10
— Débit optimal des postes à charges (l/mn)	147,03	14	350
90,20	45	150	
4.6 Les opérations périodiques découlant des spécifications du constructeur-guide d'entretien			
— Périodicité lubrification moteur	18 641,30	5 000	45 000
— Périodicité lubrification boîte de vitesses	29 489,36	5 000	80 000
— Périodicité lubrification pont-arrière	51 684,78	5 000	300 000
— Périodicité lubrification compresseur	16 000,00	5 000	30 000
— Périodicité lubrification servo-direction	77 783,78	5 000	300 000
— Total lubrification	244,08	60	630
— Pour l'appoint en huile moteur, utilisez-vous un dispositif à niveau constant avec réserve?	—	—	—
4.7 Autres travaux exécutés lors des opérations préventives spécifiées (ou non) par le constructeur			
4.8 Opérations systématiques, périodiques exigées par la réglementation en vigueur			
4.9 Dans le cadre de l'entretien préventif, quels sont les pièces ou organes déposés d'une manière systématique suivant une périodicité fixée?			Essentiellement des organes de sécurité
— Quels sont les critères qui déterminent ces échanges?			
• Sécurité	0,66	—	—
• Réglementation	0,32	—	—
• Fiabilité-MTBF	0,52	—	—
• Pannes-avaries	0,53	—	—
4.10 Brève description de l'organisation du travail des services préventifs pour un dépôt type de x ? autobus	161,71	14	800
— Nombre d'autobus traités par jour?	22,69	1	255
• Personnel affecté pour x ? bus	27,88	0,6	125
• Maîtrise	2,43	—	17
• Ouvriers qualifiés	20,14	—	110
• Ouvriers non-qualifiés	6,38	—	107
— Horaires de travail	—	—	—
4.11 Le nettoyage approfondi du véhicule (lessivage intérieur, shampooing extérieur, etc.) fait partie de l'entretien préventif			
— Quelle est la fréquence de cette opération?			
Intérieur	—	—	—
Extérieur	—	—	—
— Quelle est la durée d'immobilisation d'un bus?	281,58	3	960
— Quel est le nombre d'hommes occupés?	3,95	1	30
— Etendue du nettoyage (par ex. châssis)?	—	—	—
— Appareils utilisés?			Souvent des dispositifs d'eau chaude sous pression

V. Réparations et révisions	Moyenne	Mini	Maxi
5.1 Disposez-vous d'un atelier central chargé de réparation, des rennovations ? (oui/non)	0,80	—	—
— Si oui, quel est son effectif en personnel?			
— maîtrise	9,35	1	61
— exécution: qualifiés	95,28	4	371
— non qualifiés	6,92	—	60
5.2 Les organes essentiels déposés de l'autobus proviennent-ils:			
— d'avaries dans le cadre d'une maintenance uniquement corrective (curative)? (oui/non)	0,41	—	—
— de démontages résultant de l'application d'une maintenance préventive systématique? (oui/non)	0,40	—	—
— de démontages prévus à temps dans le cadre d'une maintenance conditionnelle prédictive (oui/non)	0,30	—	—
— d'une association de ces différents modes de maintenances (oui/non)	0,41	—	—
Pouvez-vous préciser l'application de ces modes de maintenance pour les organes essentiels de l'autobus, dans le cas où ceux-ci sont l'objet d'avaries nécessitant leur dépose?			
Précisez si possible leur MTBF			
— Moteur			
• Maintenance corrective MTBF	370 500	71 000	600 000
• Maintenance préventive systématique, périodicité	337 500	250 000	450 000
• Maintenance prédictive MTBF	295 760	71 280	416 000
• Coût moyen d'une révision rénovation	45 882	17 000	100 000
— Boîte de vitesses			
• Maintenance corrective MTBF	198 875	54 000	400 000
• Maintenance préventive systématique, périodicité	330 000	150 000	450 000
• Maintenance prédictive MTBF	275 501	74 502	400 000
• Coût moyen d'une révision rénovation	30 183	12 000	69 000
— Pont arrière			
• Maintenance corrective MTBF	462 500	160 000	940 000
• Maintenance préventive systématique, périodicité	258 333	150 000	450 000
• Maintenance prédictive MTBF	—	—	—
• Coût moyen d'une révision rénovation	19 267	1 700	62 000
— Réducteur			
• Maintenance corrective MTBF	412 500	200 000	850 000
• Maintenance préventive systématique, périodicité	350 000	300 000	400 000
• Maintenance prédictive MTBF	—	—	—
• Coût moyen d'une révision rénovation	41 400	6 400	84 000
— Essieu avant			
• Maintenance corrective MTBF	354 091	160 000	670 000
• Maintenance préventive systématique, périodicité	293 750	175 000	400 000
• Maintenance prédictive MTBF	—	—	—
• Coût moyen d'une révision rénovation	11 369	2 000	23 000
— Direction			
• Maintenance corrective MTBF	366 400	160 000	500 000
• Maintenance préventive systématique, périodicité	375 000	200 000	500 000
• Maintenance prédictive MTBF	267 700	235 400	300 000
• Coût moyen d'une révision rénovation	7 256	2 200	11 500
— Compresseur			
• Maintenance corrective MTBF	202 500	16 000	900 000
• Maintenance préventive systématique, périodicité	190 000	100 000	250 000
• Maintenance prédictive MTBF	—	1 465 220	1 465 220
• Coût moyen d'une révision rénovation	2 498	912	6 700
— Démarrer			
• Maintenance corrective MTBF	138 750	50 000	300 000
• Maintenance préventive systématique, périodicité	96 667	60 000	150 000
• Maintenance prédictive MTBF	258 560	258 560	258 560
• Coût moyen d'une révision rénovation	1 855	320	3 500
— Alternateur			
• Maintenance corrective MTBF	138 222	46 000	300 000
• Maintenance préventive systématique, périodicité	98 333	50 000	160 000
• Maintenance prédictive MTBF	262 802	200 000	325 604
• Coût moyen d'une révision rénovation	1 996	320	3 700
— Commande de freinage			
• Maintenance corrective MTBF	166 000	30 000	300 000
• Maintenance préventive systématique, périodicité	75 000	10 000	150 000
• Maintenance prédictive MTBF	93 859	93 859	93 859
• Coût moyen d'une révision rénovation	2 540	800	8 500
— Tambours			
• Maintenance corrective MTBF	98 857	45 000	180 000
• Maintenance préventive systématique, périodicité	140 000	10 000	300 000
• Maintenance prédictive MTBF	215 000	130 000	300 000
• Coût moyen d'une révision rénovation	2 175	600	6 700
— Disques			
• Maintenance corrective MTBF	90 000	80 000	100 000
• Maintenance préventive systématique, périodicité	155 000	10 000	300 000
• Maintenance prédictive MTBF	—	—	—
• Coût moyen d'une révision rénovation	4 050	2 300	5 800
— Garnitures			
• Maintenance corrective MTBF	105 556	25 000	300 000
• Maintenance préventive systématique, périodicité	188 571	10 000	600 000
• Maintenance prédictive MTBF	142 500	35 000	250 000
• Coût moyen d'une révision rénovation	1 667	240	4 000

V. Réparations et révisions	Moyenne	Mini	Maxi
— Avec ou sans ralentiisseur	—	—	—
— Rattrapage d'usure des garnitures	—	—	—
• Maintenance corrective MTBF	206 667	130 000	330 000
• Maintenance préventive systématique, périodicité	—	—	4 %
• Maintenance prédictive MTBF	—	—	65 %
• Coût moyen d'une révision rénovation	16 967	400	31 %
		25 500	—

VI. Résultats et ratios de la maintenance	Moyenne	Mini	Maxi
— Nombre de pannes aux 10 000 km (incidents entraînant une perturbation d'exploitation)	1,97	0,046	9,7
— Nombre d'incidents, véhicules signalés, mais sans interruption de trafic (remplacement préventifs aux terminus), aux 10 000 km	2,70	0,3	7,76
— Consommation moyenne de gazole aux 100 km pour l'ensemble du réseau	45,04	30	62,08
— Coût global annuel de la fonction énergie (en MFF)	29,74	0,8	300
— Consommation moyenne d'huile au km pour l'ensemble du réseau (en l/km)	0,0045	0,001	0,055
— Durée de vie moyenne d'un pneumatique en:			
• service urbain	89 043,69	40 000	250 000
• service suburbain	86 714,87	40 000	130 000
• service intérieur	76 400,00	42 000	130 000
— Coût global annuel de la fonction roues-pneumatiques (en MFF)	3,91	0,16	30
— Durée de vie d'une batterie (en mois)	41,65	12	120
— Salaire maximum d'un ouvrier qualifié (FF/mois)	9 816,80	6 300	16 000
— Salaire maximum d'un ouvrier non qualifié (FF/mois)	8 010,04	4 700	15 000
— Durée de travail (heures/semaine)	39,25	35	45
— Nombre d'ouvriers (qualifiés et non qualifiés) par autobus au parc pour la maintenance du premier niveau dans les dépôts	0,40	0,03	5
— Nombre d'ouvriers (dépôts et ateliers de rénovation) par autobus du parc	0,43	0,104	0,93
— Dépenses matières, pièces, organes par voiture au parc (hors roues et énergie) (en FF)	35 158,93	3 474	104 000

