

Zeitschrift: Technique agricole Suisse
Herausgeber: Technique agricole Suisse
Band: 63 (2001)
Heft: 4

Artikel: Augmentation de la puissance des moteurs de tracteur : influence du turbocompresseur et du refroidissement d'air de suralimentation sur la puissance, la consommation et l'émission de gaz d'échappement d'un moteur de tracteur
Autor: Stadler, Edwin / Schiess, Isidor
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1085352>

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>

Augmentation de la puissance des moteurs de tracteur

Influence du turbocompresseur et du refroidissement d'air de suralimentation sur la puissance, la consommation et l'émission de gaz d'échappement d'un moteur de tracteur

Edwin Stadler et Isidor Schiess, Station fédérale de recherches en économie et technologie agricoles (FAT), CH-8356 Tänikon

Le moteur de tracteur fait partie des moteurs incorporés et des moteurs industriels. Ces derniers sont conçus et fabriqués en grands nombres pour les besoins de l'industrie, du bâtiment, de l'agriculture et de l'économie forestière. Leur utilisation universelle permet la production de grosses quantités et donc la réduction des coûts de production. Suivant l'emploi prévu, unité d'entraînement pour des pompes, des générateurs, des chariots élévateurs, des machines pour le bâtiment ou des tracteurs, les exigences techniques et écologiques ne sont pas les mêmes. Actuellement, les moteurs de tracteurs sont généralement fabriqués selon un système modulaire, en version trois, quatre et six cylindres

avec un volume d'environ un litre par cylindre. Leur puissance va d'environ 40 à 120 kW. Jusqu'à présent pour adapter la puissance du moteur à la puissance nominale requise, on jouait principalement sur le nombre de cylindres. Aujourd'hui, on a de plus en plus souvent recours à un turbocompresseur et, bien que moins fréquemment, à un système supplémentaire de refroidissement d'air de suralimentation. Le présent essai a pour but de montrer quels sont les effets du turbocompresseur (T) et du refroidissement d'air de suralimentation (R) utilisés pour augmenter la puissance du moteur. L'étude porte sur un moteur de tracteur diesel, très répandu, à aspiration, quatre cylindres et refroi-

dissement à eau. L'essentiel de l'essai a consisté à observer le comportement du moteur en termes de couple moteur, de puissance, de consommation de carburant et de gaz d'échappement (fig. 1). Toutes les mesures ont été effectuées au banc d'essai de la FAT à Tänikon et ont donné les résultats suivants. Une augmentation de la puissance de 25 % avec le turbocompresseur (T) et jusqu'à 45 % avec un système supplémentaire de refroidissement d'air de suralimentation (R) s'avèrent tout à fait possibles. La consommation spécifique de carburant a également pu être améliorée de 4 à 7 %, à l'exception de la plage de régime la plus basse. Par ailleurs, l'émission de gaz d'échappement a subi une influence positive dans quasiment tous les secteurs de charge. Un turbocompresseur équipé d'un limiteur d'admission supplémentaire, joint éventuellement à un système de réglage de l'injection dépendant de la pression d'admission, peuvent encore améliorer les performances du moteur.

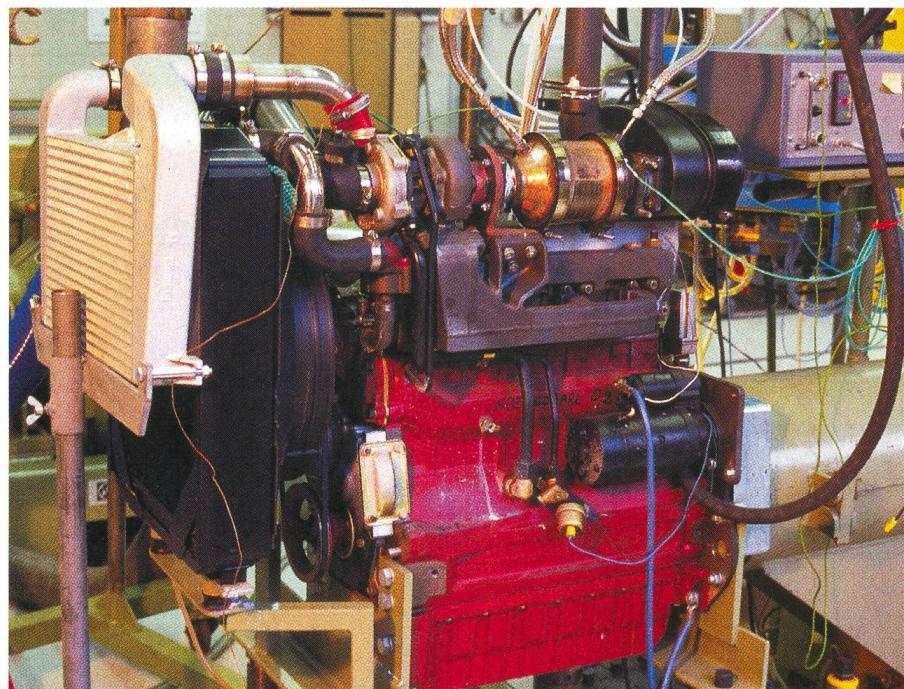


Fig. 1: Moteur d'essai Same Deutz-Fahr, modèle 100.4 WT avec turbocompresseur T et refroidisseur d'air de suralimentation R sur le banc d'essai de la FAT.

