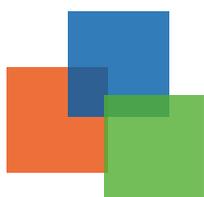


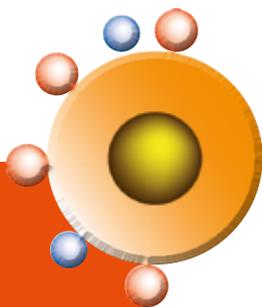
**GUIDE**  
**POUR LE CHOIX**  
**ET L'INSTALLATION**  
**D'UN FILTRE**  
**À PARTICULES**  
**SUR LES ENGINES**  
**DE CHANTIER**

**Les auteurs :**

D. BEMER - Institut National de Recherche et de Sécurité  
J.-P. DEPAY - F. LAUZIER - E. MAZILLIER,  
Caisse Régionale d'Assurance Maladie d'Ile-de-France

**Guide pour le choix  
et l'installation d'un filtre à particules  
sur les engins de chantier**





# SOMMAIRE

1	Introduction	7
2	Exposition aux fumées d'échappement des moteurs Diesel et impact sur la santé	9
3	Réduction des émissions polluantes	13
4	Montage en rétrofit de FAP* sur les engins de chantier	21
5	Liste VERT® de systèmes de FAP	31
6	Formulation de la demande au fournisseur de FAP	33
7	Bibliographie	35

\* FAP : Filtre à particules

# 1 - Introduction

Au cours des 10 dernières années, de nombreuses technologies ont été développées afin de permettre aux constructeurs de limiter les émissions d'échappement des véhicules routiers et ainsi de protéger la santé des personnes et l'environnement.

De nombreuses études conduites au niveau mondial tendent à démontrer les effets délétères pour la santé humaine de ces émissions et plus particulièrement des fines particules.

En ce qui concerne les moteurs Diesel, la technologie du filtre à particules (FAP) a connu d'importants progrès.

La question s'est donc posée de son adaptation sur les engins de chantier non routiers. Quelques entreprises ont pris l'initiative d'essayer mais se sont heurtées à de nombreux freins et parfois à des déconvenues.

Il est donc apparu indispensable de construire une démarche rigoureuse, basée sur les expériences menées par la CRAMIF et l'INRS, et de la faire partager aux entreprises.

Ce guide est destiné aux entreprises, aux maîtres d'œuvre, aux maîtres d'ouvrage et aux préventeurs. Il énonce les différents choix techniques permettant de réduire les émissions polluantes et précise leurs limites.

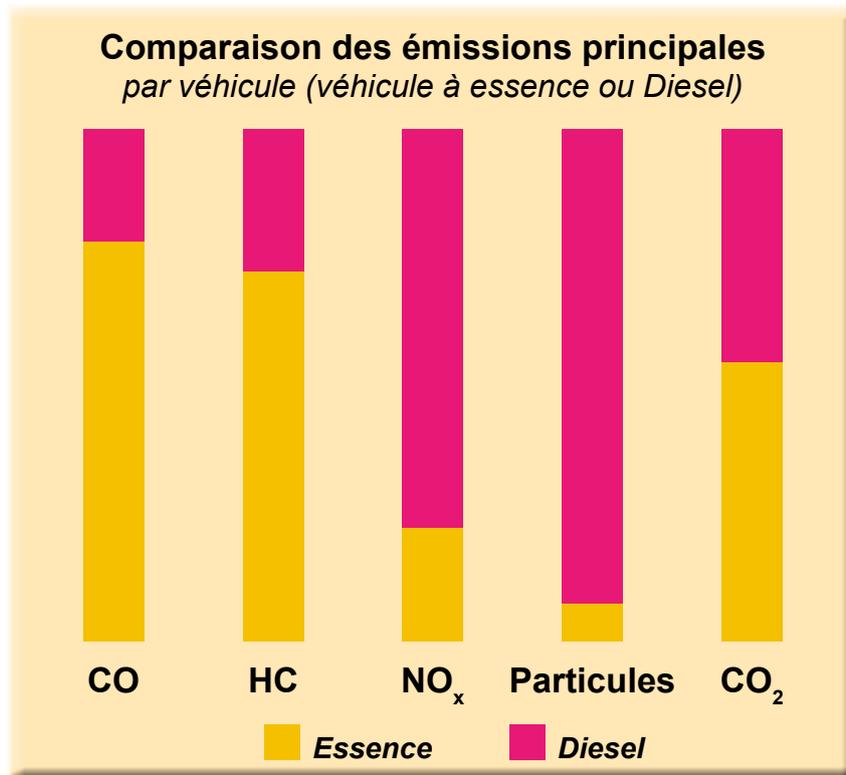
Ce guide a essentiellement pour but de faciliter le choix d'un filtre à particules efficace et fiable pour éliminer les particules ultrafines présentes dans les fumées d'échappement des engins de chantier non routiers équipés d'un moteur Diesel.

Ce choix dépend d'un certain nombre de paramètres : type d'engin, qualité du carburant, mode d'utilisation de l'engin, lieu d'utilisation de l'engin. Or, plusieurs technologies de filtres sont disponibles sur le marché. Elles ne peuvent pas toutes répondre aux contraintes particulières de l'utilisation des engins de chantier.

Le guide décrit les éléments à présenter aux fournisseurs de FAP pour leur permettre de proposer la technologie adaptée à la situation de travail et indique la démarche à suivre pour équiper des engins et assurer un suivi efficace de la performance du FAP dans le temps.

Il a été rédigé par la CRAMIF avec l'aide de l'INRS et l'appui technique de A. Mayer (Technik Thermische Maschinen - TTM) et de G. Belot (Consulting Automotive Expertise).

Ce guide n'a pas vocation à aborder de manière exhaustive les risques professionnels liés à l'installation, au démontage et à l'entretien des équipements de dépollution.



Source : ADEME 2008

CO : Monoxyde de carbone  
NO<sub>x</sub> : Oxydes d'azote

HC : Hydrocarbures imbrûlés  
CO<sub>2</sub> : Dioxyde de carbone

De nombreux composés sont présents dans les émissions d'échappement.

Comme le montre le graphique ci-dessus, les moteurs Diesel émettent beaucoup plus de particules et d'oxydes d'azote que les moteurs à essence. À l'inverse, les moteurs à essence émettent plus de monoxyde de carbone et d'hydrocarbures imbrûlés que les moteurs Diesel.

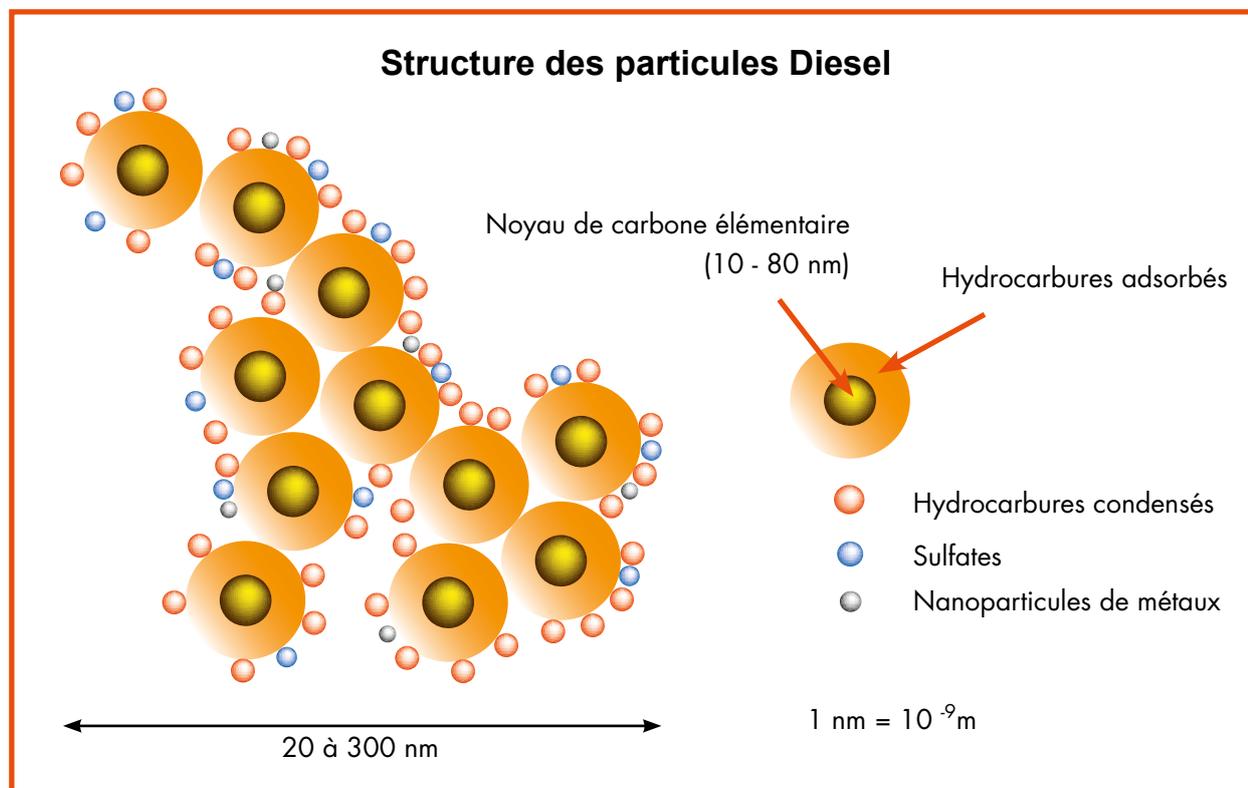
Ces polluants émis dans l'atmosphère ont des conséquences sur la santé humaine, certains comme le monoxyde de carbone, gaz toxique et inodore, peuvent conduire à des intoxications rapides. Les particules Diesel peuvent provoquer des cancers après des années d'exposition.