VII. Les systèmes d'aide à la maintenance	Moyenne	Mini	Maxi
7.1 Envisagez-vous pour l'avenir d'adopter pour votre parc d'autobus un système d'aide à la maintenance ? (SAM) (oui/non)	63 % oui	—	—
7.2 Si oui, à quel stade en êtes-vous?			
— à une prospective des systèmes existants	0,38	—	—
— à une option et une étude d'application d'un système existant	0,20	—	—
— à un début d'expérimentation	0,29	—	—
— à une large extension	0,09	—	—
— au parc complet	0,09	—	—
7.3 Quels sont les critères technico-économiques qui vous conduisent à cette tendance d'utilisation du Sam?			
— la sophistication des autobus en équipement électrique, électronique, hydropneumatiques, micro-informatique, industrielle, etc. (oui/non)	0,49	—	—
— l'évolution technique et technologique qui offre des possibilités accrues (micronique-contrôle) (oui/non)	0,51	—	—
— la personnalisation de chaque autobus visant une maintenance spécifique à la carte (oui/non)	0,49	—	—
— l'évolution des techniques et procédures de maintenance vers de nouvelles notions qui consiste à s'orienter vers une maintenance prédictive en réduisant considérablement l'importance du systématique et aussi du correctif par l'utilisation de système de diagnostic (oui/non)	0,78	—	—
— la réduction des coûts grâce à une maintenance plus optimale? (oui/non)	0,93	—	—
— la réduction des temps d'immobilisation donc une amélioration de la disponibilité (oui/non)	0,93	—	—
— l'abaissement des charges d'exploitation en matières et pièces de rechange (oui/non)	0,87	—	—
— l'augmentation de la fiabilité des organes de l'autobus grâce aux progrès techniques et technologiques (oui/non)	0,84	—	—
7.4 Si vous vous orientez vers ce nouveau type de maintenance, quel type de système de diagnostic retenez-vous?	71 % embard 29 % extern		
7.4.1 Diagnostic automatique externe			
— Quel système?			
— Quels arguments principaux en faveur de cette option			
— Nombre et type de tests effectués à la rentrée de l'autobus au dépôt			
— Nombre de programmes et sous-programmes-paramètres prélevés			
— Pouvez-vous nous indiquer une estimation approchée			
• du surcoût par autobus pour l'équipement en capteurs (palpeurs), en câbles et circuits de contrôle (en FF)	5 350	3 000	9 600

VII. Les systèmes d'aide à la maintenance		Moyenne	Mini	Maxi
	<ul style="list-style-type: none"> • du coût des équipements au sol pour un nombre d'autobus (à préciser) • des gains de productivité sur : <ul style="list-style-type: none"> — les visites systématiques — la maintenance corrective — coût des pièces de rechange — le personnel 	487 500 (210)	200 000 (200)	1 200 000 (220)
7.4.2	<p>Diagnostic automatique embarqué à bord de l'autobus</p> <ul style="list-style-type: none"> — Quel système, quel fournisseur ? — Quels arguments principaux en faveur de cette option — Nombre et type de tests effectués à la rentrée de l'autobus au dépôt — Nombre de programmes et sous-programmes-paramètres prélevés — Pouvez-vous nous indiquer une estimation approchée <ul style="list-style-type: none"> • du surcoût par autobus pour l'équipement en capteurs (palpeurs), en câbles et circuits de contrôle (en FF) • du coût des équipements au sol pour un nombre d'autobus (à préciser) • des gains de productivité sur : <ul style="list-style-type: none"> — les visites systématiques — la maintenance corrective — coût des pièces de rechange — le personnel — Quel type de transmission de données (véhicule — sol) entre le moniteur embarqué et l'ordinateur d'exploitation de la centrale du parc <ul style="list-style-type: none"> • cassette • infra-rouge • radio • raccordement électrique — Nombre et type de contrôles journaliers à la rentrée de l'autobus au dépôt 	8 18	5 16	10 20
7.4.3	Pour les différents type de systèmes de diagnostic expérimentez-vous de nouveaux capteurs ?	14 000 42 167	5 000 1 500	23 000 120 000
7.4.4	Souhaitez-vous qu'il existe une standardisation des équipements et des logiciels de ces systèmes			
7.4.5	Ces systèmes de diagnostics ont-ils été prévus d'origine dès la conception du type d'autobus ?	0,85		
7.4.6	Ont-ils fait l'objet d'une adaptation postérieure sur véhicule existant au parc ?	0,31		
7.5	Avez-vous prévu une formation du personnel à ces nouvelles techniques de maintenance des bus ?	0,42		
7.6	Pouvez-vous donner l'essentiel de l'organisation de cette formation ?	0,45		

VIII. Gestion informatisée de la maintenance		Moyenne	Mini	Maxi
8.1	L'organisation de la maintenance des autobus de votre parc est-elle informatisée ?			
	<ul style="list-style-type: none"> — Globalement — Partiellement 	0,76 0,19 0,83	— — —	— — —
8.2	Quelles sont les différentes parties informatisées faisant l'objet d'un suivi ?			
	<ul style="list-style-type: none"> — Procédures, méthodes — Visites — Statistiques diverses, ratios — Pannes, avaries — Réparations, rénovations — Stocks — Fiabilité-MTBF 	0,29 0,68 0,79 0,68 0,57 0,77 0,36	— — — — — — —	— — — — — — —
8.3	L'affectation des tâches et les tâches elles-mêmes du personnel de maintenance sont-elles informatisées ?	0,43	—	—
8.4	La charge du ou des ateliers de réparation et de rénovation des pièces et organes est-elle informatisée ?	0,43	—	—
8.5	Si vous utilisez des systèmes automatiques de diagnostic, existe-t-il une compatibilité avec l'informatisation de gestion ? (oui/non)	0,28	—	—
8.6	Faites-vous un traitement et une analyse des défauts et des avaries (fiabilité-MTBF) ? (oui/non)	0,46	—	—
8.7	Pratiquez-vous un suivi de la consommation kilométrique pour chaque autobus — ce paramètre étant en relation avec la longévité des organes du bus et la duréte des réseaux ? (oui/non)	0,63	—	—
8.8	La gestion des coûts de la fonction maintenance autobus est-elle informatisée ?	0,60 0,70 0,37	— — —	— — —
	<ul style="list-style-type: none"> — Au niveau global du parc (oui/non) — Par voiture (oui/non) — Coût au kilomètre-voiture de la fonction maintenance (hors énergie et hors nettoyage) 	2,62	0,30	7,50

IX. Les systèmes experts	Moyenne
9.1 Utilisez-vous des systèmes experts d'aide (intelligence, connaissance,...) au dépannage permettant une recherche rapide et fiable des causes de pannes et défauts? (oui/non)	94 % non 6 % oui
9.2 Si oui, quel type de matériel et de logiciels utilisez-vous?	—
9.3 Quelles démarches avez-vous appliquées pour les bases de connaissances?	—
9.4 Quelles sont les fonctions de l'autobus que vous traitez par la mise en œuvre de systèmes experts?	—
— Circuits de charge batterie	—
— Equipements électriques	—
— Fonctions commande des portes	—
9.5 Quels enseignements tirez-vous de cette application aux plans:	—
— De l'acceptation et de la motivation du personnel	—
— De l'efficacité et de la rentabilité (gain de temps, économies sur les pièces,...)	—

X. Les équipes autonomes de maintenance	Moyenne
10.1 Envisagez-vous, ou expérimentez-vous l'organisation du travail en équipes autonomes?	0,30
— En dépôts	0,81
— En ateliers	0,86
10.2 Quel est le cadre fixe à ce mode d'organisation du travail?	
— Auto-distribution des tâches au niveau du groupe	0,67
— Méthode, normes, cycles d'entretien	0,61
— Taux de pannes-indices de propreté	0,39
— Critères de choix des lots pour une répartition homogène du parc	0,28
10.3 Quels sont les objectifs à atteindre en gain de productivité	
— Coût en personnel	0,79
— Absentéisme	0,53
— Matières, pièces détachées	0,53
— Investissement industriel, outillage	0,47
10.4 Distribuez-vous un intérêt au personnel en fonction des gains de productivité résultant des écarts positifs entre les résultats du bilan et les objectifs quantifiés?	0,50
— Si oui, suivant quelles règles?	—
10.5 Quels enseignements tirez-vous de ces nouvelles méthodes d'organisation du travail?	
— Motivation du personnel	1,00
— Résultats	—

XI. La maintenance sous-traitée	Moyenne
11.1 Passez-vous des contrats de maintenance des autobus de votre parc à des sociétés extérieures prestataires de services? (oui/non)	0,54
11.2 Ces sociétés sont-elles:	
— Des constructeurs d'autobus?	0,11
— Des sociétés spécialisées dans la maintenance bus?	0,66
11.3 Quel niveau atteignez-vous sur le volume et l'importance de la part de maintenance sous-traitée par rapport au global?	0,06