Sommaire	Page
Problématique	18
Le moteur d'essai	18
Réglages du moteur et résultats de mesure	19
Emissions de gaz d'échappement et de fumées	21
Conclusions	22

Problématique

L'agriculture suisse se situe en phase de restructuration. Les exploitations sont plus importantes, la puissance des machines et des tracteurs doit être augmentée. Toutefois, l'achat d'un nouveau tracteur, plus gros et plus puissant, n'est pas toujours la meilleure solution et surtout la plus avantageuse. Souvent, il s'agit seulement d'augmenter la puissance à la prise de force et non la force de traction. Dans certains cas, il suffit uniquement d'augmenter la puissance du tracteur déjà disponible sur l'exploitation. C'est donc pour accroître leur puissance que les revendeurs équipent à posteriori les tracteurs avec moteurs à aspiration d'un turbocompresseur. Dans le commerce, il existe des kits tout prêts adaptés aux différents types de tracteurs. Les frais d'adaptation, matériel compris, s'élèvent environ à Fr. 3500.-. Cependant, il n'est pas possible de prévoir exactement quel sera le comportement du moteur après une telle opération. L'essai réalisé à la FAT sur un moteur de tracteur très répandu doit permettre d'illustrer l'impact de ces aménagements.

Mode de fonctionnement du turbocompresseur (T) et du refroidissement d'air de suralimentation (R)

On sait que sur un moteur Diesel de même cylindrée, tournant au même régime, il est possible d'augmenter la puissance en injectant plus de carburant. Mais cette technique a ses limites: si la quantité d'air présente dans le cylindre ne suffit plus à brûler la quantité de carburant supplémentaire, le moteur commence à fumer et la consommation spécifique de carburant augmente.

Le moteur d'essai

Fabricant:	Same Deutz-Fahr
Modèle:	1000.4W, (1000.4WT avec turbocompresseur)
Type:	Moteur Diesel quatre cylindres à injection directe
Alésage / Cylindre:	105 / 115, 5 mm
Cylindrée:	4000 cm ³
Système de refroidissement:	eau
Régime nominal:	2500 min ⁻¹
Pompe d'injection:	BOSCH, pompes d'injection individuelles, type PFR électronique
Régulateur du nombre de tours:	
Puissance nominale à 2500 min ⁻¹	(selon les indications du fabricant):
Version à aspiration:	55 kW (75 CV)
Version turbo (T):	69 kW (94 CV)
Version turbo avec refroidissement d'air de suralimentation (T + R):	79 kW (107 CV)
Turbocompresseur:	Garett, type TA 3110, sans limiteur d'admission
Refroidisseur d'air de suralimentation:	SDF, dimensions l x h x p 450 x 300 x 65 mm

C'est là qu'intervient le turbocompresseur. La figure 2 montre schématiquement comment se produit la suralimentation par **gaz d'échappement**. Une turbine utilise une partie de l'énergie contenue dans le flux de gaz d'échappement, sachant qu'un compresseur placé sur le même axe comprime l'air aspiré par le moteur. La quantité d'air ou plutôt d'oxygène présente dans le cylindre étant plus importante, il est alors possible d'injecter une quantité supérieure de carburant et de la convertir en puissance utile. La puissance par litre de cylindrée s'améliore donc. La suralimentation par gaz d'échappement a toutefois un inconvénient: la compression rapide réchauffe l'air, ce qui veut dire que la densité de l'air diminue et que les sollicitations thermiques augmentent au niveau du

moteur. Mais si l'air comprimé est refroidi dans un refroidisseur d'air de suralimentation, la densité de l'air augmente et la charge thermique diminue. Sur les tracteurs, il existe deux systèmes de refroidissement d'air de suralimentation: le refroidissement air/air et le refroidissement air/eau. Actuellement, c'est le système air/air qui est le plus employé dans la fabrication des tracteurs. Le refroidisseur d'air de suralimentation est alors placé avant l'échangeur thermique d'eau de refroidissement. L'air froid est produit par le ventilateur non réglé ou réglé (visco-ventilateur), entraîné par le moteur et situé derrière l'échangeur thermique (fig. 2). Dans le cas du refroidissement air/eau, un échangeur thermique raccordé au circuit de refroidissement du moteur sert à refroidir l'air de suralimentation trop chaud. Le turbocompresseur joint au refroidisseur par air de suralimentation permet d'améliorer la puissance, la consommation et l'émission de gaz d'échappement du moteur.

