

Rapport annuel 2001, 04 décembre 2001

# Projet BIOGASMOTOR

Auteur et coauteurs	Dr A. ROUBAUD, Prof. Dr. D. FAVRAT
Institution mandatée	Laboratoire d'énergétique industrielle
Adresse	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1015 Lausanne
Téléphone, e-mail, site Internet	021/693 59 68, <a href="mailto:anne.roubaud@epfl.ch">anne.roubaud@epfl.ch</a> <a href="http://leniwww.epfl.ch">http://leniwww.epfl.ch</a>
N° OFEN	projet : 43318 décision : 83247
Durée prévue du projet	de Septembre 2001 à Mars 2002

## RÉSUMÉ

L'utilisation de la biomasse comme ressource énergétique est un élément clé du développement durable. Dans ce cadre l'alimentation au biogaz de moteurs de cogénération permet d'optimiser l'utilisation de l'énergie primaire. Dans les moteurs à gaz, l'emploi d'une préchambre de combustion permet de réduire les émissions de NOx et CO en dessous des limites prescrites par l'Ordonnance Fédérale de la protection de l'air (*OPair*) et de diminuer fortement celles des HC, lors du fonctionnement au gaz naturel et ceci sans catalyseur. Les catalyseurs sont des éléments coûteux, à fiabilité et durée de vie très limitée en fonctionnement avec du biogaz et il est donc nécessaire de s'en affranchir. Exploiter pour le biogaz le potentiel de réduction des émissions offert par l'usage de préchambres mérite une attention particulière. Les plus faibles niveaux de pression de combustion, que l'usage de préchambres induit par rapport à un allumage direct, permettent de réduire les émissions de CO aussi bien que celles actuellement non réglementées comme les hydrocarbures imbrûlés. Le présent projet vise à caractériser expérimentalement le potentiel de réduction des émissions, de même qu'à accroître le rendement de conversion de biogaz, par l'usage de moteurs à mélange pauvre à préchambre de combustion. Les essais sont réalisés sur le moteur *Liebherr* du projet *Swiss Motor*.

Les premiers résultats avec un biogaz reconstitué montrent un potentiel d'amélioration des performances des moteurs à cogénération fonctionnant au biogaz en permettant d'atteindre un rendement supérieur à 36% tout en respectant les normes suisses d'émissions concernant les biogaz et ce sans recourir à l'usage d'un catalyseur. Par la suite les possibilités d'amélioration de ce rendement, par variation de l'avance à l'allumage ou variation du taux de compression seront étudiées.

## Buts du projet

Dans le contexte actuel de recherche de développement durable, l'utilisation de la biomasse offre un grand potentiel de remplacement des carburants d'origine fossile utilisés dans de nombreuses applications consommatrices d'énergie. La cogénération permet en particulier de consommer in situ les gaz dérivés de la biomasse (biogaz) par fermentation ou gazéification de sous produits agricoles ou forestiers ou encore de déchets. Ces applications valorisent les résidus des municipalités, entreprises et exploitations agricoles en produisant de l'énergie (chaleur/force), tout en n'augmentant pas la quantité de gaz à effet de serre émis.

Dans le cadre du projet *Swiss Motor*, un moteur de cogénération fonctionnant au gaz naturel a été mis au point afin de remplir les normes suisses d'émissions pour le CO et les NOx sans traitement catalytique des gaz d'échappement [1]. Les préchambres de combustion utilisées permettent d'accélérer le phénomène de combustion en générant des jets qui vont à leur tour enflammer le mélange de la chambre principale en de nombreux sites et avec une surface de flamme plus grande. Ce mode de fonctionnement permet de diminuer fortement la pression maximale dans le cylindre et ainsi de réduire la formation de NOx, CO en dessous des limites prescrites par l'Ordonnance Fédérale de la protection de l'air (*OPair*), et aussi de réduire les hydrocarbures totaux (THC). L'absence de catalyseur doit permettre de faire fonctionner aussi le moteur avec un biogaz provenant de stations d'épuration ou de décharge. En effet ces gaz contiennent des métaux lourds et des sulfures. Ceux-ci ont une action inhibitrice sur le catalyseur par adsorption sur les métaux précieux ou par obturation des pores. Par ailleurs, les techniques de filtration ne sont pas encore opérationnelles sur les installations de moteur de cogénération, sont encombrantes et vont vraisemblablement induire des coûts d'investissement et de maintenance élevés.

