

COOPERATION

COOPERATION AGREEMENT ON
ALTERNATIVE ENERGY DEVELOPMENT
AND ENERGY EFFICIENCY

ENTENTE DE COOPÉRATION
SUR LE DÉVELOPPEMENT DES
ÉNERGIES DE REMPLACEMENT
ET L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

**RENDEMENT DES CHAUDIÈRES
ALIMENTÉES AUX COPEAUX DE BOIS
DE L'ÎLE-DU-PRINCE-ÉDOUARD**

R.W. Braaten et T.G. Sellers

Canada™



**Prince Edward Island
Île-du-Prince-Édouard**

Accord de coopération
Canada-Île-du-Prince-Edouard
sur
la mise en valeur
des énergies de remplacement
et
l'efficacité énergétique

**RENDEMENT DES CHAUDIÈRES
ALIMENTÉES AUX COPEAUX DE BOIS
DE L'ÎLE-DU-PRINCE-ÉDOUARD**

R.W. Braaten et T.G. Sellers

©Énergie, Mines et Ressources Canada
Laboratoire de recherche sur la combustion et la carbonisation
Laboratoires de recherche sur l'énergie
Ottawa (Ontario)
K1A 0G1

Rapport de division LRÉ 92-43 (TR)
avril 1993

No de catalogue : M39-59/1993
ISBN : 0-662-59522-X

TABLE DES MATIÈRES

| | Page |
|-------------------|------|
| Introduction | 1 |
| Appareils d'essai | 2 |
| Matériel d'essai | 3 |
| Méthode | 5 |
| Résultats | 7 |
| Conclusions | 9 |
| Remerciements | 9 |

TABLEAUX

No

| | |
|--|----|
| 1 - Résultats moyens de l'analyse des gaz de carneau | 10 |
| 2 - Rendement des chaudières | 10 |
| 3 - Émissions de gaz de carneau | 11 |
| 4 - Émissions de particules | 11 |
| 5 - Émissions de HAP - $\mu\text{g}/\text{DSm}^3$ | 12 |
| 6 - Émissions de HAP - $\mu\text{g}/\text{h}$ | 13 |

FIGURES

No

| | |
|---|--|
| 1 - Échantillonneur de particules selon la méthode 5 | |
| 2 - Échantillonneur de HAP selon la méthode 5 modifiée | |
| 3 - Émissions de gaz de carneau de l'appareil de 75 kW pendant le prélèvement de particules | |
| 4 - Émissions de gaz de carneau de l'appareil de 75 kW pendant le prélèvement de HAP | |
| 5 - Émissions de gaz de carneau de l'appareil de 125 kW pendant le prélèvement de particules | |
| 6 - Émissions de gaz de carneau de l'appareil de 125 kW pendant le prélèvement de HAP | |
| 7 - Émissions de gaz de carneau de l'appareil de 440 kW pendant le prélèvement de particules | |
| 8 - Émissions de gaz de carneau de l'appareil de 440 kW pendant le prélèvement de HAP | |
| 9 - Émissions de gaz de carneau de l'appareil de 600 kW pendant le prélèvement de particules | |
| 10 - Émissions de gaz de carneau de l'appareil de 600 kW pendant le prélèvement de HAP | |
| 11- Émissions de gaz de carneau de l'appareil de 1800 kW pendant le prélèvement de particules | |
| 12- Émissions de gaz de carneau de l'appareil de 1800 kW pendant le prélèvement de HAP | |

INTRODUCTION

En février 1990, les ministres fédéral et provincial ont signé l'Accord de coopération Canada-Île-du-Prince-Edouard sur la mise en valeur des énergies de remplacement et l'efficacité énergétique.

Cet accord vise à :

- améliorer l'infrastructure énergétique stratégique et augmenter la sécurité et l'efficacité énergétiques dans l'ÎPE;
- accroître la production d'énergie renouvelable provenant de ressources locales et accélérer l'adoption de nouvelles techniques de production et d'économie de l'énergie; et
- favoriser l'emploi local, ainsi que les entreprises commerciales et industrielles dans les secteurs de la production et du transport de copeaux de bois, et de la fabrication et de la mise au point de systèmes de chauffage à la biomasse.

