

Zeitschrift: Technique agricole Suisse
Herausgeber: Technique agricole Suisse
Band: 69 (2007)
Heft: 9

Artikel: Installation a posteriori de filtres à particules sur les tracteurs agricoles : adaptation indispensable du système de filtre à l'emploi du véhicule
Autor: Landis, Marco / Schiess, Isidor / Wolfensberger, Ueli
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1086245>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 05.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Installation a posteriori de filtres à particules sur les tracteurs agricoles

Adaptation indispensable du système de filtre à l'emploi du véhicule

Marco Landis, Isidor Schiess, Ueli Wolfensberger, Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen, E-mail: marco.landis@art.admin.ch

Les tracteurs utilisés dans l'agriculture émettent des particules de suie de diesel. Ces particules extrêmement fines sont nocives et cancérogènes. Or, il existe des systèmes de filtres qui permettent de réduire considérablement l'émission de particules par les tracteurs. Jusqu'à présent, les tracteurs ne sont pas équipés de filtres à particules en série. Afin d'étudier les possibilités de post-équipement, huit tracteurs et un chargeur automoteur ont été pourvus d'un filtre à particules à titre d'essai. Les véhicules ont été utilisés dans différents domaines de l'agriculture et de la sylviculture, afin de couvrir le plus grand nombre de travaux possible. Les filtres à particules utilisés étaient des filtres fermés. Ils proviennent de différents fabricants et emploient différents systèmes de régénération.

L'efficacité de tous les filtres testés est extrêmement élevée puisqu'ils sont capables d'éliminer 99 % des particules fines. Différents problèmes sont néanmoins survenus lors de l'installation et de l'utilisation de ces filtres: place importante requise par le montage du filtre, températures nécessaires des gaz d'échappement non atteintes, dimension nécessaire du filtre pour éviter l'augmentation de la contre-pression, panne du dispositif électronique de contrôle du filtre, et enfin, dégât irréparable du filtre.

Le montage d'un filtre sur un tracteur de taille moyenne entraîne des coûts compris entre CHF 8000.– et 15 000.–. Il faut également prendre en compte les coûts réguliers dus au nettoyage du filtre et à l'énergie supplémentaire dans le cas des filtres actifs.

Sommaire	Page
Problématique	38
Installation d'essai	38
Terminologie	38
Systèmes de régénération	39
Déroulement de l'essai et véhicules testés	41
Mesures au banc d'essai	41
Enregistreur de données	43
Expériences pratiques	44
Coûts	46
Perspectives	46
Conclusion	47

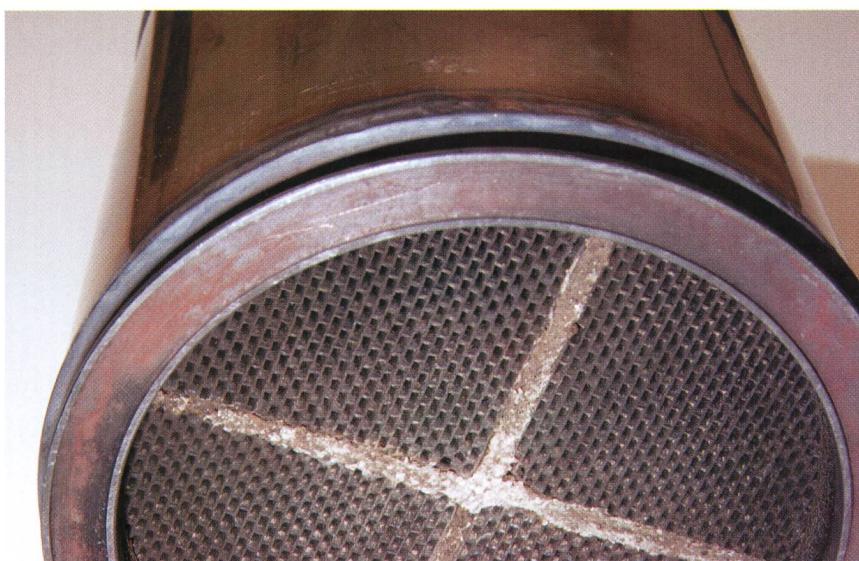


Fig. 1: Filtre à particules.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de
l'économie DFE
Station de recherche
Agroscope Reckenholz-Tänikon ART

Problématique

Selon les connaissances actuelles, les particules de suie émises par les moteurs diesel font partie des composants les plus nocifs de la poussière fine PM-10. Il existe des filtres à particules qui permettent de réduire les émissions de suie et qui sont en mesure de retenir les particules ultrafines d'une taille de 20–30 nanomètres. Ces particules très fines qui sont capables de pénétrer dans les poumons sont dangereuses et cancérogènes. Or, elles ne sont pas prises en compte par les seuils-limites d'émission de particules en vigueur pour les moteurs diesel aujourd'hui, car la directive repose sur une méthode de mesure gravimétrique et que les particules fines ont une masse insignifiante. C'est pourquoi les moteurs de tracteur pourront encore respecter longtemps les seuils légaux sans être obligés d'installer un filtre à particules. Jusqu'à présent, les fabricants n'ont d'ailleurs pas manifesté l'intention de vouloir proposer des tracteurs équipés de filtres. Toutefois, les tracteurs agricoles contribuent, pour une part non négligeable, aux émissions de suie de diesel. Les derniers calculs de l'OFEV font état de 400 tonnes par an. En outre, les tracteurs sont utilisés pendant une période relativement longue (la moitié des tracteurs immatriculés en Suisse a plus de 20 ans) et les utilisateurs souffrent eux-mêmes des émissions de suie de diesel. C'est pourquoi il nous a paru approprié d'étudier quelles étaient les possibilités d'installer a posteriori des filtres à particules sur les machines agricoles.

Installation d'essai

L'objectif du projet cofinancé par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) était d'étudier toutes les exigences relatives à l'utilisation des filtres à particules pour les tracteurs, notamment en ce qui concerne la robustesse, la simplicité de fonctionnement, l'efficacité de l'élimination des particules (selon la procédure VERT Verminde rung der Emissionen von Realsmaschinen im Tunnelbau: au moins 95 % des particules), le niveau des coûts et l'évaluation de la rentabilité économique.

Les entreprises intéressées, qui proposent des filtres à particules et les montent, ont

été invitées à équiper un tracteur, préalablement sélectionné, avec un de leurs systèmes. Au préalable, l'évolution des températures de fonctionnement avait fait l'objet d'un relevé sur une longue période dans le cadre d'un essai pratique. Sur la base de ces données, cinq entreprises ont choisi des modèles de filtres pour équiper un ou plusieurs des tracteurs à disposition. En fin de compte, neuf tracteurs ont été équipés d'un filtre à particules et sont passés au banc d'essai au début et à l'issue d'un essai pratique d'une durée moyenne d'un an. Outre le nombre de particules, les mesures ont également compris les autres émissions de gaz d'échappement limitées par la législation (oxyde d'azote y compris dioxyde d'azote (NO_2), hydrocarbures, monoxyde de carbone), la fumée, la consommation de carburant et la puissance. Pendant toute la durée de l'utilisation pratique, la température des gaz d'échappement et la contrepression ont été relevées en continu.

Terminologie

Poussière fine PM10

L'abréviation PM10 désigne les particules solides et liquides très fines d'un diamètre inférieur à 10 µm. 1 µm correspond à un millième de millimètre ou à un millionième de mètre. A cause de leur faible taille, ces particules sont en suspension dans l'air et ne se déposent que lentement au sol. La poussière fine est générée par des processus comme l'abrasion ou le soulèvement de

poussière par des tourbillons, par la combustion, mais aussi par des réactions chimiques de gaz toxiques comme l'ammoniac, les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre et les liaisons organiques volatiles (formation d'aérosols dits secondaires).