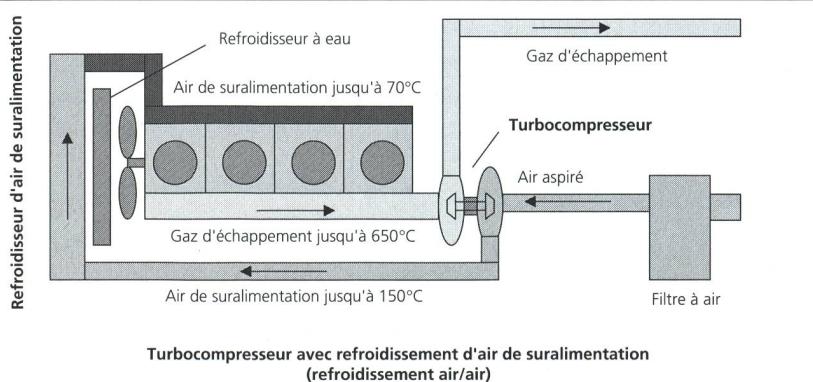


Fig. 2: Le turbocompresseur utilise une partie de l'énergie contenue dans les gaz d'échappement, énergie qui reste inemployée sur les moteurs à aspiration, pour compresser l'air aspiré à une pression de 0,8 à 1,5 bar. La quantité d'air dans le cylindre augmente et permet donc la combustion d'une plus grosse quantité de carburant, ce qui augmente la puissance du moteur.

Réglages du moteur et résultats de mesure

Quantité d'injection

Parallèlement aux modifications du moteur à aspiration, T, T + R, les quantités débitées par la pompe d'injection ont été adaptées aux nouvelles exigences (fig. 3):

Tableau 1: Principaux paramètres du moteur

Variante du moteur	Désignation utilisée dans le rapport	Base: moteur d'aspiration	Moteur turbo	Moteur turbo avec refroidissement d'air de suralimentation	
			Aspiration	T	T + R
Réglage de la pompe d'injection		mm ³	52,0	62,2	72,7
Quantité injectée au régime nominal/pleine charge		%		19,6	39,8
Modification au régime nominal		%			
Puissance du moteur		kW	55,2	69,1	79,9
Puissance nominale à 2500 min ⁻¹		CV	75,1	93,9	108,5
Modification		%		25,2	44,7
Evolution du couple moteur		Nm	211	264	305
Couple moteur à 2500 min ⁻¹		Nm	269	328	397
Couple moteur max.		min ⁻¹	1200	1400	1500
Au régime du moteur		%	27,5	24,2	30,2
Augmentation du couple moteur		%	124	121	119
Couple moteur au démarrage à 1000 min ⁻¹					
Consommation de carburant		g/kWh	236	225,6	228,4
Consommation spécifique de carburant au régime nominal					
Consommation test spéc. (ISO-8178 C1)		g/kWh	247,7	237,2	230,2
Amélioration		%		-4,2	-7,1
Turbocompresseur, pression d'admission max.		bar		0,83	0,94
Moteur, pression intermédiaire spéc.		bar	6,6	8,3	9,6
Température max. de l'huile		°C	104	106	108
Gaz d'échappement et fumées					
Gaz d'échappement du moteur					
Hydrocarbure (HC)		g/kWh	1,35	1,0	0,97
Oxyde nitrique (NOx)		g/kWh	10,16	11,56	9,59
Monoxyde de carbone (CO)		g/kWh	4,54	1,63	1,94
Fumée noire BOSCH					
95 % (2375 min ⁻¹)		IN	1,5	0,55	1,2
70 % (1750 min ⁻¹)		IN	1,65	0,8	1,7
50 % (1250 min ⁻¹)		IN	2,6	3,4	5,3

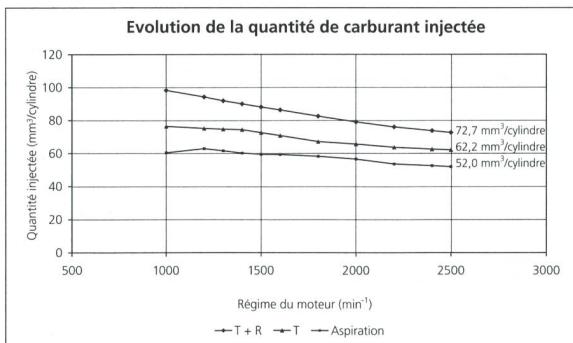


Fig. 3: La pompe d'injection peut être adaptée en fonction de la quantité d'air plus importante disponible pour la combustion dans le cylindre.