Le volet énergies renouvelables de l'Accord consiste en un programme fédéral d'aide technique et financière à la conversion des systèmes de chauffage commerciaux/institutionnels existants et à l'installation de nouveaux systèmes d'utilisation des combustibles de la biomasse, en particulier les copeaux de bois provenant d'arbres entiers locaux.

Énergie, Mines et Ressources Canada (Secteur de l'énergie) administre l'Accord pour le compte du gouvernement fédéral.

Dans le cadre de ses efforts continus de mise au point de systèmes de combustion de copeaux dans l'ÎPE, Énergie, Mines et Ressources Canada a chargé les Laboratoires de recherche sur l'énergie de CANMET d'effectuer et de superviser des essais visant à évaluer la performance en termes de rendement et d'émissions de cinq chaudières alimentées aux copeaux dans l'Île-du-Prince-Edouard, dont les puissances nominales varient de 75 kW à 1800 MW. Les essais ont été effectués au début d'avril 1992.

Les gaz de carneau ont été dosés en continu à l'aide d'analyseurs en circuit qui ont permis de déterminer les caractéristiques de fonctionnement des chaudières pendant les essais. L'analyse de la teneur en humidité et en combustible de deux échantillons de bois prélevés dans le système d'alimentation de chaque chaudière a aussi été effectuée. Les analyses des émissions de particules et de HAP de chaque appareil ont été menées par Air Testing Services Inc. (ATS) de Toronto qui a réalisé le travail en sous-traitance.

Le présent rapport donne les résultats de ces analyses.

APPAREILS D'ESSAI

Les fiches techniques sont des descriptions approchées des appareils, qui ne rendent pas nécessairement compte de leur performance réelle. Ces derniers sont soit des modèles européens, soit des versions modifiées de ces systèmes. Le système Sylva fait appel à un moteur c.c. pour régler en continu l'alimentation en combustible; dans tous les autres appareils, l'alimentation est assurée cycliquement par une vis sans fin dont les durées de marche et d'arrêt sont fixes. Les valeurs de consigne varient en général entre 10 et 60 secondes pour chaque mode. Une commande automatique séparée reliée à une sonde de température de l'eau de la chaudière met le système en attente lorsqu'il atteint une limite préétablie. À cette valeur de consigne, la vis sans fin continue de fonctionner tout juste pour maintenir une température minimale dans la chaudière.

Dans la pratique, la longueur relative du cycle d'alimentation doit être modifiée à l'occasion pendant la saison de chauffage pour minimiser la durée des mises en attente, de façon que la vis sans fin fonctionne pendant de courtes périodes régulièrement espacées lorsque le temps est plus doux et en continu lorsque le temps est froid. Durant les essais, les températures se sont en général maintenues dans la fourchette de -10 à 0°C, créant pour la plupart des systèmes une charge raisonnable avec vidange d'eau chaude au besoin. Les commandes ont été réglées pour assurer que les systèmes n'entrent pas en attente pendant les prélèvements de particules ou de HAP.

Le **Bio-Blast de 75 kW** est un prototype dérivé d'un Bio-Blast plus puissant dont il est question ci-après. Le système est muni d'une trémie à copeaux d'une capacité d'environ 1,2 m³ qui alimente la chambre de combustion par son côté, près de la base, au moyen d'une vis sans fin. Une soufflante fournit à la chambre l'air primaire de combustion, l'air secondaire étant introduit par une ouverture réglable. L'échangeur de chaleur de l'installation d'essai est une chaudière à tubes verticaux ETNA dont les gaz de combustion sont évacués par un tuyau d'échappement à paroi simple de 0,302 m dans une cheminée verticale fabriquée en usine. Aucune extraction des gaz de carneau n'est prévue. Aux fins des essais, le tuyau d'échappement a été dévié pour obtenir une section droite assez longue dans la chambre d'essai aux fins de l'échantillonnage. L'appareil d'essai est installé dans une grande résidence (grange transformée), et assure le chauffage des locaux et de l'eau domestique.