Suie de diesel

La suie de diesel est également une composante de la poussière fine et fait donc partie de la poussière fine PM10. Lors de la combustion des moteurs, des particules primaires extrêmement fines se forment, notamment dans les moteurs à allumage spontané (moteurs diesel) dont la combustion n'est pas homogène. Leur diamètre est de l'ordre de 0,03 µm. Dès la sortie des gaz d'échappement, ces particules primaires s'agglomèrent pour former des structures en forme de grappe ou de chaîne. Dans les gaz d'échappement, ces structures ont généralement une taille de 0,1 µm (un dix millième de millimètre). Certaines particules continuent à s'aggraver et atteignent un diamètre supérieur à 0,4 µm. Elles apparaissent sous forme de fumée noire. Les particules fines qui pénètrent dans les poumons restent, elles, invisibles. Les particules fines issues de la combustion des moteurs ne sont pas composées uniquement de carbone. Il peut également y avoir des dépôts de carburant non brûlé, de lubrifiants, de sulfates et de faibles quantités de cendres. L'organisme humain est en mesure de stopper les particules d'un diamètre supérieur à 1 µm dans le nez et dans les conduits nasaux et de les évacuer en toussant. Par contre, les particules très fines peuvent pénétrer

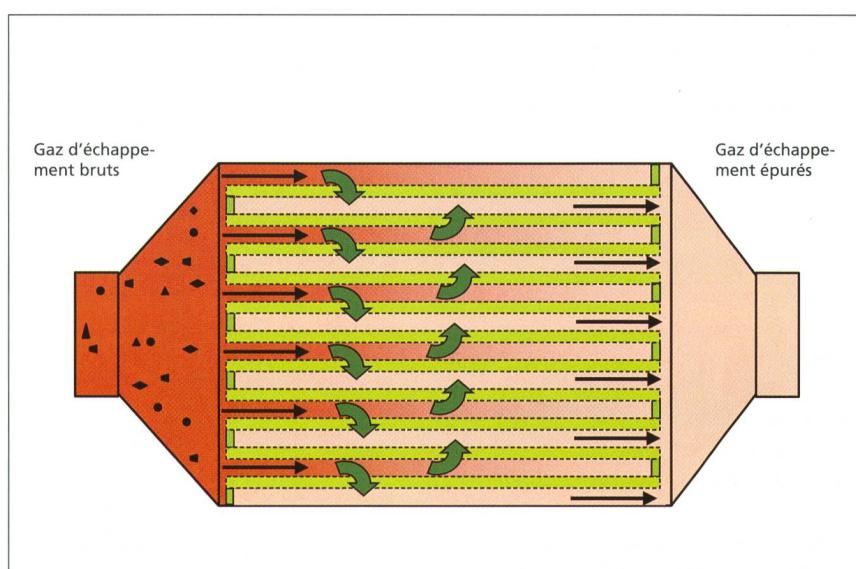


Fig. 2: Schéma d'un filtre à particules.

Tab. 1: Systèmes de régénération actifs utilisés dans l'essai.

<p>Chauffage électrique</p> <p>Un filament est chauffé par le courant. Cette chaleur enflamme la suie. Une souffleuse, généralement placée dans une unité de régénération pour des questions d'encombrement, assure l'arrivée d'air. Pour la régénération, le véhicule est raccordé à l'unité de régénération par un câble électrique et une conduite d'air.</p>
<p>Brûleur diesel</p> <p>Une petite pompe envoie du carburant diesel dans un brûleur. Le diesel s'enflamme à l'aide d'une bougie de préchauffage. Une souffleuse assure l'arrivée d'air. La suie s'enflamme à la chaleur du brûleur.</p>

le filtre doit avoir une certaine dimension. Parmi les filtres à particules, on distingue les systèmes de filtres fermés décrits ci-dessus et les filtres dits ouverts ou également catalyseurs de particules, dans lesquels les canaux ne se ferment pas en alternance. Les systèmes ouverts étant beaucoup moins efficaces, ils n'ont pas été pris en compte dans la présente étude.

Systèmes de régénération

Pour que le filtre ne se bouche pas, la suie doit être périodiquement ou continuellement brûlée pour obtenir du dioxyde de carbone CO_2 (sous forme de gaz) et une petite partie de cendres. La suie se compose essentiellement de carbone et commence normalement à brûler à partir d'une température de plus de 600°C (température d'inflammation de la suie). Comme cette température n'est pratiquement jamais atteinte dans la pratique, il existe deux stratégies pour brûler la suie: un apport d'énergie

nétrer presque sans problème jusqu'à dans les alvéoles pulmonaires et gagner directement le circuit sanguin via les cellules. De là, elles se répartissent dans tout le corps où elles peuvent exercer leur effet nocif. Selon l'Ordonnance sur la protection de l'air (Opair, RS 814.318.142.1, annexe 1, chiffre 83), les particules de suie de diesel sont considérées comme cancérogènes. Les particules les plus petites étant particulièrement dangereuses, d'un point de vue scientifique, il est donc extrêmement important de relever leur nombre plutôt que leur poids. La méthode de mesure gravimétrique appliquée jusqu'ici pour les valeurs limites des gaz d'échappement ne prend pratiquement pas en compte les particules ultrafines en raison de leur masse insignifiante.

Filtres à particules

Un filtre à particules se compose généralement d'un filtre sous forme de nid d'abeilles. Il existe également quelques filtres en fibres sur le marché. Les matériaux utilisés sont le carbure de silicium, la cordiérite ou le métal fritté. Dans les filtres en nid d'abeilles, les canaux sont fermés en alternance. Le gaz d'échappement doit donc nécessairement passer par les parois de séparation poreuses sur lesquelles les particules de suie se déposent. Si l'on veut que la séparation se fasse bien, les vitesses de flux ne doivent pas être trop élevées, ce qui veut dire que

Tab. 2: Systèmes de régénération passifs utilisés dans l'essai.

<p>Catalyseur additionnel Système CRT (= continuously regenerating trap)</p> <p>Le catalyseur additionnel produit du dioxyde d'azote NO_2 à partir de monoxyde d'azote NO par oxydation. L'apport de l'atome d'oxygène entraîne la combustion de la suie même à basses températures. Parallèlement, le catalyseur réduit les émissions d'hydrocarbures HC et de monoxyde de carbone CO. Il peut cependant se produire un excédent de dioxyde d'azote NO_2, qui s'évacue dans les gaz d'échappement. Dans ce cas, on parle d'émissions secondaires.</p>
<p>Filtre avec revêtement</p> <p>Lorsque la suie entre en contact avec le revêtement, de platine par exemple, elle réagit à l'oxygène à basses températures et se consume en dioxyde de carbone CO_2. Là encore, suivant le revêtement, la réaction peut réduire les émissions d'hydrocarbures HC et de monoxyde de carbone CO, mais augmenter la production de NO_2.</p>
<p>Apport d'un additif</p> <p>Un additif, généralement à base de fer, est ajouté au carburant, en très faible concentration (maximum 1%). Après la combustion, l'additif est réparti de manière homogène dans la suie. Il fonctionne comme un catalyseur et abaisse la température d'ignition de la suie.</p>

Tab. 3: Véhicules d'essai.