pour le moteur à aspiration, quantité d'injection à pleine charge au régime nominal: 52,0 mm³/cylindre; pour le moteur turbo (T), 62,2 mm³/cylindre et pour le moteur turbo avec refroidissement d'air de suralimentation (T + R), 72,7 mm³/cylindre. L'augmentation du volume d'injection en fonction du régime lorsque le nombre de tours est bas, permet d'obtenir l'augmentation voulue du couple moteur et un couple de démarrage élevé à 1000 min⁻¹.

Courbes de régime à pleine charge

La figure 4 présente les courbes de régime du couple moteur, de la puissance et de la consommation spécifique de carburant pour les trois variantes de moteurs: à aspiration, T, T + R.

Couple moteur (M) (fig. 4)

Le couple moteur et l'augmentation du couple moteur sont des paramètres importants pour évaluer la puissance d'entraînement et les propriétés d'un moteur au démarrage (tab.1).

Par rapport au moteur à aspiration, dans les versions T, T + R, le couple moteur augmente en fonction de la quantité plus importante de carburant injectée, et ce, quelque que soit le régime. Alors qu'il se situait à 1200 min⁻¹ pour le moteur à aspiration, le couple moteur maximum se déplace vers 1400 min⁻¹ pour le T et vers 1500 min⁻¹ pour le T avec R. Ce phénomène est dû à la pression d'admission trop faible du T non régulé, au régime le plus bas et à sa conséquence directe: le cylindre ne se remplit pas correctement d'air de combustion. L'augmentation du régime de 1200 à 1500 min⁻¹ ne présente pas d'inconvénients pour l'utilisation du tracteur dans la pratique, d'autant plus que le couple moteur au démarrage n'en souffre pas. Nous considérons qu'une augmentation du couple moteur de 20 à 30% est bonne et très bonne lorsqu'elle dépasse les 30%. Le couple moteur au démarrage relevé à 1000 min⁻¹ et rapporté au couple moteur au régime nominal est de 120%, ce que nous considérons comme un très bon résultat. Un couple moteur élevé au démarrage facilite considérablement le démarrage du tracteur avec de lourdes charges.

Puissance (P) (fig. 4)

La puissance du moteur se calcule à partir du couple moteur (M) en Nm et du régime (n) en min⁻¹, selon la formule suivante:

$$\frac{M}{1000} \times \frac{2 \pi \times n}{60} = \frac{M \times n}{9550}$$

Nous comparons la puissance au régime nominal à 2500 min⁻¹ en kW et l'augmentation de puissance par rapport à la version du moteur à aspiration en pour-cent (tab. 1). Suite aux grosses quantités de carburant injectées avec T (+ 19,6%) et T + R (+ 39,8%), la puissance du moteur relevée à 55,2 kW sur le moteur à aspiration, augmente à 69,1 kW pour le T (soit + 25,2%) et à 79,9 kW pour le T + R (soit + 44,7%).

Consommation spécifique de carburant (cs) (fig. 4)

Dans la plage de régime supérieure à 1300 min⁻¹, avec le T et le T + R, la consommation spécifique de carburant est environ 5% plus avantageuse qu'avec le moteur à aspiration. En dessous de 1300 min⁻¹, la situation est inversée. La pression d'admission réduite du turbocompresseur non réglé ne suffit pas pour que les cylindres se remplissent correctement d'air. La combustion des quantités plus importantes de carburant injectées se fait mal, la consommation de carburant augmente, notamment pour le T avec R. Un T avec limiteur d'admission ou un système de réglage des quantités au niveau de la pompe d'injection qui dépendrait de la pression d'admission pourraient apporter des solutions. Nous considérons qu'une consommation spécifique de carburant allant jusqu'à 230 g/kWh à la puissance nominale est favorable.

Courbe de régime du moteur (diagramme ovoïde)

Contrairement à la courbe à pleine charge, la courbe du moteur présente la consommation spécifique du moteur sur l'ensemble du régime du moteur, de la charge nulle jusqu'à pleine charge et du nombre de tours le plus bas jusqu'au nombre de tours le plus haut. Sur le banc d'essai, on mesure la consommation de carburant du moteur, à partir de 100 points différents, à tous les régimes et à toutes les charges, de charge nulle jusqu'à pleine charge. Les points où la consommation est identique sont ensuite reliés entre eux et on obtient alors les courbes dites ovoïdes ou les courbes de consommation similaire.