Le **Bio-Blast de 125 kW** est muni d'une trémie à copeaux d'une capacité d'environ 5,4 m³ qui alimente la chambre de combustion par le fond au moyen d'une vis sans fin. Une soufflante alimente le brûleur en air. Dans cette installation, les gaz de carneau de la chambre de combustion entrent dans une chaudière à tubes verticaux Renfyre pour fin d'échange de chaleur avant d'être évacués par une cheminée à

paroi simple en acier de 0,203 m de diamètre. Aucune extraction des gaz de carneau n'est prévue. L'appareil d'essai est installé dans une ferme porcine où il chauffe les planchers de la porcherie.

L'appareil de 440 kW est muni d'un système à vis sans fin qui achemine le combustible sur le dessus de la chambre de combustion où il tombe par gravité sur une grille inclinée. De l'air est soufflé par le dessous à travers la grille et de l'air secondaire est introduit en aval. Les copeaux sont stockés dans une remorque à fond mobile d'une capacité d'environ 43 m³ qui alimente les vis sans fin. Les gaz de carneau sont évacués par une soufflante dans un multiclone Joy, puis dans une cheminée verticale en acier non isolée de 0,502 m de diamètre. L'appareil d'essai est installé dans un bâtiment spécial à l'arrière d'un hôtel de 66 chambres dont il assure le chauffage des locaux et de l'eau domestique.

Le Sylva de 600 kW est muni d'un système à vis sans fin qui transporte les copeaux de l'entrepôt à une trémie d'usage immédiat d'où ils sont acheminés par une vis sans fin c.c. sur une grille étagée coulissante. Le système à l'essai fait appel à une trémie de stockage des copeaux située en-dessous du niveau du sol sous le groupe chambre de combustion/chaudière. Les copeaux sont chargés par une trappe dans la trémie où ils sont poussés par des racloirs à même le plancher dans un collecteur à vis sans fin et dans les convoyeurs à vis sans fin d'alimentation. Les gaz de carneau de la chambre de combustion sont dirigés dans le foyer d'une chaudière équipée d'un brûleur à mazout pivotant. Ils passent de la chaudière dans un multiclone Joy, puis dans une soufflante à tirage par aspiration et une cheminée verticale à double paroi en acier de 0,254 m de diamètre. L'appareil est installé dans une école polyvalente où il assure le chauffage des locaux et de l'eau.

Le KMW de 1800 kW est muni d'un système à vis sans fin qui alimente une petite trémie d'usage immédiat, à partir de laquelle une vis sans fin achemine les copeaux vers la base de la chambre de combustion. Les gaz de carneau passent directement de cette dernière dans la chaudière échangeuse de chaleur. L'appareil est disposé de manière que les gaz sortant près du dessus de la chambre de combustion entrent dans la chaudière près de la base. Les gaz de carneau sortant de la chaudière décrivent un angle de 180 ° avant d'entrer dans un multiclone Joy et un ventilateur d'évacuation. Ils passent ensuite dans un collecteur commun qui mène aussi à deux chaudières à mazout avant de sortir dans une grande cheminée à parement en briques.

MATÉRIEL D'ESSAI

(i) Matériel de contrôle de la température et de la composition des gaz de carneau :

- . analyseur infrarouge de CO₂ en continu (Horiba PIR 2000), plage 0 - 20 %
- . analyseur infrarouge de CO en continu (Horiba PIR 2000), plage 0 - 1 %

- . analyseur paramagnétique de O₂ en continu (Beckmann), plage 0 - 25 %
- . analyseur infrarouge de SO₂ en continu (Horiba PIR 2000), plage 0 - 1500 ppm
- . analyseur chimioluminescent de NO_x (Theermo Electron modèle 10),
plage 0 - 1000 ppm
- . analyseur d'hydrocarbures à ionisation de flamme (Scott), plage 0 - 5000 ppm
- . train de conditionnement des gaz de carneau

Les tensions de sortie de ces analyseurs et les indications de température des gaz de carneau données par le thermocouple ont été traitées par un système de saisie des données Hewlett Packard 3497A. Les résultats ont été mis en mémoire sur disque souple à l'aide d'un ordinateur de table.