## 2 - Exposition aux fumées d'échappement des moteurs Diesel et impact sur la santé

La plupart des engins de chantier sont équipés d'un moteur Diesel, celui-ci apporte des avantages en terme d'émission polluante par rapport au moteur à essence et notamment une réduction de l'émission de CO<sub>2</sub> avec les nouvelles technologies comme le turbo et l'injection directe.

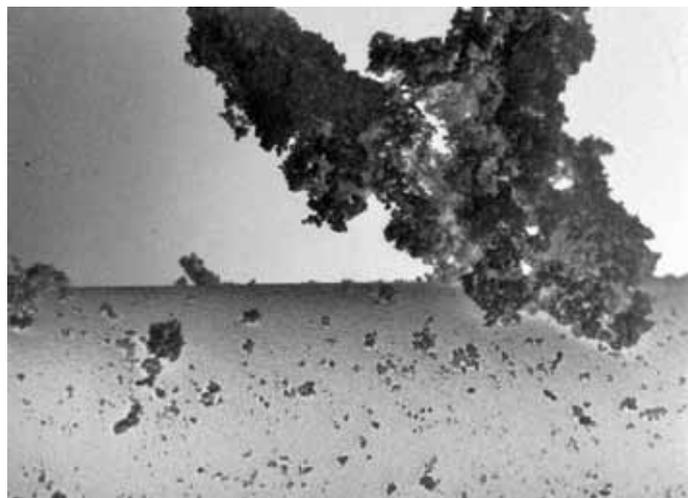
Le moteur Diesel produit une pollution chimiquement complexe comprenant des gaz (CO, NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, hydrocarbures imbrûlés, composés acides...) et des particules solides très caractéristiques appelées aussi suies.

Ces particules sont constituées de noyaux de carbone noir, nommé aussi carbone élémentaire agrégé, sur lesquels sont adsorbés des composés organiques, des sulfates et des oxydes métalliques. Ces oxydes sont essentiellement de fer, ils proviennent de l'usure du moteur, de l'huile et des éventuels additifs ajoutés au carburant.



Les particules constituent, avec les oxydes d'azote, le principal polluant des émissions Diesel, elles peuvent être caractérisées par leur petite taille, leur nombre, leur masse et les différentes substances qu'elles véhiculent.

L'évolution des moteurs Diesel a amené une modification dans la composition des rejets de particules : il a été observé une diminution de la taille des agglomérats en sortie d'échappement. L'émission bien visible de fumée noire devient rare, mais le nombre de particules lui n'a pas baissé (cf. schéma p. 13). Or, les résultats de différentes études internationales convergent pour montrer que la masse ne serait pas le paramètre le plus pertinent à prendre en compte pour déterminer l'impact sur la santé de l'exposition aux particules ultra-fines (<100nm). Le nombre ou la surface développée par ces particules semble plus significatif. De plus, les fines particules constituent un vecteur pour les nombreuses substances chimiques qu'elles supportent et permettent leur introduction dans l'organisme humain.



Source : J. Mayer

Particules Diesel sur une fibre de 5 µm

Les émissions Diesel sont classées comme cancérogènes probables pour l'homme (groupe 2A) par le Centre International de Recherche contre le Cancer (CIRC) et par « l'Environmental Protection Agency » des États-Unis (EPA).

Elles sont également reconnues pour être responsables d'irritations des voies aériennes supérieures, d'altérations de la fonction pulmonaire, d'induction et d'aggravation d'asthme et d'augmentation de la mortalité par maladies cardio-vasculaires et respiratoires.

De plus, les particules fines de carbone émises par les moteurs Diesel possèdent un très fort pouvoir absorbant du rayonnement infrarouge et à ce titre, ont un impact négatif sur l'environnement en contribuant de manière importante au phénomène de réchauffement climatique.

L'exposition professionnelle aux fumées et gaz d'échappement Diesel est estimée comme la plus fréquente des expositions à un cancérogène sur les lieux de travail en France selon l'enquête SUMER 2003.

Des salariés conducteurs ou personnels proches des engins, peuvent être particulièrement exposés à cette pollution, notamment ceux du BTP lors de travaux en espaces confinés ou de travaux souterrains tels que :

- ✗ travaux d'aménagement de parking souterrain,
- ✗ travaux de restructuration de bâtiment urbain,
- ✗ travaux en galerie ou en tunnel,
- ✗ travaux en taube avec excavation des terres sous un bâtiment,
- ✗ travaux dans les mines ou carrières souterraines.

D'autres activités sont aussi concernées comme : le traitement des déchets, l'agroalimentaire...



# 3 - Réduction des émissions polluantes

Pour un agent cancérigène, il n'existe pas de dose seuil en dessous de laquelle il est possible de s'assurer de l'absence de risque d'atteinte à la santé. Par conséquent, il est nécessaire de supprimer ou à défaut d'abaisser l'exposition à son niveau le plus bas techniquement possible.

Cependant des engins avec des motorisations qui n'émettent pas de rejets polluants dans l'atmosphère, tels que les moteurs électriques, ne sont pas encore disponibles pour la plupart des catégories d'engins de chantier. Aussi, la mise en œuvre du premier principe de prévention : « supprimer les émissions » ne peut se faire actuellement qu'au cas par cas.

La démarche doit alors s'orienter vers la réduction des émissions au niveau le plus bas techniquement possible.

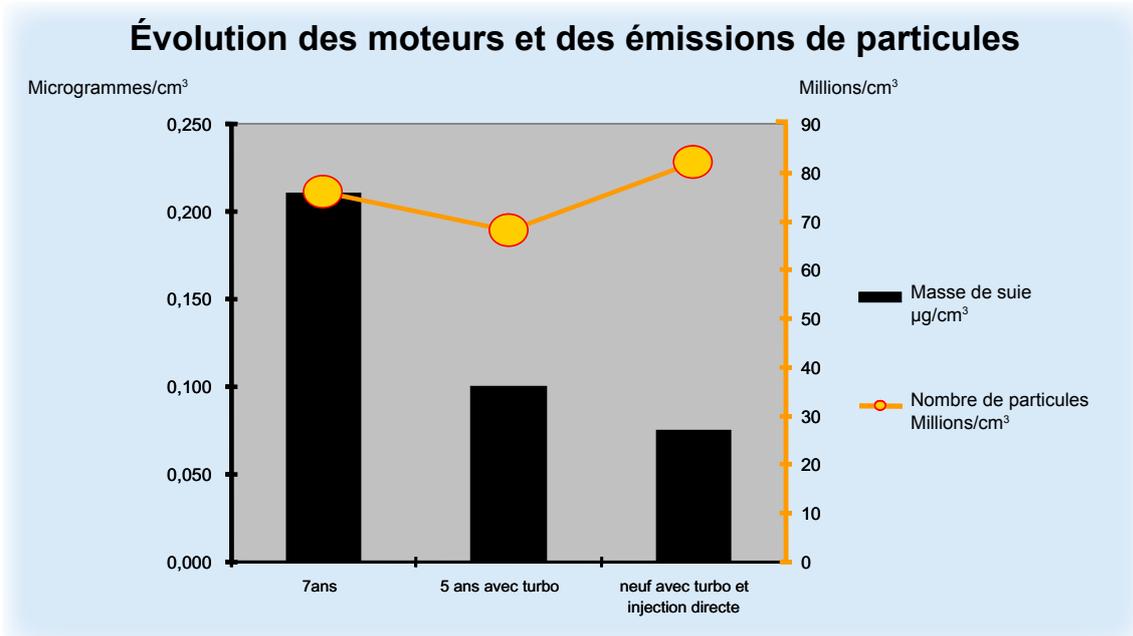
Différents choix techniques peuvent être envisagés, ces choix sont parfois complémentaires. L'impact de chacun sur les émissions de particules sera décrit.

## ● Remplacer un engin ancien par un engin neuf

La réglementation européenne a imposé depuis une dizaine d'années des limites d'émission pour les gaz et fumées d'échappement. Cette réglementation est évolutive et les limites sont abaissées régulièrement.

Les constructeurs ont amélioré progressivement les moteurs de façon à faire face à ces obligations.

Remplacer un engin ancien par un engin neuf permet d'assurer une réduction importante des émissions polluantes en ce qui concerne la part des gaz et la masse de suie mais ne permet pas d'abaisser le nombre de particules émises.



Pour les émissions de particules, les limites vont être abaissées par la réglementation (étape III B de la directive 2004/26/CE) dès 2011 pour les machines de 130 à 560 kW.

La mise en application de cette réglementation va permettre la réduction en masse de particules mais elle ne prévoit pas encore de limiter le nombre de particules fines émises.

Un moteur neuf actuel émet un grand nombre de particules fines. Aussi, lors de la commande de l'engin, il est conseillé de choisir une machine équipée de série d'un FAP ou à défaut d'opter pour l'option FAP proposée par le constructeur. Les différentes préconisations liées à l'utilisation, à la maintenance et à l'entretien de cet équipement devront être scrupuleusement respectées.

