



Energy, Mines and Resources Canada

Energie, Mines et Ressources Canada

**CANMET**

Canada Centre for Mineral and Energy Technology

Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie

MRL 87-133 (OPJ) Fe.2  
MRL 87-133 (OPJ) Fe.2

AMÉLIORATION DU RENDEMENT DES MOTEURS DIESEL DU POINT DE VUE DES ÉMISSIONS DE GAZ ET DE SUIE

E.D. Dainty  
Laboratoire canadien de recherche sur les atmosphères explosives

NOVEMBRE 1987

Présenté au séminaire des LRM à Val d'Or, le 24 février 1988, et au séminaire de santé et sécurité d'AMO, à Sudbury, le 2 mars 1988.

Publié en version anglaise et française dans les "Comptes Rendus des Conférences" pour le séminaire de CANMET à Val d'Or les 24 et 25 février 1988.

LABORATOIRES DE RECHERCHES MINIÈRES  
RAPPORT DE DIVISION MRL 87-133 (OPJ) F

Canmet Information  
Centre  
D'information de Canmet

JAN 28 1997

555, rue Booth ST.  
Ottawa, Ontario K1A 0G1

5.077 (290) 381-112-19

5.077 (290)

## AMÉLIORATION DU RENDEMENT DES MOTEURS DIESEL DU POINT DE VUE DES ÉMISSIONS DE GAZ ET DE SUIE

par

E. Don Dainty\*

### INTRODUCTION

Au début des années 1950, les ministres provinciaux responsables du secteur minier ont exigé la création d'un seul laboratoire fédéral où seraient effectués tous les travaux relatifs à la santé et à la sécurité des personnes qui travaillent dans les mines de charbon. C'est ainsi que fut créé le Laboratoire canadien de recherche sur les atmosphères explosives (LCRAE) au sein des laboratoires du secteur minier du Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET), une direction générale du Ministère fédéral de l'Énergie, des Mines et des Ressources (EMR).

Ce laboratoire fait maintenant partie des Laboratoires de recherche minière (LRM) du CANMET. Il s'occupe principalement : (1) de faire des essais en vue de certifier le matériel destiné à être utilisé dans des environnements gazeux explosifs, comme dans les mines de charbon, et (2) d'effectuer des travaux de recherche et de développement en vue d'améliorer le matériel nécessaire aux essais de certification, de contribuer à l'établissement de normes nationales précisant des méthodes d'essai, applicables au secteur minier, et de mettre au point des dispositifs permettant d'améliorer la sécurité et de mieux protéger la santé des personnes qui travaillent dans les mines au Canada.

En 1970, les machines mues par un moteur diesel antidéflagrant sont venues s'ajouter à la liste des pièces d'équipement certifiables, avec le matériel électrique antidéflagrant, les matériaux résistant au feu, y compris les convoyeurs à bandes, les tuyaux flexibles, les câbles électriques et les liquides hydrauliques résistant au feu.

La principale source d'inquiétude liée aux véhicules à moteur diesel est, outre le risque d'explosion qu'ils comportent, la toxicité de leurs émissions. C'est pour cette raison que les exigences de certification des machines à moteur diesel prévoient, entre autres, l'apport d'air frais servant à diluer jusqu'à une concentration acceptable les contaminants rejetés dans l'environnement souterrain (1). Cet aspect s'applique également à toutes les machines à moteur diesel utilisées dans les mines, qu'il y ait ou non présence d'un gaz explosif.

Les machines à moteur diesel sont utilisées couramment dans les mines partout au monde depuis les années 1950, plus particulièrement dans les mines de charbon, car on les perçoit comme étant efficaces du point de vue production et flexibles du

---

\*Chercheur, Laboratoire canadien de recherche sur les atmosphères explosives, Laboratoires de recherche minière, Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie, Énergie, Mines et Ressources Canada.