Les objectifs de ce projet sont de réaliser des essais sur le moteur *Liebherr* du projet *Swiss Motor* équipé de préchambre de combustion avec un biogaz reconstitué à partir de gaz naturel et de CO<sub>2</sub>, de composition représentative du biogaz produit par la station d'épuration de Morges ; d'évaluer pour le système d'allumage par préchambre les performances du moteur et ses émissions en fonction de la richesse, du taux de compression et de l'avance à l'allumage. L'objectif est d'atteindre un rendement minimum de 36% tout en respectant les normes suisses d'émissions en vigueur concernant le CO et les NOx..

Compte tenu des éléments précédents, les différentes phases de ce projet sont d' **adapter le système d'alimentation** en combustible du moteur Liebherr G 926 TI, utilisé dans le cadre du projet *Swiss Motor*, avec préchambre de combustion pour le fonctionnement avec du biogaz synthétique de composition correspondante à celle de la station d'épuration de Morges, **de caractériser son fonctionnement** du point de vue des émissions réglementées de NOx, CO, du rendement effectif, de la stabilité de fonctionnement, de comparer les résultats avec ceux obtenus lors d'essais de référence pour le gaz naturel avec un allumage direct et par préchambre, d'optimiser les performances du moteur, soit en augmentant le taux de compression, soit en augmentant l'avance à l'allumage.

Ces différents points, constituent une première étape qui doit permettre la préparation de l'optimisation du moteur pour le fonctionnement au biogaz. Dans une étape envisagée pour une phase ultérieure, une installation pilote devra permettre de tester le moteur, après optimisation, sur un site de production de biogaz afin d'évaluer son comportement dans la durée et dans le contexte d'éventuelles variations de composition du combustible.

## Travaux effectués et résultats acquis

### 1. Modification du système d'alimentation du moteur *Liebherr G 926 TI*

Le stand d'essai moteur qui a été utilisé est celui qui a été développé lors du projet *Swiss Motor* [2].

Comme prévu dans le plan de travail, le système d'alimentation du moteur a été modifié afin de pouvoir fonctionner avec des mélanges gaz naturel (GN)/CO<sub>2</sub> comportant 40% de CO<sub>2</sub>. Le système d'alimentation répond au schéma de la figure 1.

Afin de pouvoir fonctionner avec des mélanges gaz naturel/CO<sub>2</sub> pouvant comporter jusqu'à 40% de CO<sub>2</sub>, une ligne d'alimentation a été ajoutée. Le CO<sub>2</sub> est mélangé à l'air avant d'être mélangé au gaz naturel pour des raisons de capacité de débit de la tuyauterie dédiée au gaz naturel. Le CO<sub>2</sub> est stocké dans des palettes de 12 bouteilles de 50 L (soit une capacité de stockage de 600 L) sous forme liquide et à une pression entre 50 et 60 bar suivant la température ambiante (15 à 23 °C). Pour éviter un phénomène de givre lors de la détente, le CO<sub>2</sub> est chauffé par un réchauffeur de CO<sub>2</sub> de la société *Carbagaz* de type *TF2*. Le CO<sub>2</sub> est ensuite détendu de 50 (ou 60) bar à 1,5 bar par un détendeur de type *Dom-Druckminderer modèle 811/10 2476 MS GHR* fourni par *Carbagaz* puis le débit est mesuré par un débitmètre laminaire *Cussons de type S n°458 H* équipé d'un capteur de pression différentielle (voir fig. 1, mesure 84) et d'une mesure absolue de la température et de la pression (voir fig. 1, mesure 82 et 83). Une vanne manuelle permet de modifier le débit de CO<sub>2</sub> afin d'obtenir la proportion voulue en fonction du débit de gaz naturel mesuré par le débitmètre massique F1. Un mélangeur de type *venturi* est utilisé pour mélanger le CO<sub>2</sub> et l'air.