<p>Lindner Geotrac 65</p>  <p>Puissance du moteur: 48 kW selon ISO Prescriptions relatives aux gaz d'échappement: Phase 1 Principe du filtre: Revêtement catalytique Fabricant du filtre: Engelhard Installateur: Baumot Montage: 14.1.2005 à 1018 heures Heures d'utilisation du filtre: Plus de 519 heures Domaine d'utilisation: Travaux de ferme et des champs, utilisation devant des remorques mélangeuses</p>	<p>Fendt 411 Vario</p>  <p>Puissance du moteur: 81 kW selon ECE Prescriptions relatives aux gaz d'échappement: Phase 2 Principe du filtre: Catalyseur additionnel CRT Fabricant du filtre: Johnson Matthey Installateur: Hüga Montage: 21.2.2005 à 452 heures Heures d'utilisation du filtre: Plus de 956 heures Domaine d'utilisation: Moyens à gros travaux dans les champs, transports</p>	<p>Schäffer 4042 (chargeur automoteur)</p>  <p>Puissance du moteur: 29 kW selon ISO Prescriptions relatives aux gaz d'échappement: Phase 1 Principe du filtre: Brûleur diesel Fabricant du filtre: ATH Installateur: Baumot Montage: 7.3.2005 à 509 heures Heures d'utilisation du filtre: Plus de 598 heures Domaine d'utilisation: Travaux de manutention, évacuation du fumier dans les étables</p>
<p>Hürlimann XT 908</p>  <p>Puissance du moteur: 63 kW selon DIN Prescriptions relatives aux gaz d'échappement: Aucune Principe du filtre: Apport d'additif Fabricant du filtre: HUSS Umwelttechnik Installateur: HUSS Umwelttechnik Montage: 30.3.2005 à 1153 heures Heures d'utilisation du filtre: 350 heures Domaine d'utilisation: Travaux de sylviculture, utilisation devant une fendeuse à bois</p>	<p>Valtra 6350-4 bleu</p>  <p>Puissance du moteur: 66 kW selon DIN Prescriptions relatives aux gaz d'échappement: Phase 1 Principe du filtre: Revêtement catalytique Fabricant du filtre: Engelhard Installateur: Baumot Montage: 1. : 25.7.2005 à 1105 heures 2. : 1.11.2005 à 1233 heures Heures d'utilisation du filtre: 1. : 0 heures 2. : plus de 641 heures Domaine d'utilisation: Moyens à gros transports, travaux de treuillage</p>	<p>Deutz Agrotron K100</p>  <p>Puissance du moteur: 70 kW selon ECE Prescriptions relatives aux gaz d'échappement: Phase 2 Principe du filtre: Chauffage électrique Fabricant du filtre: Johnson Matthey Installateur: Minelli AG Montage: 16.12.2005 à 20 heures Heures d'utilisation du filtre: Plus de 472 heures Domaine d'utilisation: Transport et travaux des champs, épandage du lisier</p>
<p>Valtra 6350-4 rouge</p>  <p>Puissance du moteur: 74 kW selon ISO Prescriptions relatives aux gaz d'échappement: Phase 2 Principe du filtre: Catalyseur additionnel CRT Fabricant du filtre: Johnson Matthey Installateur: Minelli AG Montage: 1. : 19.12.2005 à 9 heures 2. : 11.5.2006 à 225 heures 3. : 28.6.2006 à 280 heures 4. : 7.8.2006 à 389 heures Heures d'utilisation du filtre: 1. : 0 heures 2. : 46 heures 3. : 52 heures 4. : plus de 146 heures Domaine d'utilisation: Sylviculture</p>	<p>John Deere 6620</p>  <p>Puissance du moteur: 92 kW selon ECE Prescriptions relatives aux gaz d'échappement: Phase 2 Principe du filtre: Apport d'additif Fabricant du filtre: Daugbjerg Installateur: Bärle Agrotechnik GmbH Montage: 1. : 1.2.2006 à 320 heures 2. : 2.5.2006 à 383 heures 3. : 17.8.2006 à 497 heures Heures d'utilisation du filtre: 1. : 63 heures 2. : 95 heures 3. : 145 heures Domaine d'utilisation: Divers travaux comme tracteur de présentation</p>	<p>Same Dorado 75</p>  <p>Puissance du moteur: 53 kW selon ECE Prescriptions relatives aux gaz d'échappement: Aucune Principe du filtre: Revêtement catalytique Fabricant du filtre: HUG Engineering Installateur: Hüga Montage: 1. : 22.6.2006 à 1698 heures 2. : 10.7.2006 à 1710 heures 3. : 21.7.2006 à 1720 heures 4. : 1.9.2006 à 1766 heures Heures d'utilisation du filtre: 1. : 12 heures 2. : 9 heures 3. : 46 heures 4. : 128 heures Domaine d'utilisation: Travaux des champs, légers à moyens</p>

supplémentaire ou une réduction de la température d'inflammation de la suie. Les tableaux 1 et 2 présentent les filtres utilisés pendant l'essai. Outre les systèmes décrits, il existe également des combinaisons entre systèmes actifs et passifs (par exemple chauffage électrique et apport d'additif) ou entre deux types de systèmes passifs (par exemple catalyseur additionnel et filtre avec revêtement). Un système utilisé dans les essais préalables, mais pas dans l'essai pratique, consiste à juguler l'arrivée d'air à l'aide d'une soupape et à augmenter brièvement et de manière ciblée la température des gaz d'échappement.

Systèmes actifs

Dès que le filtre est plein, ces systèmes fournissent un apport supplémentaire d'énergie qui permet la combustion de la suie. De tels systèmes conviennent pour les véhicules dont la température des gaz d'échappement est réduite, c'est-à-dire qui ne sont utilisés que pour de courtes périodes ou dont le moteur est faiblement sollicité.

Systèmes passifs

Grâce à différentes adaptations, ces systèmes permettent d'abaisser la température d'inflammation de la suie à 250°C – 300°C. La suie se consume automatiquement dès que cette température est atteinte pendant le fonctionnement du véhicule. Ces systèmes conviennent pour les véhicules dont les gaz d'échappement atteignent régulièrement des températures élevées.

Déroulement de l'essai et véhicules testés

Afin d'étudier les possibilités d'installer des filtres à particules a posteriori, on a sélectionné huit tracteurs et un chargeur automoteur qui sont utilisés dans différents domaines de l'agriculture et de la sylviculture, dans le but de couvrir le plus grand nombre de travaux différents. Ces véhicules sont équipés de moteurs qui répondent à la phase 2 des prescriptions relatives aux gaz d'échappement ou sont plus anciens. Les températures de gaz d'échappement des véhicules testés ont été saisies sur une longue période à l'aide d'un enregistreur de données. On a ensuite donné aux fournisseurs de filtres la possibilité de choisir les véhicules qu'ils souhaitaient équiper. Les filtres étaient choisis par les fournisseurs qui

se chargeaient eux-mêmes du montage sur les véhicules.

Le degré d'efficacité des filtres a été mesuré au banc d'essai peu après la mise en service, ainsi qu'un an après. Pendant l'utilisation pratique, les paramètres importants tels que la température des gaz d'échappement et la contre-pression des gaz d'échappement ont également été relevés à l'aide d'un enregistreur de données. Les pannes et les problèmes liés aux filtres ont été consignés dans un journal.

Le tableau 3 indique non seulement les données techniques des véhicules, mais aussi les fabricants et les installateurs des filtres, ainsi que les dates de montage avec les heures d'utilisation respectives. Lorsque plusieurs montages se sont avérés nécessaires, le tableau répertorie toutes les données. Lorsque la ligne des heures d'utilisation du filtre indique «plus de», cela signifie que le filtre est toujours sur le véhicule et que le tracteur avait déjà accompli le nombre d'heures indiqué avec le filtre au milieu du mois de janvier 2007. Lorsque le chiffre est indiqué de manière définitive, cela signifie que le filtre a dû être démonté suite à un encrassement ou à une panne. Au milieu du mois de janvier 2007, six des neuf véhicules testés étaient encore équipés d'un filtre à particules.

Mesures au banc d'essai

Les mesures des gaz d'échappement ont été effectuées selon le cycle FAT à six points de charge. Ce cycle comprend six points différents sur la courbe du moteur. Ces points ont été pondérés selon leur pourcentage et convertis pour aboutir à un résultat final. La puissance a été relevée à la prise de force. Le chargeur automoteur est le seul véhicule sur lequel la puissance a dû être mesurée de manière hydraulique. Le cycle de mesure n'a pas non plus pu être appliqué à ce véhicule, car il n'a pas été possible de relever les fortes puissances de manière hydraulique. C'est pourquoi on a utilisé d'autres points de mesure avec une charge inférieure.

Particules

Pour mesurer le degré d'efficacité du filtre, on a utilisé un compteur de particules CPC de l'entreprise TSI. Le prélèvement, la dilution et le conditionnement des gaz d'échappement ont été effectués avec l'appareil «NanometC» de l'entreprise Matter Engineering. Un système de dilution à disque rotatif chauffé permet de prélever une petite part du flux de gaz d'échappement et de le diluer à l'aide d'air filtré. La dilution empêche que les particules de suie ne s'agglomèrent en structures plus importantes. Le chauffage prévient la con-

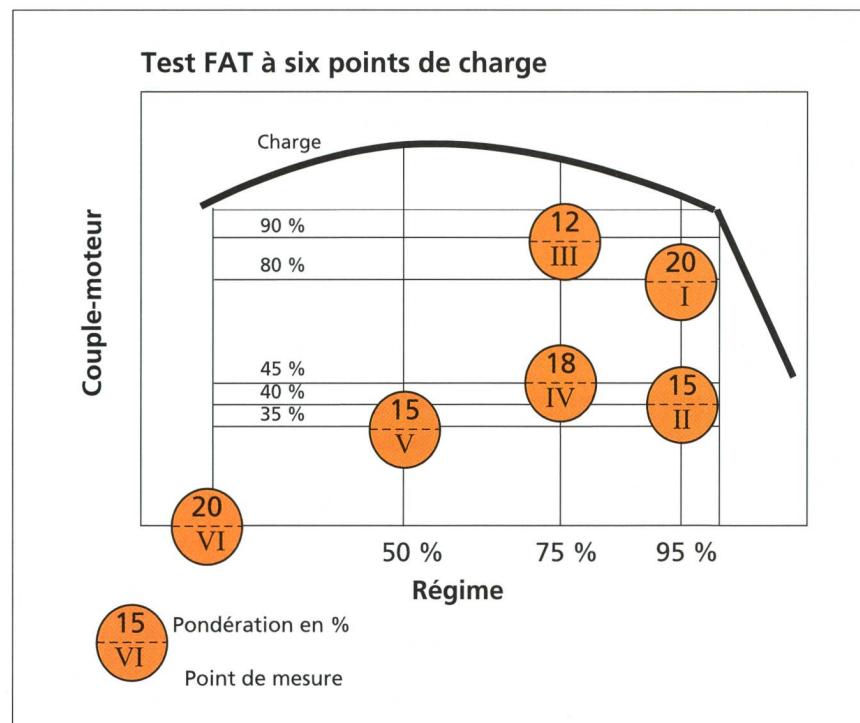


Fig. 3: Cycle de mesures à six points de charge.