IMPROVEMENT OF DIESEL ENGINE PERFORMANCE FROM  
THE STANDPOINT OF GAS AND SOOT EMISSIONS REDUCTION

by

E. Don Dainty\*

INTRODUCTION

In the early 1950s, in order to concentrate health and safety effort associated with coal mines in Canada, the provincial mines ministers requested that a single federal laboratory be instituted. As a result the Canadian Explosive Atmospheres Laboratory (CEAL) was established as part of the mining activity of the the Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET) which is a branch of the Department of Energy, Mines and Resources Canada (EMR).

This laboratory is now part of the Mining Research Laboratories (MRL) within CANMET. The laboratory has two major functions: (1) the certification testing of equipment destined for use in explosive gas and dust environments, such as encountered in coal and sulphide ore mines, and (2) research and development work: to improve the equipment necessary for certification testing; to contribute to the formulation of national mining standards which specify the testing procedures; and to develop equipment to improve worker health and safety in Canadian mines.

In 1970, the category of explosion-proof diesel machines for coal mines was added to the list of certifiable equipment along with explosion-proof electrical equipment, fire resistant materials including conveyor belts, hoses, electric cables, and, fire resistant hydraulic fluids.

The major concern associated with diesel vehicles, aside from the explosion hazard they pose, is the toxicity of the exhaust emissions. For this reason part of the certification requirements for diesel machines is the prescription of fresh air required to dilute the exhaust contaminants to acceptable levels in the underground environment (1). This aspect applies equally to all diesel machines used underground whether explosive gas is present or not.

Diesel machines have been put into widespread mining use around the world since the 1950s, mainly in non-coal mines. This is because they are perceived to be efficiently productive and flexible in their operation. Canada's mines are heavily dieselized, as described in (2) i.e. 3,000 to 4,000 machines underground (compared to approximately 6,000 vehicles in mines in the USA).

---

\* Research Scientist, Canadian Explosive Atmospheres Laboratory; Mining Research Laboratories; Canada Centre for Mineral+Energy Technology; Energy, Mines and Resources Canada.

point de vue utilisation. On retrouve un très grand nombre de machines à moteur diesel dans les mines au Canada, comme on le décrit en (2), soit de 3000 à 4000 machines utilisées sous terre (contre quelque 5000 véhicules dans les mines aux États-Unis).

En raison de l'utilisation très répandue des machines à moteur diesel et des risques pour la santé qui en découlent, le Laboratoire de recherche sur les atmosphères explosives a, depuis quelques années, concentré ses efforts sur des travaux de recherche et de développement axés sur la réduction de la toxicité des émissions des moteurs diesel et sur la détermination de la qualité des environnements miniers où on utilise des machines munies de tels moteurs.

### CONSIDÉRATIONS RELATIVES À LA SANTÉ

#### Polluants rejetés par les moteurs

Parmi les premières études réalisées au Laboratoire de recherche sur les atmosphères explosives, on compte celles qui indiquaient que des réglages permettaient de modifier considérablement la plupart des constituants toxiques présents dans les émissions diesel. Ces polluants et leurs concentrations, dans l'ordre général d'importance dans un environnement souterrain, ainsi que leurs concentrations limites acceptées sont donnés au Tableau 1. Ces valeurs sont les concentrations moyennes dans la zone respiratoire d'un opérateur de chargeuse-déchargeuse; elles sont tirées de trois études (3) réalisées dans des mines de métaux ne disposant d'aucun dispositif de dépollution; dans ces études, on suppose une teneur en soufre de 0,2 %. L'indice de la qualité de l'air donné dans le tableau est décrit ci-après.

