

Pollution par les moteurs Diesel lors de la construction de tunnels

Bulletin 1:

Problèmes, objectifs, programme

Gaz polluants émis par les moteurs Diesel

L'émission de gaz d'échappement des moteurs à allumage par étincelle (essence, gaz) peut être réduite par des catalyseurs à trois voies à moins de 1% de l'émission brute, selon la technologie du véhicule. Mais le risque d'inflammation et d'explosion interdit l'utilisation de ce type de moteur dans les tunnels. Si, par ailleurs, le recours aux éléments d'entraînement électriques n'est pas possible, il ne reste plus qu'à équiper les engins de construction de tunnels de moteurs Diesel, ce qui soulève en revanche le problème de la réduction, à un niveau admissible, des composantes des gaz d'échappement polluants, oxydes d'azote et particules.

● Les **oxydes d'azote (NOx)** se composent en grande partie de NO et de NO₂. Les moteurs dégagent surtout du NO et 5 à 10% de NO₂ seulement. Mais le NO se transforme ensuite, dans l'atmosphère, en un gaz très toxique, le NO₂. Cette réaction s'opère également dans les longs tunnels [1].

Le NO₂ est toxique dans la mesure où il forme des acides nitreux et des acides nitriques au contact de l'eau,



Figure 1: Machines de chantier dans le tunnel.

des substances qui, en cas d'exposition, pénètrent dans les voies respiratoires humides où ils sont susceptibles de provoquer des cautérisations.

| | | VME 93 A | VME 94 CH | VME 94/95 D |
|-----------------|-------------------|-------------|--------------|----------------|
| No | mg/m ³ | 30 | 30 | 30 |
| No ₂ | mg/m ³ | 6 | 6 | 9 |

● Les **particules** représentent l'ensemble des substances solides dans les gaz d'échappement des moteurs qui sont filtrables après dilution avec l'air et refroidissement à moins de 52°C. Les particules sont notamment produites pendant la combustion des moteurs Diesel, elles pénètrent dans les poumons (voir figure 1) et se composent, selon le régime moteur et le carburant, de différents pourcentages de suie, de sulfates, d'hydrocarbures et d'eau fixés par adsorption.

En refroidissant, les ions des sulfates forment avec l'eau présente en quantité importante dans les gaz d'échappement, des acides sulfureux et des acides sulfuriques pour lesquels la liste VME fixe une limite très stricte de 1 mg/m³ en raison de leur effet caustique. La formation de sulfate peut en fait être évitée de manière très efficace en utilisant des carburants spéciaux à faible pourcentage de soufre (soit S<0,05 % du poids) qui sont disponibles dans le commerce.

Les hydrocarbures, dont les composants aromatiques polycycliques (HAP) ont des effets cancérogènes, sont susceptibles de se fixer sur les particules de suie et d'y rester collés très fermement par effet d'adsorption.

Editorial

L'objectif du projet VERT* est de réduire autant que possible les émissions des machines de chantier utilisées pour l'excavation de tunnels, ceci afin d'assurer la protection de la santé des personnes occupées dans ce secteur. Les nombreux projets de construction de tunnels ont incité les instances autrichienne, allemande et suisse chargées de veiller à la sécurité du travail dans les tunnels, c.-à-d. l'AUVA, la TBG et la CNA (direction) à lancer conjointement ce projet.

Le bulletin VERT s'adresse aux spécialistes en la matière. Il paraîtra tous les 2 ou 3 mois et sera consacré à un point particulier du projet. Les adresses utiles figurent en dernière page. AUVA, CNA, TBG

* VERT (Verminderung der Emissionen von Baumaschinen im Tunnelbau) On entend par machines réelles, les moteurs utilisés réellement sur le terrain et non pas les développements futurs.

Lorsque les moteurs fonctionnent sous charge partielle, la teneur en hydrocarbures de la masse des particules est relativement importante alors qu'ils disparaissent presque entièrement sous pleine charge. La concentration typique des HAP représente selon [2] quelques mg/m^3 .