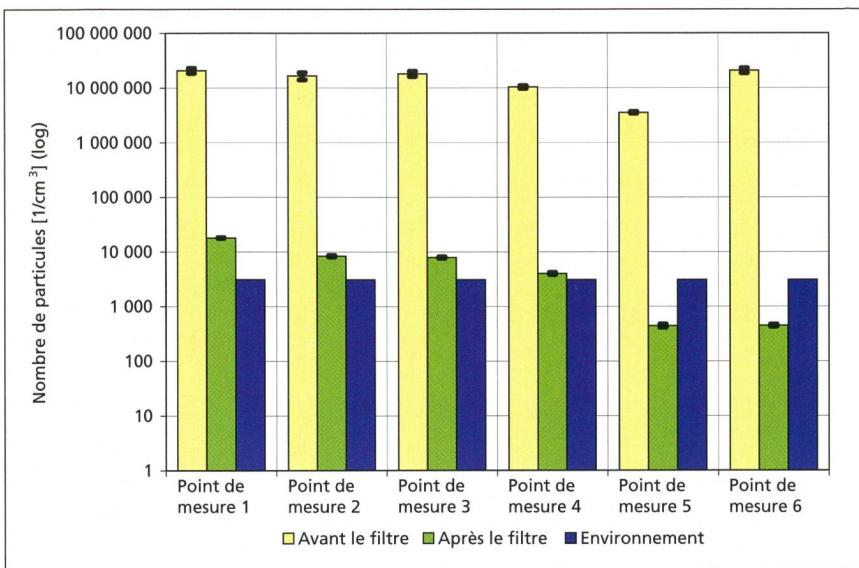


Fig. 4: Degré d'efficacité d'un filtre à particules avec le cycle de mesure FAT à six points de charge. Le nombre de particules est représenté sur une échelle logarithmique. Chaque trait de l'échelle est multiplié par un facteur dix par rapport au trait inférieur.

densation. Le flux de gaz d'échappement dilué est ensuite chauffé à 300 °C pour éliminer tous les composants volatiles. Pour pouvoir être comptées, les très petites particules sont conduites dans un bain de butanol (bain d'alcool). Les particules fonctionnent comme des noyaux de condensation autour desquels le butanol vient se fixer. De cette façon les particules atteignent une taille suffisante pour être détectées par un compteur laser.

Tous les systèmes de filtres fermés mesurés jusqu'ici affichaient un taux d'efficacité élevé à l'état neuf puisqu'ils étaient en mesure d'éliminer plus de 99 % des particules (fig. 4). Le nombre de particules par centimètre cube est indiqué sur l'axe vertical. Les différents points de mesure correspondent au cycle à six points de charge. Le point de mesure 1 correspond à un régime et une charge élevés, le point de mesure 6 correspond au ralenti du moteur. Avant le filtre, les gaz d'échappement contiennent environ 10 millions de particules par centimètre cube. Ce nombre élevé dans un si petit volume montre à quel point les particules sont ultrafines. Après le filtre, on détecte encore des particules, mais les valeurs sont nettement plus basses. Au point de mesure 1, on relève encore 10 000 particules par centimètre cube, au point de mesure 6 (ralenti), on compte moins de mille particules par centimètre cube, soit même encore moins de particules que dans l'environnement. On constate donc une efficacité des filtres très élevée, avec plus de 99 %. Ce taux d'ailleurs été atteint par tous les filtres.

Même après une année d'utilisation, on a encore relevé un taux d'efficacité aussi élevé sur les filtres. Seul un système présentait de petites fuites qui ont conduit à une baisse du taux d'efficacité à 97 %.

Autres composants des gaz d'échappement

Les autres polluants gazeux, comme l'oxyde d'azote NO_x, les hydrocarbures HC et le monoxyde de carbone CO ont été relevés à l'aide d'un dispositif Pierburg AMA2000 de mesure des gaz d'échappement. Comme le

dioxyde d'azote NO₂ n'est pas directement mesurable, on a calculé son taux en faisant la différence entre les oxydes d'azote NO_x et le monoxyde d'azote NO.

Lors des mesures, on a observé que les systèmes qui utilisent un catalyseur additionnel ou les filtres qui possèdent un revêtement de platine sont en mesure de réduire considérablement le pourcentage de monoxyde de carbone CO et d'hydrocarbures HC dans les gaz d'échappement (fig. 5). La somme des oxydes d'azote NO_x reste inchangée, tandis que l'émission de dioxyde d'azote NO₂, elle, augmente (fig. 6). Il se produit un excédent de NO₂, lorsque le catalyseur oxyde plus de NO en NO₂ que ce qui est nécessaire à la combustion de la suie.

Puissance

Outre les valeurs des gaz d'échappement, la puissance des véhicules testés a également fait l'objet de relevés. Sachant que la contre-pression dépend du chargement du filtre et du type du silencieux original, il est difficile de se prononcer de manière générale quant aux pertes de puissance. Aucune perte de puissance n'a été constatée sur les véhicules sur lesquels la contre-pression avec le filtre est restée la même qu'avec le silencieux original. En cas d'augmentation de la contre-pression, comme c'était parfois le cas lors des premiers essais de montage, on a observé une perte de puissance de 3 % maximum.

Afin d'illustrer la dépendance entre la contre-pression et la puissance, on a effectué

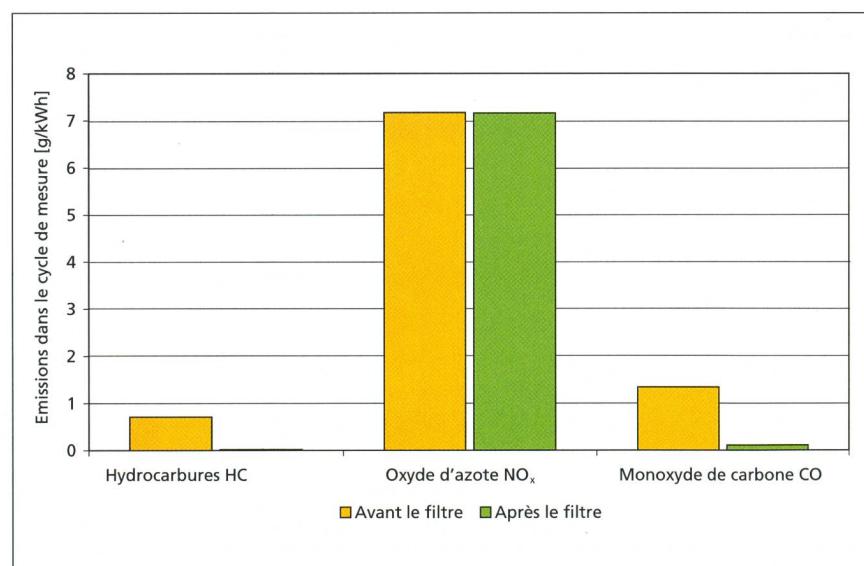


Fig. 5: Influence d'un système CRT sur les émissions des autres composants des gaz d'échappement dans le cycle de mesure: le CO et les HC sont réduits massivement, le NO_x reste tel quel. Mesures effectuées sur le tracteur Valtra 6350-4 rouge.

des mesures sur un moteur équipé du silencieux original et sur lequel l'échappement était plus ou moins rétréci à l'aide d'un volet réglable. A la puissance nominale, le silencieux produisait une contre-pression de 60 mbar. Un rétrécissement de l'échappement entraînait une augmentation de la contre-pression. La figure 7 représente la puissance nominale du moteur en fonction de la contre-pression. L'augmentation de la contre-pression de 60 mbar à 150 mbar entraîne une perte de puissance de 1 kW à la puissance nominale. 150 mbar est une valeur d'alarme typique sur les filtres à particules. C'est pourquoi les contre-pressions des filtres se situent généralement en dessous de ce seuil dans la pratique. Les pertes de pression sont par conséquent minimales, elles aussi. Si la contre-pression augmente encore jusqu'à 240 mbar, la perte de puissance est de 1,6 kW.