Tableau 1 - Principaux polluants rejetés par les moteurs diesel

Importance	Polluant	Valeur limite dans le milieu		Valeur moyenne mesurée (chargeuse-déchargeuse)
1	Indice de la qualité de l'air	3.0	*	2.80
2	Poussières combustibles respirables (PCR) ou suie des émissions de moteur diesel	2.0 mg/m <sup>3</sup> 1.5 mg/m <sup>3</sup>	* *	0.85
3	Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> )	2.0 ppm	(TLV)	1.19
4	Dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )	3.0 ppm	(TLV)	0.80
5	Oxyde nitrique (NO)	25.0 ppm	(TLV)	5.68
6	Monoxyde de carbone (CO)	50.0 ppm	(TLV)	2.65

\* Valeur limite recommandée dans (4)

En effectuant, par exemple, un simple réglage de la pompe d'injection afin de retarder l'injection du carburant, on obtenait généralement les changements suivants : diminution de la teneur en suie (poussières combustibles respirables), diminution de la teneur en NO<sub>x</sub> (NO + NO<sub>2</sub>) et augmentation de la teneur en CO. Ce réglage ne modifiait aucunement la teneur en SO<sub>2</sub>. Ces effets ainsi que les effets de nombreux autres changements sont donnés en (5).

### Indice de la qualité de l'air

Comme ces nombreux changements sont le résultat d'une multitude de réglages ou de mauvais réglages, la question se pose à savoir comment évaluer la toxicité globale des émissions qui renferment plusieurs constituants. Cette question a été posée à des spécialistes en médecine (les D<sup>rs</sup> I.W. French et Anne Mildon) en 1978. Les résultats de leur étude (4) ont permis d'élaborer une expression mathématique complexe définissant de la façon suivante l'indice de la qualité de l'air (IQA) :

$$IQA = \frac{CO}{50} + \frac{NO}{25} + \frac{PCR}{2} + 1,5 \frac{SO_2}{3} + \frac{PCR}{2} + 1,2 \frac{NO_2}{3} + \frac{PCR}{2} \dots\dots\dots \text{éq. 1}$$

Cette étude bibliographique leur a indiqué que ce critère additif de la qualité de l'air ne devrait pas dépasser 3. Avec cette valeur, on élimine la plupart des risques de lésions tissulaires causées par les gaz acides ainsi que les risques de diminution des fonctions respiratoires. Noter que la valeur limite dans le milieu donnée au Tableau 1 pour l'IQA est très proche de 3, ce qui ne laisse qu'une très faible marge de sécurité.

### Ventilation

Lorsque ce terme est utilisé pour évaluer la toxicité globale des émissions non diluées (par exemple, avec les conditions qui produisent la pire combinaison de polluants pour un moteur donné), on l'appelle alors indice de la qualité des émissions (IQE). Lorsqu'on divise l'IQE par la valeur admissible maximale de l'indice, c.-à-d. 3, on obtient alors un rapport de dilution à partir duquel on peut calculer la quantité d'air qu'il faut pour diluer suffisamment les constituants et ainsi obtenir une qualité d'air acceptable. Voici l'équation permettant de calculer la vitesse de ventilation :

$$\text{ventilation prescrite (m}^3\text{/s)} = \frac{IQE}{3} \times \frac{\text{vitesse de rejet des gaz d'échappement secs (kg/s)}}{\text{masse volumique des gaz (kg/m}^3\text{)}}$$

C'est cette équation qu'on utilise en (1) pour calculer la vitesse de ventilation pour une machine certifiée comportant le système de traitement des émissions appliqué, qu'il s'agisse d'un purificateur catalytique, d'un filtre, d'un épurateur à eau, etc.

### Effet de la suie

Le terme relatif à la suie (PCR) apparaît à trois reprises dans l'équation de l'IQA ci-dessus; la valeur de l'IQA dépend donc beaucoup de la teneur en suie. L'importance manifestée dès le début à l'effet de la suie sur la santé est à l'origine des travaux axés sur la mise au point de dispositifs qui permettraient de réduire la teneur en suie des émissions. L'effet de la suie a, par la suite, été confirmé lors d'études indépendantes sur des animaux effectuées aux Etats-Unis et en Europe (6,7,8) et au cours desquelles on a clairement mis en cause la suie dans la formation de tumeurs chez les animaux. Des émissions exemptes de suie ne produisaient pas de tumeur dans les mêmes conditions. Ces résultats sont résumés au Tableau 2 ci-après.