### Réglementation des émissions de moteurs Diesel-Engins non routiers Directive 2004/26/CE. Étape I - II - IIIA - IIIB - IV

Puissance moteur (kW)	Date d'application	CO (g/kWh)	Hydrocarbure (g/kWh)	NO <sub>x</sub> (g/kWh)	Particules (g/kWh)
<b>Étape I</b>					
<b>130 - 560</b>	01.1999	5.0	1.3	9.2	0.54
<b>75 - 130</b>	01.1999	5.0	1.3	9.2	0.70
<b>37 - 75</b>	04.1999	6.5	1.3	9.2	0.85
<b>Étape II</b>					
<b>130 - 560</b>	01.2002	3.5	1.0	6.0	0.2
<b>75 - 130</b>	01.2003	5.0	1.0	6.0	0.3
<b>37 - 75</b>	01.2004	5.0	1.3	7.0	0.4
<b>18 - 37</b>	01.2001	5.5	1.5	8.0	0.8

Puissance moteur (kW)	Date d'application	CO (g/kWh)	NO <sub>x</sub> + C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> (g/kWh)	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> (g/kWh)	NO <sub>x</sub> (g/kWh)	Particules (g/kWh)
<b>Étape III A</b>						
<b>130 - 560</b>	31.12.2005	3,5	4,0	/	/	0,2
<b>75 - 130</b>	31.12.2006	5,0	4,0	/	/	0,3
<b>37 - 75</b>	31.12.2007	5,0	4,7	/	/	0,4
<b>19 - 37</b>	31.12.2006	5,5	7,5	/	/	0,6
<b>Étape III B</b>						
<b>130 - 560</b>	31.12.2010	3,5	/	0,19	2,0	0,02
<b>75 - 130</b>	31.12.2011	5,0	/	0,19	3,3	0,02
<b>56 - 75</b>	31.12.2011	5,0	/	0,19	3,3	0,02
<b>36 - 56</b>	31.12.2012	5,0	4,7	/	/	0,025
<b>Étape IV</b>						
<b>130 - 560</b>	31.12.2013	3,5	/	0,19	0,4	0,025
<b>56 - 130</b>	31.09.2014	5,0	/	0,19	0,4	0,025

## ● Installer un filtre à particules

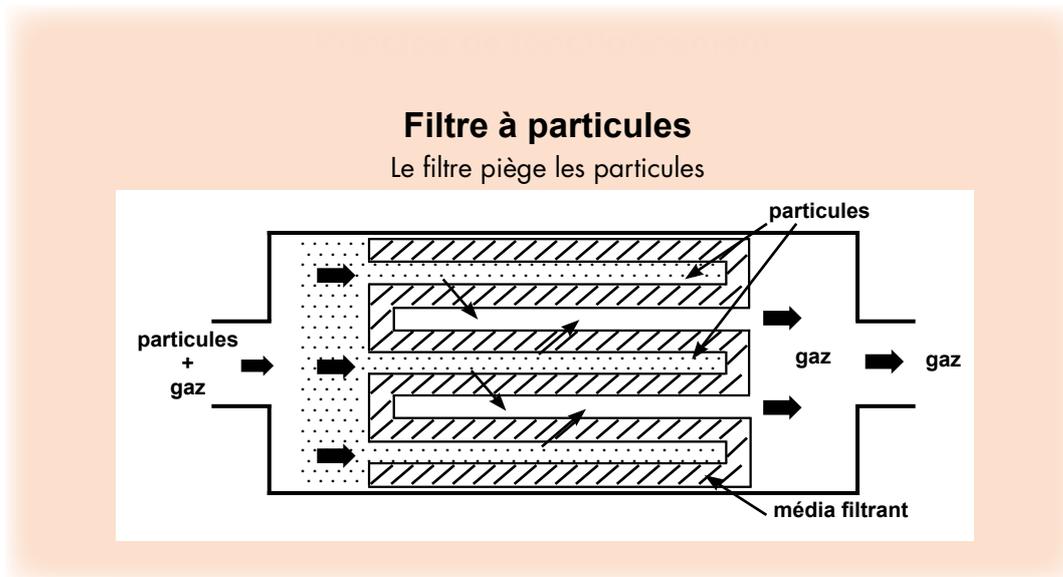
Le filtre à particules apparaît aujourd'hui comme le moyen le plus efficace pour réduire les émissions de particules. À ce titre, il est largement utilisé dans l'automobile.

Un filtre à particules (FAP) est constitué d'un média filtrant qui piège les suies produites par le moteur Diesel ainsi que toutes particules présentes en sortie du moteur. Ces suies viennent s'accumuler sur le média, elles sont ensuite brûlées dans le filtre selon divers procédés pendant la phase dite de régénération.

Cette régénération consiste en une réaction de combustion des suies. Elle nécessite la présence d'oxygène (ce gaz est largement présent dans les gaz d'échappement) mais aussi une température suffisante pour l'initier. Cette réaction débute vers 500°C et peut devenir complète à partir de 600°C.

Le petit volume de dioxyde de carbone produit par la combustion s'échappe du filtre et est évacué par l'orifice d'échappement.

Une phase de nettoyage après démontage permet de retirer les cendres, particules incombustibles, après des centaines d'heures d'utilisation.



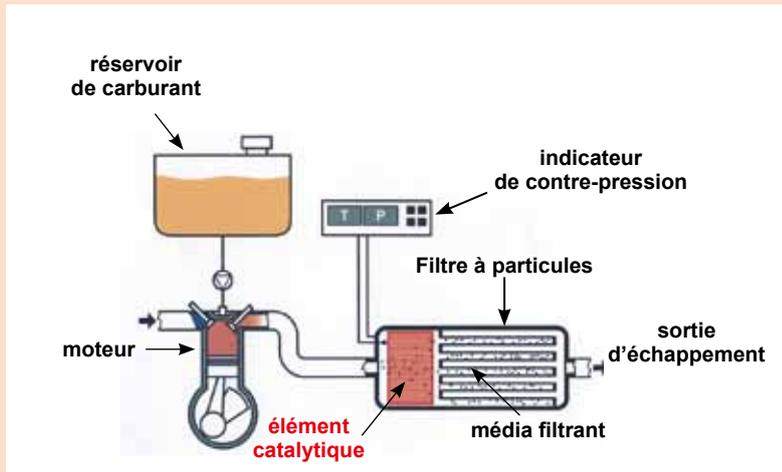
Les différents modèles disponibles sur le marché peuvent être distingués par le type de média filtrant (carbure de silicium, cordiérite, métal fritté...) et le procédé de régénération.

Les constructeurs ont recherché des techniques permettant d'abaisser la température de combustion des suies.

Essentiellement trois systèmes de filtres applicables aux engins non routiers ont été développés :

### ① Le filtre passif catalysé à régénération continue

Ce filtre fonctionne sans apport d'énergie complémentaire, c'est la température des gaz d'échappement qui va permettre la régénération à l'aide d'une réaction d'oxydation catalysée. Un élément catalytique est en général intégré au corps du filtre. Le pouvoir oxydant du  $\text{NO}_2$  assure la combustion des suies, avec ce procédé la température de combustion des suies peut descendre en dessous de  $250^\circ\text{C}$ . Cette technique présente cependant des risques de surproduction de  $\text{NO}_2$  à l'échappement.



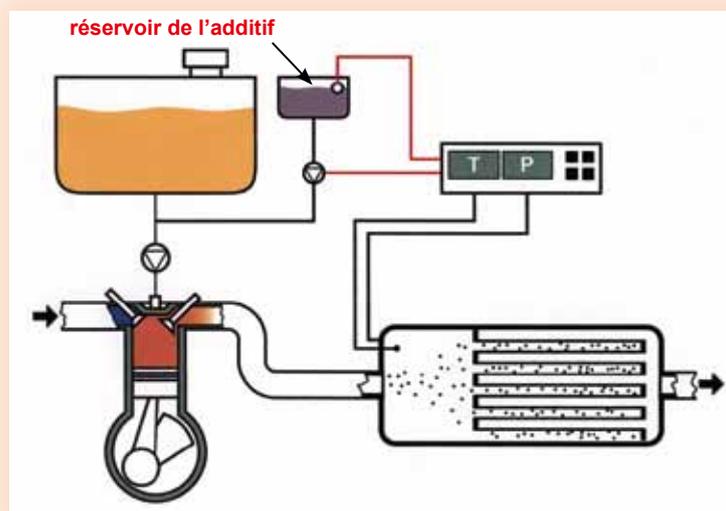
Média filtrant en céramique



Bloc filtre prêt à poser

### ② Le filtre passif à régénération continue avec additif catalytique

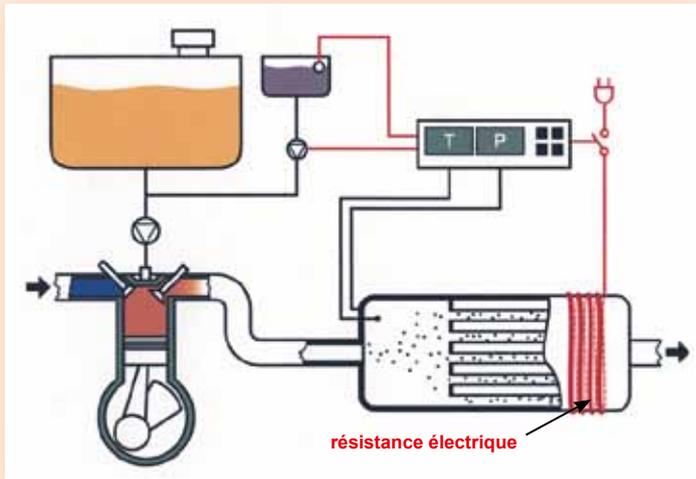
L'additif ajouté au carburant permet la régénération rapide et complète à des températures de gaz d'échappement de l'ordre de  $350^\circ\text{C}$ .