XI. La maintenance sous-traitée	Moyenne
— Est-ce la totalité des opérations? (Votre société ne gérant que l'exploitation des réseaux)	—
— Est-ce une sous-traitance partielle?	0,97
11.4 Pouvez-vous préciser les parties de la maintenance autobus que vous sous-traitez?	
11.4.1 Tout l'ensemble du lavage et du nettoyage (extérieur et intérieur des autobus)	0,79
11.4.2 Les lessivages et nettoyages préalables aux opérations de visite d'interventions sur les organes d'autobus	0,24
11.4.3 La charge en carburant	0,21
11.4.4 La préparation à l'exploitation (habillage? appareils d'exploitation, etc...)	0,08
11.4.5 L'ensemble de l'entretien effectué au niveau du dépôt:	0,11
— Les opérations de station service (vidanges ...)	0,13
— Les opérations systématiques	0,13
— Les opérations curatives (pannes-avaries)	0,16
— Les réparations au niveau du dépôt	0,16
— La fonction roue-pneumatique	0,45
• Entretien total	0,21
• Location-entretien	0,03
• Autres modes	0,03
— La fonction batterie-accumulateurs	0,11
• Entretien total	0,05
• Location-entretien	—
• Autres modes	—
— D'autres fonctions susceptibles d'être précisées et offrant un intérêt pour cette enquête	—
11.4.6 La maintenance au niveau des ateliers de révision, de réparation et de rénovation	
— Pouvez-vous préciser les organes faisant l'objet d'un contrat de maintenance avec une société extérieure, ainsi que le coût moyen au kilomètre ou au temps pour chacun de ces organes?	—
11.4.7 Les réparations résultant d'accidents de circulation	
— Coût moyen par an (MFF)	4,59
— % du coût global de la fonction entretien	0,09
11.4.8 D'une manière plus générale, quel est en % le coût de la partie globale sous-traitée par rapport au coût global de la fonction maintenance totale?	0,11
11.5 Quel type de contrat de maintenance passez-vous avec des sociétés prestataires dans un cadre?	
Maître d'œuvre/partenaires	
— Maintenance à forfait	0,24
— Maintenance en dépenses contrôlées	0,21
— Maintenance en dépenses contrôlées plafonnées	0,05
— Maintenance à forfait partiel	0,03
— Maintenance à forfait partiel plafonné	0,03
11.5.1 La rédaction de ces contrats ou convention procèdent-elles de documents normatifs juridiques et financiers?	
— Si oui, quelles sont ces normes et leurs références?	0,16

XI. La maintenance sous-traitée	Moyenne
11.5.2 Quels sont les modes de règlements ? — Conditions de facturation et de paiement — Pénalités-bonifications (critères) — Garanties de qualité — Révision de prix	0,63 0,29 0,29 0,32
11.5.3 Quels sont les objectifs assignés aux prestations-contrat de résultat ? — Contraintes d'exploitation — Durée de vie du matériel — Age moyen du parc — Disponibilité du matériel — Réserves, immobilisations limitées — Temps maximum d'intervention — Indicateurs de propriété — Limitation des consommables — Limitation du coût global des pièces détachées (rechanges, achats extérieurs)	0,37 0,08 0,05 0,16 0,13 0,11 0,26 0,03
11.6 Quelle politique de pièces de rechange imposez-vous ?	—
11.6.1 Remplacement : — A l'identique neuf — Réparé — Echange standard	0,63 0,66 0,45
11.6.2 Importance du stock — Zéro stock, dans le cadre d'une maintenance conditionnelle. Prédictive juste à temps — Stock : • Chez le sous-traitant • Chez le maître d'œuvre (réseau)	— 0,13 0,50

XI. La maintenance sous-traitée	Moyenne
— Volume du stock en relation avec le suivi de la fiabilité — A qui appartient le stock ? • Au maître d'œuvre ? • Au sous-traitant ? • Autres sources ?	0,45 0,53 0,24 0,05
11.7 Quelle politique d'assurance avez-vous adoptée ? — Pour les risques encourus vis-à-vis des tiers (dommages aux personnes, aux biens...)? — Pour les pertes éventuelles d'exploitation inhérentes à des défauts de maintenance (immobilisations pénalisantes du matériel) ?	— 0,68 0,05
11.8 Imposez-vous une qualification bien définie pour le personnel de maintenance du prestataire de service ?	0,21
11.9 Exercez-vous : — Un contrôle ? — Un suivi de régularité ? — Un audit de procédures ?	0,68 0,53 0,24
11.10 Quelles règles pour les investissements lourds ? — Matériel roulant (autobus) — Bâtiments — Gros outillages — Infrastructure — Consommables — Magasins	0,29 0,18 0,24 0,08 0,16 0,11
11.11 Autres commentaires éventuels sur ce sujet de la sous-traitance ?	—

ANNEXE 3

Gestion informatisée de la maintenance à la SNCV

Expérience acquise par la Société Nationale des Chemins de Fer Vicinaux de Belgique — Fiabilité

1. Introduction

La Société Nationale des Chemins de fer Vicinaux (SNCV) assure en Belgique le transport public interurbain sur l'ensemble du territoire ainsi que le transport urbain dans les agglomérations de faible et moyenne importance. Elle gère un parc d'autobus d'environ 3 500 unités dont 2 300 en régie. En outre, 105 motrices articulées desservent ses deux réseaux ferrés à Ostende et à Charleroi.

La maintenance des véhicules s'effectue dans 10 ateliers centraux. Outre ces ateliers, la SNCV dispose également de 44 centres d'entretien satellites destinés aux petits entretiens et aux dépannages. Ils sont répartis sur l'ensemble du pays (fig. 1).

En régie, nos véhicules parcourent environ 120 millions de kilomètres par an. La plupart des services sont assurés par des autobus standards, bien qu'il soit de plus en plus fait appel aux autobus articulés, aux citybus ou encore aux midibus.

Actuellement, les principaux centres d'entretien de la SNCV sont reliés par des terminaux à un ordinateur situé à l'Administration centrale de la société.

Chaque jour, les kilomètres parcourus par chaque véhicule sont introduits dans l'ordinateur sur la base de l'"ordre de marche", c'est-à-dire des services que le véhicule est tenu d'effectuer pendant la journée, et ce notamment pour des raisons techniques. Mais ces kilomètres parcourus servent avant tout de données pour l'exploitation.

Le personnel chargé de l'entretien dispose d'un système de maintenance parfaitement mis au point, organisé rationnellement et pour lequel l'ordinateur est devenu l'outil indispensable en matière de gestion et de contrôle.

Dès le début des années soixante-dix, les rendements kilométriques des moteurs, des boîtes de vitesses et des pneus firent l'objet d'un suivi informatique et les grands programmes d'entretien furent systématiquement gérés et contrôlés par l'ordinateur.

Outre ces données, l'ordinateur assurait également le suivi et le traitement d'un grand nombre d'autres données statistiques et non spécifiquement techniques.

De plus, indépendamment des données dont nous venons de parler, il fallait également tenir compte dans l'informatisation du système, des prix de revient, des diverses imputations et essentiellement d'un système de pointage compliqué devant permettre le calcul des rémunérations.

A la fin des années soixante-dix, un système totalement intégré fut ainsi développé et informatisé. Il reposait sur les trois pôles

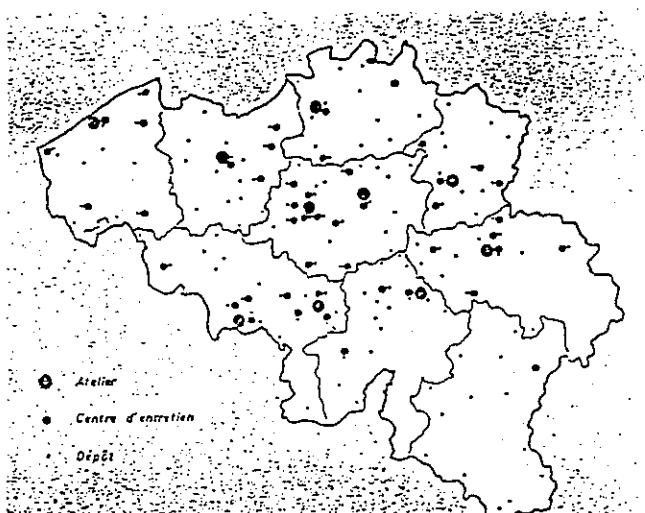


Fig. 1 : Carte des dépôts et ateliers de la SNCV.

suivants : pointage, imputations, statistiques, avec comme dénominateur commun : la fiabilité. Cette notion de fiabilité allait constituer une dimension nouvelle, d'une importance primordiale dans la gestion et le contrôle de la maintenance tant à l'échelle nationale qu'au plan local.

2. Le système actuel

Pour bien comprendre les possibilités qu'offre le système, il convient d'examiner quelque peu les documents de base sur lesquels sont repris les données, les prestations et les codes utilisés qui, par la suite, seront introduits dans l'ordinateur (fig. 2).

Fig. 2

Fig. 3 : Codification du motif et du travail executé.

Code	Motif du travail	Code	Travail exécuté	Observations
1	—	1	Monté	
2	Démontage d'une pièce numérotée	2	Réparé	
3	Dépannage par échange	3	Réglé	
4	Dépannage sur place	4	Nettoyé	
5	Avarie dépôt	5	Remplacé par pièce Relais	
6	Tamponnement	6	Remplacé par nouvelle pièce	
7	Essai — test	7	Contrôlé	
8	Achever	8	Exécuté	
9	Pièces relais	9	Démonté	

Fig. 4 : « Code fiabilité » des « motifs spéciaux » des travaux effectués sur les autobus.