**Tableau 2 - Tumeurs chez les animaux : Émissions contenant et ne contenant pas de suie**

Organisme de recherche	Moteur/cycle	Teneur en suie (mg/m <sup>3</sup> )	Fréquence des tumeurs	
Institut Fraunhofer	Mercedes	Témoins (air)	0/95	
	2,4 litres	0 (sans suie)	0/95	
	21 HP à 2100 tr/min	4,2 (avec suie)	13/95	
Batelle Genève	VW	Témoins (air)	3/270	
	1,5 litre, cycle "US 72 hot start"	0 (sans suie)	0/144	
		1,8 (avec suie)	14/144	
		0 (sans suie)	0/144	
GM	GM	5,5 (avec suie)	55/144	
		Témoins (air)	0/30	
		5,7 litres	0,25	1/30
		vitesse constante de	0,75	3/30
		40 mi/h	1,50	1/30

### MISE AU POINT D'UN SYSTÈME DE FILTRATION

#### Introduction

C'est au CANMET qu'on a effectué les premiers travaux visant à éliminer par filtration la suie de toutes les émissions de moteur. Ces premiers dispositifs ont très rapidement été remplacés par l'élément céramique qui possède des avantages évidents; cet élément avait été mis au point initialement comme matrice de catalyseur pour les automobiles par la société Corning Glass de New York.

Cet élément, qui a été adapté aux moteurs diesel utilisés en milieu minier, s'est retrouvé au centre des travaux de développement et de mise en application de 30 agences travaillant en collaboration, dont le Bureau of Mines des États-Unis, le Ministère du Travail de l'Ontario, le CANMET, des fabricants, des sociétés s'occupant de l'exploitation de mines, des organismes de recherche et des organismes de réglementation.

#### Principe de l'élément céramique

L'élément céramique et le principe de filtration sont présentés aux Figures 1 et 2 respectivement. Noter que les microcanaux sont alternativement bouchés à une extrémité puis à l'autre. Les émissions ne peuvent pas s'écouler directement dans l'élément. Ainsi, lorsque les gaz d'échappement pénètrent dans un microcanal, ils doivent traverser la paroi poreuse constituée d'une mince membrane céramique pour atteindre le microcanal adjacent et sortir par l'extrémité non bouchée. Pendant la filtration, 90 % de la suie est déposée sur les surfaces et dans les pores. Ce dépôt augmente progressivement la contre-pression par rapport à celle observée avec un filtre propre.

Si la température des gaz est de 427 °C en moyenne et qu'elle atteint parfois 500 °C, alors la vitesse de combustion de la suie sera égale à sa vitesse de dépôt, et la contre-pression se stabilisera à une valeur acceptable de 5,0 kPa. Le type de filtre à utiliser avec la machine dans les circonstances dépendra de la température d'auto-régénération.

### Caractéristiques de rendement des filtres céramiques

Dans le cas d'un simple élément céramique placé dans le système d'échappement aussi près que possible du collecteur et utilisé sans revêtement catalytique ni additif de carburant, les caractéristiques de rendement générales seront celles du Tableau 3.

**Tableau 3 - Caractéristiques de rendement des filtres céramiques**

Efficacité de piégeage de la suie	90 %
Diminution de l'activité mutagène de la suie	Importante
Augmentation de la concentration de CO	Légère
Variation de la concentration des autres gaz	Négligeable
Amélioration typique de l'indice de la qualité des émissions (IQE)	100 %
Températures de régénération :	
Température minimale moyenne de fonctionnement	427 °C
Température minimale nécessaire pour qu'il y ait inflammation de la suie	500 °C
Contre-pression typique dans le moteur dans le cas d'un filtre propre	2,5 kPa
Contre-pression d'équilibre typique nécessaire pour qu'il y ait autorégénération	5,0 kPa
Coefficient de charge moyen approximatif	77 %
Concentration approximative de CO <sub>2</sub> dans les gaz d'échappement non dilués	8,0 %
Durée d'utilisation maximale reconnue	4000 heures +
Proportion des véhicules utilisés sous terre auxquels les caractéristiques sont applicables	25 %

Ce type de filtre a été utilisé à la mine Brunswick de Bathurst (Nouveau-Brunswick) et à la mine Little Stobie de l'INCO dans le bassin de Sudbury (9). L'application du filtre céramique non assisté dans des véhicules à coefficient de charge élevé et dont la température des émissions est élevée, comme les chargeuses-déchargeuses, est à l'origine du succès observé.

