

Expériences avec du biogaz en tant que carburant pour tracteur

J. Fankhauser, H. Ammann, K. Egger, E. Stadler

La transformation d'un moteur diesel en moteur à biogaz à injection pilote nécessite une dépense relativement modeste. Lorsque le gaz se met à manquer, une reconversion en moteur diesel pur est possible à tout moment. A l'exception du remplissage des réservoirs de gaz, aucune autre manipulation n'est nécessaire.

Afin de pouvoir emmener suffisamment d'énergie sur le véhicule, il faut transporter le gaz dans des récipients à haute pression. L'installation sur le tracteur de plusieurs bouteilles de ce genre sans pour autant compliquer l'attelage d'outils n'est pas chose simple.

La compression et le nettoyage du gaz nécessitent des installations volumineuses qui doivent être régulièrement et attentivement surveillées et entretenues.

Ces installations de préparation exigent de plus de grands investissements. Les coûts globaux de ce carburant alternatif «fait maison» s'élèvent à trois – quatre fois les prix actuels du diesel, tenant compte de la restitution des droits de douane.

Avec la prise de conscience du grand public des problèmes énergétiques dans les années 70, les installations de biogaz pour l'agriculture sont redevenues actuelles. Le nombre de ces installations s'est accru de façon spectaculaire. Déjà lors de la construction des premières installations, le désir d'un carburant «fait maison» s'est fait sentir. La recherche d'une

utilisation sensée des excédents estivaux des installations de biogaz (au moment où le gaz ne peut pas être utilisé à des fins de chauffage), a été l'occasion de s'occuper de cette question.

Pour des raisons économiques et avec le prix actuel, le biogaz n'est pas intéressant en tant que carburant pour tracteur. A cause de la dépendance totale



Fig. 1: Le tracteur expérimental transformé pour les fonctionnement au biogaz.

Composition de biogaz

Le biogaz est un mélange de gaz. Sa composition est surtout dépendante du matériel de départ, mais elle dépend aussi du déroulement du processus de décomposition. Les composantes principales sont le méthane (CH_4) et le gaz carbonique (CO_2). La teneur en méthane peut aller de 55 à 80% du volume (% vol.) et elle s'élève en moyenne à 60% vol. Celle du gaz carbonique s'échelonne entre 20 et 45% vol. Ces deux gaz ensemble constituent habituellement 95 à 98% du volume.

En plus, le biogaz peut contenir de l'acide sulfhydrique (H_2S), de l'ammoniac (NH_3), de la vapeur d'eau (H_2O), de l'oxyde de carbone (CO), de l'hydrogène (H_2) et de l'azote (N_2). Des fuites sur le circuit peuvent encore laisser pénétrer de l'air, donc de l'oxygène (O_2), dans le gaz.

de l'étranger de notre agriculture en ce qui concerne les carburants, il a tout de même été décidé de mener à bien un essai pratique avec un tracteur à biogaz ainsi qu'avec les installations de préparation du gaz nécessaires à son fonctionnement (fig. 1).

Capacité énergétique

La valeur calorifique du biogaz est directement fonction de la portion en gaz combustible, c'est-à-dire en méthane. La valeur calorifique inférieure du méthane pur est de 36 MJ/m^3 . Cel-

le du biogaz contenant 61 % vol. de méthane s'établit donc à 22 MJ/m^3 . Elle est à comparer au 36 MJ/l du carburant diesel.

Comparé au diesel, à quantité d'énergie égale, le biogaz exige 1600 fois plus de place. Pour qu'un tracteur transporte suffisamment d'énergie, il faut comprimer le gaz. A bord d'un véhicule, en raison de prescriptions légales, la pression est limitée à environ 200 bar. La capacité énergétique s'élève ainsi à environ 7 MJ/l .

Pour emmagasiner une même quantité d'énergie, un récipient de biogaz à 220 bar doit avoir 5 fois la capacité d'un réservoir à diesel.

Adaptation au véhicule

La place pouvant être réservée sur un tracteur à des récipients à haute pression est petite. L'installation de 4 bouteilles en acier, à haute pression (200 bar) que l'on trouve dans le commerce, de 40 litres de contenance chacune, sur les

deux côtés du capot du moteur a été la meilleure solution.

Une cinquième bouteille de même grandeur peut encore être placée de côté sous la cabine du conducteur. Lors des essais pratiques, tous les récipients étaient placés à l'intérieur des limites du bâti du véhicule et ne risquaient donc pas d'être endommagés. En outre, la répartition du poids était favorable. Après l'éloignement du lest de série du support de réserve de l'axe antérieur, il s'est créé un poids supplémentaire de 200 kg à cause de l'adduction des récipients; 150 kg reposaient sur l'essieu avant. Avec la pression maximale de 200 bar, env. 60 m^3 de biogaz ont pu être placés dans les récipients d'une contenance de 200 litres; ceci correspond à une capacité en énergie de presque 40 litres de diesel.