### ③ Le filtre à régénération active

Ce filtre comprend un dispositif permettant d'apporter de l'énergie pour initier la combustion des suies (bougie de chauffe, résistance électrique, brûleur,...). Un additif qui aide à la régénération est généralement ajouté au carburant. Ce procédé présente l'avantage d'être indépendant de la température des gaz d'échappement.

#### Filtere à régénération active avec résistance électrique



Média filtrant en métal fritté sorti du bloc



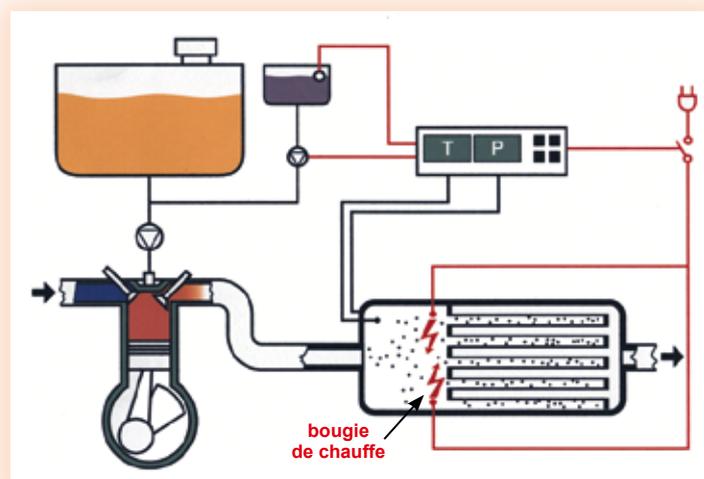
Bloc filtre prêt à poser



Bloc de carbure de silicium

Source : EMINOX

#### Filtere à régénération active avec bougie de chauffe



Module central

Source : EMINOX

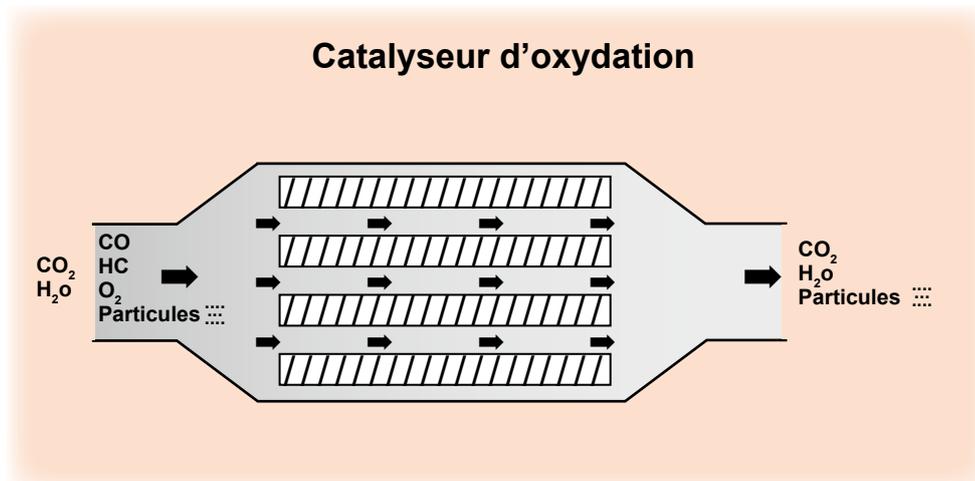


FAP posé

Source : EMINOX

## ● Installer un catalyseur d'oxydation (ou pot catalytique)

Cet équipement est fréquemment confondu avec le filtre à particules, son principe de fonctionnement est décrit dans le schéma ci-dessous.



L'ajout d'un élément catalytique sur la ligne d'échappement d'un engin peut permettre de réduire une partie des émissions gazeuses.

Les gaz et fumées passent sur une surface enduite avec un catalyseur à base de métaux précieux (platine, palladium...). Les gaz sont oxydés, notamment le monoxyde de carbone et les hydrocarbures imbrûlés (HC) qui sont transformés en dioxyde de carbone.

Cet équipement ne permet pas de réduire les émissions de particules car son efficacité sur les composés solides est négligeable. En outre, il peut contribuer à l'enrichissement de la teneur en dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) des émissions gazeuses. De plus, lorsque le carburant contient du soufre, le catalyseur va favoriser plutôt l'oxydation en dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>). L'excès de soufre est préjudiciable au bon fonctionnement du catalyseur.

Cet équipement reste intéressant pour réduire les émissions des moteurs à essence qui sont riches en monoxyde de carbone (CO) et hydrocarbures imbrûlés. Il peut être associé à certains filtres à particules.

## ● Utiliser un carburant de meilleure qualité

Le fioul rouge, nommé aussi « fuel-oil domestique » (FOD) est le carburant généralement utilisé pour les engins de chantier en France. Il est le moins coûteux car il bénéficie d'une TIPP<sup>(1)</sup> spécifique réduite. Le tableau suivant fait apparaître la nette différence de prix TTC entre le FOD et le gazole routier, celle-ci explique la préférence des entreprises pour le premier alors que les prix HT, c'est-à-dire en sortie de raffinerie, restent similaires.

Ces carburants sont issus de la même coupe pétrolière (distillats moyens), mais les spécifications du FOD sont moins sévères notamment pour le soufre et l'indice de cétane.

(1) Taxe intérieure sur les produits pétroliers.

## Tableau de bord de l'évolution des produits pétroliers

Source : Union Française des Industries Pétrolières - [www.ufip.fr](http://www.ufip.fr)

Année	GAZOLE ROUTIER		FOD	
	HT	TTC	HT	TTC
<b>2008</b>	0,630	1,265	0,638	0,831
<b>2009</b>	0,411	1,003	0,425	0,576
<b>2010 (jan.-fév.-mars)</b>	0,484	1,091	0,506	0,673

Prix moyen (en euro) hors taxe et toutes taxes comprises du gazole routier et du FOD

## Principales spécifications

Source : Union Française des Industries Pétrolières - [www.ufip.fr](http://www.ufip.fr)

	GAZOLE ROUTIER	FOD	GAZOLE NON ROUTIER Dès 2011
<b>Couleur</b>	Blanche	Rouge	Rouge
<b>Densité maximum</b>	845 kg/m <sup>3</sup>	880 kg/m <sup>3</sup>	845 kg/m <sup>3</sup>
<b>Soufre maximum</b>	10 ppm	1 000 ppm	10 ppm
<b>Indice de cétane minimum</b>	51	40	51

La teneur en soufre du FOD est plafonnée à 1 000 ppm (ou 0,1 % m/m) depuis début 2008, alors que celle du gazole routier (blanc) est limitée à 10 ppm (0,001 % m/m) depuis 2009.



La forte teneur en soufre du fioul rouge est problématique dans la mesure où elle conduit à la formation de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) gazeux et de composés soufrés sous la forme d'aérosols acides, notamment sous l'effet d'un catalyseur d'oxydation.

Une forte teneur en soufre peut réduire l'efficacité et la fiabilité de certains filtres à particules notamment les «passifs», en effet, ce composé perturbe le processus catalytique nécessaire à la régénération. Cette forte teneur est aussi préjudiciable aux moteurs modernes.

Quelques analyses réalisées en 2009, par l'Institut Français du Pétrole, sur des échantillons de carburant ont montré des teneurs en soufre comprises entre 460 et 780 ppm.

L'indice de cétane est une mesure du comportement du carburant dans la chambre de combustion du moteur. Un indice plus élevé améliore la combustion notamment lors des démarrages et permet de réduire les émissions de monoxyde de carbone et d'hydrocarbures.

L'utilisation comme carburant du gazole routier qui possède une faible teneur en soufre et un indice de cétane supérieur au fioul rouge apporte une réduction des émissions. Aussi, ce choix est bénéfique pour la santé mais le surcoût occasionné reste un frein.

En 2011, un nouveau carburant nommé «gazole non routier» (GNR) va être mis en vente avec une teneur en soufre maximum de 10 ppm et un indice de cétane élevé, il satisfait notamment aux exigences de la directive 2009/30/CE. Il facilitera l'utilisation des systèmes de dépollution et remplacera avantageusement le FOD.

Le GNR pourra incorporer une part de biocarburant sous la forme d'esters méthyliques d'acides gras.

Cependant, que le carburant soit du FOD ou du gazole, des particules fines restent présentes dans les émissions.

La plupart des FAP proposés sur le marché sont performants avec le gazole (routier ou non routier) et il existe des systèmes de filtre à particules susceptibles de fonctionner efficacement avec le FOD.

Le carburant utilisé est donc un paramètre important à prendre en compte lors du choix d'un FAP.

### ● Utiliser un lubrifiant adapté

Le lubrifiant (huile) contient des composés qui vont former des nanoparticules métalliques incombustibles au sortir de la chambre de combustion.