A 000	A 010	A 020
A 001 Entretien 2500 n° 1	Entretien 5000 n° 10	Entretien 5000 n° 20
A 002 " 5000 n° 2	" 2500 n° 11	" 2500 n° 21
A 003 " 2500 n° 3	" 5000 n° 12	" 5000 n° 22
A 004 " 5000 n° 4	" 2500 n° 13	" 2500 n° 23
A 005 " 2500 n° 5	" 5000 n° 14	" 5000 n° 24
A 006 " 5000 n° 6	" 2500 n° 15	
A 007 " 2500 n° 7	" 5000 n° 16	
A 008 " 5000 n° 8	" 2500 n° 17	
A 009 " 2500 n° 9	" 5000 n° 18	
	" 2500 n° 19	A 029
A 030 Lavage ext. AB	A 040	A 050
A 031 Lavage int. AB	A 041 Révision moteur	A 051 Levage 0/360 000
A 032 Nettoyage moteur	A 042 Réparation moteur	A 052 Levage 60/70 000
A 033 Nettoyage châssis	A 043	A 053 Levage 120/140 000
A 034 Mise en service AB	A 044	A 054
A 035 Garantie AB	A 045 Révision boîte de vitesses	A 055 Levage 240 000
A 036 Contrôle technique	A 046 Réparation boîte vitesses	A 056
A 037 Modification AB	A 047	A 057
A 038 Entretien carross. AB	A 048 Vidange moteur rodage	A 058
A 039 Réparation chez tiers	A 049 Vidange BV rodage	A 059

Fig. 5 : Codification des pièces à suivre.

600 Suspension-éléments pneumatiques	610	620	630	640 Suspension pneumatique
601 Ressorts avant	611	621 Ressorts arrière	631 Ressort trois. ess. (AB art.)	641
602	612	622	632	642
603	613	623	633	643
604	614	624	634	644 Joug avant + articulation
605 Silentblocs avant	615	625 Silentblocs arrière	635 Silentblocs trois. ess. (AB art.)	645
606	616	626	636	646
607 Amortisseurs avant	617	627 Amortisseurs arrière	637 Amortisseurs trois. ess. (AB art.)	647 Joug arrière + articulation
608	618	628	638	648
609	619	629	639	649 Joug trois. ess. + articulation
650 Valves de nivellement avant	660 Circuit air comprimé (portes + freins + suspension)	670	680 Distributeur — Rélateur	690
651 Coussins avant	661 Réservoirs	671 Filtre à air (prise indépendante)	681	691
652 Barre de stabilisation avant (Panhard)	662	672 Alcooliseur	682	692
653 Valves de nivellement arr.	663	673 Condenseur — Refroidisseur — Sécheur	683 Instrum. de contrôle Pression d'air	693
654 Coussins arrière	664	674 Déshuileur — Purgeur	684	694
655 Barre de stabilisation arr. (Panhard)	665 Soupapes de sûreté	675 Circuit d'air (conductes + flexibles)	685	695
656 Valves de nivellement trois. ess. (AB art.)	666	676	686 Pédale de frein + timonerie	696
657 Coussins trois ess. (AB art.)	667	677 Soupapes de purge automatique	687	697
658 Barre de stabilisation trois. ess. (Panhard) (AB art.)	668	678	688	698

On constatera que la combinaison de ces données avec les kilomètres parcourus notamment, fournissent les éléments utiles à l'obtention de tous les résultats souhaités.

Figurent sur ces documents de base :

L'identification:

Le nom et/ou les numéros de code (préimprimés) des agents, de leur lieu de travail et la date;

Le service:

Prévu et réellement presté; le système est utilisé aussi bien par les services techniques que par les services d'exploitation et, pour des raisons de simplification, il est essentiellement basé sur le signalement d'anomalies;

Le pointage:

Nombre d'heures de travail ou prestation par type de travail:

Imputation:

Numéro d'imputation, numéro du véhicule ou numéro du travail donnant lieu à des prestations;

La fiabilité :

Celle-ci comporte essentiellement trois blocs de données :

- a) nature ou motif du travail exécuté en code (entretien, révision, dépannage, tamponnement, essai, etc.) (voir fig. 3 et 4);
 - b) organe: à signaler le cas échéant, par exemple dépannages, remplacements (rendements),..., il existe une codification systématique de toutes les pièces à suivre, allant jusqu'à 1 000 possibilités: voir, par exemple, les essieux et l'équipement de direction (fig. 5).
 - c) travail effectué: voir fig. 3

c) travail effectué: voir fig. 3.
Un organe peut être soit réparé, réglé ou encore remplacé, etc.
Un entretien est effectué, etc.

Fig. 6. Fidélité des autobus — diagramme des points bas.

Remarques :

- des dispositions spéciales sont prises en vue du suivi des organes numérotés ayant été démontés des véhicules, tels que moteurs, boîtes de vitesses, etc.; ceux-ci pourront être réparés ou révisés dans des ateliers spécialisés; les pneus pourront être rechapés dans le secteur privé;
 - les travaux multiples, spéciaux ou de longue durée peuvent être introduits séparément sur des formulaires spéciaux selon des procédures particulières.

3. Objectifs et résultats

Le traitement et la combinaison de toutes ces données par l'ordinateur offre une infinité de possibilités au niveau des résultats, tant en ce qui concerne la gestion centralisée que la gestion locale et tant pour la gestion journalière que pour celle des données statistiques. Ces résultats peuvent être obtenus sur des listings publiés régulièrement ou au moyen de programmes spéciaux à la demande.

Voici un aperçu des possibilités et des résultats que l'on peut obtenir :

Sont fournis de manière systématique :

- tenue à jour du parc des autobus et des trams;
 - kilomètres parcourus par les autobus, les trams et les principales pièces relais; kilomètres parcourus depuis le dernier entretien;
 - listings, tableaux et graphiques des pannes:
 - par type de panne
 - par type de véhicule
 - par région
 - diagramme des points bas;
(fig. 6 et 7);
 - tamponnements: nombre et coût;