La figure 6 présente le diagramme ovoïde d'un moteur à aspiration. L'axe «Régime du moteur» (en abscisse) représente les régimes effectifs en pourcentage du régime nominal. L'axe «Charge» (en ordonnée, à gauche) représente le moment effectif en pourcentage du moment au régime nominal. Enfin, l'axe «Puissance» (en ordonnée, à droite) représente la puissance en pourcentage de la puissance au régime nominal. Les lignes de consommation constante sont indiquées à l'intérieur de ces différentes plages.

Une chose est évidente: la zone où la consommation spécifique de carburant est la meilleure < 225 g/kWh (hachurée) se situe dans la partie supérieure du diagramme, plutôt à gauche, c'est-à-dire dans le secteur où la charge est comprise entre 90 et 110% et où le régime du moteur est réduit, de 50 à 60%. Le point le plus bas a été relevé à 223,2 g/kWh; contrairement à la courbe des moteurs avec T et T + R (fig. 7 et 8). La zone (hachurée) dans laquelle la consommation spécifique est inférieure à 225 g/kWh est nettement plus importante et s'étend de 40 à 95% du régime nominal et va de 55% de charge à la charge totale. La valeur la plus favorable en matière de consommation a été relevée à 207,6 g/kWh pour le T et à 208,5 g/kWh pour le T + R. Les valeurs plus basses correspondent à une amélioration du degré d'efficacité du moteur sur l'ensemble de son régime.

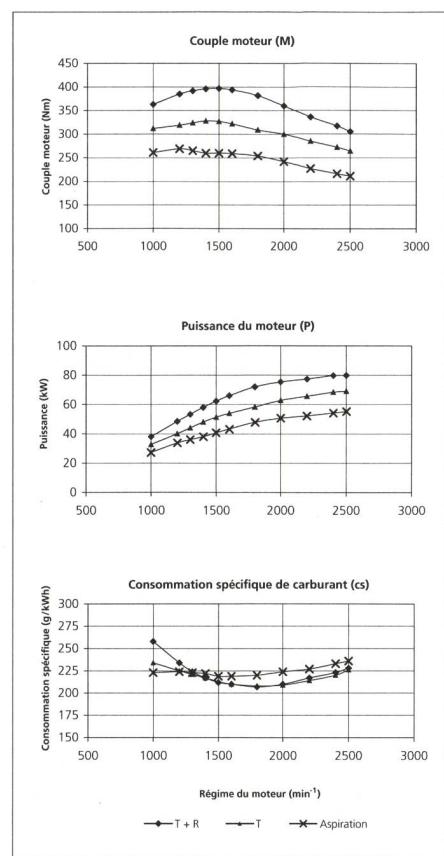


Fig. 4: Courbes de régime à pleine charge du couple moteur, de la puissance et de la consommation spécifique de carburant relevées dans les versions de moteur à aspiration avec turbocompresseur T et système supplémentaire de refroidissement d'air de suralimentation R.

sion). Cette valeur ne constitue cependant qu'une fraction de la pression maximale qui règne dans la chambre de combustion. La pression intermédiaire spécifique en bar se calcule selon la formule suivante:

$$\frac{\text{Puissance nominale (kW)}}{\text{Cylindrée (l)} \times \text{Régime nominal (min}^{-1}\text{)}} \times 1200$$

La pression intermédiaire effective donne des informations sur la puissance spécifique d'un moteur diesel indépendamment de sa cylindrée. La pression intermédiaire correspond à la pression moyenne spécifique qui s'exerce sur chaque centimètre carré de la surface du piston pendant les quatre temps (aspiration, compression, combustion et expulsion).

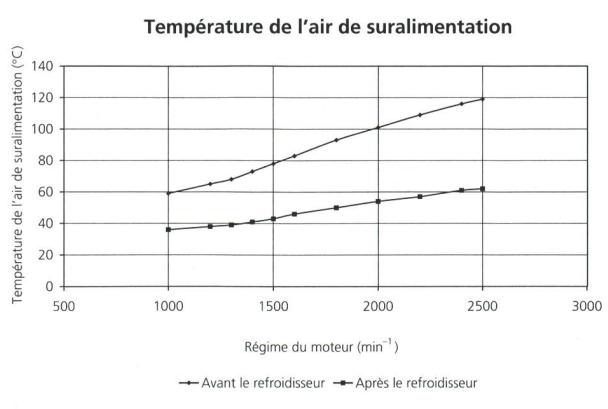


Fig. 5: Efficacité du refroidissement d'air de suralimentation air/air T à pleine charge.

La pression intermédiaire permet également d'évaluer le taux d'utilisation d'un moteur de tracteur (tab. 1). Sur les moteurs à aspiration, la pression intermédiaire se situe en général entre 6,0 et 7,5 bar. Sur les moteurs avec T, elle oscille entre 7,5 et 10 bar et enfin, sur les moteurs avec T + R, elle peut aller jusqu'à un maximum de 13 bar.