Si l'engin est équipé d'un FAP, ces particules (ou cendres) se déposent sur le média filtrant, c'est pourquoi la qualité et la consommation d'huile moteur doivent être surveillées afin d'éviter un colmatage prématuré du filtre.

Un lubrifiant adapté permet de limiter ces émissions.

Cette information peut être donnée par le constructeur de l'engin ou le distributeur de lubrifiants.

## 4 - Montage en rétrofit de FAP sur les engins de chantier

La meilleure solution pour réduire efficacement les émissions de particules consiste à équiper les engins de FAP adaptés. Ceci peut être réalisé en post-équipement (ou retrofit) sur une machine existante.

Ce choix permet à une entreprise d'afficher clairement son intérêt pour la santé de ses salariés, la santé de la population et la protection de l'environnement et de s'inscrire ainsi dans une politique de développement durable.

La démarche vertueuse va consister à identifier la meilleure technologie disponible pour un engin en tenant compte de ses caractéristiques, de son mode d'utilisation, de la configuration du chantier et du carburant utilisé.

### ● Choix de la meilleure technologie disponible

Le tableau ci-dessous décrit notamment les conditions d'utilisation des 3 principaux types de FAP.

Type de FAP	Conditions d'utilisation	Performances autres que réduction des particules	Effets indésirables
<b>Filtre passif catalysé à régénération continue</b>	Carburant à basse teneur en soufre (< 20 ppm). Température des gaz comprise entre 250 °C et 450 °C au moins 50 % du temps pour la régénération.	Réduction des émissions de monoxyde de carbone et d'hydrocarbures imbrûlés.	Enrichissement possible de la teneur en NO <sub>2</sub> des émissions gazeuses.
<b>Filtre passif avec ajout additif catalytique au carburant</b>	Température gaz > 350 °C au moins 10 min./jour.	Réduction des émissions de monoxyde de carbone et d'hydrocarbures imbrûlés.	
<b>Filtre à régénération active + additif dans carburant</b>	Indépendant de la température des gaz.	Réduction des émissions de monoxyde de carbone et d'hydrocarbures imbrûlés.	

Le choix doit être défini avec la collaboration du fournisseur de FAP (fabricant ou distributeur), sur la base des informations fournies par l'entreprise et des résultats de l'étude préalable réalisée par le fournisseur.

Les informations à transmettre par l'entreprise à l'équipementier sont :

- ✗ la description du chantier ou de l'activité prévue,
- ✗ les caractéristiques de l'engin,
- ✗ les caractéristiques du moteur,
- ✗ les caractéristiques du carburant,
- ✗ les caractéristiques du lubrifiant.



Elles peuvent être regroupées sous forme de fiche (un modèle est présenté page 33).

L'étude préalable à réaliser par le fournisseur du FAP comporte :

- ✗ des mesures de profil de température des gaz d'échappement,
- ✗ une mesure des émissions brutes ou une évaluation de celles-ci,
- ✗ l'évaluation de l'état du moteur,
- ✗ l'examen de l'espace disponible dans le compartiment moteur,
- ✗ l'étude des possibilités de fixation des différents éléments du filtre.

L'étude CRAMIF/INRS ND 2323-218-10 publiée en 2010 montre que le filtre à particules à régénération active avec ajout d'additif semble bien adapté aux engins de chantier, il apporte de nombreux avantages notamment :

- ✗ de hautes performances dans le piégeage des suies de l'ordre de 99%,
- ✗ une régénération complète, rapide et sans immobilisation de l'engin,
- ✗ pas d'émissions secondaires,
- ✗ pas d'augmentation de l'émission de dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>),
- ✗ un fonctionnement fiable avec le FOD.

Cette technologie apparaît prometteuse à l'heure où l'impact des dispositifs de FAP sur les émissions de dioxyde d'azote des moteurs Diesel est très observé.



## ● Consultation du constructeur de l'engin

Le montage en rétrofit d'un FAP peut remettre en question la garantie et l'homologation de l'engin.

Ces points doivent être discutés au préalable avec le constructeur ou le distributeur afin d'obtenir son accord écrit pour le montage du système de FAP.

Le constructeur apporte toutes les informations réglementaires ou techniques utiles, notamment la contre-pression maximum admissible par le moteur. Il peut indiquer, après examen des documents de l'étude préalable, si le système proposé par le fournisseur de FAP est compatible avec le bloc moteur ou susceptible d'interférer avec des dispositifs déjà présents.

Le constructeur peut préciser ses préconisations pour le montage.

### Attention

La mise en place d'équipements supplémentaires sur une machine sans l'accord du constructeur engage la responsabilité de l'entreprise utilisatrice, celle du fournisseur du FAP et de l'installateur.



Une machine équipée sur un chantier à l'étranger



## ● Le montage du FAP

Pour cette opération, il est nécessaire de prendre en compte les informations et les préconisations du constructeur d'engins.

Le montage du FAP est confié à des personnes qualifiées. Ces spécialistes sont missionnés ou formés par le fabricant du FAP ou le constructeur d'engins.

Cette opération est menée de manière à ne pas occasionner de risques additionnels. Il est indispensable de maintenir une bonne visibilité pour le conducteur et de prévoir des protections thermiques sur le corps du filtre.

De plus, le niveau d'émission sonore de l'engin équipé ne doit pas augmenter, un silencieux peut être rajouté si nécessaire.

Par ailleurs, en fonction de la configuration de l'engin et de l'environnement d'utilisation (risque de contact avec des matériaux inflammables, risque de chutes de matériaux...), le FAP peut être installé dans le compartiment moteur ou hors de celui-ci.

Le montage à l'intérieur du compartiment moteur permet notamment de protéger le FAP des chocs et des contacts. En revanche, les opérations de retrait du média filtrant pour remplacement ou nettoyage peuvent se révéler plus longues.



Filtres montés sous le capot moteur



Filtres montés à l'extérieur



Source : TTM

Le montage est complété par :

- ✗ l'installation en cabine d'une jauge de contre-pression avec alarme. Cette jauge est destinée à indiquer la pression dans le conduit entre la sortie moteur et l'entrée du FAP et à alerter le conducteur en cas d'élévation du niveau,
- ✗ un dispositif de surveillance électronique du fonctionnement pourvu d'un enregistrement des données.

Le fournisseur remet à l'entreprise une notice d'utilisation, celle-ci regroupe notamment :

- ✗ une description du filtre à particules installé avec les différents éléments qui le composent,
- ✗ une description du module de contrôle placé en cabine et des diverses alarmes,
- ✗ les préconisations de sécurité,
- ✗ les informations utiles pour la maintenance et l'entretien,
- ✗ les informations utiles pour le nettoyage du filtre.



Jauge de contre-pression



Module de contrôle du dispositif de surveillance

Certains engins peuvent être amenés à évoluer dans un environnement fortement empoussiéré par exemple : creusement de galeries, centres d'incinération et de tri des déchets.

Dans ce cas, une attention particulière doit être portée sur la qualité de l'air envoyé dans le moteur. En effet, les fines poussières minérales environnementales peuvent traverser la chambre de combustion et venir s'accumuler sur le média filtrant du filtre à particules occasionnant un colmatage prématuré. Un filtre à air adapté avec plusieurs niveaux de filtration doit alors être installé en parallèle au montage du FAP.

### Attention à l'huile

Le montage d'un filtre à particules sur un engin possédant un moteur usagé consommant beaucoup d'huile (> 1 %) par rapport au carburant est fortement déconseillé.

### Attention aux kits

L'utilisation de kits de montage prêts à l'emploi hors de la démarche définie dans ce guide n'est pas recommandée, car dans ce cas les éventuelles erreurs dans le choix, le montage, le réglage ou l'entretien pourraient conduire à des situations dangereuses pour les personnes et à des détériorations des matériels.

Les conséquences resteraient dans ce cas de la responsabilité de l'entreprise utilisatrice du kit.

## ● Formation - information

Il est indispensable que les utilisateurs et les services de maintenance soient informés de la mise en place d'un FAP et formés à son principe de fonctionnement et aux diverses contraintes inhérentes.

Cette formation est réalisée par le fournisseur du FAP ou par des personnes qualifiées missionnées par lui.

Le conducteur formé est en mesure de lire les indications concernant la contre-pression et d'interpréter les signaux d'alarme.

Il développe aussi la capacité de détecter et signaler toute anomalie.

Le service de maintenance averti est en mesure de remplacer rapidement un FAP défaillant ou colmaté pour limiter la durée d'immobilisation de l'engin.

La régénération reste une phase critique dans le fonctionnement d'un filtre à particules, de son bon déroulement va dépendre le maintien de l'efficacité du piégeage des particules.

La régénération doit être :

- ✗ rapide, de l'ordre de quelques minutes,
- ✗ complète, toute la suie présente est brûlée,
- ✗ régulière afin d'éviter toute accumulation.

Si elle est mal maîtrisée, elle conduit à un encrassement du filtre puis au colmatage ; les gaz ne peuvent plus traverser le filtre, la pression induite par le FAP dans le conduit, nommée contre-pression, augmente. L'évolution de ce paramètre doit être particulièrement suivie car un niveau trop élevé peut provoquer une dégradation du filtre ou du moteur. La contre-pression doit être contrôlée et maintenue en dessous de 200 mbars.