Fig. 7

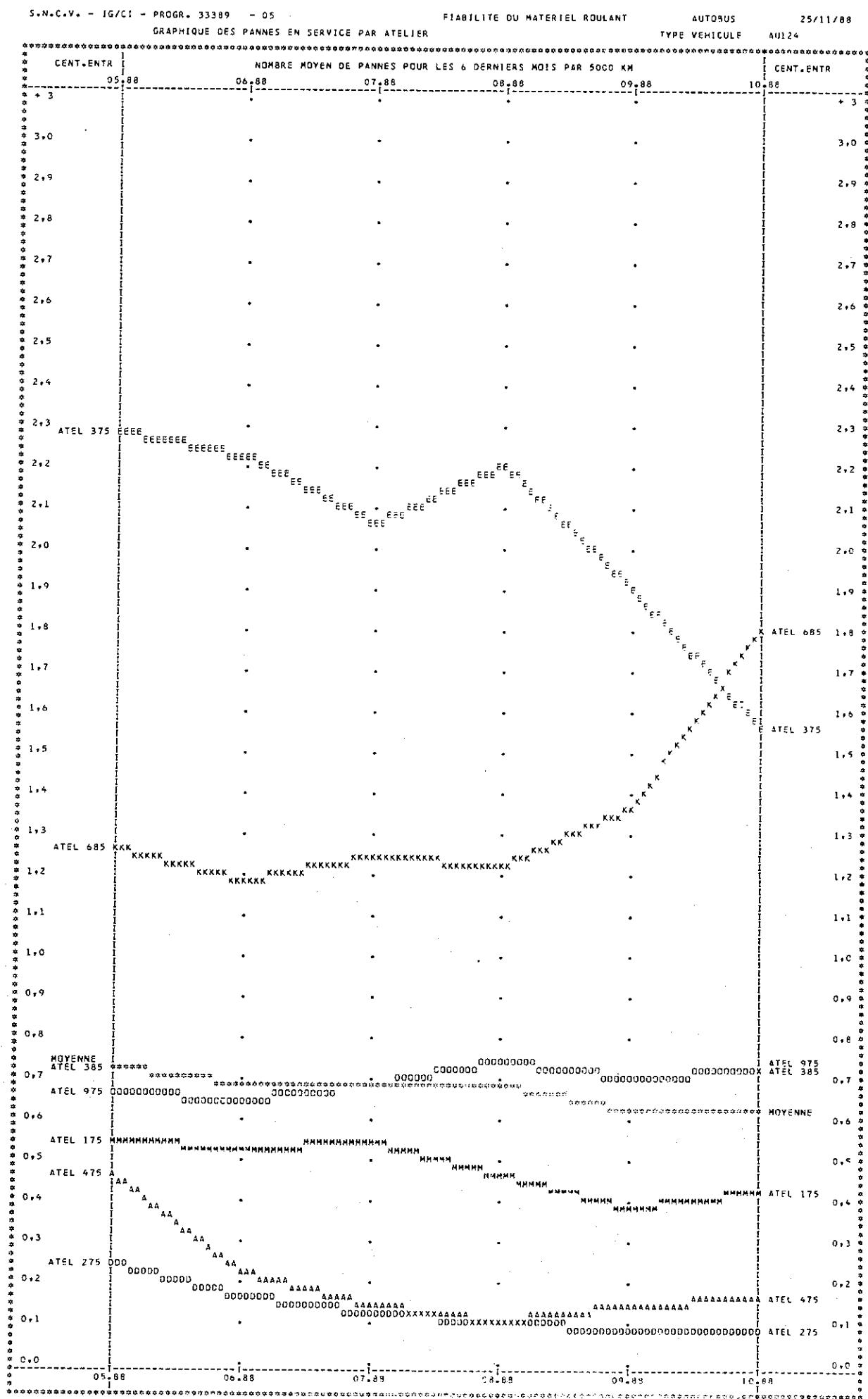


Fig. 8

*** ATELIER 475 *** *** TYPE TOT. 559 NOMBRE AB 255 NOMBRE KH 5 763-177

DIAGRAMME DES POINTS BAS = PANNES AU DÉPÔT

PANNES AU DÉPÔT

* ORGANES	* NO	DENOMINATION	KILOMETRAGES MOYEN EXPRIMES EN MILLIERS																	
			1	2	3	4	5	6	7	9	9	0	1	1	1	1	1	1	9	I
* 100 MOTEUR	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-		
* 130 CULASSES	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----	
* 140 CIRCUIT DE GRAISSAGE MOTEUR	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----	
* 150 POMPE A EAU	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----	
* 160 COMPRESSEUR	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 170 POMPE D'INJECTION	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 180 INJECTEURS	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 190 POMPE D'ALIMENTATION	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 201 DEMARREUR	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 210 ACCELERATEUR	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 220 CIRCUIT CARBURANT	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 230 CIRCUIT AIR COMBURANT	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 240 ALTERNATEUR + FIXATION	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 250 BATTERIES	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 260 CIRCUIT D'ECHAP. + FREIN MOT	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 270 SUSPENSION MOTEUR	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 280 VENTILATEUR	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 290 RADIATEUR PRINCIP + FIXATION	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 300 ACCOUPLEMENTS	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 310 BOITE DE VITESSES	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 370 ACCESSOIRES B.V.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 380 SELECTEUR DE VITESSES	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 400 ESSIEUX ET DIRECTION	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 410 ESSIEU MOTEUR	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 430 ROUES	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 440 ESSIEU AVANT	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 450 TIMONERIE DE DIRECTION	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	O--		
* 480 TROISIEME ESSIEU (AB ARTICUL	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 490 GRAISSAGE CENTRALISE	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 500 FREINS	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 540 FREIN STATIONNEM (MAIN-PN) +	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 600 SUSPENSION-ELEMENTS PNEUMATI	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 640 SUSPENSION PNEUMATIQUE	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 660 CIRCUIT AIR COMPRIME	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 680 DISTRIBUTEUR - REGULATEUR	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 700 CHASSIS-CARROSSERIE	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 800 CHAUFFAGE	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 830 AUXILIAIRES CARROSSERIE	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 840 APPAREILLAGE DEGIVRAGE	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 850 EXTINGUEURS	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 860 AVERTISSEURS + COMMANDES	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 870 ESSUIE-GLACES	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 880 RETROVISEURS	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 900 ECLAIRAGE-ORGANES SIGMALETIQ	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 910 COMMANDE DES FEUX	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 930 ECLAIRAGE INTERIEUR	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 950 INDICATEUR DE PARCOURS	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 960 COFFRET ELECTRONIQUE	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		
* 980 TEMOINS + GONGS + VIBREURS	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	X-----		

- durée des opérations et temps d'immobilisation (fig.8);
 - histogrammes des entretiens, des levages, des révisions, des travaux de peinture, etc.;
 - âge moyen du parc, coût optimal et durée de vie optimale;
 - statistiques, tableaux et graphiques des rendements des pièces relais telles que moteurs, boîtes de vitesses, pneus, etc;
 - état d'avancement des travaux, travaux non terminés, suivi des travaux exceptionnels, notamment au niveau des coûts;
 - livre de bord;
 - prévisions d'entretien, de levages et de contrôle technique, etc; volume de charge;
 - liste récapitulative de tous les travaux effectués le mois précédent :
 - par véhicule;
 - par région;
 - par organe.

Sont fournis à la demande = résultats divers :

- interventions: — pour un organe déterminé;
— à une période donnée;
— dans une région déterminée;
— pour un motif spécial;
 - inventaires des pièces relais, des consommations diverses, relevé des pannes spécifiques;
 - prestations effectuées sur un véhicule donné, pour un travail précis pendant une période déterminée;
 - organigrammes;
 - comptes courants, heures supplémentaires;
 - imputations, ventilation des heures prestées, directes et indirectes;
 - statistiques de pointage.

— statistiques de pointage.

Il va de soi que pratiquement tout peut être contrôlé, suivi ou demandé, les possibilités étant quasi illimitées. La présente énumération a donc une valeur purement indicative et n'est certes pas exhaustive.

4. Aperçu des expériences de la SNCV et des perspectives d'avenir

1. Un système de ce type est applicable à tout parc de véhicules suffisamment important: en ce qui nous concerne, le traitement, l'interprétation et la précision des données et des résultats sont rendus plus difficiles du fait de la grande dispersion de la maintenance dans les différentes régions et les divers centres d'entretien.

Les développements futurs et l'apport des techniques informatiques les plus récentes — actuellement à l'étude — contribueront sans aucun doute à améliorer sensiblement le traitement informatique des opérations de maintenance.

Nous pensons notamment à l'emploi dans les ateliers de postes de travail permettant la saisie des données et leur utilisation immédiate, aux transmissions par réseaux locaux, aux bases de données et aux langages d'interrogation permettant aux utilisateurs non informaticiens des consultations personnalisées de ces données. Ces techniques nouvelles permettraient la saisie directe des données, un traitement plus rapide de celles-ci et les résultats pourraient être appliqués à meilleur escient et de façon immédiate dans certains centres d'entretien.

La transmission des données vers un ordinateur central aurait pour but de consolider les données afin d'en tirer des informations statistiques et de permettre à chacun de bénéficier de l'expérience commune.

2. Le système ne peut ni être trop compliqué, ni entrer exagérément dans le détail, faute de quoi les résultats primordiaux pour la gestion risquent d'être noyés et perdus de vue. Bien souvent la simplification vient renforcer l'exactitude, contribue à un traitement plus rapide et permet une interprétation plus souple. C'est sur base de ce principe que le nombre des organes, des prestations et des travaux à suivre a résolument été réduit. Il nous semble néanmoins qu'il faudrait simplifier davantage, étant entendu que certaines données peuvent être obtenues par des canaux différents, tels que la consommation des articles dans les magasins.

3. Il n'est pas indispensable de connecter le pointage et l'imputation à la fiabilité. La déconnexion de ces fonctions peut dans certaines applications donner des résultats plus rapides et plus efficaces. En réalité, tout peut se ramener à une analyse des coûts et des profits, c'est-à-dire à peser le pour et le contre de l'opportunité de certaines applications et de certains résultats en comparaison avec les efforts consentis pour les réaliser.

4. Il importe de faire la distinction entre les données et les résultats qu'il y a lieu de traiter ou de connaître immédiatement (temps réel) ou en temps différé (batch). Il est également primordial de savoir si ces données ou résultats doivent être centralisés ou, au contraire, décentralisés. En ce qui concerne la SNCV, par exemple, il convient de décentraliser afin de rendre la gestion locale plus efficace et plus proche de l'utilisateur.

5. La gestion actuelle est fortement centralisée. Pourtant, il pourrait être utile de mettre certaines données, voire un nombre limité de programmes, à la disposition de centres locaux tout en contrôlant l'utilisation. Ceci permettrait de suivre certains essais, travaux de transformation, etc.

5. Conclusion

Il ressort de l'expérience acquise par la SNCV que le système qu'elle a développé peut encore être perfectionné et que l'accès aux données ainsi que les temps de traitement doivent être adaptés selon la nature des besoins en information : il est certain que la

gestion quotidienne demande des résultats rapides mais relativement simples alors qu'une gestion à plus long terme demande des opérations de calcul plus complexes mais qui peuvent être produites avec un certain délai.

En modulant l'importance relative de ces deux types de traitement, il est possible de trouver la formule la plus appropriée à la taille ou au type de chaque entreprise.

Quoiqu'il en soit, il y a lieu de trouver, pour chaque cas, un juste équilibre entre :

- la simplicité et la complexité;
- le traitement en temps réel et en temps différé (batch);
- la structure de la gestion centralisée et décentralisée;
- la non-connexion et la connexion, partielle ou complète, avec les autres résultats d'exploitation.

L'examen approfondi de notre système informatique nous a incité à la mise au point d'un « Plan Directeur » qui conditionnera l'utilisation de l'informatique au sein de notre société.

La modernisation de l'outil informatique et les restructurations apportées au logiciel auront une influence bénéfique sur l'ensemble de nos applications.

Compte tenu de l'expérience acquise, c'est dans ce sens que la fiabilité devra évoluer elle aussi afin de rendre possible une optimisation plus poussée.

De la sorte, nous disposerons d'un outil de gestion parfaitement au point et l'ordinateur deviendrait l'aide idéale dans la maintenance de tout parc de véhicules.

ANNEXE 4

Contrat d'entretien de matériel roulant

Premièrement — Sujets du contrat — Régime réglementaire

Les sujets du contrat sont, d'une part, l'« Acheteur », nommé dorénavant (A) et, d'autre part, le « Fournisseur », nommé dorénavant (B).

Le régime réglementaire du contrat sera le même que celui prévu dans le contrat de fourniture, ce contrat étant remplacé par le premier.

Deuxièmement — Objet du contrat

1. L'objet du contrat est la réalisation des travaux dont le détail est donné dans la QUATRIÈME clause, sur les véhicules objet du contrat de fourniture, appelés à partir de ce moment « VEHICULES ».