Transformation du moteur diesel en moteur à injection pilote

Le biogaz, grâce à son haut pouvoir antidétonant, est un excel-

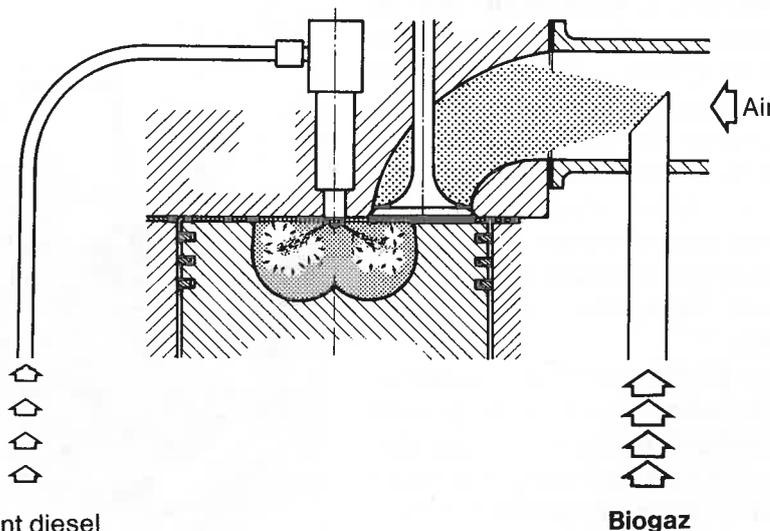


Fig. 2: Dans le moteur à injection pilote, le mélange air-biogaz est enflammé grâce à une petite quantité de carburant diesel.

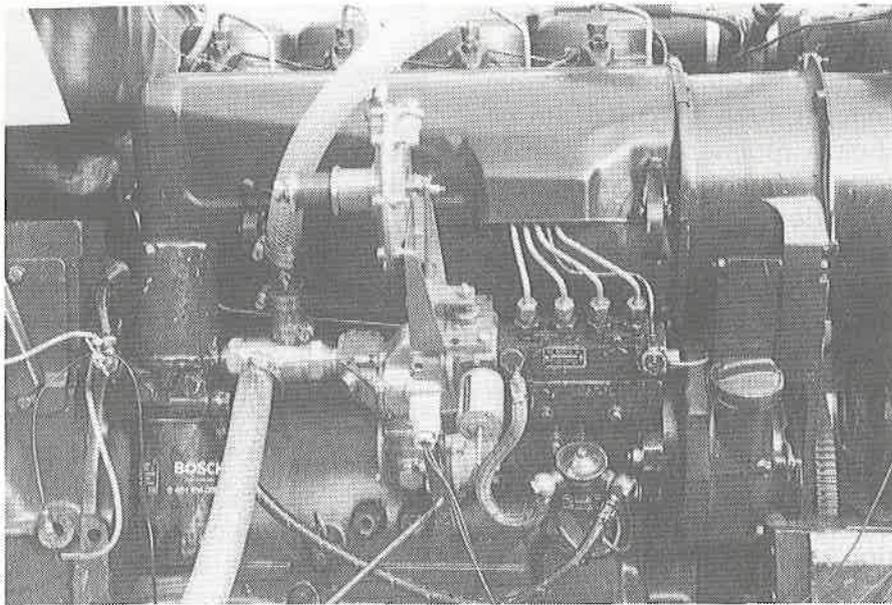


Fig. 3: Parties de construction du régulateur de la pompe à injection pour le réglage simultané du carburant d'allumage et de l'apport de gaz.

lent carburant pour les moteurs à allumage commandé. De nos jours cependant, les tracteurs agricoles sont pratiquement sans exception tous équipés de moteurs diesel.

Le procédé à injection pilote est avantageux, là où le biogaz n'est pas suffisant lors de pointes de travail (fig. 2).

Dans un moteur à injection pilote, le mélange air-biogaz est comprimé suffisamment pour que la carburant diesel injecté s'enflamme spontanément et amorce la combustion du mélange. Le rapport de compression des moteurs diesel est conservé pour le moteur à injection pilote. Toute l'installation d'injection est aussi reprise sans modification, ce qui a pour avantage qu'une reconversion en moteur diesel est possible en tout temps. Les travaux de transformation sur moteur diesel à injection directe se limitent à l'apport de gaz dans un tuyau d'aspiration et à l'adaptation du réglage du moteur. Le réglage est sans doute le plus difficile parce que l'adduction de deux

carburants doit être réglée simultanément (fig. 3).