Les photos ci-dessous présentent un filtre endommagé, la présence de taches noires sur le média en sortie de filtre est caractéristique d'un dysfonctionnement.



Vue des taches noires  
avant démontage



Vue des taches noires  
après démontage du média filtrant

Source : TTM

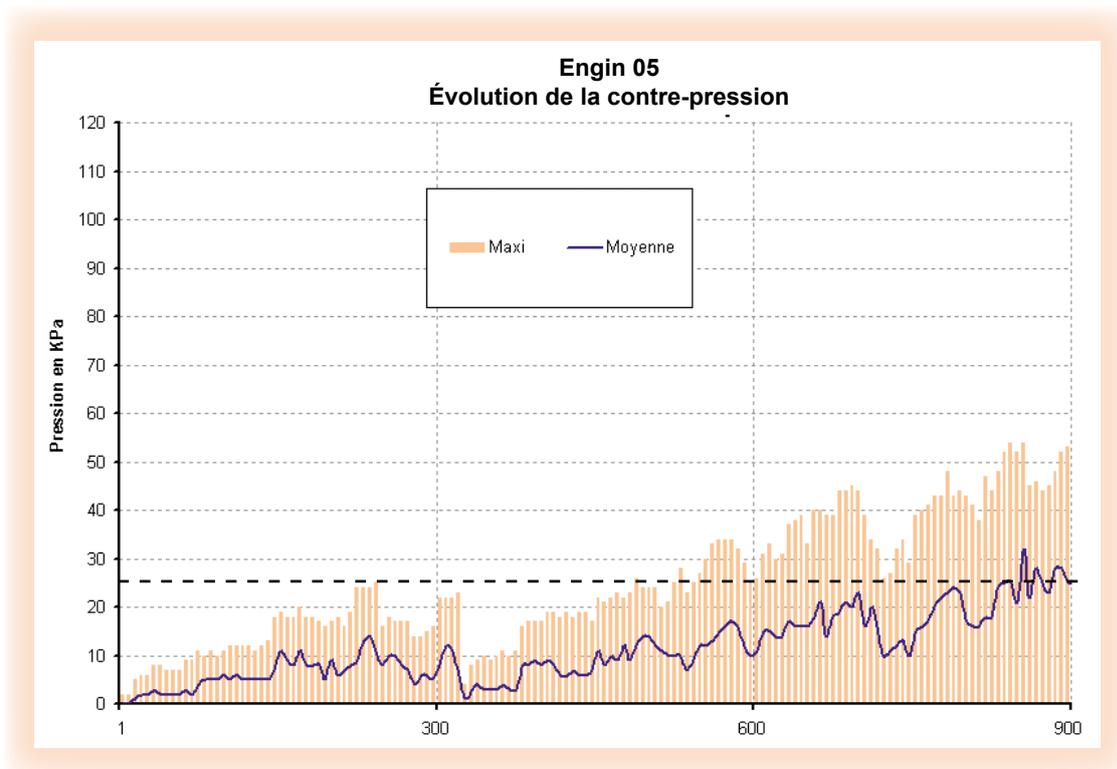
## ● L'entretien

Lors du fonctionnement de l'engin une fraction solide incombustible (les cendres) vient se déposer à la surface du média filtrant. Ce phénomène, inévitable, est lié principalement à l'usure du moteur et au lubrifiant utilisé.

Après quelques centaines d'heures d'utilisation, cette accumulation entraîne une augmentation de la contre-pression. Cette évolution est signalée par la jauge de contre-pression et par le dispositif de surveillance électronique. Les données extraites montrent une évolution progressive de la contre-pression qui tend vers la valeur maximale admissible par le moteur.



Cette jauge indique que la contre-pression atteint 60% de la valeur de référence définie par le constructeur de l'engin.



Ce graphique réalisé à l'aide des données enregistrées sur un engin montre qu'un nettoyage du média filtrant devient nécessaire. La valeur de référence de 20 KPa (200 mbars) est dépassée pour cet exemple.

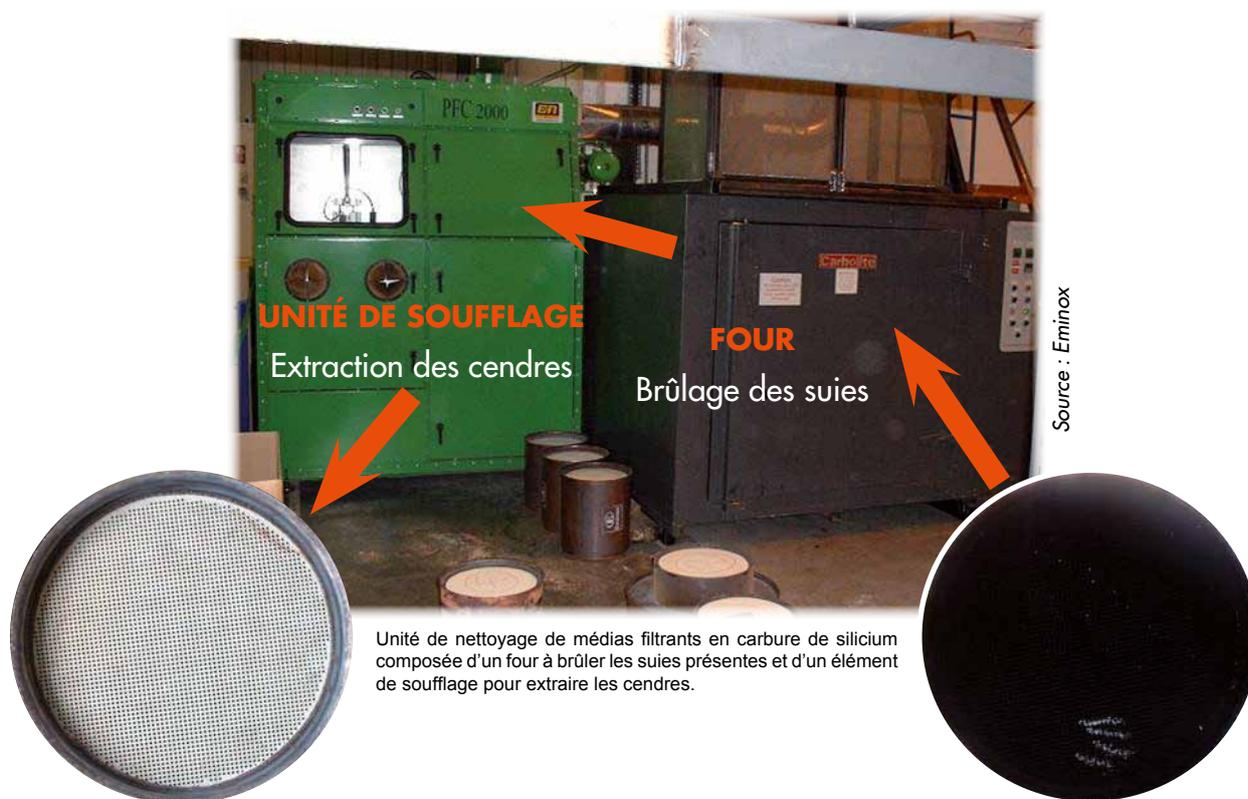
Le filtre « encrassé » doit être retiré de l'engin : le module central ou le média filtrant est extrait puis nettoyé selon diverses techniques. Cette opération peut être planifiée lors d'une révision périodique.

Le procédé utilisé pour le nettoyage dépend du type de média filtrant, par exemple :

- ✗ le module central avec le média filtrant en carbure de silicium est passé dans un four spécifique pendant quelques heures, il est ensuite nettoyé par projection d'air comprimé,
- ✗ le média filtrant en métal fritté est nettoyé par projection d'air ou d'eau sous pression.

L'opération de nettoyage doit être réalisée dans une enceinte ventilée fermée afin d'éviter toute exposition des salariés, les cendres sont recueillies et évacuées vers un lieu de collecte.

## UNITÉ DE NETTOYAGE DES FILTRES



### ● Évaluation des performances à l'échappement

L'émission de particules à l'aval du filtre doit être contrôlée après montage sur l'engin puis ensuite régulièrement. Il s'agit de vérifier l'émission en sortie d'échappement.

La première mesure est réalisée par le fournisseur du FAP et va permettre de s'assurer de l'efficacité initiale ; les résultats sont remis à l'entreprise sous la forme d'un certificat.

Différents types de tests permettent de s'assurer du bon fonctionnement du filtre à partir d'une évaluation de la concentration en particules. Ils sont réalisés sur l'engin immobilisé avec le moteur en marche.

Les différents tests sont présentés par ordre croissant de sophistication :

**Test du tissu blanc** : un morceau de tissu blanc est placé à environ 15 cm de l'orifice d'échappement pendant une minute environ. La présence d'une trace noire révélera un défaut dans le piégeage des particules et un possible dysfonctionnement du filtre.