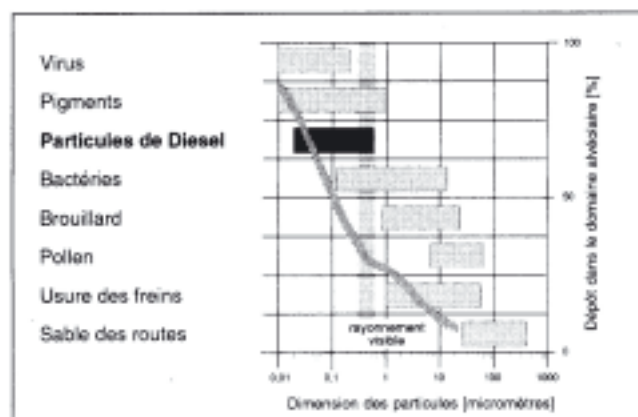


Figure 2: Répartition en fonction de la taille des particules polluantes (barres) et probabilité de dépôt de ces particules dans les alvéoles pulmonaires.

Le „noyau de suie“, particule minuscule constituée surtout de carbone élémentaire, aurait lui aussi des effets cancérogènes, d'après les recherches toxicologiques les plus récentes [3, 4]. Il existe un risque de dépôt de cette particule lié à son mécanisme d'action [5].

Partant des résultats des études sur les facteurs cancérogènes, le CIRC a classé divers HAP et émissions de moteurs Diesel EMD parmi les éléments „susceptibles d'être cancérogènes“. On a par conséquent fixé des valeurs limites applicables à l'échelle nationale:

| | RTSD 93 A | VME 94 CH | RTSD 94 D |
|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| DME (particules) | | | |
| mg/m^3 souterrain | 0.6*) | 0.2 | 0.6 |
| mg/m^3 à ciel ouvert | | 0.2 | 0.2 |
| Benzo(a)pyrène | 0.002 | 0.002 | 0.002 |

*) valeur indicatif

Cette définition des limitations considère que les particules ne sont pas un filtrat hétérogène mais que les „émissions des moteurs Diesel“ (EMD) représentent la teneur totale de carbone du filtrat de particules et renferment donc à la fois du carbone élémentaire (suie) et la part de carbone organique des hydrocarbures déposés.

Il va sans dire qu'il faut investir toutes les techniques possibles pour ramener les émissions de substances cancérogènes en dessous de la valeur limite.

En 1993, la CNA et l'OFEFP ont dressé conjointement un inventaire des émissions des machines de chantier utilisées en Suisse, selon lequel ces machines émettent, en situation réelle, une quantité de particules 10 fois supérieure à la valeur limite appliquée dans la circulation routière (figure 3), ce qui est énorme.

La tendance actuelle va même jusqu'à renforcer la législation, notamment dans le secteur des véhicules utilitaires routiers où il est question de réduire les émissions de particules des moteurs nouveaux de 0,36 à 0,15 g/kWh .

Pour les véhicules non routiers, il n'existe pour l'heure aucune législation de cette nature à l'échelle européenne. Les premiers projets élaborés visent en priorité la réduction des émissions des tracteurs agricoles. Or, les prescriptions de ce type ne sont en général formulées que pour les nouveaux moteurs et exigent en principe une période transitoire de 3 à 4 ans. Une législation qui imposerait l'équipement ultérieur de moteurs n'existe à l'heure actuelle que pour les moteurs fixes d'après la TA Luft, alors que rien n'est prévu pour les véhicules routiers et les véhicules non routiers, notamment les machines de chantier. Il ne faut donc pas s'attendre à ce que la pollution produite par les moteurs Diesel utilisés pour la construction de tunnels se réduise d'elle-même dans les prochaines années.