(ii) Le matériel d'échantillonnage des particules (figure 1) consiste en un échantillonneur, tel que décrit dans dans la méthode E du rapport SPE 1-AP-74-1 d'EC, qui comprend les éléments suivants :

- . Toutes les surfaces en contact avec l'échantillon sont en verre, en acier inoxydable ou en téflon.
- . Une sonde chauffante est contenue dans un tube en acier inoxydable.
- . Le porte-filtre en pyrex contient un filtre de 0,3 µm, de 10 cm de diamètre nominal, dans une enceinte chauffée maintenue à 120 °C.
- . Quatre pièges Greenburgh-Smith sont reliés en série. Le premier, le troisième et le quatrième sont modifiés, les pointes et les plaques d'impact étant remplacées par des tubes de verre se prolongeant à moins de 13 mm du fond du récipient. Les deux premiers pièges contiennent 100 mL d'eau distillée, et le quatrième, 200 g de gel de silice. L'ensemble est refroidi par un bain de glace.
- . Une pompe à vide, un débitmètre, un manomètre et un groupe de commande permettent de faire fonctionner le système suivant la méthode d'essai.

(iii) Le matériel d'échantillonnage des HAP (figure 2) consiste en un échantillonneur conforme au rapport SPE 1/RM/2 d'EC de juin 1989 "Méthode de référence en vue d'essais aux sources: dosage des composés organiques semi-volatils dans les émissions de sources fixes", et comprend les éléments suivants :

- . Toutes les surfaces en contact avec l'échantillon sont en verre, en acier inoxydable ou en téflon.
- . Une sonde chauffante est contenue dans un tube en acier inoxydable.
- . Un porte-filtre en pyrex contient un filtre de 0,3 µm, de 10 cm de diamètre nominal, dans une enceinte chauffée maintenue à 120 °C.
- . Un réfrigérant et un piège à résine XAD-2 sont refroidis en continu par un circuit d'eau glacée.
- . Quatre pièges Greenburgh-Smith sont reliés en série. Le premier, le troisième et le quatrième sont modifiés, les pointes et les plaques d'impact étant remplacées

par des tubes de verre se prolongeant à moins de 13 mm du fond du récipient. Les deux premiers pièges contiennent 100 mL d'eau distillée, et le quatrième, 200 g de gel de silice. L'ensemble est refroidi par un bain de glace. Remarque : L'ensemble n'est pas conforme à SPE 1/RM/2, mais a été utilisé dans tous les essais précédents par ATS.

Une pompe à vide, un débitmètre, un manomètre et un groupe de commande permettent de faire fonctionner le système suivant la méthode d'essai.

MÉTHODE

Deux remorques ont été utilisées pour transporter le matériel d'essai, une pour le matériel d'analyse en continu des gaz, qui est installé en permanence sur la remorque, l'autre pour le transport, la préparation et l'utilisation de l'échantillonneur de HAP et de particules. En général, le prélèvement des gaz de carneau pour fin d'analyse en continu a été fait près de la base de la cheminée, tandis que les échantillons de particules et de HAP ont été prélevés en un point de la cheminée situé à huit diamètres de conduite passé le dernier coude. Ont été recueillis un échantillon de particules, puis un échantillon de HAP, l'analyse continue des gaz de carneau étant effectuée concurremment.

L'échantillonneur en continu des gaz de carneau consiste en une sonde rainurée placée en travers de la conduite. L'échantillon traverse un filtre sec et un piège à humidité avant de passer dans la remorque par un tube à échantillons chauffé. Le reste de l'humidité est éliminé par un refroidisseur et un piège de gel de silice. Les échantillons sont débarassés de leurs particules par un filtre avant d'entrer dans les analyseurs. La fourchette de concentrations des analyseurs a été établis au moyen d'étalons de gaz primaires.

La température des gaz de carneau a été déterminée à l'aide d'un thermocouple situé au point de prélèvement des gaz de carneau, sinon à la sortie de la chaudière. Des mesures des gaz de carneau et de la température ont été prises à toutes les 3 minutes au moins pendant le prélèvement des HAP et des particules.

Les particules ont été échantillonnées dans la cheminée selon la méthode E de SPE 1-AP-74-1, et les HAP, selon SPE 1/RM/2. Les échantillons ont été entreposés conformément aux exigences des essais, en vue de leur transport au siège social d'ATS à Toronto pour fin d'analyse.