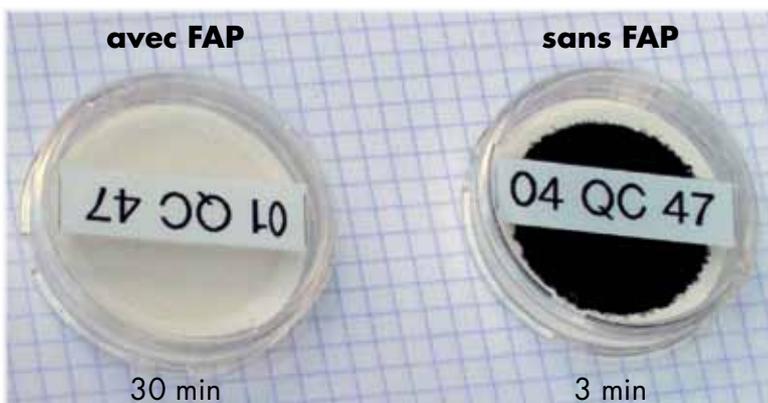


**Opacimétrie** : la concentration en particules est déterminée au moyen d'un opacimètre qui mesure l'absorption de la lumière par les particules de carbone. La méthode de référence est normalisée : Norme SAE J1667.

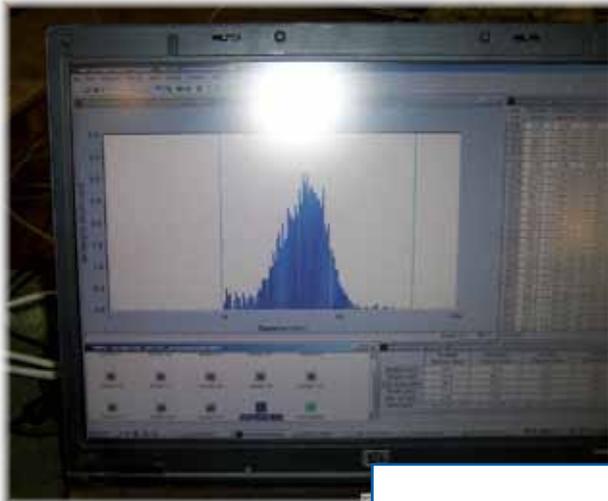
**Concentration massique en carbone élémentaire** : un échantillon de gaz est prélevé à l'échappement de l'engin au moyen d'une sonde chauffée jusqu'à un filtre (fibres de quartz). La concentration en carbone est déterminée par coulométrie. La méthode de mesure est fournie dans la fiche Métropol-méthode 0038 INRS.



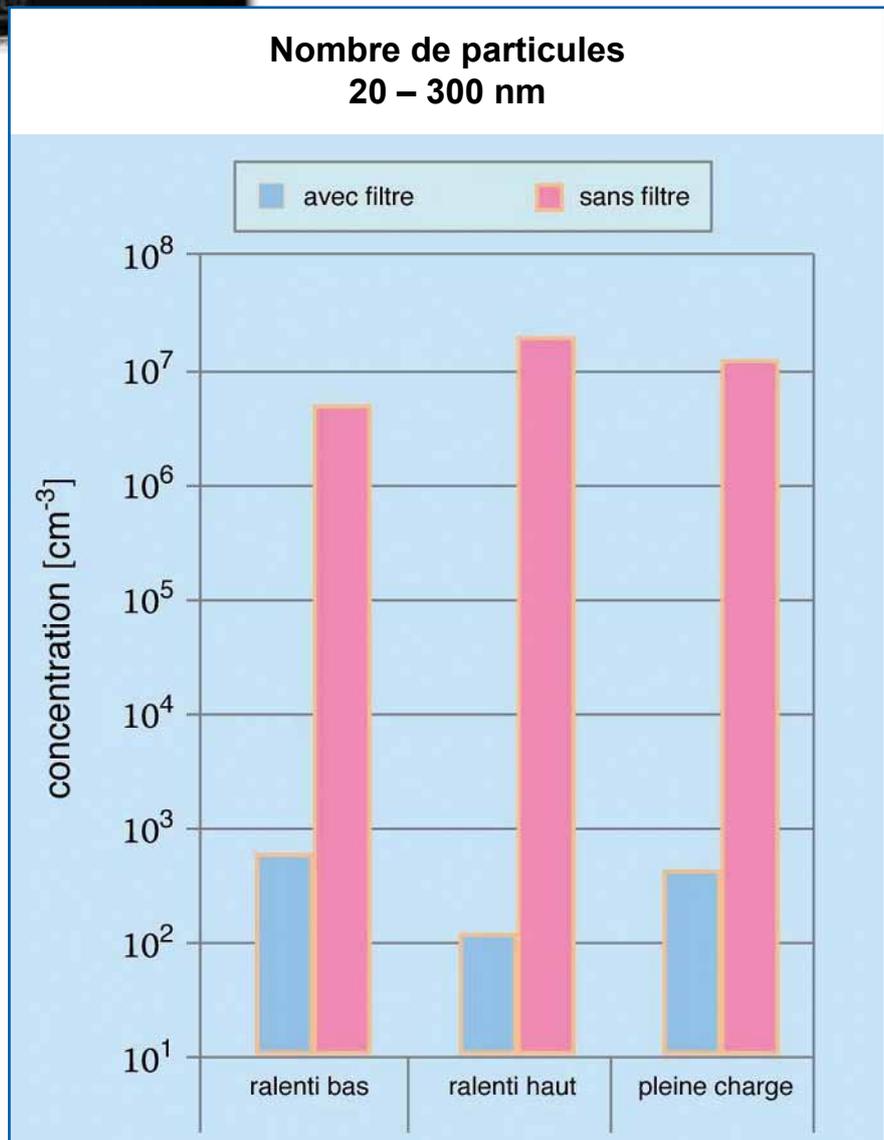
#### Prélèvements en sortie d'échappement



**Comptage des particules** : la concentration et la distribution de tailles des particules sont déterminées au moyen d'un impacteur ELPI ou d'un analyseur SMPS après dilution de l'échantillon prélevé ou absorption des composés volatils. Ces mesures complexes ne peuvent être réalisées que par des laboratoires spécialisés, par exemple Technik Thermische Maschinen (TTM) en Suisse, Centre d'Études et de Recherche en Aérothermie Moteur (CERTAM) en France.



Mesure de la distribution des tailles de particules



Nombre de particules, émises à divers régimes moteur, mesuré avec FAP et sans FAP

## 5 - Liste VERT®

La France ne dispose pas d'un référentiel pour attester de la qualité des dispositifs de filtres à particules pour les engins.

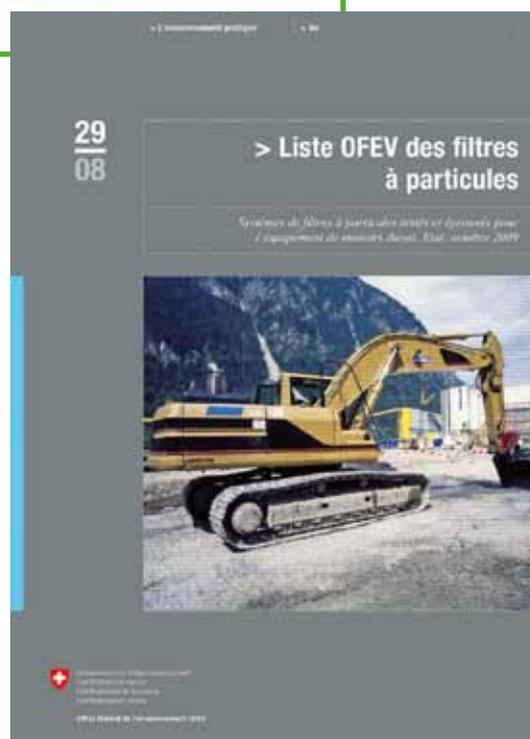
Des pays européens comme la Suisse, l'Allemagne et l'Autriche ont choisi d'utiliser les tests de qualité VERT® (Verminderung des Emissionen von Real-Dieselmotoren im Tunnel-bau).

L'association VERT® est une organisation internationale qui a pour vocation de tester et certifier les meilleures technologies disponibles pour traiter les émissions de particules.

Elle publie la «VERT FILTER LIST» certifiant les FAP représentant les meilleures technologies disponibles, cette liste est consultable sur le site : <http://www.vert-dpf.eu>



D'autre part, l'Office Fédéral de l'Environnement (Suisse) publie régulièrement la liste des filtres conformes aux prescriptions de l'ordonnance fédérale sur la protection de l'air (OPair), cette liste est consultable sur le site Internet de l'OFEV : <http://www.bafu.admin.ch/partikelfilterlist>



## Liste indicative alphabétique de fournisseurs

### Société AIRMEEX

Contact H. GEORGES  
Adresse 6 rue de l'Ancienne Sablière  
ZI de la Fosse Montalbot  
91270 Vigneux-sur-Seine  
Téléphone +33 01 69 52 96 00 Fax +33 01 69 52 31 30 Mobile : 06 07 58 75 85  
e-mail hgeorges@airmeex.com

### Société EHC TEKNIK BENELUX

Contact Danny RODRIGUEZ  
Adresse Karel Soetelaan 37 - 2150 Borsbeek - BELGIUM  
Téléphone + 32 (0)3/366.39.36 Fax + 32 (0)3/366.26.33  
e-mail info@ehcteknik.be www.ehcteknik.nl

### Société EMINOX

Contact M. VANLEENE  
Adresse 31 rue de l'Étain - 77176 Savigny-le-Temple  
Téléphone 01 60 63 08 80 ou 06 12 66 05 98  
e-mail philippe.vanleene@eminox.com

### Société HUG ENGINEERING AG

Contact Laurent REZETTE  
Adresse Agence HUG Engineering/HUG Filtersystems  
Téléphone +49(0) 75 42 95 14 86 Fax +49 (0) 75 42 95 14 87 Mobile : +49 (0) 151 22 68 02 44  
e-mail rezette@t-online.de

### Société HUSS

Contact Friedrich NAEGELI  
Adresse Poststrasse 1 CH-8956 Killwangen  
Téléphone 0041763630500  
e-mail friedrich.naegeli@hussgroup.com

### Société JOHNSON MATTHEY

Contact Peter WERTH  
Adresse Otto-Volger-Strasse 9B D-65843 Sulzbach/TS  
Téléphone +49 (0)6 196 7038 90  
e-mail

### Société MANN-HUMMEL

Contact M. NATAF  
Adresse 173 rue Léon Jouhaux - 78500 Sartrouville  
Téléphone 02 43 49 73 72 Mobile : 06 13 71 60 59  
e-mail stephane.nataf@mann-hummel.com

### Société PIRELLI ECO TECHNOLOGY

Contact Anne-Christine GIRAUDY  
Adresse Gecam France  
165 avenue Bois de la Pie - 95700 Roissy-en-France  
Téléphone 01 48 63 05 00 / 01 48 63 05 30 Fax 01 48 63 05 35 Mobile : 06 74 12 90 60  
e-mail acgiraudy@wanadoo.fr

# 6 - Formulation de la demande au fournisseur de FAP

L'entreprise qui désire équiper un engin de chantier avec un filtre à particules doit présenter des informations au fournisseur. La fiche suivante constitue un modèle.