Outre la pression intermédiaire spécifique calculée, la température maximale de l'huile ou plutôt l'augmentation de cette température après installation d'un T ou d'un T + R fournit une autre indication importante sur les réserves thermiques d'un moteur (tab. 1). On sait, par expé-

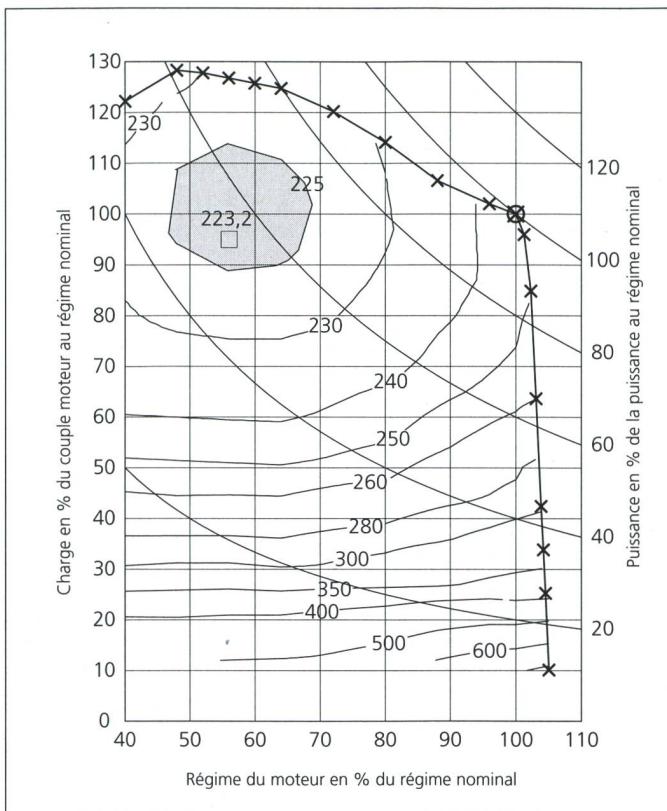


Fig. 6: Diagramme caractéristique du moteur à aspiration avec un point optimum de 223,2 g/kWh.

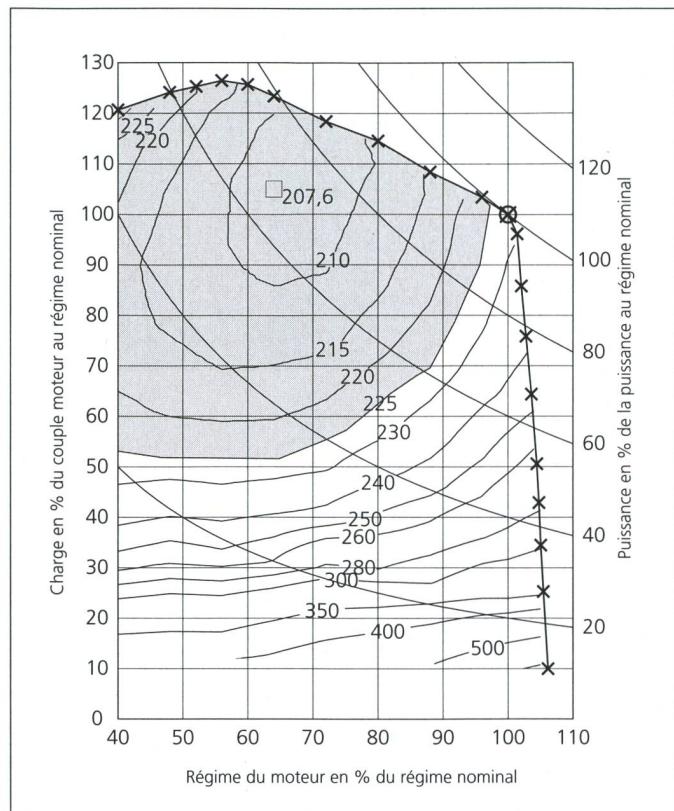


Fig. 7: Diagramme caractéristique du moteur avec turbocompresseur T et un point optimum de 207,6 g/kWh.