Préparation et compression du gaz

Lors de l'utilisation de biogaz en tant que carburant, il faut prêter

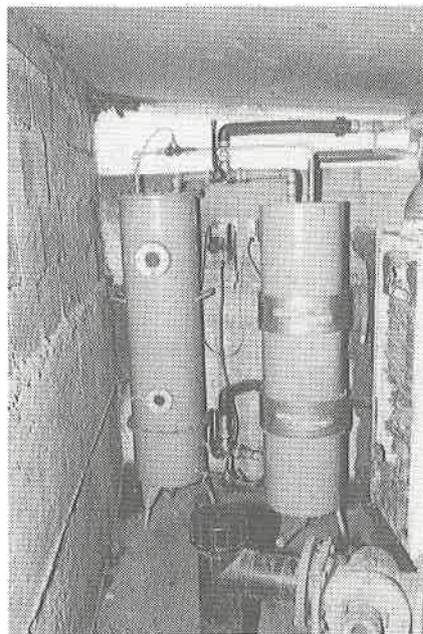


Fig. 4: Installation de désulfuration avec 2 colonnes pour le nettoyage de 50 m³ de biogaz par jour.

une grande attention à la préparation du gaz; en effet, l'acide sulfhydrique, l'eau et la haute pression du matériel peuvent très rapidement mener à des fentes par corrosion et par pression. Les récipients à haute pression sont donc particulièrement menacés.

Désulfuration

Le procédé classique de désulfuration à sec, à l'aide d'oxyde de fer, se prête le mieux à l'utilisation à des fins agricoles. Des masses de nettoyage conformes peuvent être obtenues sur le marché et sont souvent utilisées dans les usines d'épuration des eaux. Des récipients cylindriques en position verticale remplis de masse de nettoyage (colonne) conviennent le mieux à l'épuration. Le biogaz s'écoule de bas en haut à travers la masse reposante qui se charge d'acide sulfhydrique. La masse peut être à nouveau régénérée par addition d'air. Bien entendu, l'action de nettoyage s'épuise avec le temps, car du soufre élémentaire se fixe à la masse.

Une installation de nettoyage appropriée pour l'utilisation pratique dans des exploitations agricoles a été planifiée et exécutée (fig. 4).

Les masses de nettoyage nécessaires sont réparties sur 2 colonnes afin qu'il ne se crée pas d'interruption dans la régénération journalière. Dans chaque colonne, la masse adsorbante est partagée en trois chambres l'une sur l'autre, afin d'obtenir une meilleure répartition du gaz et ainsi une exploitation optimale. Selon la contenance en acide sulfhydrique, un échange de la masse est nécessaire tous les 2 à 3 mois. Les masses utilisées sont acceptées comme déchets de classe 3.

Séchage

Le séchage est l'opération la plus importante de toute la préparation du gaz; en effet, la corrosion dépend presque toujours de l'humidité; la formation d'eau de condensation dans les bouteilles à haute pression est à éviter en toutes circonstances. Pour notre projet, nous avons acquis un séchoir par adsorption ou régénérés. Grâce à des dimensions relativement petites, celui-ci a pu être placé dans deux récipients de séchage, qui, à tour de rôle, sont en exploitation ou régénérés. Grâce à des dimensions relativement petites, celui-ci a pu être placé dans l'installation de compression. Lors de la régénération, l'eau de condensation combinée au dioxyde de carbone peut former de l'acide carbonique; il a donc fallu remplir la partie inférieure de la colonne d'un produit de séchage résistant à l'acide carbonique.

Compressions

Pour une si forte compression, seuls des compresseurs à pistons à plusieurs paliers entrent pratiquement en considération. Pour les petites et moyenne exploitations agricoles, une performance de 5 m³/h est suffisante. Pour notre essai, deux compresseurs accordés l'un à l'autre ont été assemblés en une unité de compression (fig. 5). Un

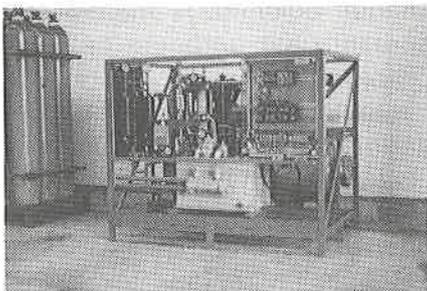


Fig. 5: Unité de compression avec séchoir pour la compression de 5 m³/h de biogaz à raison de 200 bar.

compresseur à un palier, tels qu'ils sont utilisés pour les installations d'air comprimé, comprime 8 m³/h à 10 bar. Le séchoir à régénération travaille à cette même pression. Pour la suite de la compression de 10 bar à 200 bar, un compresseur hydraulique à deux paliers est mis en route. Des compresseurs de ce genre se trouvent sur le marché en Italie, où ils sont utilisés pour la compression du gaz naturel.