Des échantillons de bois ont été prélevés dans le système d'alimentation de la chaudière au milieu de chaque essai. L'échantillon a été mis dans un sac en plastique, puis déposé dans un récipient métallique avant d'être transporté au

laboratoire de CANMET où sa teneur en humidité, sa composition élémentaire et son pouvoir calorifique ont été déterminés en conformité des méthodes ASTM.

Les promoteurs et les exploitants jouissaient auparavant d'un accès très limité au matériel d'essai pour optimiser le fonctionnement des appareils, et les contraintes de temps du programme d'essais (deux jours par endroit, déplacement et préparation compris) ne permettaient pas un réglage fin des systèmes avant les essais. Dans plusieurs endroits, les promoteurs et (ou) les exploitants ont assisté aux essais et obtenu des résultats utiles de l'analyse des gaz de carneau en temps réel. Ils ont parfois réussi à faire des réglages pour améliorer le rendement des systèmes et, comme il est mentionné ci-après, ont parfois fait des réglages pendant le changement du matériel d'essai. Les améliorations résultantes signifient que dans certains cas le niveau des polluants mesuré au début des essais était supérieur aux niveaux potentiels. Suivent des données particulières sur chaque chaudière.

Bio-Blast 75 kW L'appareil est assez gros pour les besoins de chaleur de la maison où il est installé. Il a été vérifié la nuit pour maximiser la charge, et de l'eau chaude domestique a été vidangée lorsque la température de l'eau de la chaudière a commencé à approcher la limite supérieure. Le contrôleur de cycle a été réglé comme suit : 8 s d'alimentation aux 26 s. L'échantillonnage des particules a été effectué pendant 1 h, le système étant mis en attente entre les prélèvements. L'échantillonnage a été réalisé dans le tuyau d'échappement des gaz de carneau à la sortie de la chaudière, sans tenir compte de la prescription des 8 diamètres de conduite en amont et des 2 diamètres en aval du point de prélèvement. Par conséquent, le nombre de points d'échantillonnage a été augmenté conformément au protocole d'analyse. Avant l'échantillonnage des HAP, la prise d'air secondaire de la chambre de combustion a été fermée et l'ouverture de la bouche de la soufflante d'air de combustion a été réduite.

Bio-Blast 125 kW L'appareil (qui chauffe les planchers d'une porcherie) est passablement sollicité pour sa taille, tandis qu'un grand décalage thermique fait que cette application convient bien à ce type de système de chauffage. Les gaz de carneau s'échappent directement à la verticale dans un bâtiment à plafond haut, ce qui permet d'effectuer les essais à l'intérieur. L'échantillonnage des particules a été réalisé suivant des cycles d'alimentation 40 s marche/30 s arrêt, tandis que pour l'échantillonnage des HAP, le cycle a été réglé à 20 s marche/15 s arrêt (pour essayer de diminuer la répétition périodique des lectures des gaz de carneau) avec une légère diminution du débit d'air secondaire. Entre la première et la deuxième prise de lectures des HAP, les grilles ont été remuées pour éliminer les cendres et le clinker.

440 kW Lorsque les équipes d'analyse sont arrivées sur les lieux, l'appareil fonctionnait mal. De la fumée s'échappait. L'exploitant pensait que la perte de rendement tenait à un combustible de mauvaise qualité. Ce dernier titrait 104 %

d'humidité (base sèche), et des morceaux de glace ont été relevés à l'examen du combustible. L'appareil a été le premier à être vérifié et, même si l'échantillonnage particules devait être fait à ce moment-là, celui des HAP a été reporté jusqu'à la fin du programme d'essais, avec un meilleur combustible. Le matériel d'essai est arrivé sur les lieux l'après-midi de la veille du prélèvement des HAP, ce qui a permis à l'exploitant de régler le système, notamment de rendre la zone de séchage plus étanche.

Une rétrocaveuse retenue pour le compte du ministère provincial de l'Environnement faisait de l'excavation à côté de l'abri de la chaudière pendant la dernière demi-heure de l'essai. Personne ne sait si le fonctionnement de cette machine a influé sur les résultats des essais.

L'appareil est conçu pour desservir un bâtiment beaucoup plus grand que l'hôtel où il est situé. Il est donc fortement surdimensionné pour les besoins actuels. Pendant les essais, il a fallu vidanger constamment de l'eau chaude domestique pour éviter des mises en attente trop nombreuses.