Les filtres à revêtement catalytique récemment mis au point par trois compagnies ont des rendements semblables aux filtres ci-dessus, sauf pour ce qui est des améliorations suivantes (10) : diminution d'au moins 90 % de l'activité mutagène et diminution à 400 °C de la température d'inflammation de la suie. Cette amélioration du rendement n'était pas accompagnée d'un taux important de conversion du SO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, tendance qui, malheureusement, constitue une caractéristique de la présente génération de catalyseurs utilisés dans les véhicules miniers.

### Conséquences de l'utilisation des filtres

Vu cette baisse de température d'inflammation de la suie, il sera possible, en utilisant des catalyseurs, d'étendre l'application de filtres PASSIFS (nécessitant peu sinon aucun entretien) à 50 % des véhicules miniers, c.-à-d. aux véhicules dont le coefficient de charge est le plus élevé, qui sont responsables, estime-t-on, de 70 % de la pollution de l'air dans les mines souterraines.

L'application des filtres pourrait avoir un ou plusieurs des effets énumérés au Tableau 4.

**Tableau 4 - Effets de l'application des filtres**

1) Augmentation minimum par filtration, mesurée par l'IQA, de la qualité du milieu, sans modification de la vitesse de ventilation	100 %
2) Diminution typique du taux de ventilation nécessaire pour maintenir un IQA = 3	50 %
3) Combinaison quelconque de ces deux effets dans une application particulière	-

#### **POSSIBILITÉS À COURT TERME**

L'exploitation des techniques de réduction des émissions et l'application du concept de l'IQA rendent possible l'utilisation de pièges céramiques pour améliorer la qualité de l'environnement (dans les cas où il n'est pas possible d'augmenter la vitesse de ventilation) ou pour réduire la vitesse de ventilation et ainsi tirer profit de coûts d'opération moindres, mais elles recèlent aussi d'autres possibilités éventuellement importantes.

#### **Utilisation de la concentration de CO<sub>2</sub> comme indice de la pollution**

Au cours de travaux réalisés en collaboration et portant sur la réduction des émissions de moteur diesel (12), on a montré au Technological University du Michigan que la concentration de chacun des principaux polluants présents dans le milieu ambiant des mines où on utilisait des machines à moteur diesel était, individuellement et globalement, une fonction directe de la concentration de CO<sub>2</sub> dans le cas où une seule machine fonctionnait. On a aussi montré que cette relation s'appliquait de façon encore plus étroite entre la concentration de CO<sub>2</sub> et l'IQA.

Comme la concentration de CO<sub>2</sub> est une fonction directe de la quantité de carburant consommé, cela revient à dire que les concentrations de polluants sont elles aussi une fonction de la quantité de carburant consommé, ce qui semble évident.

Ces principes peuvent être importants et ce, pour trois raisons : 1) la mesure de tous les constituants et paramètres du Tableau 1 est une tâche laborieuse et coûteuse difficilement applicable de façon routinière, 2) la concentration de CO<sub>2</sub> peut, par contre, être mesurée facilement et de façon fiable et peu coûteuse, et 3) une méthode de mesure simplifiée permet de contrôler facilement l'environnement minier, de réaliser les contrôles là où ils sont nécessaires et, en fin de compte, d'automatiser le réglage de la ventilation ainsi que les autres systèmes miniers.