Entrepôt du gaz à haute pression/station de remplissage

La recharge directe sur le tracteur par un compresseur n'est à envisager que la nuit ou pendant de longs arrêts de travail. Afin de faire le plein rapidement pendant la journée un entrepôt stationnaire de gaz comprimé composé de 9 récipients à haute pression usuels de 50 litres de contenance chacun est à disposition. L'entrepôt contient environ 130 m³ de biogaz à raison d'une pression de 200 bar. Lors du transvasement dans le ré-



Fig. 6: Remplissage du tracteur avec du biogaz provenant de la réserve de gaz sous pression stationnaire à la station de remplissage.

servoir du tracteur complètement vide, la compensation de pression est atteinte à 140 bar. Dans ce cas, la capacité du «réservoir du tracteur» s'élève à environ 40 m³, ce qui correspond au 2/3 du remplissage maximal à 200 bar (fig. 6).

Mise en place des installations de préparation dans l'exploitation agricole

Lors de la mise en place de ces parties d'installation dans la fer-

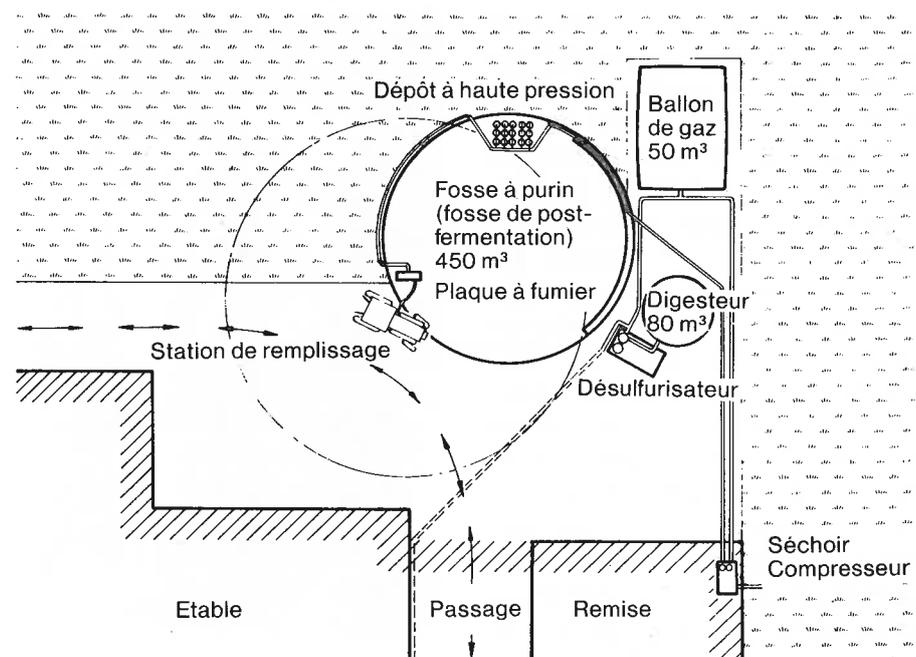


Fig. 7: Emplacement des parties de l'installation pour la préparation du gaz sur l'exploitation agricole.

me, il faut avant tout tenir compte des prescriptions de protection contre l'incendie. Les différentes composantes de l'installation doivent être si possible séparées les unes des autres (Fig. 7). Les deux tours de désulfuration se trouvaient dans ce cas-ci près du digesteur. On pourrait aussi les placer en plein air. Le compresseur était placé dans la remise. Un emplacement sec et protégé est de rigueur pour une machine avec autant de ferrures et d'interrupteurs électriques. La mise en place du compresseur dans les bâtiments présume cependant que d'éventuelles échappées de gaz soient dirigées vers l'air libre, par exemple à l'aide de soupapes de sécurité.

Les récipients à pression ayant un contenu inflammable sont à placer autant que possible à l'extérieur. Le meilleur emplacement s'est avéré être tout à l'arrière, sur la plaque de fumier. La «station de remplissage» a été installée sur le bord gauche de la plaque de fumier – tenant compte de la zone de danger d'explosion dans un rayon de 10 mètres. Ce placement décentralisé des différentes unités de l'installation exige cependant de longues conduites à gaz à haute pression et un paratonnerre. Les coûts d'installations sont considérables.

Prescription légales

Véhicules

Après transformation, le tracteur doit être soumis à un nouveau contrôle auprès des services cantonaux compétents avant sa remise en service.

Stockage du gaz

Le stockage de gaz inflammable est soumis aux prescriptions de la protection contre l'incendie; les réservoirs sous pression stationnaires nécessitent une autorisation de construction. Dans les deux cas, la commune est la première instance compétente. Elle nomme les autres services officiels auprès desquels la demande doit être présentée.