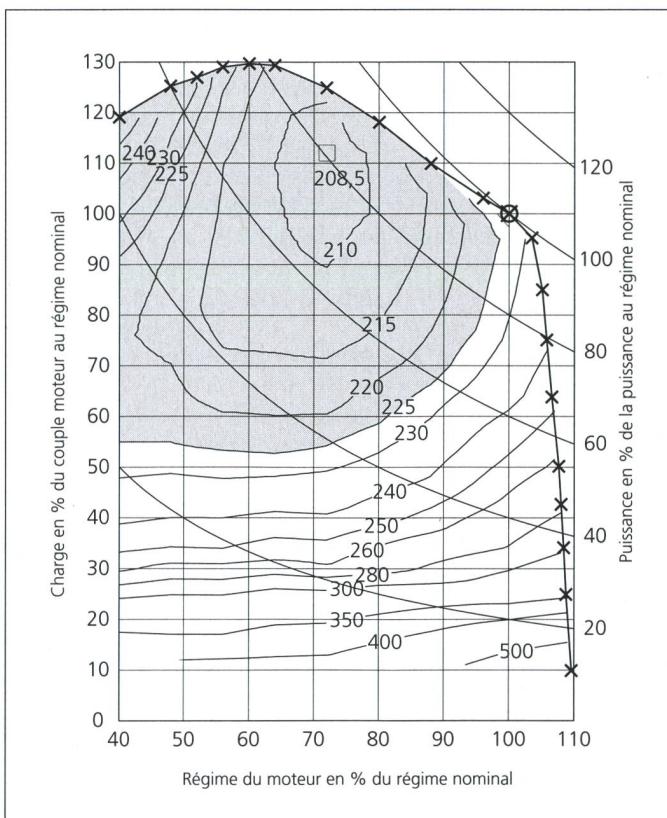


Fig. 8: Diagramme caractéristique du moteur avec turbocompresseur T et refroidissement d'air de suralimentation R, avec un point de consommation optimum de 208,5 g/kWh.

rience, que jusqu'à 115°C, la température de l'huile du moteur ne pose aucun problème.

Effet du refroidisseur d'air de suralimentation

Le refroidisseur d'air de suralimentation R a pour but de refroidir l'air chaud aspiré et comprimé par le turbocompresseur, pour d'une part, augmenter la densité de l'air et d'autre part, réduire la charge thermique du moteur. La figure 5 indique la température de l'air de suralimentation avant et après le refroidisseur (R) lorsque le moteur fonctionne à pleine charge.

Emissions de gaz d'échappement et de fumées

Gaz d'échappement

Nous évaluons les gaz d'échappement sur la base des gaz suivants: hydrocarbure (HC), monoxyde de carbone (CO) et oxyde nitrique (NOx), mesurés selon la norme ISO-8178 C1. Il s'agit d'un test au banc d'essai avec huit paliers de charge différents de chacun 10 minutes. Les valeurs mesurées pour les différents paliers de charge entrent dans le calcul global, avec une pondération variable. Ce calcul donne les émissions de gaz d'échappement spécifiques en grammes par kilowatt heure (g/kWh). Le

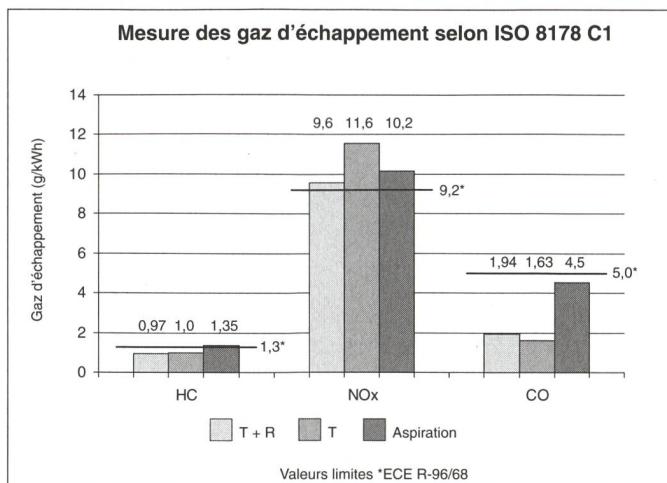


Fig. 9: Les gaz d'échappement sont mesurés selon un cycle de huit phases conformément à la norme ISO-8178 C1. Les gaz d'échappement dits limités, hydrocarbure (HC), oxyde nitrique (NOx) et monoxyde de carbone (CO) sont indiqués en g/kWh à titre de facteurs d'émissions.

règlement ECE R-96/68 contient de nouvelles limites pour les gaz d'échappement des moteurs diesel destinés à l'agriculture et l'économie forestière. L'entrée en vigueur de ce règlement est prévue pour 2001. Les futures limites seront valables à partir de la date de mise en service des moteurs neufs. Les moteurs déjà fabriqués ou utilisés ne sont pas concernés.