Comme la quantité d'injection ne peut pas être augmentée à puissance maximale, la consommation absolue de carburant en litres par heure reste constante. La consommation spécifique en g/kWh augmente toutefois, car la consommation est divisée par une puissance inférieure. Au régime de charge partielle, régime auquel le moteur fonctionne généralement, le débit d'air est plus faible, ce qui se traduit par une contre-pression plus faible. C'est pourquoi la perte de puissance ici est encore plus réduite qu'à pleine charge.

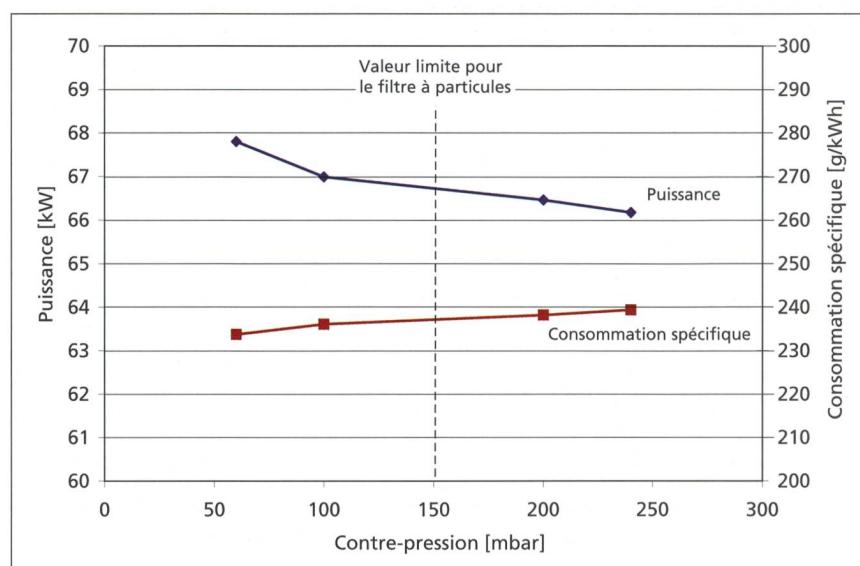


Fig. 7: Influence de la contre-pression des gaz d'échappement sur la puissance nominale et sur la consommation spécifique pour le moteur S.L.H. 1000.4WT.

Enregistreur de données

Un enregistreur de données était installé sur tous les véhicules testés. Il relevait en permanence les températures des gaz d'échappement avant et après le filtre, ainsi que la contre-pression de ces gaz. Comme les enregistreurs de données ont été installés un an avant le montage du filtre, ils permettent d'identifier les changements liés à la mise en place du filtre. L'évolution de la contre-pression constitue un indice

essentiel et permet de constater une éventuelle perturbation de la puissance suite à la présence du filtre. La figure 8 représente l'évolution de la contre-pression avant et après le montage du filtre sur le tracteur Lindner Geotrac 65. Les colonnes de gauche indiquent la contre-pression avec le silencieux original, les colonnes de droite la contre-pression avec le filtre à particules. Les colonnes claires représentent la contre-pression maximale mesurée, les colonnes foncées, elles, illustrent la contre-pression moyenne de la période concernée. Les légères fluctuations des contre-pressions sont dues aux différents travaux effectués par le tracteur. Un moteur soumis à une forte charge entraîne un débit d'air élevé et par conséquent, une forte contre-pression des gaz d'échappement. Après le montage du filtre, le tracteur a également été utilisé pour les mêmes travaux. La contre-pression évolue dans la même plage qu'avant le montage, ce qui prouve que le moteur n'est soumis à aucune charge supplémentaire. C'est pourquoi la puissance et la consommation restent quasiment équivalentes. Sachant que la contre-pression augmente également plus le filtre est chargé en suie ou en cendres, elle constitue donc un indicateur important pour signaler la nécessité d'une régénération ou aussi d'un nettoyage du filtre.

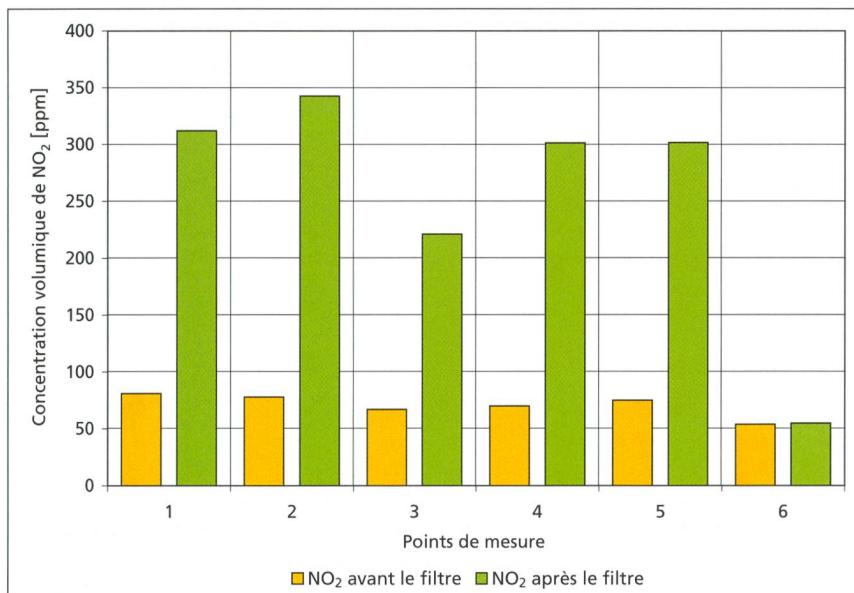


Fig. 6: Influence d'un système CRT sur le NO₂ pour les six points de mesure. Avec les systèmes CRT, il peut se produire un excédent de NO₂, lorsque la quantité de NO₂ oxydé dépasse la quantité nécessaire à la régénération. Mesures effectuées sur le tracteur Valtra 6350-4 rouge.

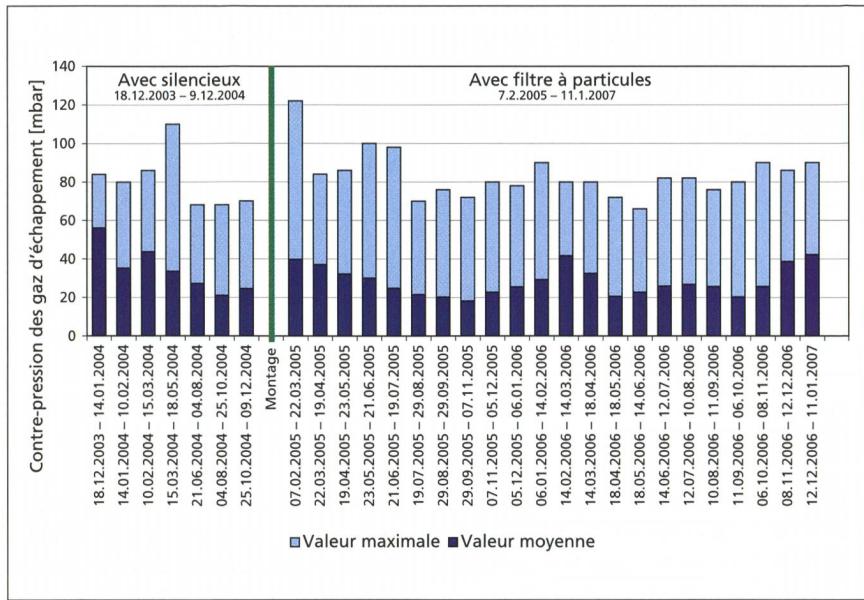


Fig. 8: Relevé de la contre-pression par l'enregistreur de données sur le Lindner Geotrac 65.