Dans le cas présent, nous avons utilisé pour l'acheminement du gaz aussi bien pour le tracteur que pour le réservoir à gaz des récipients à pression usuels sur le marché. De tels récipients sont aussi soumis à des autorisations et contrôles. Ils dépendent de la division des examens des réservoirs du «Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et Institut de recherches (LFEM)».

Résultats des essais

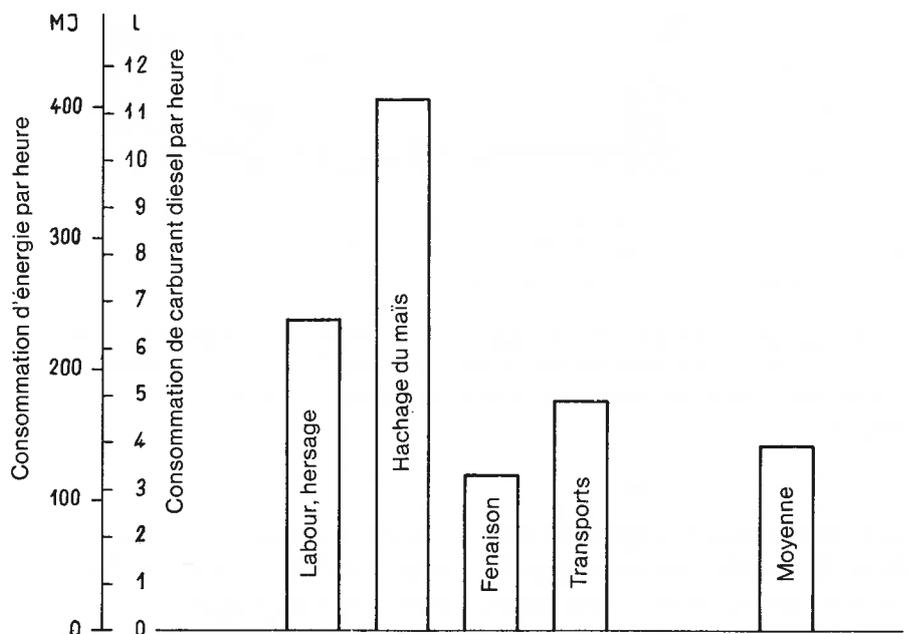
Performance du moteur/couple moteur

Sur le banc d'essai, le moteur a été réglé de telle façon qu'aussi bien par fonctionnement à injection pilote qu'au diesel, on obtienne les mêmes caractéristiques de performance et de couple moteur. Ces réglages exigent du doigté, particulièrement lorsqu'il faut veiller en même temps à une consommation aussi basse que possible de diesel.

Consommation de carburant

Avec le biogaz, on doit pouvoir économiser le diesel. Les mesurages de consommation pour le moteur diesel et celui à injection pilote nous indique jusqu'à quel point cela est possible (fig. 8 et 9).

L'économie en carburant diesel n'est pas la même pour tous les travaux. La quantité de carbu-



Consommation de carburant avec le moteur diesel

Fig. 8: Consommation de diesel lors de différentes utilisations du tracteur avec moteur diesel.