2. (B) a l'obligation, pendant la durée du contrat, de réaliser sur les VEHICULES mentionnés ci-dessus tous les services (appelés ci-dessous « TRAVAUX ») décrits dans la QUATRIÈME clause de ce contrat, contre paiement du montant convenu. Le type et le volume des TRAVAUX sont établis par (B) dans chaque cas, de telle sorte que soit garantie la pleine aptitude à l'emploi des VEHICULES dans les exploitations de (A).

Dans ce but, (B) devra présenter au Département d'Exploitation de (A) le détail concret des TRAVAUX (type et volume).

Troisièmement — Durée du contrat

Ce contrat entre en vigueur à la date de la réception provisoire de chaque VEHICULE et restera en vigueur pendant DIX (10) ans.

Quatrièmement — Obligations de (B)

1. (B) s'engage à réaliser les TRAVAUX suivants dans le cadre de ce contrat, dont la configuration est celle d'un contrat concernant les résultats, dans ce sens que l'entretien doit être réalisé de manière à ce que les VEHICULES se trouvent dans des conditions parfaites pour la prestation des services prévus.

1.1. Exécution de tous les services d'entretien et de supervision indiqués dans le Cahier d'Entretien, exécution pour laquelle (B) spécifie les matériaux nécessaires — huile moteur, huile pour engrenages et moyens de service — dont elle devra donner une copie à (A).

1.2. (B) s'engage à maintenir, pendant toute la durée de validité du contrat, les VEHICULES dans des conditions d'emploi normal

et avec un aspect qui respecte les paramètres techniques correspondant à la fonction à laquelle ils sont destinés, qui est le transport public de voyageurs. Elle procédera à cet effet à la réalisation de toutes les réparations et remplacements qui seront nécessaires en fonction de l'usure et des pannes qui se produisent pendant l'utilisation normale de ces VEHICULES.

1.3. (B) garantit un chiffre minimal de 6 500 km entre pannes, ce chiffre s'entendant comme étant le quotient résultant de l'opération de diviser le chiffre de kilomètres parcourus par la totalité des VEHICULES d'un même type pendant un mois par le nombre total de pannes s'étant produites pendant le service chez ces VEHICULES pendant la même période.

Seront considérées comme pannes celles qui affectent les groupes 1, 2 et 3 de la « Codification des avaries par type » qui est jointe comme annexe 1 au présent Contrat d'Entretien. Dans le cas des points 3.01 et 3.03, n'entreront pas dans le calcul les avaries résultant d'accidents, d'actes de vandalisme ou de causes similaires.

La clause numéro DOUZE de ce contrat définit le nombre maximal de jours pendant lesquels les véhicules peuvent rester immobilisés pour les raisons indiquées dans la clause numéro QUATRE.

2. Ne font pas partie des travaux à réaliser par (B) :

L'élimination ou la réparation de dommages :

— Résultant d'accidents ou pour des raisons de force majeure (sinistre extraordinaire).

— Résultant d'un traitement inexpert des VEHICULES, (par exemple, dépasser les poids spécifiés dans les documents du véhicule, tels que la charge sur les axes ou la charge utile).

— Dans les vitres (bris de celles-ci, à condition qu'ils ne soient pas dus à des défauts de montage).

— Résultant de modifications réalisées chez les VEHICULES par (A) ou des tiers sans autorisation préalable de (B).

Sont également exclus :

— Les frais de remorquage en cas d'accident.

— La transformation ou un complément de l'équipement par suite de dispositions légales.

— La détérioration et usure des pneumatiques qui ne seraient pas dues à des défauts d'alignement.

— L'équilibrage des roues après leur substitution.

— Le ravitaillement en combustible et le stationnement dans un endroit déterminé.

— Le contrôle des niveaux d'eau et d'huiles.

— L'entretien de la tapisserie endommagée par des actes de vandalisme.

— La détérioration ou le bris d'ampoules, lampes-témoins et phares.

- Les changements de batterie par suite d'une usure normale.
- Les frais de peinture résultant d'accidents.

Cinquièmement — Obligations de A

1. A a l'obligation de vérifier que l'utilisation du VEHICULE est effectuée rigoureusement selon les indications du Manuel d'Instructions et que, en cas d'avarie, toutes les mesures sont prises afin de réduire au maximum les dégâts. En particulier, les instructions concernant le rodage et le non-dépassement du régime (vitesse) maximal doivent être respectées. A mettra régulièrement à la disposition de B la liste de ces travaux (pannes).

2. Les VEHICULES seront mis à la disposition de B à la fin de la journée de travail normale particulière de A quand elle le demandera vingt-quatre heures à l'avance, quand il s'agira de travaux programmés, tous réalisés dans un même dépôt, aussi bien pour les travaux d'entretien que pour les réparations. Dans le cas contraire, les frais des TRAVAUX supplémentaires en résultant seront à la charge de A. Cette clause ne constitue pas un engagement en ce qui concerne des contrats d'entretien ultérieurs.

3. Toute immobilisation ou nouvelle mise en circulation d'un VEHICULE (supérieure ou après plus de 3 mois) devra être immédiatement communiquée à B. Toutes les opérations à effectuer pour cette raison pourront seulement être réalisées par un responsable de B et ceci à sa charge.

4. Si le volume des TRAVAUX augmente en raison d'une réparation ou d'un entretien inadéquats dans des ateliers NON officiels, ainsi qu'en raison d'équipements additionnels sur les éléments livrés par B, les coûts résultants supplémentaires seront facturés séparément à A.

5. B apportera la collaboration technique et les conseils nécessaires si A le lui demande dans les cas où devront être installés dans les VEHICULES des équipements différents de ceux fournis par B.

6. Si une Compagnie d'Assurances, lors du remboursement des frais d'accident, dans le cadre de l'assurance tous risques ou de responsabilité civile souscrite, calcule un montant inférieur au coût réel de la réparation effectuée par B pour la raison que ce soit, A ne pourra pas exiger que B lui rembourse la différence.

7. Mise à disposition par A d'un atelier comportant tous les services généraux nécessaires (eau, électricité, air comprimé, fosses et élévateurs) pour effectuer tous les TRAVAUX correspondants d'entretien, réparation, B devant fournir tous les outils et outillages nécessaires.

A mettra gratuitement à la disposition de B un magasin fermé, destiné à recevoir les pièces de rechange et groupes, d'une surface de ... m² (proportionnelle au nombre de véhicules sous-contractés).

8. Le matériel qui, pour des raisons étrangères au contrat d'Entretien, par exemple, des sinistres, sera fourni à A bénéficiaire d'une remise (à déterminer) que B remettra à A et mettra à jour régulièrement, ceci coïncidant avec la mise à jour de ce contrat d'Entretien prévu dans la clause numéro SEPT.

9. Ne sont pas inclus dans le contrat, autre ce qui est indiqué dans la clause numéro QUATRE, paragraphe 2, le nettoyage des véhicules ou la désinfection et la désinsectation de ceux-ci, leur ravitaillement en combustible et leur stationnement.

Sixièmement — Cession à des tiers

La location des véhicules à des tiers ou leur cession sous une forme quelconque est interdite, sauf accord mutuel entre les deux parties.

Septièmement — Liquidation

1. La liquidation du montant des TRAVAUX indiqués dans la clause numéro QUATRE s'effectuera mensuellement en fonction des kilomètres parcourus pendant cette période par la totalité des VEHICULES de la série.

Le prix sera de x₁/km pour la première année de validité du contrat. Ce montant ne comprend pas la T.V.A.

Le paiement par A de la facture présentée par B sera effectué dans les ... jours après réception de cette facture.

A présentera de son côté une facture pour les TRAVAUX réalisés pendant la même période pour le compte de B et avec les mêmes délais de paiement que pour celle présentée par B.

2. Si A prenait, en ce qui concerne le paiement mensuel, un retard supérieur à ... semaines par rapport au délai stipulé, B

aurait le droit de facturer le taux d'intérêt MIBOR correspondant au retard dans le paiement.

3. Le tarif de paiement est basé sur le prix moyen de la Main d'œuvre au jour de la signature du contrat et sur les prix de la liste de pièces de rechange de B en vigueur et officiels à la même date. B est autorisé à modifier les tarifs de paiement en fonction des changements qui pourraient se produire dans ces prix. La modification s'effectuera seulement le 1^{er} janvier de chaque année et sera applicable à partir du mois suivant.

3.1 Les modifications s'effectueront en utilisant la formule suivante :

P = PO (0,50 VM/VMO + 0,30 VP/VPO + 0,20 VL/VLO).

P = Prix kilométrique revisé.

PO = Prix kilométrique à la signature du contrat.

VM = Tarif horaire revisé de la main d'œuvre.

VMO = Tarif horaire de la Main d'œuvre appliquée par B le jour de la signature du contrat.

VP = Somme des prix unitaires de vente au public de la liste de pièces indiquée en annexe au présent contrat, selon le tarif en vigueur au dernier jour de l'année écoulée depuis la signature du contrat.

VPO = Somme des prix unitaires de vente au public de la même liste de pièces le jour de la signature du contrat.

VL = Prix de vente au public de l'huile selon le tarif en vigueur au dernier jour de l'année écoulée depuis la signature du contrat.

VLO = Prix de vente au public de l'huile mentionné antérieurement le jour de la signature du contrat.

En ce qui concerne le prix de la main d'œuvre, celui de 1988 est pris comme base 100, les variations correspondant à celles enregistrées dans la convention collective de l'industrie métallurgique du pays ou région.

En ce qui concerne les matériaux, est pris comme base 100 le prix de tarif des pièces de rechange dont liste en annexe, les augmentations étant fonction du prix de ces pièces au 31 décembre de chaque année.