#### **Contrôle de l'environnement**

Comme il est possible de déterminer la relation directe qui existe entre la concentration de CO<sub>2</sub> et l'IQA, on peut, en supposant qu'un seul véhicule rejette des polluants, mesurer la concentration de CO<sub>2</sub> à proximité de l'opérateur, afin de s'assurer que la qualité de l'environnement est suffisante. Pour ce faire, on

peut utiliser, par exemple, des tubes Drager permettant de faire des prélèvements sur une grande période (et ainsi obtenir la moyenne pondérée en fonction du temps). Dans le Tableau 5, on donne la concentration admissible maximale obtenue dans ces circonstances (c.-à-d. pour un IQA = 3) avec différentes options de traitement des émissions.

**Tableau 5 - Concentrations de CO<sub>2</sub> mesurées avec diverses options de traitement, pour un IQA = 3**

Option de traitement	Valeur mesurée dans l'environnement minier	Valeur mesurée et calculée en laboratoire
Véhicules munis des catalyseurs courants	0.09	0.074
Moteurs Deutz F8L 714 et 413 FW, non traités	-	0.086
Échappement vertical (lorsque la hauteur de la galerie le permet)	0.13	0.105
Filtre céramique non assisté	0.15*	0.237
Filtre céramique revêtu d'un catalyseur neuf	-	0.240
Filtre céramique avec carburant contenant un additif	0.25	0.282

\* Se reporter à (3) pour une explication des différences entre les valeurs mesurées en laboratoire et dans la mine. Les valeurs obtenues en laboratoire seraient plus précises.

Il y a lieu de noter que, dans le tableau ci-dessus, on suppose que la ventilation comprend l'apport d'AIR FRAIS et que l'équivalent d'émission correspond à celui des moteurs Deutz neufs correctement réglés. De plus, il faut ajouter à toutes les valeurs ci-dessus la concentration normale de CO<sub>2</sub> dans l'air, soit 0,035 %.

Noter également que, dans le cas d'un moteur non traité, la ventilation MINIMALE est égale à  $0,15/0,086 = 1,7$  fois celle nécessaire dans le cas d'un filtre céramique non assisté, pour maintenir un IQA de 3; on suppose ici que la valeur des autres constituants n'est pas supérieure aux TLV correspondantes.

Par conséquent, une simple vérification permettrait de déterminer facilement si une vitesse de ventilation donnée est suffisante dans les circonstances. L'application de facteurs de sécurité aux mesures de la concentration de CO<sub>2</sub> constituerait une façon commode de prendre en considération les variations d'émission causées par l'état du moteur.

### Conformité

Cette méthode de contrôle basée sur la mesure de la concentration de CO<sub>2</sub> constituerait, pour les opérateurs et les services de réglementation, une façon simple de déterminer globalement si l'environnement minier est conforme à des normes de qualité acceptables.

L'applicabilité de cette méthode a déjà été établie dans le cas d'un seul véhicule correctement réglé et entretenu qui fonctionne dans un environnement d'air frais. Il reste cependant à établir si cette méthode s'applique dans le cas de plusieurs véhicules fonctionnant dans une zone de ventilation donnée d'une mine, en présence des variables normales relatives à l'entretien. Cette étude est déjà en cours à la mine Brunswick de la société Noranda, à Bathurst (Nouveau-Brunswick). Cette étude initiale se terminera le 31 mars 1988.

### CONCLUSIONS

L'action concertée de 30 organismes des secteurs public et privé a permis de dégager plusieurs éléments d'une nouvelle approche à la science de la ventilation dans les milieux où l'on utilise des machines à moteur diesel.