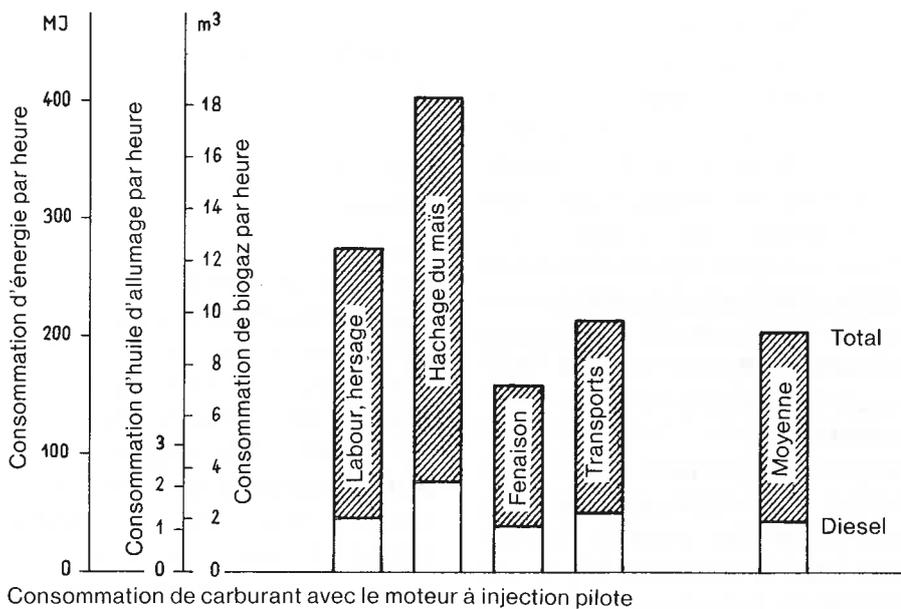
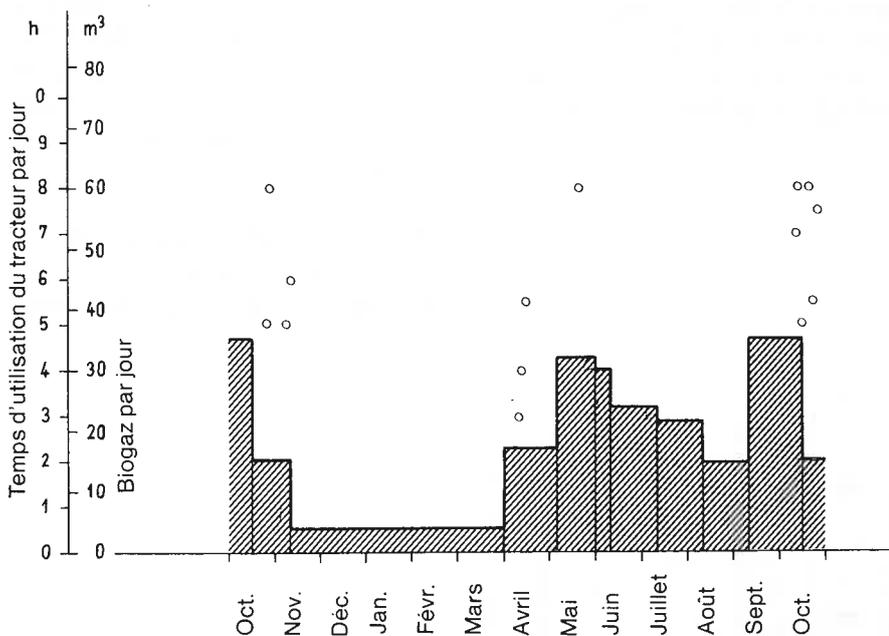


Fig. 9: Consommation de biogaz et de diesel lors de différentes utilisations du tracteur avec moteur à injection pilote.



Temps d'utilisation du tracteur et consommation de biogaz

Fig. 10: Durée d'utilisation du tracteur et consommation de biogaz calculés selon un programme d'organisation du travail, ainsi que quantités effectives de biogaz consommé pendant les journées de pointe. (Exploitation laitière, 14 ha cultures).

rant d'allumage n'augmente pas dans la même mesure que la charge du moteur; c'est donc lors des travaux les plus lourds, tels que le labour et le hachage du maïs que nous économisons le plus. La consommation de

diesel s'élève dans ce cas à moins de 20% de celle des moteurs diesel; l'économie atteint donc plus de 80%. Dans les travaux légers, telle que la fenaison, $\frac{1}{3}$ de la quantité de diesel environ est nécessaire en tant

que carburant d'injection. En moyenne, l'économie s'établit à environ 70%.

La consommation d'énergie pour les charges importantes, c'est-à-dire pour les travaux lourds, est environ la même pour les deux types de moteur.

Lorsque le moteur est peu chargé, par exemple pour la fenaison ou les transports, le moteur à injection pilote consomme davantage d'énergie que le moteur diesel. Son rendement est plus bas pour des charges légères, l'utilisation du carburant est moins bonne que celle du moteur diesel.

Lors de notre essai, nous avons enregistré une consommation moyenne de gaz de 7,5 m³/h. Pour des travaux lourds, elle peut éventuellement doubler.

Concordance de la production et de l'utilisation

La consommation journalière moyenne en carburant du tracteur en exploitation peut être estimée à partir du temps d'utilisation du tracteur par jour. L'utilisation moyenne du tracteur a été calculée à l'aide d'un programme d'organisation du travail. Les utilisations effectives effectuées avec le tracteur à biogaz sont notées dans le livre de bord du tracteur. Des valeurs isolées se trouvant nettement au-dessus de la moyenne ont été notées sur le diagramme (points isolés) (fig. 10).

Une comparaison avec la production effective de biogaz de l'exploitation, qui a été enregistrée journalièrement, montre que la production nette suffit aussi pendant les mois de grosse utilisation du tracteur (fig. 11). Si l'installation de biogaz était chargée de même façon en hiver et en été, il serait possible d'obtenir en été une production de gaz considérablement plus