Expériences pratiques

Montage

Lors du montage d'un filtre à particules, il est important de choisir le bon emplacement, ce qui ne va pas sans difficulté. D'un côté, avec les systèmes passifs, le filtre devrait être monté le plus près possible du moteur, de façon à éviter au maximum les pertes de chaleur entre le moteur et le filtre. D'un autre côté, la restriction maximale du champ de vision ne devrait pas être trop importante. Ce point est défini dans la directive 74/347/CEE concernant le rapprochement des législations des États membres relatives au champ de vision et aux essuie-glaces des tracteurs agricoles ou forestiers à roues.

Il faut également tenir compte des travaux effectués par le tracteur. Lorsque le tracteur est fréquemment équipé d'outils montés en position frontale, ces derniers doivent pouvoir être surveillés depuis la cabine. Le filtre à particules peut certes remplacer le silencieux original, mais le filtre correctement posé est généralement plus grand. Or, il faut un filtre d'une certaine taille pour atteindre une faible contre-pression des gaz d'échappement. Sur quelques véhicules testés, il a fallu remplacer les filtres montés initialement par des filtres plus grands, car la contre-pression des gaz d'échappement était trop élevée. Ce point prouve également que ce n'est pas la puissance qui détermine la taille du filtre, mais essentiellement le débit d'air du moteur. Lors de

l'essai, certains systèmes de brûleur n'ont pu être montés qu'en position horizontale, car les bougies de préchauffage devaient absolument être en position verticale. Sinon, la plupart des filtres peuvent être montés aussi bien en position horizontale que verticale.

Maintenance des filtres

Régénération

Tandis que la régénération se fait automatiquement sur les systèmes de filtres passifs dès que la température des gaz d'échappement est suffisamment haute, il faut déclencher le processus de temps en temps sur les filtres actifs. Le dispositif de contrôle du filtre indique le degré de remplissage du filtre, ce qui permet de définir le moment opportun pour une régénération. Dans le cas des systèmes de brûleurs, le travail se limite à lancer la séquence correspondante sur le dispositif de surveillance du filtre, sur moteur à l'arrêt. Dans le cas des systèmes électriques où la régénération se fait à partir d'une prise de courant, le filtre doit être raccordé à la station de régénération par une conduite d'air et un câble électrique. L'intervalle entre les opérations de régénération oscille entre huit et plus de trente heures de service, en fonction des travaux effectués par le tracteur. Avec le système de brûleur, la régénération dure environ 15 minutes. La régénération électrique dure, elle, environ une heure.

Nettoyage des cendres du filtre

Lors de la régénération, la suie ne se consume pas entièrement en dioxyde de car-

bone CO₂. Il reste un peu de cendre qui se compose de résidus non combustibles de diesel et de lubrifiants ainsi que d'additifs. Comme cette cendre bouche les pores du filtre, il faut l'éliminer et nettoyer le filtre de temps en temps. Une contre-pression élevée est le signe que de la cendre s'est accumulée sur le filtre. Lors du nettoyage effectué par le fournisseur du filtre, le filtre est chauffé à l'aide d'un four électrique et la cendre résiduelle est soufflée à contre-sens par de l'air comprimé. La cendre est ainsi collectée et éliminée dans les règles. Une part des véhicules testés ont déjà été soumis à ce type de nettoyage. Dans un cas, le nettoyage a déjà dû être effectué au bout de 250 heures, dans deux autres cas au bout de 500 heures. Les intervalles de nettoyage dépendent des indications du fabricant, mais aussi de la consommation d'huile du moteur. L'utilisation d'huiles moteur spéciales permet de réduire la production de cendres.

Expériences et pannes

Au cours de l'essai, certains véhicules ont connu des pannes minimales ou graves. Toutefois, il serait faux de décrire que les filtres à particules concernés ne fonctionnent pas parce qu'ils ont eu des pannes pendant l'essai. Le bon fonctionnement d'un filtre dépend bien plus d'une harmonisation correcte entre le système de filtre et l'emploi du véhicule. Dans un cas, le système de filtre choisi ne convenait pas pour l'utilisation du véhicule, ce qui s'est traduit par une panne. Durant l'essai, aucun moteur n'a été endommagé.

– Lindner Geotrac 65

Ce tracteur est généralement utilisé devant une remorque mélangeuse. L'importante sollicitation du moteur pendant le procédé de mélange se traduit par des températures élevées. Comme les températures sont atteintes régulièrement, le système de filtre passif assure une régénération très fiable. Aucun problème n'a été constaté sur ce véhicule par ailleurs.

– Fendt 411 Vario

Après le montage, il a fallu installer une plaque de protection contre la chaleur le long du filtre, sans quoi il y aurait eu risque de brûlure au contact du filtre. Le tuyau d'échappement a également dû être raccourci, car il dépassait trop au-dessus de la cabine. Après quelques heures de fonctionnement du véhicule avec le filtre, on a constaté une fissure

sur le couvercle supérieur du filtre à particules. Cette fissure des soudures a été causée par les mouvements relatifs entre l'échappement et le filtre, parce que le filtre était monté sur le châssis et le tuyau d'échappement sur la cabine à suspension élastique. Le problème a pu être résolu grâce à un montage élastique du tuyau d'échappement. En outre, des pannes fréquentes du dispositif de contrôle du filtre ont été observées sur ce tracteur. Les capteurs ont été endommagés, de même que l'unité de surveillance qui a d'ailleurs dû être changée.

- Schäffer 4042

Le filtre de ce chargeur automoteur est en mesure d'emmagerer la suie pendant huit à dix heures. La régénération à l'aide du brûleur dure dix bonnes minutes. Pendant ce laps de temps, le moteur doit être arrêté. Le brûleur a connu deux pannes, suite à une bougie de préchauffage défectueuse sur le brûleur diesel. Ce problème empêchait la régénération de se faire et la bougie de préchauffage a dû être changée.

- Hürlimann 908 XT

Au départ, il était prévu d'équiper ce tracteur utilisé dans la sylviculture d'un système de filtre actif avec brûleur. Pour une question de place, ce système qui doit obligatoirement être placé à l'horizontale, n'a pas pu être installé. C'est pourquoi on a monté un filtre passif avec apport d'additif et alimentation par un petit réservoir supplémentaire. Lorsque le tracteur a été utilisé plusieurs jours à très faibles charges devant la fendeuse à bois, la température des gaz d'échappement s'est avérée trop faible pour une régénération. De plus, comme le moteur tournait en permanence au ralenti, de l'huile-moteur a pénétré dans la chambre de combustion, dans le système d'évacuation des gaz d'échappement, puis dans le filtre qui a fini par se boucher. Il a alors fallu démonter le filtre et le soumettre à une régénération externe. Après nettoyage, le même filtre a été remis en place. Pendant les travaux de treuillage ou de la fendeuse à bois, les gaz d'échappement n'ont de nouveau pas atteint la température nécessaire à la régénération, ce qui s'est traduit par des contrepressions de l'ordre de 200 mbar. Ces conditions ont entraîné une baisse importante de l'efficacité du filtre, preuve que le monolyte lui-même était endommagé. Le filtre a donc dû être démonté.

- Valtra 6350-4 bleu

Le premier filtre installé a entraîné une contre-pression tellement élevée qu'il a dû être retiré aussitôt. Le filtre à revêtement, installé par une autre entreprise par la suite, assure une régénération très fiable. Le silencieux original est d'abord resté en place, avant le filtre. Il a finalement fallu le supprimer, car il causait une contre-pression supplémentaire et faisait chuter la température des gaz d'échappement.

- Deutz Agrotron K100

Le système de filtre à régénération électrique peut emmagasiner la suie sur une période de dix à trente heures et plus. La durée dépend essentiellement de l'utilisation du tracteur. Si le tracteur est soumis à une charge importante et régulière, il est possible d'atteindre des périodes plus longues, car les températures élevées permettent une régénération automatique. En cas de travaux de courtes durées et de changement fréquent de charges, la durée de stockage de la suie diminue. Il faut compter environ une heure pour brûler la suie. Le filtre doit être raccordé à la station de régénération fixe et le procédé se déroule de façon entièrement autonome. Jusqu'ici, aucun problème n'a été constaté avec ce véhicule.