Parmi ces éléments, on compte entre autres :

- 1) l'élaboration de l'IQA, qui est un critère permettant d'évaluer globalement la toxicité de plusieurs polluants présents dans les émissions de moteur diesel, dont les effets du principal constituant qui influe sur la santé, soit la suie de moteur diesel, ainsi que l'effet des gaz normalement considérés comme dangereux,
- 2) la mise au point de trois dispositifs améliorés permettant de réduire considérablement la toxicité des émissions, d'améliorer la qualité de l'environnement ou de réduire la vitesse de ventilation afin de diminuer les coûts d'opération, individuellement ou en combinaison. Parmi ces options, on compte deux types de systèmes d'épuration à l'eau qui n'ont pas été décrits ci-dessus, ainsi que plusieurs types de systèmes à filtres céramiques que l'industrie peut maintenant se procurer auprès de la Engine Control Systems Limited, de Aurora (Ontario), et
- 3) la possibilité réelle de contrôler l'environnement en mesurant la concentration de CO<sub>2</sub> à l'aide d'une méthode simple, efficace et peu coûteuse, afin de déterminer si l'atmosphère dans la mine est conforme aux normes de qualité et, en fin de compte, d'automatiser le réglage de la ventilation en vue de réduire les coûts d'opération.

## REFERENCES

- 1) Dainty, E.D. (Chairman) et al., "Flameproof diesel-powered machines for use in gassy underground mines." Canadian Standards Association Draft Standard CAN/CSA-M424.1, October 1987.
- 2) Stewart, D.B., "Breakdown of diesel-powered equipment used in Canadian underground mines." Report No. MRP/MRL 77-92, Mining Research Laboratories of CANMET/EMR Ottawa, including update by E.W. Mitchell, February 1985.
- 3) Dainty, E.D., Gangal, M.K. et al., "A summary of underground mine investigations of ceramic diesel particulate filters and catalytic purifiers." Paper #4 of Special Volume #36 of the Canadian Institute of Mining and Metallurgy, February 1986.
- 4) French, I.W. and Mildon, C.A., "Health implications of exposure of underground mine workers to diesel exhaust emissions - and update". CANMET, Energy, Mines and Resources Canada; Contract Number OSQ 82-00121, April 1984.
- 5) Waytulonis, R.W., "The effects of maintenance and time-in-service on diesel engine exhaust emissions." Paper #30 of Special Volume of the Canadian Institute of Mining and Metallurgy, February 1986.
- 6) Heinrick, U., Pott, F. and Mohr, V., "Experimental lung tumours after inhalation of emissions of pyrolyzed pitch and diesel engines." Abstract #25 of Toxicologist 6:7, 1986.
- 7) a) Weaver, H., Visit report to Battelle, Geneva, Engine Manufacturer's Association, February, 1986; and  
b) Bightwell, J., Presentation to the Annual Meeting of the American Association for Aerosol Research, Albuquerque, New Mexico, November 1985.
- 8) White, H., Vostal, J.J., Kaplan, H.L. and MacKenzie, W.F., "A long-term inhalation study evaluates the pulmonary effects of diesel emissions."
- 9) Dainty, E.D., Bourre, C. and Elliot, W.T., "Characterization of ceramic diesel exhaust filter - regeneration in a hard rock mine." Paper #27 of Special Volume #36 of the Canadian Institute of Mining and Metallurgy, February 1986.
- 10) Dainty, E.D. et al., "Diesel emissions reduction by ceramic filters employing catalysts or a fuel additive." SAE Paper #870014, International Congress and Exposition of the Society of Automotive Engineers, Detroit, February 1987.
- 11) Mogan, J.P. and Dainty, E.D., "Diesel emission control catalyst - friend or foe." Paper #20 of Special Volume #36 of the Canadian Institute of Mining and Metallurgy, February 1986.
- 12) Dainty, E.D., Mitchell, E.W. and Schnakenberg, G.H., "Organization, objectives and achievements of a three-government collaborative program on diesel emissions reduction research and development." Paper #1 of Special Volume #36 of the Canadian Institute of Mining and Metallurgy, February 1986.

