

Le filtre à particules , un moyen efficace pour réduire l'exposition aux fumées Diesel sur les chantiers[◇]

Jean-Pierre DEPAY, Denis BEMER

L'exposition 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.

Ces émissions 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 » (EPA) aux Etats-Unis . Elles sont reconnues pour être également responsables d'irritations transitoires, d'inflammations et d'altérations de la fonction pulmonaire. Les polluants Diesel exacerbent les allergies respiratoires et augmenteraient les risques cardiaques pour des personnes souffrant de maladies cardio-vasculaires.

Des salariés peuvent être exposés à cette pollution notamment lors de travaux en espaces confinés ou de travaux souterrains. Des résultats de mesure sont regroupés dans la recommandation CRAMIF n°17 concernant les travaux souterrains.

Si des règles de prévention existent dans un certain nombre de situations de travail, l'émission des engins de BTP n'est actuellement pas maîtrisée. Il existe des exemples de pays ayant rendu obligatoire l'équipement des engins de BTP avec des filtres à particules, notamment la Suisse. Cette obligation est faite aux utilisateurs, c'est à dire aux entreprises effectuant les travaux.

La combustion du carburant, principalement le fioul rouge pour les engins de chantier, dans le moteur Diesel produit des polluants.

L'émission Diesel forme une pollution chimiquement complexe comprenant des gaz (CO, NO_x, oxydes de soufre, hydrocarbures imbrûlés, aldéhydes) et des particules fines.

Les particules se forment dans la chambre de combustion du moteur, elles sont composées d'un noyau formé essentiellement de carbone élémentaire, de carbone organique provenant d'hydrocarbures imbrûlés, ainsi que de cendres provenant de la combustion de l'huile, et de sulfates et nitrates. Sur ce noyau sont adsorbés des composés organiques de composition très complexe (on trouve notamment des composés aromatiques polycycliques, des dioxines). Les particules sont formées par

◇ Jean-Pierre Depay, CRAMIF

Denis Bemmer, INRS

Caisse Régionale d'Assurance Maladie d'Île de France, Antenne du Val de Marne, 12 rue Georges Enesco, 94025 Créteil Cedex.

Institut National de Recherche et de Sécurité, Centre de Lorraine, 1 rue du Morvan, 54519 Vandœuvre Cedex. jean-pierre.depays@cramif.cnamts.fr

l'agglomération de ces noyaux carbonés primaires de 10 à 80 nm, pour composer un ensemble de particules de taille comprise entre 10 et 300 nm en sortie d'échappement.

L'évaluation du risque généré par la pollution produite par les moteurs Diesel peut se faire en ne ciblant que les deux polluants principaux c'est à dire les oxydes d'azote et les particules.

En France, il n'y a pas de valeur limite pour les particules Diesel et on se réfère à la valeur guide, issue de la réglementation Allemande, fixée à $300 \mu\text{g.m}^{-3}$ pour la fraction correspondant au carbone élémentaire pour les travaux souterrains et à $100 \mu\text{g.m}^{-3}$ pour les autres travaux. Il existe par contre une valeur limite court terme (VLCT) pour NO_2 fixée à 3 ppm.

Le recours à un filtre à particules (FAP) apporte le moyen de limiter l'exposition des salariés sur les chantiers au niveau le plus bas techniquement possible, en effet ce dispositif a fait la démonstration de son efficacité sur les véhicules légers. Il apparaît donc nécessaire de rechercher les modèles les plus adaptés aux engins de chantier.

De nombreuses technologies ont été développées, mais le principe de fonctionnement reste le même.

Dans un premier temps, les particules viennent s'accumuler à la surface du média filtrant, augmentant progressivement la résistance à l'écoulement des gaz et conduisant à un colmatage du filtre, aussi dans un deuxième temps et selon divers procédés, les particules de suies sont brûlées dans le filtre lors de la phase dite de régénération. Les gaz formés, principalement du dioxyde de carbone, traversent le filtre et sont évacués par l'orifice d'échappement. Sur le média filtrant, il va rester des cendres incombustibles, elles devront être éliminées régulièrement par nettoyage du filtre.

Le terme « filtre à particules » ne décrit qu'imparfaitement le mode de fonctionnement de ces systèmes qui sont le siège de réactions chimiques complexes.

Différents types de média filtrant ont été développés afin de collecter les particules de suies, ce sont les céramiques (cordièrite, carbure de silicium,...), le métal fritté...

Les technologies peuvent se différencier par le procédé utilisé pour la régénération, il convient de distinguer : les filtres catalytiques à régénération passive dans lesquels la régénération va s'effectuer automatiquement, en continu, dès que certaines conditions sont réunies (température des gaz, concentration en NO_2) et les filtres à régénération active (par voie électrique ou brûleur) dans lesquels la régénération est déclenchée et pilotée par un système électronique.

Quelle technologie est la plus adaptée pour les chantiers ?

Pour répondre à cette question, la CRAMIF, associée à l'INRS, a décidé de tester sur site des FAP installés sur des engins de chantier afin de s'assurer de leurs performances initiales ainsi que du maintien de celles-ci au cours du temps.

Nous avons procédé à un tour d'horizon des fournisseurs et des systèmes de FAP proposés pour les engins de chantier. Des rencontres ont été organisées avec des fabricants d'engins afin de les informer des risques liés aux émissions diesel et de la démarche entreprise.

La participation dans le projet de partenaires (fabricants de filtre à particules, fabricants d'engins, entreprises de travaux publics) a permis d'élaborer et de conduire des programmes d'essais.