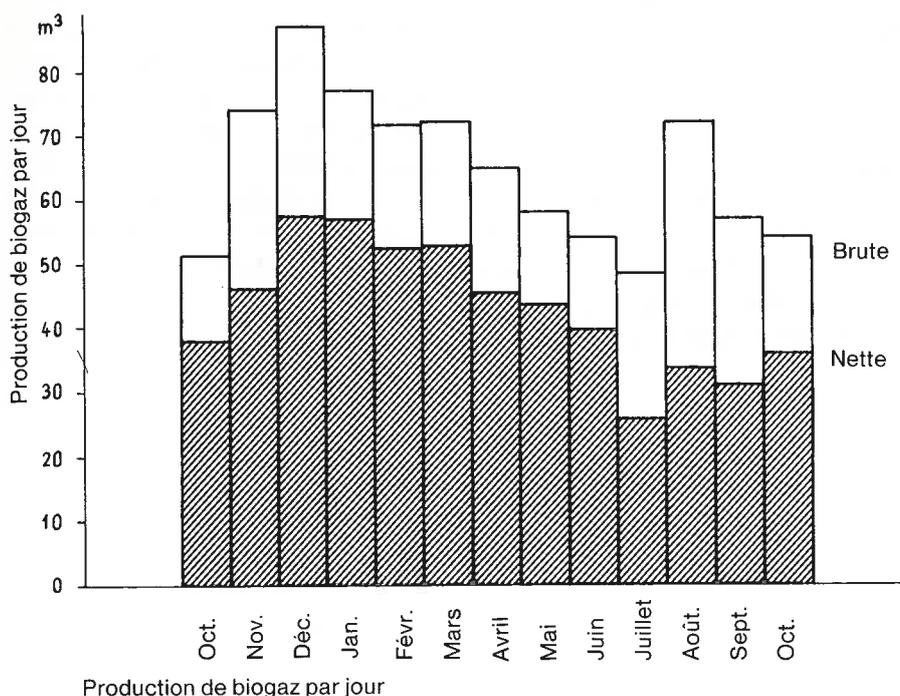


Fig. 11: Production journalière de biogaz d'une exploitation de 33 UGB-biogaz avec apport supplémentaire de fumier de poule pendant la période critique.

grande. Mais, pour les pointes de travail, l'ensemble de la production serait tout de même un peu juste. Une réserve de carburant doit être à disposition pour ce genre de journées de travail. Dans cet essai, nous avons utilisé à cette fin un dépôt à haute pression. Une certaine réserve existe aussi dans l'utilisation de la production brute si, on ne chauffe pas le digesteur pendant les journées très chargées. Ainsi, pendant une courte période toute la quantité produite est à disposition, mais elle doit être plus tard à nouveau compensée par un chauffage plus intense de l'installation. Finalement, on peut également reprendre le fonctionnement au diesel; ceci est d'ailleurs l'avantage des moteurs à injection pilote.

Rentabilité

Les équipements volumineux qui, en plus des installations de biogaz, sont nécessaires à la préparation de celui-ci en tant

que carburant, exigent de gros investissements. La composante la plus chère est le compresseur qui coûte 15'000 francs. Au total et en incluant la transformation du tracteur, les besoins d'investissement s'élè-

vent à 29'000.- francs pour une exploitation comprenant 25 UGB-biogaz, c'est-à-dire 40 - 50 m³/jour. Pour une exploitation ayant une production deux fois plus grande, il faut disposer d'un désulfurisateur et d'un dépôt à haute pression plus importants. L'investissement total nécessaire s'élève alors à 36'000.- francs.

La rentabilité d'un carburant de remplacement dépend naturellement du prix du carburant à remplacer. Dans le cas présent il s'agit du prix du diesel. C'est pourquoi nous avons calculé le prix du biogaz par litre de diesel remplacé (fig. 12).

Les coûts varient en fonction de l'importance de l'exploitation d'environ 3.40 francs à 2.40 francs. Les frais de production du biogaz à eux seuls sont dans tous les cas plus élevés que le prix du carburant diesel après restitution des droits de douane qui s'élève pour l'agriculture à environ Frs. 0.80 par litre. L'ensemble des coûts du carburant est de trois à quatre fois supé-