Sylva 600 kW L'appareil chauffe une école polyvalente. Comme les essais ont eu lieu la fin de semaine, il a été plus facile de jouer avec la charge que cela n'aurait été le cas en semaine; certaines complications sont toutefois survenues dans la prise en charge du système automatisé de gestion de la charge. L'appareil s'était arrêté la nuit précédant l'arrivée de l'équipe d'analyse, et il a fallu le remettre manuellement en marche. Le régime permanent a toutefois été atteint assez rapidement. Aucun problème ne s'est posé pour maintenir ce régime pendant les essais si ce n'est qu'il a fallu baisser le régime entre les prélèvements ou entre les essais pour éviter de surchauffer l'école. Ce système fait intervenir un moteur c.c. à réglage continu qui a été réglé à 4,0 tr/min pour les essais, ce qui correspond à environ 4,25 kg/m.

KMW 1800 kW Comme l'appareil est normalement chargé par la base, il a été possible de le faire fonctionner en cycle normal pour la période de l'année avec une charge appropriée. Les gaz s'échappent par une conduite rectangulaire relativement longue dans un collecteur commun qui mène aux chaudières à mazout utilisées pour les pointes, desquelles la conduite sort pour se terminer dans une cheminée en brique. Le seul endroit possible pour le prélèvement (dans la conduite menant au collecteur) ne satisfaisait pas aux exigences des 8 et 2 diamètres de conduite; il a donc fallu ajouter des points d'échantillonnage (25 en tout) pour respecter les exigences du Code des essais aux sources.

RÉSULTATS

Les figures 3 à 12 indiquent la concentration instantanée de dioxyde de carbone, d'oxygène, de monoxyde de carbone, et la température instantanée des gaz de carneau pendant les essais.

Le tableau 1 est un résumé des valeurs moyennes des gaz de carneau et le tableau 2 indique le rendement des chaudières d'après les mesures sur les émissions de cheminée. Le tableau 3 renseigne sur les émissions de gaz de carneau, le tableau 4 sur les émissions de particules, et les tableaux 5 et 6 sur les émissions de HAP. Les irrégularités dans les tracés sont dues aux facteurs suivants :

75 kW :

- absence de pics de CO aigus passé 01h55, après réglage des alimentations en air primaire et secondaire (tableau 2 et figure 4)

125 kW :

- diminution des niveaux de CO pendant le deuxième prélèvement de HAP, après nettoyage de la grille (figure 6)

440 kW :

- aucune donnée sur le CO disponible pour le premier prélèvement de particules. Les valeurs moyennes pour cette analyse sont basées sur les seuls résultats du deuxième prélèvement (figure 7).
- diminution des niveaux de CO entre les deux essais après l'utilisation de combustible de meilleure qualité et l'étanchement poussé du système pour éviter les infiltrations d'air indésirables. Les niveaux de CO pendant le deuxième prélèvement étaient d'environ le vingtième de ceux relevés pendant le premier, et les niveaux de HC, d'environ le dixième.

600 kW :

- Les niveaux de CO pendant l'analyse des HAP étaient inférieurs à la moitié de ceux relevés pendant l'analyse des particules. Cela pourrait être attribuable à des changements dans le système (surtout des réglages du ventilateur d'évacuation) ou à une modification d'un analyseur de CO à plage plus basse.

Les résultats sur le contenu en humidité du bois dans les deux échantillons de chaque appareil sont résumés dans le tableau 2.

Les concentrations des constituants des gaz de carneau, y compris le CO, ont fluctué dans tous les appareils. La cause en serait les régimes cycliques des systèmes d'alimentation en combustible. Si certains systèmes présentent de petites plages, d'autres ont des courses beaucoup plus grandes.

CONCLUSIONS

Avant le programme d'essais, le matériel a été réglé surtout par observation visuelle des émissions de cheminée. Pendant les préparatifs ou les essais, plusieurs exploitants ont réussi à réduire considérablement les émissions polluantes en faisant des réglages de contrôle ou de fonctionnement basés sur les indications de l'analyseur de gaz de carneau en temps réel. La facilité avec laquelle le rendement a été amélioré indique qu'il existe un besoin pressant de matériel d'analyse pour développer et mettre au point des produits qui optimiseront le rendement de ces appareils.