**FIGURE 1 - Coupe d'un filtre céramique**

1. Cône d'entrée
2. Élément céramique
3. Cylindre
4. Joint étanche
5. Cône de sortie

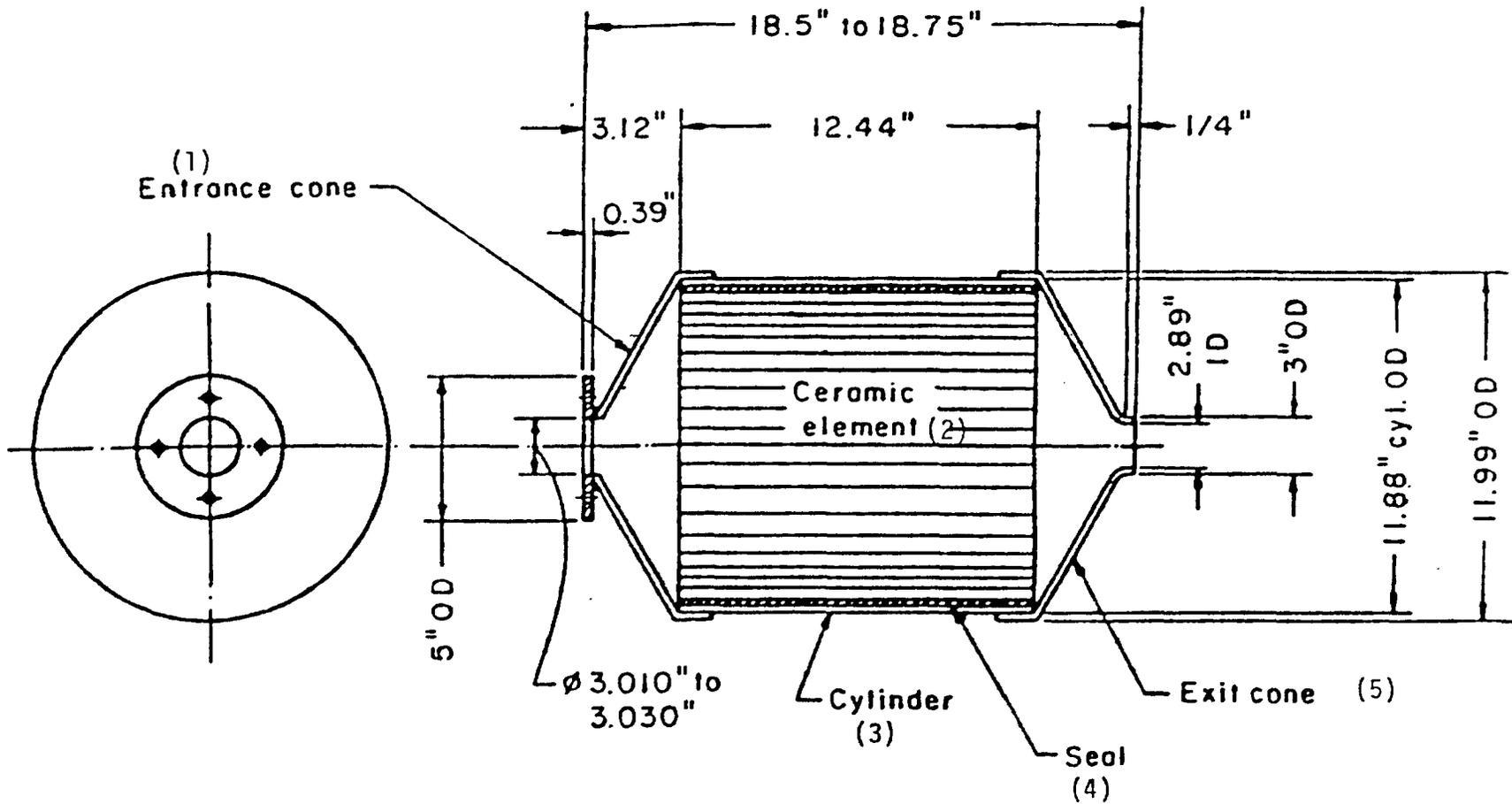


Figure 1 - Sectional View of Ceramic Filter  
 Coupe d'un filtre céramique



Figure 2 - Ceramic Element Soot Filtration Principle