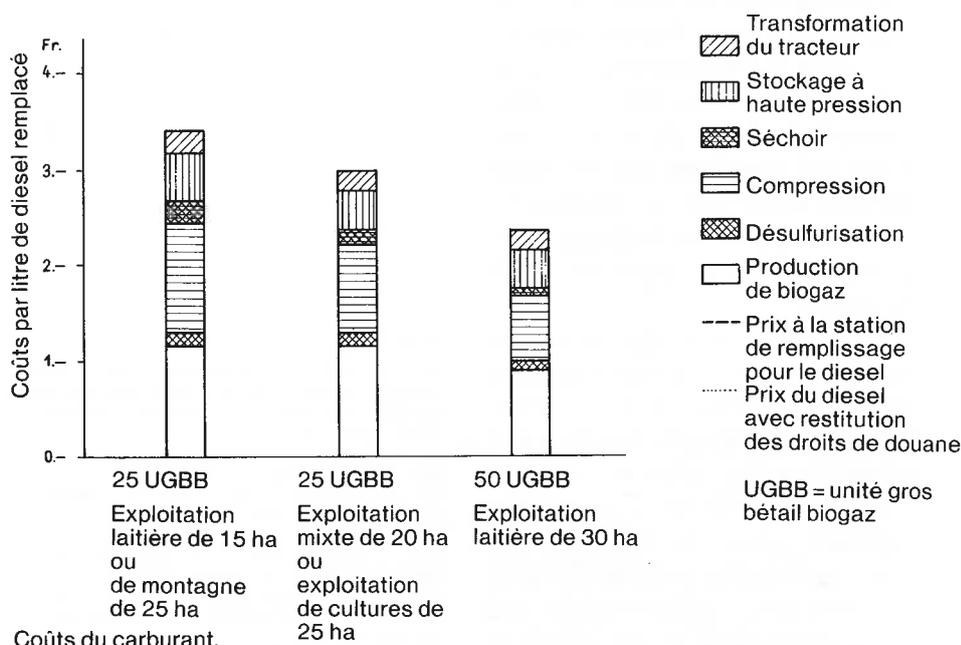


Fig. 12: Coûts par litre de diesel remplacé pour la production de biogaz, la préparation et le stockage du carburant, ainsi que la transformation du tracteur, calculées pour plusieurs exploitations.

rieur. Toutefois, lors de l'utilisation des excédents de biogaz, il faut dans chaque cas clarifier la partie des coûts de production qui est à ajouter au prix du carburant. Une diminution des coûts de préparation serait à la rigueur possible, en renonçant à l'entrepôt à haute pression stationnaire. Sans prendre en considération les coûts de fabrication et sans l'entrepôt à haute pression, le litre de carburant diesel remplacé coûte encore Frs. 1.80 – Frs. 1.10.

Conclusions

Les essais avec le tracteur à biogaz démontrent que pour le réglage du gaz, l'utilisation du régulateur mécanique existant est possible. Une grande partie des tracteurs qui se trouvent sur le marché fonctionnent avec des régulateurs avec lesquels des solutions semblables seraient réalisables.

Le maniement du tracteur n'occasionne aucun travail supplémentaire à l'exception du remplissage du réservoir. La conversion du type de fonctionnement est effectuée par un interrupteur électrique sur le tableau de bord. Avec un réglage adéquat, on peut économiser 70% de diesel.

Les réservoirs sous pression sont soumis à des autorisations et des contrôles. Une autorisation d'utilisation de bouteilles à haute pression pour le stockage du biogaz, tenant des conditions valables pour le méthane et avec un nouveau contrôle tous les cinq ans, n'est possible que si un nettoyage et un séchage absolument sûrs du gaz peuvent être garantis. Cela présuppose une surveillance et un entretien

réguliers et consciencieux des installations de préparation. L'utilisation du biogaz en tant que carburant «fait maison» est réalisable du point de vue technique. Les coûts – surtout pour la préparation du gaz – sont cependant si élevés qu'une utilisation rentable n'est pas possible, compte tenu des prix du diesel.

Ces essais ont été co-financés par le Fonds national suisse dans le cadre du programme de recherche national 7b et du programme COST 304. Des rapports détaillés se trouvent dans les comptes-rendus de la FAT no. 18 et no. 27.

Des demandes éventuelles concernant les sujets traités ainsi que d'autres questions de technique agricole doivent être adressées aux conseillers cantonaux en machinisme agricole indiqués ci-dessous. Les publications et les rapports de textes peuvent être obtenus directement à la FAT (8356 Tänikon).

BE	Furer Willy, 2710 Tavannes	Tél. 032 - 91 42 71
FR	Lippuner André, 1725 Grangeneuve	Tél. 037 - 82 11 61
TI	Müller A., 6501 Bellinzona	Tél. 092 - 24 35 53
VD	Gobalet René, 1110 Marcelin-sur-Morges	Tél. 021 - 71 14 55
VS	Balet Michel, Châteauneuf, 1950 Sion	Tél. 027 - 36 20 02
GE	A.G.C.E.T.A., 15, rue des Sablières, 1214 Vernier	Tél. 022 - 41 35 40
NE	Fahrni Jean, Le Château, 2001 Neuchâtel	Tél. 038 - 22 36 37
JU	Donis Pol, 2852 Courtemelon / Courtételle	Tél. 066 - 22 15 92

Les numéros des «Rapports FAT» peuvent être également obtenus par abonnement en langue allemande. Ils sont publiés sous le titre général de «FAT-Berichte». Prix de l'abonnement: Fr. 35.- par an. Les versements doivent être effectués au compte de chèques postaux 30 - 520 de la Station fédérale de recherches d'économie d'entreprise et de génie rural, 8356 Tänikon. Un nombre limité de numéros photocopiés en langue italienne sont également disponibles.