Les hydrocarbures (HC) mesurés dépassent légèrement la limite requise dans la version du moteur à aspiration. Les moteurs équipés de T et T + R sont nettement en dessous (fig. 9). En ce qui concerne l'oxyde nitrique par contre, tous les moteurs se situent au-dessus de la valeur autorisée. Il faut cependant remarquer que la version T + R qui affiche la puissance la plus élevée est aussi celle qui présente la valeur la plus basse. L'oxyde d'azote réagit notamment à la température de combustion élevée. Or, c'est sur le moteur T que celle-ci est la plus basse. Les valeurs relevées pour le monoxyde de carbone (CO) sont en dessous du seuil fixé par le règlement ECE, et même nettement en dessous pour les moteurs T et T + R.

Consommation test spécifique sur un cycle de conduite ISO-8178 C1

La norme ISO-8178 C1 décrit un cycle de conduite en huit paliers de charge différents, répartis sur la courbe du moteur. Ce cycle comprend aussi bien la pleine charge que la charge partielle, le régime réduit que le régime élevé ou encore le ralenti le plus bas. Les huit points de mesure permettent de calculer la consommation test, information intéressante pour l'utilisation pratique du tracteur (tab. 1).

La réduction de la consommation de 4,2% avec T et de 7,1% avec T + R est remarquable et tient à la meilleure exploitation de l'énergie du carburant.

Fumée noire (particules)

Laissant de côté le difficile calcul masse-particules, nous avons mesuré les fumées noires à l'aide de la méthode de filtrage BOSCH. Lorsqu'il y a beaucoup de fumées noires, cela signifie en général qu'il y a un important rejet de particules (non solubles). Nous avons comparé les fumées à l'aide de l'indice de noircissement (BOSCH IN) pour les trois régimes suivants à pleine charge: 95%, 70% et 60% du régime nominal (tab. 1).

Pour les régimes 95% et 70%, la variante de moteur avec T est celle qui obtient les meilleurs résultats. A un régime de 95%, la variante T + R obtient de meilleurs résultats que le moteur à aspiration et des résultats semblables à un régime de 70%. A un régime de 50% par contre, T, et surtout T + R, affichent des résultats nettement plus médiocres. Ces résultats sont dus à la combustion insuffisante, sachant que la quantité de carburant injectée est trop importante et qu'il n'y a pas suffisamment d'air dans le cylindre étant donné la pression d'admission trop faible du turbocompresseur. Nous évaluons les indices de noircissement selon l'échelle suivante: moins de 2,0, indices faibles; de 2,0 à 4,0 indices moyens et plus de 4,0 indices élevés.

Conclusions

Dans l'ensemble, l'installation d'un turbocompresseur T et d'un refroidisseur d'air de suralimentation R sur le moteur à aspiration de série a eu des répercussions positives. Grâce à l'augmentation de la quantité de carburant injectée, le couple moteur et la puissance nominale du moteur ont augmenté de 25% avec le T et de 45% avec un R supplémentaire. La consommation spécifique de carburant s'est améliorée de façon tout à fait positive à l'exception des points de charge totale situés dans la plage de régime la plus basse, en dessous de 1300 min⁻¹. La courbe du moteur présente un point de consommation optimale à 223,2 g/kWh pour le moteur à aspiration, à 207,6 g/kWh pour le turbo T et à 208,5 g/kWh pour le turbo avec refroidisseur d'air de suralimentation T + R. Dans le test selon ISO-8178 C1 qui prend en compte huit paliers de charge dans la courbe du moteur et fournit ainsi une comparaison intéressante pour l'application pratique, la consommation test est de 247,7 g/kWh pour le moteur à aspiration, de 237,2 g/kWh pour le moteur T et de 230,2 g/kWh pour le moteur T + R. Sur les moteurs T + R, les gaz d'échappement, hydrocarbures (HC) et monoxyde de carbone (CO), sont passés largement en dessous des limites exigées par le règlement ECE-R96. Par contre et comme on pouvait s'y attendre, les valeurs de l'oxyde nitrique ont augmenté avec l'utilisation du T. L'addition d'un refroidisseur d'air de suralimentation au turbocompresseur a toutefois permis de ramener cette valeur dans les limites du seuil ECE-R96. A l'exception de la plage de régime inférieure, où le T non régulé reçoit une pression d'admission insuffisante, la fumée noire a réagi de façon très positive. Un turbocompresseur avec régulation de la pression d'admission et/ou un système de réglage de la quantité de carburant injectée en fonction de la pression d'admission pourraient apporter des solutions. Le réglage du point d'injection en fonction de la charge et du régime devrait permettre d'optimiser encore le cycle de combustion et donc d'améliorer le degré d'efficacité. La pression intermédiaire calculée, paramètre indiquant le taux d'utilisation du moteur, ainsi que la température de l'huile du moteur se situent dans le cadre habituel des moteurs de tracteur, même pour la version extrêmement sollicitée avec T + R.