Le débitmètre laminaire *Cussons* a été étalonné par comparaison avec un débitmètre massique *Micro-Motion M 500008* afin de vérifier la linéarité du débitmètre dans la plage de débit utilisée.

Il est à noter que cette modification du stand d'essai est provisoire car l'utilisation du débitmètre laminaire et le réglage de façon manuelle du débit de CO<sub>2</sub> nécessite la présence de deux opérateurs et ne permet pas de réglage fin de la proportion de CO<sub>2</sub> dans le biogaz synthétique. Ce système n'a été utilisé que dans l'objectif de pouvoir réaliser une première série d'essais dont les résultats sont présentés dans ce rapport. Un contrôleur de débit *Hi-Tec de type F203AC-FBC-44-Z* pour la régulation de CO<sub>2</sub> pour des débits de 10 à 500 NL/min a été commandé auprès de la société *Rematec/Vögtlin* afin de pouvoir travailler de manière plus précise.

### 2. Premiers essais

Afin d'avoir des données de références pour le gaz naturel, deux séries d'essais ont été réalisées avec du gaz naturel avec un allumage direct et un allumage par préchambre de combustion. Des essais ont ensuite été réalisés avec un mélange gaz naturel/CO<sub>2</sub> comportant 40 % en moyenne de CO<sub>2</sub> et avec préchambre de combustion pour la même composition de gaz naturel, voir tableau 1. Ces essais ont été réalisés pour une puissance de 150 kW et une vi-

Essais	azote	CO2	méthane	éthane	propane	i-butane	n-butane	i-pentane	n-pentane	HC sup 6+	Somme
108-111	2.036	0.739	91.799	3.983	1.009	0.159	0.175	0.038	0.032	0.031	100.001

tesse de rotation de 1500 tr/min.

Tableau 1. Composition du gaz naturel

Les principaux résultats de ces essais sont résumés dans la figure 2.