Essais sur un filtre à particules à régénération passive

Lors du premier essai nous avons choisi de tester un filtre CRT (Continuously Regenerating Trap) à régénération passive, en effet ce type de filtre est apparu intéressant à évaluer compte tenu de la relative simplicité de son installation, de son moindre coût comparativement à celui d'un filtre à régénération active. Ce filtre CRT a été installé sur une mini pelle moderne.

L'efficacité du FAP neuf a été déterminée par mesure de l'émission en particules de carbone élémentaire sans et avec FAP, en veillant à se placer exactement au même régime moteur lors des prélèvements.

La concentration en particules de suie a été déterminée par prélèvements sur filtre (fibres de quartz, Whatman QMA, Φ 37 mm). La méthode d'analyse comporte la transformation du carbone en CO_2 dans un four puis la mesure de la concentration en CO_2 par coulométrie.

L'efficacité initiale est élevée égale 98,75 % (régime moteur ralenti) et 99,52 % (régime moteur max. sans charge). Les concentrations massiques en carbone élémentaire à l'émission avec FAP sont inférieures à $30 \mu\text{g.m}^{-3}$.

Mais après environ 4 mois d'utilisation de la machine sur chantier, le filtre s'est trouvé colmaté et s'est dégradé. Les mesures effectuées ont révélé des concentrations particulièrement élevées comprises entre 1100 et $4580 \mu\text{g.m}^{-3}$ en sortie d'échappement. D'autres essais menés avec un filtre CRT à régénération passive ont conduit à des constats similaires. Il est apparu évident que la phase régénération était mal maîtrisée car les conditions nécessaires ne sont pas toujours réunies sur chantier (température des gaz insuffisante, teneur en soufre du carburant trop élevée,...).

Essais sur un filtre à régénération active par voie électrique

Ces essais ont été effectués avec un filtre en métal fritté, monté sur une pelle neuve, en 2008.

La combustion des suies est contrôlée par une résistance électrique et l'ajout d'un additif à base de fer au carburant. L'engin fonctionnait avec du fioul rouge, la teneur en soufre du carburant a été contrôlée, elle était de 610 ppm.

Un bilan complet des performances du filtre a été effectué en confiant les mesures au laboratoire Suisse en charge des essais VERT. Ce filtre a montré une réduction très importante de l'émission des particules de 20 à 300 nm avec une efficacité supérieure à 99,98 %.

En ce qui concerne les gaz, le FAP entraîne une diminution sensible de l'émission NO_x lors des essais effectués en charge. Aucune influence sur les hydrocarbures imbrûlés n'a été observée.

Seul une légère augmentation de la concentration de CO a pu être observée lors des essais en pleine charge.

Après environ 7 mois d'utilisation sur chantier, la machine a fait l'objet d'une nouvelle série de mesures. Les résultats confirment le maintien de la très bonne efficacité du FAP. Les données relatives aux gaz CO, NO, NO₂, sont également conformes à celles établies lors des tests initiaux.

Le rapport précise que la régénération avec la résistance électrique et l'ajout d'additif fonctionne très bien.

Conclusions

Les filtres à particules constituent le meilleur moyen de réduire efficacement les émissions de particules des moteurs Diesel. Pour les engins de chantier, le choix du FAP apparaît plus complexe que pour d'autres applications, compte tenu des contraintes inhérentes à ces machines: fonctionnement discontinu limitant les plages stables à température élevée des gaz, utilisation de carburant riche en soufre, montage en « rétrofit » souvent difficile.

L'étude menée par la CRAMIF et l'INRS montre que certaines technologies de filtres (FAP à régénération passive type CRT) ne semblent pas bien adaptées aux engins de chantier, sauf si une étude préalable des profils de température des gaz d'échappement, complétée par un contrôle du fonctionnement du filtre et l'utilisation d'un carburant sans soufre (<10 ppm), permet de valider effectivement le dispositif.

Actuellement seuls les FAP à régénération active avec ajout d'additif, semblent vraiment bien adaptés : hautes performances de filtration, peu d'émissions secondaires, autonomie complète de la régénération, combustion complète et rapide des suies.

Enfin, notre expérience montre que seuls les filtres disposant d'un système de pilotage électronique de la régénération sont susceptibles d'être bien acceptés par la profession du BTP.

Il apparaît de plus indispensable que les utilisateurs ainsi que les services de maintenance soient informés de la mise en place d'un FAP. Le conducteur doit être en

mesure de lire les indications concernant la contre-pression et d'interpréter les signaux d'alarme.

Avec le filtre à particules, nous avons un moyen efficace pour protéger la santé des salariés du BTP,

nous devons maintenant faire connaître cet équipement et le recommander sur les chantiers pour équiper en priorité les engins destinés aux travaux souterrains.

Bibliographie :

- 1) Recommandation CRAMIF n°17 « Travaux souterrains », DTE 107.
- 2) Courtois B., Le Brech A., Diébold F., Lafon D. « Moteurs Diesel et pollution en espace confiné », ND 201, ed. INRS (2005).
- 3) Publication IFP – « Panorama 2005 - Les techniques de dépollution des véhicules industriels».
- 4) Liste des filtres OFEV/SUVA. Système de filtres à particules testés et éprouvés pour l'équipement de moteurs diesel. Décembre 2008.
- 5) Barbusse S., Plassat G. « Les particules de combustion automobile et leurs dispositifs d'élimination ». Rapport ADEME (2005).
- 6) A. Mayer and 50 Co-authors. "Particle filter retrofit for all Diesel engines". Haus der Technik Fachbuch, Expert Verlag (2008).