- Valtra 6350-4 rouge

Comme ce tracteur sylvicole était égale-

ment équipé d'un chargeur frontal, on a tenté d'installer le filtre sous le capot du moteur. Un premier filtre à revêtement de forme ovale s'est avéré trop petit et a dû être remplacé. Une deuxième tentative qui consistait en une séparation spatiale du système CRT entre le catalyseur et le filtre a également échoué, car la distance entre le catalyseur et le filtre était trop importante. L'autre système CRT mis en place par la suite était trop petit pour pouvoir effectuer une régénération efficace étant donné la faible température des gaz d'échappement dans les travaux de sylviculture. Le système plus volumineux, monté à l'extérieur du compartiment du moteur, fonctionne jusqu'à ce jour. Ces essais ont permis d'étudier les limites des possibilités de montage de ce système et de tester différentes solutions.

- John Deere 6620

Sur ce tracteur, on a installé un filtre qui n'a pas été testé selon la procédure VERT. Le premier filtre a généré une contre-pression de 170 mbar à la puissance nominale, ce qui a entraîné une légère perte de puissance de 2.5 % à puissance maximale. Il a donc été remplacé par un filtre pourvu de canaux plus fins et plus nombreux. Avec le deuxième filtre, on a constaté des fissures sur les jonctions du monolyte. Selon le fabricant, ce problème est dû à un défaut de fabrication et à l'absence d'espace libre qui aurait

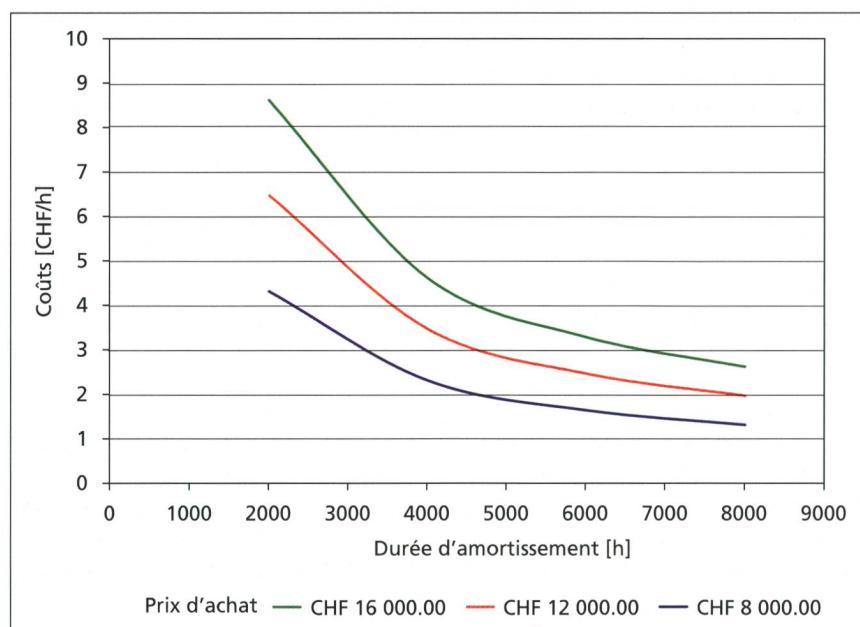


Fig. 9: Coûts supplémentaires par heure de fonctionnement pour l'amortissement, les intérêts et l'assurance-incendie d'un filtre à particules, pour une utilisation annuelle de 600 heures.

dû absorber les mouvements induits par les fluctuations de températures. On a également constaté des fissures sur les jonctions du troisième filtre qui a dû, lui aussi, être démonté.

- Same Dorado 75

Sur ce tracteur équipé d'un moteur à aspiration naturelle avec refroidissement à air, on a installé des filtres à revêtement. On a totalisé quatre pannes de filtres. Les pannes tiennent au fait que les filtres étaient encore en phase de développement. La température maximale des gaz d'échappement autorisée pour les filtres, soit 600 °C, a été dépassée pour de courtes périodes. Par ailleurs, la perturbation du champ de vision suite au montage du filtre dépassait de loin ce qui est autorisé dans les directives légales. C'est pourquoi ce tracteur fonctionne de nouveau sans filtre.

Coûts

L'investissement nécessaire pour l'installation d'un filtre à particules sur un tracteur de taille moyenne est compris entre CHF 8000.– et 15 000.–. Ce prix comprend le montage. Le prix dépend de plusieurs facteurs: la taille du moteur, le système de filtre et surtout la complexité du montage. S'il faut réviser le moteur avant de monter le filtre, parce qu'il consomme trop d'huile, cette intervention entraîne des coûts supplémentaires. Comme il n'est pas encore possible de se prononcer sur la durée de vie d'un filtre, il est extrêmement difficile d'estimer les coûts supplémentaires par heure de fonctionnement. La figure 9 répertorie les coûts supplémentaires auxquels il faut s'attendre par heure de fonctionnement pour l'amortissement, les intérêts et l'assurance-incendie du filtre à particules pour différentes catégories de prix et différentes durées d'amortissement. Le calcul se base sur une utilisation annuelle de 600 heures, ce qui correspond à l'utilisation d'un tracteur neuf, bien rentabilisé. Les calculs partent également d'un taux d'intérêt de 3,5 % et d'une assurance-incendie de 0,2 %. Hormis le prix d'achat, il faut également tenir compte des coûts récurrents liés à la maintenance et à l'entretien. Le nettoyage du filtre pour éliminer la cendre, qui doit être effectué toutes les 250 à 10000 heures, entraînent des coûts supplémentaires de CHF 500.– par nettoyage. D'autres coûts peuvent également venir se greffer là-dessus:

- Coût du courant pour la régénération avec systèmes électriques:

Il faut compter 2 kWh par régénération, ce qui correspond à environ 40 centimes de frais pour le courant. La régénération a lieu à peu près toutes les dix heures, ce qui augmente de 4 centimes le coût de l'heure de fonctionnement du tracteur.

- Coûts de l'additif dans les systèmes avec additif:

Les coûts d'un litre d'additif s'élèvent à CHF 100.–. Pour un mélange à 0,5 % avec le diesel et une consommation horaire de 8 litres de diesel, le coût de l'heure de fonctionnement du tracteur augmente de 40 centimes.

- Coûts du carburant pour la régénération avec brûleur:

Il faut compter près d'1 dl de diesel par régénération. Moyennant un intervalle de régénération de dix heures et un prix du diesel de CHF 1.70, le coût de l'heure de fonctionnement du tracteur augmente de moins de 2 centimes.

- Coûts éventuels liés à l'utilisation d'une huile-moteur spéciale permettant de limiter la production de cendres. Une huile-moteur qui limite la production de cendres coûte environ 15 à 25 % de plus.

Exemple de renchérissement des coûts de fonctionnement suite à l'utilisation de filtres à particules

Les hypothèses suivantes ont servi de base

- prix d'achat du filtre: CHF 12 000.–
- système de filtre passif sans suppléments
- durée d'amortissement du tracteur et du filtre: 7200 heures
- taux d'intérêt 3,5 %, assurance-incendie 0,2 %
- nettoyage du filtre toutes les 400 heures pour CHF 500.–
- taux d'utilisation annuelle: 600 heures
- prix de revient du tracteur (coûts liés à l'amortissement, aux intérêts, aux assurances et taxes, au carburant et aux réparations) de CHF 37.30 par heure de fonctionnement (tracteur de 100 CV) (Source: Tarifat)

On constate un renchérissement de 9 % de l'heure de fonctionnement, sachant qu'on est parti d'une durée de vie du filtre de 7200 heures, ce qui est optimiste. Comme les différents éléments de coûts peuvent varier, par exemple suite à un prix d'achat différent, une durée de vie plus courte du filtre et des frais d'entretien variables, ce renchérissement ne peut pas être appliqué systématiquement à tous les modèles de fil-

tres. Les calculs montrent que dans le cas le plus économique, les coûts supplémentaires représentent 5 % par heure de fonctionnement. Si le modèle effectue le calcul avec un filtre très cher, dont la durée de vie n'est que de 2000 heures et qui entraîne également des frais d'entretien très élevés, le renchérissement de l'heure de fonctionnement du tracteur peut aller jusqu'à 23 %.

Perspectives

Le développement des filtres fait des progrès rapides. De nouveaux systèmes de régénération sont désormais sur le marché notamment pour les systèmes actifs. La combustion catalytique du carburant avant le filtre offre par exemple une possibilité d'augmenter la température des gaz d'échappement. Il est également possible de combiner systèmes actifs et passifs. De tels systèmes pratiquent une régénération continue lorsque les températures des gaz d'échappement sont élevées. Lorsque les températures ne sont plus atteintes, un apport d'énergie supplémentaire permet la régénération. La fabrication de filtres étant à la hausse et la production en optimisation permanente, le prix d'achat des filtres va baisser lui aussi. On peut s'attendre à ce que l'expérience croissante et la standardisation partielle sur les véhicules les plus répandus permettent également de réduire la durée du montage et donc son coût.