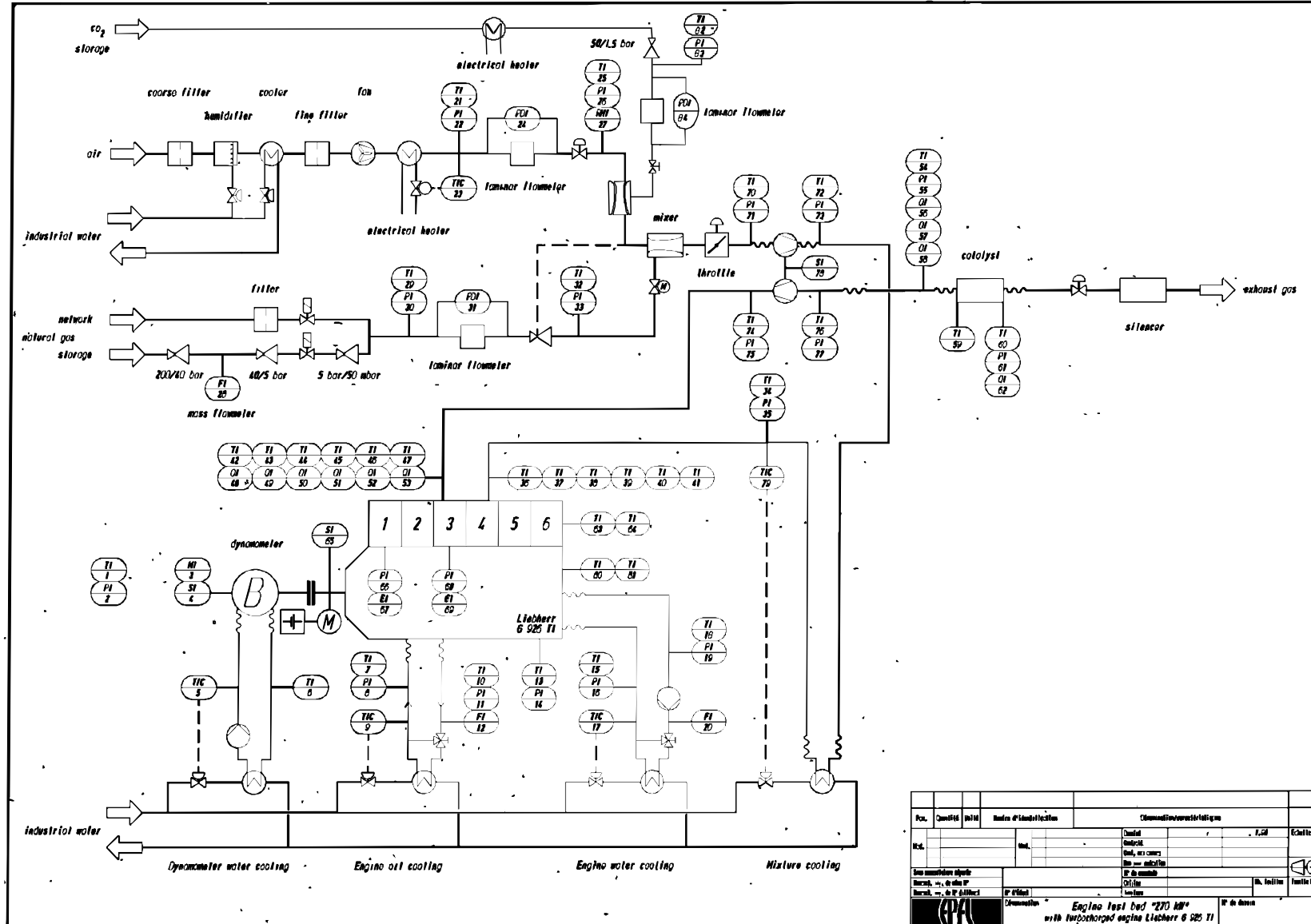


Figure 1. Schéma du banc d'essai du moteur Liebherr G 926 T1 turbo chargé modifié pour un fonctionnement au biogaz synthétique.