3.2. La modification de tarif sera communiquée à A par écrit, avec indication des nouveaux prix, qui devront être approuvés par A.

4. La quantité de kilomètres parcourus sera mesurée par un compteur kilométrique. Ce compteur kilométrique et son axe de transmission devront être dûment plombés. Les pannes du compteur kilométrique ainsi que la détérioration des plombs devront être immédiatement communiquées à B. Les TRAVAUX de réparation nécessaires devront être réalisés sans perte de temps et exclusivement par du personnel de B ou désigné par celle-ci.

Huitièmement — Réparations en cas d'accident

Les réparations en cas d'accident pourront être effectuées par du personnel de A ou des tiers désignés par cette entreprise, sous la supervision et la direction du personnel détaché par B et, par conséquent, leurs résultats ne supposeront pas une modification des conditions de ce contrat. En cas de manquement, les dommages qui pourraient en résulter seraient à la charge de A.

Neuvièmement — Garantie

Dans le calcul du tarif sont prévus les droits de la garantie contractuelle.

Par conséquent, si pour une raison quelconque, ce contrat restait sans effet, la garantie contractuelle de la fourniture récupérerait son caractère effectif entier et total.

Dixième — Elimination anticipée d'un véhicule du contrat

1. Si un ou plusieurs VEHICULES sont éliminés du contrat (par exemple, vente, destruction totale, etc), à partir du moment où se produit l'élimination toutes les obligations cessent conformément à l'accord numéro DEUX, paragraphe 2.

2. On notera au moment de l'élimination les kilomètres en attente de facturation, et les notes de débit aussi bien de B que de A seront émises et payées.

Onzièmement — Conditions de réparation

A condition que ce contrat ne contienne pas une disposition contraire, pour les réalisations des TRAVAUX seront applicables

les normes des Livres d'Instructions des VEHICULES, qui seront remis par (B) à (A) et devront être approuvés par celle-ci.

Douzièmement — Pénalisation

(B) s'engage à payer à (A) une pénalisation de x_2 par journée d'immobilisation de chaque unité qui dépasse les délais indiqués plus loin, et dont l'immobilisation serait la conséquence de réparations, pannes ou défauts imputables à (B) selon les normes de ce contrat et ses annexes.

(A) devra notifier à (B), dès que le véhicule arrivera au dépôt, l'immobilisation de celui-ci en donnant les raisons de cette immobilisation.

Le chiffre de base total admissible à partir duquel la pénalisation est applicable sera :

Pour le modèle ... : $10 \cdot x_3$ jours pour les x_3 unités considérées dans leur ensemble, c'est-à-dire, que même si une unité dépasse les valeurs moyennes, seulement si la flotte ne dépasse pas au total les $10 \cdot x_3$ jours cités.

Ces bases se modifieront avec le temps, et augmenteront annuellement d'une façon linéaire pendant une période de DIX annuités de sorte qu'au cours de la dernière de celles-ci, pour le modèle ..., le chiffre de base sera de $20 \cdot x_3$ jours.

Les journées où le VEHICULE aura été en service, même si ce n'est qu'à temps partiel, ne seront pas considérées comme des journées d'immobilisation. Il ne sera pas non plus tenu compte, en ce qui concerne cette pénalisation, des journées d'immobilisation dues à des raisons de force majeure.

La durée de validité de ce système de pénalisation pour cause d'immobilisation sera de DIX ans, comptés à partir de la réception provisoire des VEHICULES.

Treizièmement — Résiliation unilatérale et d'un commun accord

Si (A), par sa faute, ne respecte pas les obligations qui lui incombent comme résultat de ce contrat, spécialement les obligations concernant les communications et les réparations incluses dans les accords numéros QUATRE et CINQ, et/ou n'effectuait pas le paiement mensuel prévu dans l'accord numéro SEPT, (B) aurait le droit de résilier unilatéralement ce contrat. En même temps, (B) se réserve le droit de réclamer une indemnisation pour les dommages résultant d'une infraction fautive au contrat de la part de (A).

2. Si la partie qui contrevient aux obligations de ce contrat est de (B), spécialement en ce qui concerne celles contenues dans les accords numéros DEUX et QUATRE de ce contrat et la documentation complémentaire de celui-ci décrite dans l'accord numéro UN, (A) aura le droit de résilier unilatéralement le contrat en se réservant le droit de réclamer les dommages et intérêts correspondants.

3. Si les deux parties décidaient de laisser sans effet, d'un commun accord, ce contrat d'entretien, avant un délai de TROIS ans, une liquidation globale devrait être effectuée, liquidation dans laquelle les kilomètres parcourus pendant la période de validité de ce contrat par la totalité des VEHICULES de la série seraient comptabilisés au prix de $\frac{x_1}{2,5}$ kilomètre, pour la première année, prix qui serait révisé selon le système convenu afin d'obtenir les tarifs à appliquer ultérieurement.

Si la période pendant laquelle sont en vigueur les conditions du contrat d'entretien est inférieure à celle de validité de la garantie prévue dans l'offre de (B), celle-ci restera en vigueur dans sa totalité.

Quatorzièmement — Non-validité de certaines dispositions déterminées du contrat

Si l'une des dispositions de ce contrat était juridiquement nulle, ceci n'affecterait en rien la validité du reste des dispositions. Les signataires du contrat s'engagent à remplacer la disposition nulle par une autre qui soit valable sur le plan juridique et dont le résultat au point de vue financier soit le même.

Quinzièmement — Accords accessoires verbaux, modifications du contrat

Il ne sera pas souscrit d'accords accessoires verbaux; les modifications et compléments apportés à ce contrat devront faire l'objet de documents écrits.

Seizièmement — Conciliation en cas de différences d'opinion

1. En cas de différence d'opinion sur le fait si l'élimination de dommages ou d'avaries correspond aux TRAVAUX, de la manière mentionnée dans les accords numéros QUATRE et CINQ, le problème sera tranché par l'autorité compétente correspondante.

2. Si l'expert déclare que la réparation du dommage ou de la panne fait partie des TRAVAUX objet du contrat, (B) prendra à sa charge les frais possibles d'expertise. Dans le cas contraire, ils seront assumés par (A).

Dix-septième — Juridiction

En ce qui concerne les litiges éventuels qui pourraient surger dans le cadre de ce contrat et qui ne puissent pas se résoudre à l'amiable ou en utilisant le système de conciliation exposé dans l'accord numéro SEIZE, la juridiction applicable sera celle des Tribunaux de la ville de (A).

Et en preuve d'accord et d'acceptation, les octroyants signent le présent document en double exemplaire mais à un seul effet, au lieu et date indiqué au début de ce document.

Groupe de pannes	Code	Dénomination
1. Mécaniques	1.01	Accélérateur
	1.02	Changement de vitesses
	1.03	Circuit de refroidissement
	1.04	Compresseur
	1.05	Différentiel et palier
	1.06	Direction
	1.07	Freins
	1.08	Injection
	1.09	Moteur
	1.10	Roulements et roues
	1.11	Suspension pneumatique
	1.12	Transmissions
	1.13	Circuits d'air
	1.14	Circuits de gazole
	1.15	Circuits d'huile moteur
	1.16	Circuit échappement-arrêt moteur
	1.17	Volant fluide et embrayage
2. Electriques	1.18	Kelpys
	1.21	Distributeurs et vannes d'air
	1.22	Suspension mécanique
	1.23	Cylindres d'air freins
	1.25	Cylindres de portes
	2.01	Signaux acoustiques
	2.02	Eclairage
	2.03	Batteries
	2.04	Alternateur
	2.05	Installations
	2.06	Essuie-glaces
	2.07	Démarrreur
3. Carrosserie	2.08	Relais clignotants
	2.09	Electricité portes
	2.10	Poussoirs et interrupteurs
	2.11	Sélecteur changement de vitesses
	2.12	Douilles
	3.01	Carrosserie
	3.02	Mécanisme des portes
	3.03	Rétroviseur