Dans la législation européenne, la valeur limite des particules sera nettement abaissée avec la norme UE pour les véhicules > 37kW dans les années 2011 à 2013, qui prévoit une modulation par catégorie de puissance. Cette valeur limite se réfère toutefois à la masse des particules et non à leur nombre. Voici les solutions techniques envisageables pour parvenir à respecter ce seuil:

- moteur avec recirculation des gaz d'échappement et filtre à particules fermé
- moteur avec recirculation des gaz d'échappement et filtre ouvert ou catalyseur d'oxydation
- moteur avec système SCR, resp. système SCRT. Avec les systèmes SCR (selective catalytic reduction), les oxydes d'azote contenus dans les gaz d'échappement sont éliminés dans le système d'évacuation par injection d'une solution d'urée. Ce dispositif permet de régler le moteur pour avoir une faible émission de masses de particules et une forte émission de NOx, substance réduite a posteriori. Les

systèmes SCRT associent le système SCR à un filtre à particules.

Conclusion

L'efficacité des filtres fermés est très élevée puisqu'ils sont capables d'éliminer plus de 99 % des particules. Au cours de l'essai, certains filtres ont connu des problèmes. Les pannes allaient de contre-pressions trop élevées nécessitant l'installation d'un filtre plus grand jusqu'à trois véhicules ayant subi une ou plusieurs défections des filtres, en passant par des problèmes avec le dispositif électronique de contrôle des filtres. Toutefois, aucun moteur n'a été endommagé. Les pannes de filtres ont plusieurs causes. Un modèle de filtre se situait encore au stade de prototype et un véhicule n'a pas atteint les températures de gaz d'échappement nécessaires pour le système passif. Il faut ajouter qu'au même moment, le moteur a commencé à pomper de l'huile à bas régime, ce qui a encrassé le filtre.

Les véhicules utilisés pour l'essai dataient de 2000 ou étaient encore plus récents. Dans le présent essai, aucune expérience n'a été faite avec des systèmes de filtres montés sur des tracteurs plus anciens ou modernes répondant à la phase 3A des prescriptions relatives aux gaz d'échappement (avec recirculation partielle des gaz d'échappement). L'installation a posteriori d'un filtre à particules sur les tracteurs est généralement faisable. Il faut toutefois tenir compte de quelques critères importants:

■ Le moteur doit être en bon état technique. Une consommation d'huile trop élevée laisse supposer que de l'huile non brûlée se trouve peut-être dans les gaz d'échappement, ce qui est mauvais pour les filtres à particules. Un moteur qui présente de tels signes doit être révisé avant l'installation du filtre.

■ Le système de filtre choisi doit être adapté à l'utilisation du véhicule. Il faut notamment faire attention aux travaux qui s'effectuent à faible charge. Si le tracteur est par exemple utilisé en été pour le transport et en hiver pour la sylviculture, le moteur est moins sollicité en hiver. Il faut donc trouver un système qui puisse également fonctionner dans de telles conditions. Dans le cas idéal, les températures des gaz d'échappement sont enregistrées au préalable sur une longue période d'utilisation.

- Les systèmes passifs peuvent être utilisés lorsque la température des gaz d'échappement est suffisamment élevée (en général > 250 °C pour un système CRT) pendant une période de fonctionnement suffisamment longue (en général > 40 % de la durée de fonctionnement du tracteur). Ces conditions dépendent du système et doivent être connues du fournisseur de filtre.
- Lorsque la température des gaz d'échappement est insuffisante ou incertaine, il faut prévoir un système actif. Dans le cas des systèmes avec brûleur, le moteur doit être arrêté pendant la phase de régénération. Les systèmes avec chauffage électrique doivent être raccordés à une station pour la régénération. Des systèmes sont en développement depuis peu qui permettent une régénération à partir du réseau de bord pendant le fonctionnement du tracteur.

■ Le filtre doit être conçu de manière à ce que la contre-pression dans le système de gaz d'échappement ne dépasse à aucun moment la valeur maximale indiquée par le fabricant. Cette valeur maximale est en général comprise entre 100 et 200 mbar. Cela signifie que le filtre doit être relativement grand suivant le débit d'air.

■ La mise en place et le montage du filtre sur les tracteurs peuvent être difficiles, car l'espace disponible est souvent très limité suivant les outils supplémentaires (par exemple chargeur frontal). Lorsque le filtre est placé sur le montant avant de la cabine, il faut tenir compte des directives légales en matière de limitation du champ de vision.

La règle d'or est la suivante: L'installation doit être adaptée individuellement à chaque véhicule. Il n'existe pas de solution universelle.

Liste des abréviations

OFEV	Office fédéral de l'environnement
VERT	Verminderung der Emissionen von Realmaschinen im Tunnelbau
CO₂	dioxyde de carbone
CO	monoxyde de carbone
NO	monoxyde d'azote
NO₂	dioxyde d'azote
NO_x	oxyde d'azote
HC	hydrocarbures
CRT	continuously regenerating trap (système de régénération)
SCR	selective catalytic reduction (système de réduction de l'oxyde d'azote)
µm	micromètre, 1 µm correspond à un millième de millimètre (taille)
°C	degré Celsius (température)
mbar	millibar (pression)
kW	kilowatt (puissance)
g/kWh	gramme par Kilowatt heure (consommation spécifique)
CHF	francs suisses (monnaie)

Remerciements

ART remercie les entreprises, les institutions et les personnes suivantes qui ont permis la réalisation de l'essai sur les filtres à particules pour tracteurs et y ont participé:

- les entreprises HÜGA, Baumot, Huss, Minelli, Bäurle qui ont participé à l'essai, ainsi que leurs fournisseurs de filtres,
- les responsables des entreprises participantes, qui ont soutenu le projet, personnellement et financièrement,
- l'OFEV pour le soutien financier apporté au projet,
- le groupe de suivi qui s'est engagé pour le projet et lui a donné un élan précieux,
- le groupe de travail composé de Messieurs Thomas Lutz (EPF Zurich), Andreas Mayer (TTM), Felix Reutimann (OFEV) et Edwin Stadler pour leur active collaboration, leurs conseils et les nombreuses discussions.

Impressum

Edition: Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen

Les Rapports ART paraissent environ 20 fois par an. – Abonnement annuel: Fr. 60.–. Commandes d'abonnements et de numéros particuliers: ART, Bibliothèque, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen, Tél. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90, E-Mail: doku@art.admin.ch, Internet: <http://www.art.admin.ch>

Les Rapports ART sont également disponibles en allemand (ART-Berichte). ISSN 1661-7576

Les Rapports ART sont accessibles en version intégrale sur notre site Internet (www.art.admin.ch).



Pour que l'agriculture reste un métier de rêve.



NEW HOLLAND

Pas facile d'en faire autant: des moteurs à trois ou **quatre cylindres** de la dernière génération jusqu'à 90 ch et un rapport poids-puissance incomparable. **Les tracteurs compacts à herbage NEW HOLLAND des séries TND/A et TNS/A:** un programme parfait pour le «cas particulier Suisse». En exclusivité avec l'essieu directionnel SuperSteer™ assurant une manœuvrabilité supérieure en combinaison avec un empattement court ainsi que des variantes d'équipement uniques dans cette catégorie de puissance. Par exemple le relevage hydraulique et la prise de force frontaux ou l'enclenchement automatique breveté de la traction intégrale pour décharger le conducteur. Votre agent NEW HOLLAND vous en apprendra encore davantage et reste à vos côtés depuis le financement jusqu'à la garantie en tant que partenaire compétent. C'est pourquoi vous devriez tout simplement lui téléphoner pour faire un essai: **et vous verrez ce que vous verrez!**



Forts à bras jusqu'à 90 ch
Rapport poids-puissance incomparable
Vivacité inégalée
Polyvalents et économiques
Vue panoramique
Réglage électronique du relevage
Ergonomie parfaite dans le cockpit
Manœuvrabilité extraordinaire
Essieu directionnel SuperSteer™ exclusif

BUCHER
landtechnik

Le partenariat
à valeur
ajoutée.



Service de pièces de rechange ordinaires NEW HOLLAND 24 h sur 24