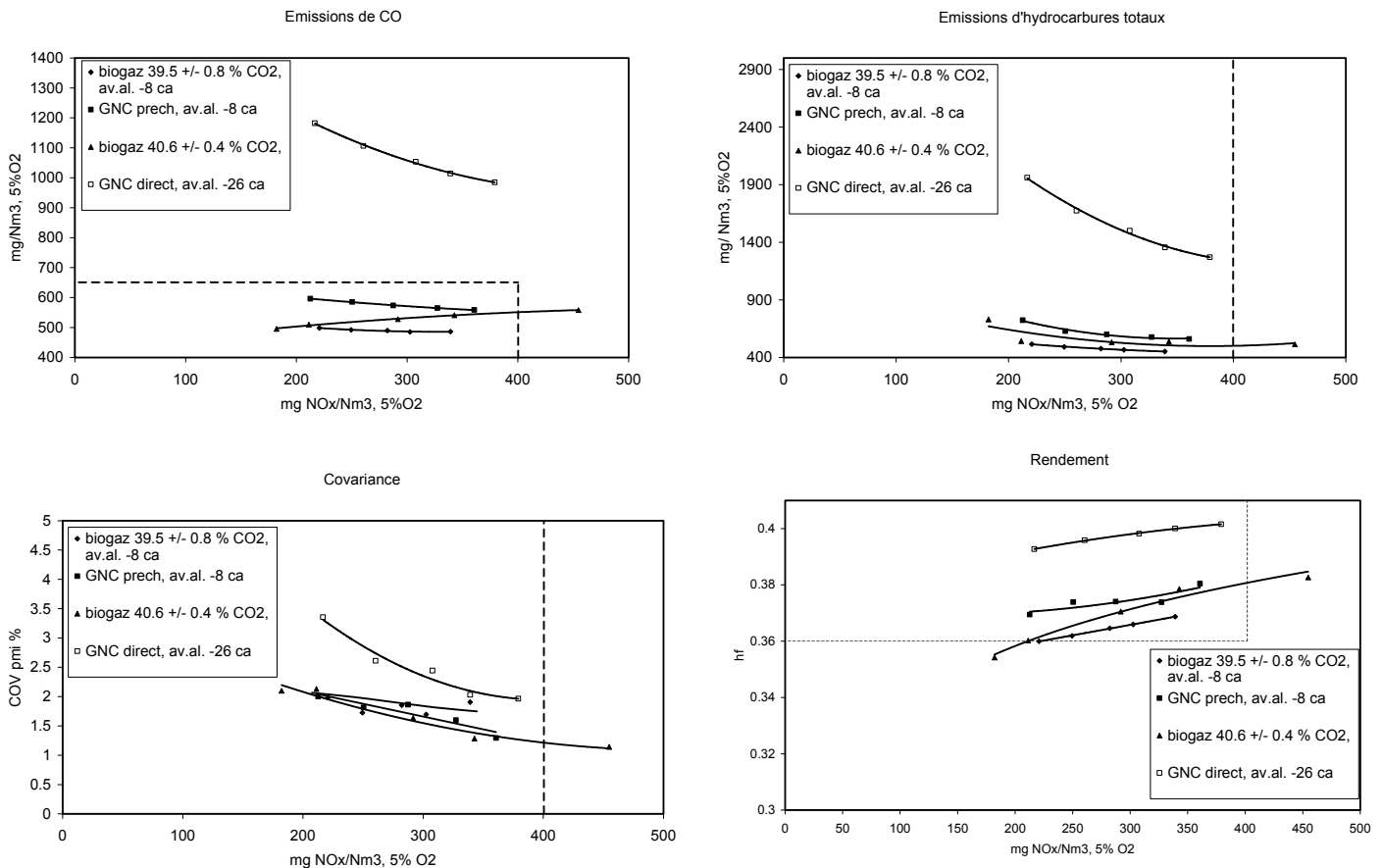


Figure 2. Comparaison des résultats pour les quatre séries d'essais avec du gaz naturel et un mélange gaz naturel/ CO<sub>2</sub> de moyenne 40% de CO<sub>2</sub>, pour le « biogaz » avec préchambre  $1,58 < \lambda < 1,6$ , pour le gaz naturel allumage par préchambre  $1,64 < \lambda < 1,68$ , pour le gaz naturel allumage direct  $1,8 < \lambda < 1,84$

Ces premiers résultats montrent que le moteur fonctionne de manière aussi stable avec le « biogaz » que le gaz naturel pour les mêmes émissions de NO<sub>x</sub>, que le rendement est supérieur à 36% dans la majorité des points de fonctionnement satisfaisant les normes d'émissions en vigueur. En matière d'émissions, les normes relatives aux carburant biogaz sont satisfaites pour presque tous les points de mesure. Si on compare les résultats du biogaz à ceux pour le gaz naturel avec préchambre, on constate en moyenne une baisse de 15% des émissions de CO et de 8% pour les hydrocarbures totaux pour la même avance à l'allumage (8° vilebrequin) avec une baisse de rendement de 1%. On remarque que si on varie l'avance à l'allumage de 8° à 13° (série de points ▲) le rendement peut atteindre 37.8% pour 12°, tout en respectant encore les normes d'émissions pour le biogaz (343 mg NO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup>, 5% O<sub>2</sub> et 541 mg CO/Nm<sup>3</sup>, 5% O<sub>2</sub>).

## Évaluation de l'année 2001 et perspectives pour 2002

Les premiers essais réalisés démontrent un potentiel d'amélioration des performances des moteurs de cogénération fonctionnant au biogaz avec un rendement supérieur à 36% tout en respectant les normes suisses d'émissions concernant les biogaz et ce sans recourir à l'usage d'un catalyseur.

Pour le début d'année 2002, le régulateur de débit massique pour le CO<sub>2</sub> sera installé de manière à pouvoir effectuer des mesures plus précises. De nouveaux essais seront réalisés afin de confir-

mer les tendances déjà observées. L'influence du taux de compression sur les performances du moteur et les émissions sera étudiée

## Références

- [1]. Thèse de Roger Röthlisberger, ***An experimental investigation of a lean burn natural gas prechamber spark ignition engine for cogeneration***, thèse 2346, soutenue le 12 mars 2001 à l'EPFL.
- [2]. R. P. Roethlisberger, G. Leyland, C.-A. Paschoud and D. Favrat, ***Swiss Motor, Modification d'un moteur Diesel pour le fonctionnement avec mélange stoechiométrique ( $\lambda = 1$ ) et pauvre ( $\lambda \geq 1$ )***, Swiss Federal Office of Energy, Final Report, 1998.