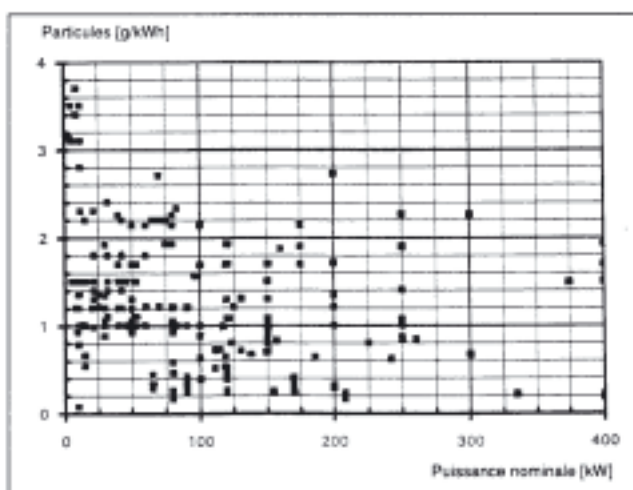


Figure 3: Emission de particules en fonction de la puissance nominale, inventaire suisse des émissions des machines de construction [6]

Qualité de l'air dans les tunnels et ventilation

Il n'existe à ce jour aucune limitation des émissions des véhicules à moteur Diesel dans les tunnels, aussi ne reste-t-il plus que la solution de la dilution si l'on veut obtenir la qualité de l'air définie par les valeurs VME.

A l'heure actuelle, la méthode de la dilution par ventilation est appliquée sur tous les chantiers de tunnels. Le taux de passage d'air est établi à $4\text{m}^3/\text{min}$ par kW Diesel. D'après l'expérience faite, cette valeur directrice suffit pour atteindre la valeur limite de NO et NO_2 .

Au cours de ces dernières années, l'AUVA et la TGB ont effectué des mesures par échantillonnage des EMD sur des chantiers souterrains. La majorité de mesures se situent entre 0,4 et 0,8 mg/m^3 , certaines atteignent même des pointes de 2 mg/m^3 . Cela prouve que les valeurs limites indiquées sont largement dépassées.

On pourrait évidemment envisager d'augmenter la ventilation, mais cela poserait d'autres problèmes alors:

- ◆ on n'obtient qu'une amélioration moyenne, alors que l'on continuerait de dépasser les valeurs limites à l'emplacement de travail même.
- ◆ La charge totale des émissions qui se dégagent finalement du chantier par la ventilation reste aussi élevée qu'auparavant, ce qui ne résout pas le problème pour l'environnement.
- ◆ Les systèmes de ventilation de tunnels sont extrêmement coûteux.
- ◆ Le rétrécissement du profil du tunnel ne permet pas toujours d'installer de grandes conduites d'aération.

Pour réaliser ces objectifs, il ne faut pas uniquement considérer les valeurs d'immission. Le but n'est pas de limiter la pollution moyenne mais de réduire le polluant à la source, donc l'émission de chaque moteur Diesel.

Au lieu de se cantonner à une analyse de la valeur moyenne, cette méthode permettrait éventuellement de bannir du tunnel les moteurs qui sont de gros émetteurs de particules, d'améliorer la qualité de l'air dans le tunnel sans même augmenter la ventilation et d'introduire sur initiative propre, à partir d'une surveillance régulière des moteurs, des mesures précises concernant la maintenance et éventuellement l'équipement ultérieur.

Objectif VERT

Le projet VERT a un triple objectif:

1. Traitement secondaire des gaz d'échappement

Examen des mesures de réduction des gaz d'échappement émis par les machines de construction. Ces mesures doivent également être applicables aux moteurs des véhicules relativement anciens en service. Les mesures devront être:

- ◆ disponibles sur le marché
- ◆ disponibles à un prix acceptable
- ◆ acceptées par le constructeur de moteurs sans limitation de la garantie.

2. Technique de mesure

Examen et, le cas échéant, perfectionnement des méthodes de mesure permettant de déterminer la qualité des gaz d'échappement des moteurs Diesel sur place. Ces appareils de mesure en situation réelle doivent présenter les caractéristiques suivantes:

- ◆ convenir pour les rudes travaux sur les chantiers
- ◆ appareils courants, disponibles dans le commerce
- ◆ niveau de coût permettant aux entrepreneurs de bâtiments disposant d'un parc de machines réduit de se procurer eux-mêmes de tels appareils et de contrôler la qualité des émissions des moteurs

- ◆ les résultats des mesures sur le chantier doivent raisonnablement correspondre aux mesures officielles lors de la certification des moteurs
- ◆ les appareils de mesure doivent être acceptés par les organes nationaux chargés de la vérification.