L'entreprise doit s'efforcer de décrire le chantier, l'espace d'évolution, le niveau d'empoussièremment de l'air ambiant, le type de travaux prévus...

Les données techniques fournies par le constructeur permettront de répondre à la plupart des questions sur l'engin et son moteur diesel.

Pour ce qui concerne le carburant, les pétroliers mettent à disposition des spécifications techniques ou des fiches de caractéristiques. Dans ces documents sont précisés la teneur en soufre et l'indice de cétane.

Les informations complémentaires pourront être réunies lors de l'étape de l'étude préalable.

<b>FICHE D'INFORMATIONS</b> <i>Document à transmettre au fournisseur de FAP</i>	
<b>Informations client</b>	
Société	
Contact	
Adresse	
Téléphone	
e-mail	Fax
<b>Informations projet</b>	
Nom du projet	
Description du chantier	
Description de l'espace confiné ou de l'espace souterrain	
<b>Informations machine</b>	
Constructeur	
Type (pelle, chargeuse...)	
Modèle	
Année	
Production électrique (Volts)	
<b>Informations moteur</b>	
Cylindrée	
Puissance (KW)	
Nombre de cylindres	
Type de moteur (diesel atmosphérique, turbo,...)	
Régime maxi autorisé par le constructeur	
Contre pression maxi autorisée par le constructeur	
Température des gaz d'échappement	
Type huile moteur	
Consommation d'huile (litres/heure)	
Type de filtre à air	
<b>Informations carburant</b>	
Type (FOD, gazole...)	
Consommation (litres/heure)	
Teneur en soufre	
Indice de cétane	



## 7 - Bibliographie

-  F. Lauzier, J.-P. Depay, D. Bemer, I. Subra : « Émission Diesel performances des filtres à particules pour engins non routiers » ND 2323 – 218 -10, ed. INRS (2010).
-  Recommandation CRAMIF n° 17 « Travaux souterrains autres que galeries linéaires », DTE 107, ed. CRAMIF (2000).
-  Courtois B., Le Brech A., Diébold F., Lafon D. « Moteurs Diesel et pollution en espace confiné », ND 201, ed. INRS (2005).
-  Publication IFP – « Panorama 2005 - Les techniques de dépollution des véhicules industriels ».
-  Liste des filtres OFEV/SUVA. Système de filtres à particules testés et éprouvés pour l'équipement de moteurs diesel. Décembre 2008.
-  Barbusse S., Plassat G. « Les particules de combustion automobile et leurs dispositifs d'élimination ». Rapport ADEME (2005).
-  A. Mayer and 50 Co-authors. « Particle filter retrofit for all Diesel engines ». Haus der Technik Fachbuch, Expert Verlag (2008).
-  Rapport d'expertise collective « Émissions de dioxyde d'azote de véhicules Diesel ». AFSSET Août 2009.

# FICHE D'INFORMATIONS

Document à transmettre au fournisseur de FAP

## Informations client

Société

Contact

Adresse

Téléphone

Fax

e-mail

## Informations projet

Nom du projet

Description du chantier  
Description de l'espace confiné  
ou de l'espace souterrain

## Informations machine

Constructeur

Type (pelle, chargeuse...)

Modèle

Année

Production électrique (Volts)

## Informations moteur

Cylindrée

Puissance (KW)

Nombre de cylindres

Type de moteur  
(diesel atmosphérique, turbo,...)

Régime maxi autorisé par le  
constructeur

Contre pression maxi autorisée  
par le constructeur

Température des gaz  
d'échappement

Type huile moteur

Consommation d'huile  
(litres/heure)

Type de filtre à air

## Informations carburant

Type (FOD, gazole...)

Consommation (litres/heure)

Teneur en soufre

Indice de cétane



## DIRECTION RÉGIONALE DES RISQUES PROFESSIONNELS

### PRÉVENTION DES RISQUES PROFESSIONNELS

17-19 place de l'Argonne - 75019 PARIS

prevention.atmp@cramif.cnamts.fr

EN FONCTION DU LIEU D'IMPLANTATION DE VOTRE ÉTABLISSEMENT  
PRENEZ CONTACT AVEC L'ANTENNE PRÉVENTION  
DE VOTRE DÉPARTEMENT

#### ■ 75 - PARIS

☎ 01 40 05 38 16 - Fax 01 40 05 38 13  
antenne75.prevention@cramif.cnamts.fr

#### ■ 77 - DAMMARIÉ-LES-LYS

☎ 01 64 87 02 60 - Fax 01 64 37 12 34  
antenne77.prevention@cramif.cnamts.fr

#### ■ 78 - VERSAILLES

☎ 01 39 53 41 41 - Fax 01 39 51 06 24  
antenne78.prevention@cramif.cnamts.fr

#### ■ 91 - EVRY

☎ 01 60 77 60 00 - Fax 01 60 77 10 05  
antenne91.prevention@cramif.cnamts.fr

#### ■ 92 - NANTERRE

☎ 01 47 21 76 63 - Fax 01 46 95 01 94  
antenne92.prevention@cramif.cnamts.fr

#### ■ 93 - PANTIN

☎ 01 49 15 98 20 - Fax 01 49 15 00 07  
antenne93.prevention@cramif.cnamts.fr

#### ■ 94 - CRETEIL

☎ 01 42 07 35 76 - Fax 01 42 07 07 57  
antenne94.prevention@cramif.cnamts.fr

#### ■ 95 - CERGY PONTOISE

☎ 01 30 30 32 45 - Fax 01 34 24 13 15  
antenne95.prevention@cramif.cnamts.fr

### SERVICES FONCTIONNELS

#### ▲ DIRECTION DES SERVICES EXTÉRIEURS

☎ 01 40 05 38 11 - Fax 01 40 05 38 15 - dse.prevention@cramif.cnamts.fr

#### ▲ DIRECTION DES SERVICES TECHNIQUES

☎ 01 40 05 38 20 - Fax 01 40 05 38 67 - dst.prevention@cramif.cnamts.fr

#### ▲ DIRECTION PILOTAGE ET PROSPECTIVE

☎ 01 40 05 29 06 - Fax 01 44 65 75 64 - dpp.prevention@cramif.cnamts.fr

#### ▲ INGÉNIERIE ET DIFFUSION DE LA FORMATION À LA PRÉVENTION

☎ 01 40 05 38 50 - Fax 01 40 05 38 64 - formation.prevention@cramif.cnamts.fr

#### ▲ MÉDIATHÈQUE

☎ 01 40 05 38 19 - Fax 01 40 05 39 92 - mediatheque.prevention@cramif.cnamts.fr

### TARIFICATION DES RISQUES PROFESSIONNELS

17-19, avenue de Flandre - 75019 PARIS

tarification.atmp@cramif.cnamts.fr

- Vous désirez une information générale sur les règles de tarification, les textes de référence :  
Consultez notre site :  
[www.cramif.fr/Calculer les cotisations AT/MP](http://www.cramif.fr/Calculer_les_cotisations_AT/MP)  
☎ 01 44 65 74 54 - Fax : 01 40 05 68 33
- Vous souhaitez consulter votre compte AT/MP (taux de cotisation, compte employeur) :  
Rendez-vous sur le site :  
[www.net-entreprises.fr](http://www.net-entreprises.fr), le portail officiel des déclarations sociales.

### RÉPARATION DES RISQUES PROFESSIONNELS

17-19, place de l'Argonne - 75019 PARIS

reparation.atmp@cramif.cnamts.fr

- Vous désirez des informations sur :
- l'allocation de cessation anticipée d'activité des travailleurs de l'amiante :  
☎ 01 40 05 37 90 - Fax 01 40 05 32 65  
allocation.amiante@cramif.cnamts.fr
  - le registre de déclarations d'accidents de travail bénins :  
☎ 01 40 05 38 56 - Fax 01 40 05 68 82



Caisse Régionale  
d'Assurance Maladie d'Ile-de-France  
17-19 avenue de Flandre 75954 PARIS CEDEX 19

Direction Régionale  
des Risques Professionnels