Subdivision des pannes au point de vue code informatique

GROUPES MECANIQUES

<u>1.01 ACCELERATEUR</u>	(1.440) Pedale de l'accélérateur	(3.300) Air changement
	(1.441) Tige de cde pompe d'injection	(3.301) Tuyautes changement de vitesses
	(1.442) Rotules de cde pompe d'injection	(3.400) Air suspension
	(1.443) Ressorts de retour cde pompe d'inq.	(3.401) Tuyautes suspension pneumatique
	(1.444) Réglage ralenti	(3.500) Air portes
<u>1.02 CHANGEMENT DE VITESSES</u>	(1.500) Changement de vitesses	(3.501) Tuyautes air portes
	(1.502) Patinage des vitesses	
	(1.503) Bande changement vitesses brisée	
	(1.504) Impossible passer les vitesses	
	(1.505) Une vitesse reste bloquée	
	(1.506) Manque d'huile chang. de vitesses	
	(1.507) Manque de pression d'huile ch.vit.	
	(1.508) Perte d'huile dans le chang. de vit. (tuyautes ou filtre)	
	(1.509) Garnitures chang. de vitesses	
	(1.503) Piston changement de vitesses	
<u>1.03 CIRCUIT DE REFRIGERISSEMENT</u>	(1.101) Reservoir auxiliaire du radiateur	
	(1.102) Radiateur du moteur	
	(1.103) Manque d'eau	
	(1.104) Ventilateur du radiateur	
	(1.105) Support du ventilateur	
	(1.106) Circuit de chauffage	
	(1.107) Circuit de refroidissement	
	(1.108) Radiateur bouché	
<u>1.04 COMPRESSEUR</u>	(1.413) Pompe à eau en panne	
	(3.100) Système pneumatique	
	(3.101) Compresseur	
<u>1.05 DIFFERENTIEL</u>	(3.102) Culasse du compresseur	
	(1.603) Moyeu du réducteur	
	(1.614) Différentiel	
<u>1.06 DIRECTION</u>	(1.615) Paliere	
	(1.202) Boîte d'engrenages	
	(1.203) Pompe à huile direction	
	(1.204) Niveau huile direction et réservoir	
	(1.205) Tuyaute huile direction	
	(1.206) Boîtier de direction (dur ou bruyant)	
	(1.303) Articulation avant	
	(1.304) Barres de direction et rotules	
	(1.703) Articulations semi-remorque	
	(1.306) Echappement roue avant	
<u>1.07 FREINS</u>	(1.308) Leviers de frein avant	
	(1.309) Régler les freins avant	
	(1.310) Mâchoire frein avant	
	(1.311) Tambour frein avant	
	(1.606) Echappement roue arrière	
	(1.608) Leviers de frein arrière	
	(1.609) Régler les freins arrière	
	(1.610) Mâchoire frein arrière	
	(1.611) Tambour frein arrière	
	(1.616) Frein à main mécanique	
<u>1.08 INJECTION</u>	(1.705) Echappement roue semi-remorque	
	(1.706) Leviers de frein semi-remorque	
	(1.709) Régler les freins semi-remorque	
	(1.710) Mâchoire frein semi-remorque	
	(1.711) Tambour frein semi-remorque	
	(1.420) Pompe d'injection en panne	
	(1.421) Régulateur de la pompe en panne	
	(1.422) Pompe d'alimentation de la P.I.	
	(1.423) Variateur d'avance de la P.I.	
	(1.424) Couple conique de la P.I.	
<u>1.09 MOTEUR</u>	(1.425) Transmission P.I. (disques flecteurs)	
	(1.427) Tuyautes d'injection	
	(1.428) Injecteurs	
	(1.432) Pompe d'injection déréglée	
	(1.433) Prise d'air pompe d'injection	
	(1.400) Moteur	
	(1.401) Moteur bloqué	
	(1.402) Le moteur cogne	
	(1.403) Le moteur perd de la compression	
	(1.404) Moteur en court circuit	
<u>1.10 ROULEMENTS ET BOUCES</u>	(1.405) Le moteur perd de l'huile par le renifleur	
	(1.406) Culasse du moteur	
	(1.407) Perd de l'eau par la culasse	
	(1.408) Manque de pression huile moteur	
	(1.409) Manque d'huile moteur	
	(1.450) Filtre à air du moteur	
	(1.302) Roulements des roues avant	
	(1.307) Roue avant encastrée	
	(1.312) Ecrous fixation roues AV desserrés	
	(1.313) Boulons fixation roues AV détachés	
<u>1.11 SUSPENSION PNEUMATIQUE</u>	(1.602) Roulements roues arrière	
	(1.607) Roue arrière encastrée	
	(1.612) Ecrous fixation roues AR desserrés	
	(1.613) Boulons fixation roues AR détachés	
	(1.702) Roulement roue semi-remorque	
<u>1.12 TRANSMISSIONS</u>	(1.707) Roue semi-remorque encastrée	
	(1.712) Ecrous fixation roues S-R desserrés	
	(1.713) Boulons fixation roues S-R détachés	
	(3.402) Vanne de mise à niveau	
	(3.403) Torpess	
<u>1.13 CIRCUITS D'AIR</u>	(1.201) Transmission alternateur	
	(1.207) Transmission boîtier d'engrenages	
	(1.501) Transmission accouplement (F.GIUBO)	
	(1.509) Transmission AR B.V. (croisillons)	
	(1.451) Tuyautes d'admission	
<u>1.14 TUYAUTERIES ET RESERVOIR GAZOLE</u>	(1.452) Manchons d'admission	
	(1.453) Brides d'admission	
	(3.103) Tuyau serpentin	
	(3.104) Tuyau flexible sortie compresseur	
	(3.106) Réservoir d'air	
	(3.200) Air freins	
	(3.201) Tuyautes de frein	
	(3.204) Manomètre indicateur air freins	
	(1.426) Tubes flexibles gazole pompe inject	
	(1.429) Filtres de gazole	
<u>1.15 CIRCUITS HUILE MOTEUR</u>	(1.430) Réservoir gazole	
	(1.431) Tuyautes réservoir gazole	
	(1.410) Pertes huile mot. par tuyau joints	
	(1.411) Pertes huile par filtre centrifuge	
	(1.412) Pertes huile par filtre à pression	
<u>1.16 CIRCUITS D'ECHAPPAGE</u>	(1.460) Collecteur d'échappement	
	(1.461) Brides tuyau d'échappement	
	(1.462) Tuyau d'échappement	
	(1.463) Silencieux échappement	
	(1.470) Carcasse embrayage ou volant fluide	
<u>1.17 VOLANT FLUIDE ET EMBRAYAGE</u>	(1.471) Embrayage ou volant fluide patine	
	(1.472) Le volant fluide perd de l'huile	
	(1.473) Embrayage ou volant fluide brisé	
	(1.474) Volant fluide	
	(1.475) Réservoir volant fluide	
<u>1.18 KELPYS</u>	(3.105) Dépurateur (Kelpys ou Air Dryer)	
	(2.105) Boîtier électrovannes changement	
	(3.107) Robinet de purge	
	(3.202) Distributeur d'air des freins	
	(3.205) Vanne d'actionnement frein à main	
<u>1.19 DISTROURSEUR ET VANNES D'AIR</u>	(3.206) Vanne à ouverture rapide	
	(3.304) Vannes de changement	
	(3.503) Robinet de passage de l'air	
	(3.504) Vannes de la porte	
	(1.301) Ressorts avant	
<u>1.20 SUSPENSION MECANIQUE</u>	(1.305) Amortisseurs avant	
	(1.601) Ressorts arrière	
	(1.604) Barre de torsion	
	(1.605) Amortisseurs arrière	
	(1.701) Ressorts semi-remorque	
<u>1.21 CYLINDRES D'AIR DE FREIN</u>	(1.704) Barres et rotules semi-remorque	
	(1.705) Amortisseurs semi-remorque	
	(3.203) Cylindres ou chambres de frein	
	(3.502) Cylindres de portes	
	(1.476) GROUPE EJECTOR	
<u>2.01 ACOUSTIQUES</u>	(2.207) Signaux intérieurs (sonnerie, tiffoir)	
	(2.208) Signaux extérieurs (klaxon)	
	(2.209) Arrêt demande	
<u>2.02 ECLAIRAGE</u>	(2.206) Ampoules	
	(2.210) Eclairage intérieur	
	(2.213) Eclairage des portes	
<u>2.03 BATTERIES</u>	(2.311) Batteries	
	(2.404) ALTERNATEUR	
	(2.101) Alternateur	
<u>2.04 ALTERNATEUR</u>	(2.102) Régulateur	
	(2.100) Groupes électriques	
	(2.200) Composants électriques	
<u>2.05 INSTALLATIONS ELECTRIQUES</u>	(2.202) Relais de protection	
	(2.203) Fusibles	
	(2.204) Câbles des installations	
	(2.107) Moteur de l'essuie-glace	
	(2.108) Balaï de l'essuie-glace	
<u>2.06 ESSUIE-GLACES</u>	(2.109) Centrage du balaï de l'E.G.	
	(2.103) Démarreur	
	(2.201) Relais des clignotants	
<u>2.07 DEMARREUR</u>	(2.104) Electrovanne des portes	
	(2.214) Cellule photo-électrique des portes	
	(2.215) Microcontact cylindre des portes	
	(4.206) Contact de marchepied	
	(4.208) Limiteur de portes	
<u>2.08 RELAIS DES CLIGNOTANTS</u>	(2.212) Contrôles de commande du conducteur	
	(2.301) Commandes électriques	
	(2.302) Commande des phares	
	(2.303) Commande des clignotants	
	(2.304) Interrupteurs	
<u>2.09 SYSTEME ELECTRIQUE</u>	(2.106) Sélecteur du changement de vitesses	
	(2.205) Douilles	
	(2.404) GROUPE CARROSSERIE	
	(4.100) Carrosserie	
	(4.101) Siège du conducteur	
<u>2.10 POUSSOIRS ET INTERRUPTEURS</u>	(4.102) Siège voyageur	
	(4.103) Barre d'accrochage	
	(4.104) Sol	
	(4.105) Trappes d'inspection	
	(4.106) Fenêtre	
<u>2.11 SELECTEUR DU CHANGEMENT DE VITESSES</u>	(4.107) Soufflet plate-forme semi-remorque	
	(4.108) Support indicateur de ligne	
	(4.200) Carrosserie des portes	
	(4.201) Axe de porte	
	(4.202) Guide de porte.	
<u>2.12 DOUILLES</u>	(4.203) Feuillard de porte	
	(4.204) Charnière de porte	
	(4.205) Rotule de porte	
	(4.207) Butée de porte	
	(4.208) GROUPE CARROSSERIE	
<u>2.13 RETROVISEUR</u>	(4.107) Rétroviseur intérieur	
	(4.108) Rétroviseur extérieur	