3. Détermination des valeurs limites

Pour les moteurs Diesel utilisés sur les chantiers de tunnels, il y a lieu de proposer des valeurs limites d'émission de particules (EMD) et d'oxyde d'azote. Ces valeurs limites seront définies d'après la norme ISO 8178 et, selon le type de la machine, en fonction des cycles de mesures C1 et D2 ou du test à 13 modes. Les mesures seront effectuées sur banc d'essai, en mode d'opération stationnaire et dans les conditions habituelles.

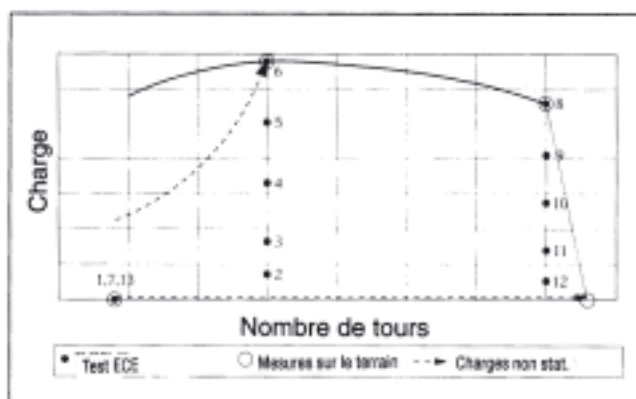


Figure 4:
Cycle de mesures ECE R49 "Test à 13 modes"

Mesures de contrôle: les mesures aussi complexes ne sont pas applicables sur le chantier. Il faudrait, au contraire, effectuer les mesures de contrôle dans des conditions de fonctionnement qui n'exigent pas de modification du réglage des véhicules et moteurs. Ces régimes sont par exemple:

- ◆ ralenti base
- ◆ ralenti haut
- ◆ pleine charge avec couple d'arrêt convertisseur
- ◆ pleine charge à accouplement hydraulique

On retrouve ces régimes dans le cycle standard (figure 4); pour connaître le niveau d'émission prévisible sur le chantier pour ces régimes, on peut ainsi se référer aux mesures de certification selon le cycle ISO.

Autre technique essentielle d'analyse du comportement du moteur: le mesurage transitoire, à l'aide d'un opacimètre, de la fumée dégagée lors du passage, en accélération libre, du ralenti bas au ralenti élevé.

Dans leur ensemble, ces régimes peuvent être considérés comme étant représentatifs du comportement des moteurs, ils sont facilement reproductibles et, pour des temps de réponse d'environ 3 min, ils ne constituent pas de surcharges pour les machines.

On retiendra, comme valeurs de référence servant à apprécier ces mesures, les indications des fabricants ou les mesures relevées lors de l'admission des appareils de construction du tunnel.

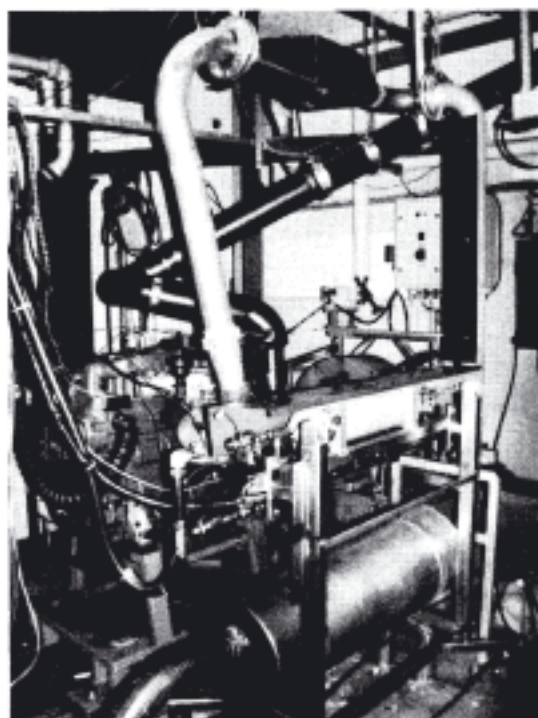
Programme et financement

Lancé en novembre 1994, le projet VERT se déroule en trois étapes:

- ◆ De 1994 à début 1995: mesurages au banc d'essai par le service de contrôle des gaz d'échappement de l'Ecole d'Ingénieurs de Bienne/Suisse, prof. J. Czerwinski, destinés à définir les mesures de réduction des gaz d'échappement et à analyser les appareils de mesure des gaz d'échappement utilisables sur le terrain.
- ◆ 1995 à début 1996: équipement de machines de construction représentatives en fonction des mesures définies pour réduire les gaz d'échappement. Contrôle à long terme sur le terrain. Contrôle simultané de la méthode de mesure des gaz d'échappement.
- ◆ 1996: détermination des valeurs limites et des méthodes de contrôle.

Le projet représente un coût total d'environ 1,6 million de francs suisses dont près de la moitié est supportée par les organisateurs du programme, à savoir l'AUVA, la CNA et le TBG, le reste étant financé par l'industrie (moteurs, filtres à suie, catalyseurs, carburants, additifs, appareils de mesure).

Ce bulletin paraîtra tous les deux ou trois mois et sera notamment consacré à la définition des mesures de rattrapage, à la technique de mesure sur le terrain et aux valeurs limites.



Filtre à suie d'un moteur LIEBHERR

Bibliographie

1. K.Wörsdorfer, Verhalten von NO und NO₂ in Abwettern, Glückauf-Forschungshäfte 53(1990)1
2. H.Schlitt, Untersuchung des Verhaltens von Russfiltern an Dieselmotoren unter Tage, Glückauf-Forschungshäfte 54 (1993) 4
3. P.D.Heinrich, Zur Frage der Gefährdungspotentials von Dieselmotoren für den Menschen, Fraunhofer-Institut, Hannover, SAE-Tagung Wil, 22.4.94
4. William E. Peplko, Chao Chen, Quantitative Assessment of Cancer Risk from Exposure to Diesel Engine Emissions, US Environmental Protection Agency, Regulatory Toxicology and Pharmacology, 17/ 1993
5. Depositions- und Retentionsmodell für die interne Dosimetrie des menschlichen Respirations-traktes, Health Physics 12 (1966), 173
6. Schadstoffemission und Treibstoff-Verbrauch von Baumaschinen, Bericht Umweltmaterialien Nr. 23 des BUWAL/Bern, 1994

Abréviations:

| | |
|---------|---|
| CNA | Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents |
| AUVA | Allg. Unfallversicherungsanstalt/ Autriche |
| TBG | Tiefbau-Berufsgenossenschaft (syndicat allemand des employés des travaux publics) |
| OFEFP | Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage |
| VME | Valeur limite moyenne d'exposition |
| RTSD | Règles techniques relatives aux substances dangereuses |
| HAP | Hydrocarbures aromatiques polycycliques |
| EMD | Emissions des moteurs Diesel (soit carbone total des particules filtrées) |
| CIRC | Centre international de recherche sur le cancer |
| TA Luft | Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (Directives techniques sur le maintien de la pureté de l'air) / Allemagne |
| ISO | International Standards Organization |

Direction du projet:

Bureau d'ing. TTM, A. Mayer
Fohrholzstr. 14b, CH-5443 Niederrohrdorf
Tél. CH-0041/(56) 59 14 14 Fax 0041/(56)95 14 15

Organismes à contacter

AUVA: E. Bigga A/0043(3842)24317
TBG: Prof. D. Kieser D/0049(761)73135
CNA: W. Scheidegger CH/0041/(41)21 50 60

Commandes de bulletins:

AUVA: Allgemeine Unfallversicherungsanstalt
Division de la prévention des accidents et des maladies professionnelles
Adalbert-Stifterstr. 65, A-1200 Vienne (Madame Radosztics)
Tél. 0222-33111-418 Fax. 0222-33111-347
Référence: AUVA-Report 4/1

TBG:
Tiefbau-Berufsgenossenschaft
Am Knie 6 D-81241 Munich
Tél. (089)8897-505 Fax. (089)8897-494

CNA:
Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents
Service clientèle, Case postale, 6002 Lucerne
Tél. 041/21 58 51 Fax. 041/21 59 17