Un des appareils a produit beaucoup plus d'émissions que les autres. L'exploitant a toutefois réussi à en améliorer considérablement le rendement entre l'échantillonnage des particules et celui des HAP. Il a aussi réussi à identifier des modifications de conception qui pourraient améliorer davantage le rendement, mais qui ne pouvaient être apportées à temps. En réduisant le CO et le HC de plus d'un ordre de grandeur et en passant d'émissions de fumée très visibles à des émissions à peine visibles, il est probable que les émissions de particules auraient été beaucoup plus faibles si un autre essai avait été mené.

Les émissions de tous les autres appareils ont été beaucoup plus faibles que prévu d'après l'expérience acquise avec les systèmes domestiques ou industriels.

REMERCIEMENTS

Ce programme n'aurait pu être réalisé sans la collaboration de plusieurs personnes. Les auteurs aimeraient remercier Nick La Valle et Jon Lennartz d'Air Testing Services Inc. pour leur travail soigné pendant les essais. Merci à Norman Hall, Vince Court, Eldon King, Carl Brothers, Bruce McCallum et Rob Brandon qui ont fait un excellent travail de programmation, et à Sandor Derrick qui a coordonné l'aide financière et le soutien moral pour que l'ensemble du projet devienne réalité.

Tableau 1 : Résultats moyens de l'analyse des gaz de carneau

| Puissance nominale de l'appareil(kW) | CO ₂ % | O ₂ % | CO ppm | NO _x ppm | SO ₂ ppm | HC ppm | Temp °C |
|--------------------------------------|-------------------|------------------|--------|---------------------|---------------------|--------|---------|
| 75 | 6.7 | 13.6 | 548 | 78 | <5 | 101 | 260 |
| | 9.4 | 10.9 | 329 | 109 | <5 | 72 | 277 |
| 125 | 9.0 | 11.3 | 614 | 78 | <5 | 497 | 304 |
| | 8.9 | 11.4 | 527 | 74 | <5 | 9 | 293 |
| 440 | 10.3 | 9.5 | 18815 | 34 | 125 | 555 | 149 |
| | 14.1 | 6.0 | 1126 | 51 | 11 | 65 | 187 |
| 600 | 8.1 | 12.5 | 73 | 61 | 9 | 43 | 251 |
| | 8.2 | 12.3 | 29 | 59 | <5 | 14 | 241 |
| 1800 | 11.4 | 9.1 | 44 | 123 | <5 | 3 | 266 |
| | 11.1 | 9.2 | 63 | 129 | 7 | 406 | 264 |

Tableau 2 : Rendement des chaudières

| Puissance nominale de l'appareil (kW) | Combustible H ₂ O (% bh) | Taux de combustion base sèche (kg/h) | Air en excès (%) | Rendement (%) | Puissance mesurée (kW) |
|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------|---------------|------------------------|
| 75 | 40 | 12 | 186 | 59 | 37 |
| | 39 | 15 | 107 | 65 | 55 |
| 125 | 42 | 17 | 113 | 56 | 52 |
| | 42 | 18 | 119 | 58 | 57 |
| 440 | 51 | 32 | 56 | 56 | 99 |
| | 36 | 34 | 38 | 73 | 138 |
| 600 | 47 | 138 | 141 | 58 | 442 |
| | 49 | 131 | 138 | 59 | 425 |
| 1800 | 46 | 535 | 71 | 63 | 1855 |
| | 46 | 530 | 74 | 63 | 1837 |

Tableau 3 : Émissions de gaz de carneau

| Puissance nominale de l'appareil (kW) | CO | | HC | | NO _x | | SO ₂ | |
|---------------------------------------|------|------|-----|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|
| | g/h | g/MJ | g/h | g/MJ | g/h | g/MJ | g/h | g/MJ |
| 75 | 105 | 0.46 | 11 | 0.049 | 25 | 0.109 | 0 | 0.000 |
| | 61 | 0.20 | 8 | 0.025 | 34 | 0.110 | 0 | 0.000 |
| 125 | 131 | 0.39 | 60 | 0.179 | 27 | 0.081 | 0 | 0.000 |
| | 121 | 0.34 | 1 | 0.003 | 28 | 0.079 | 0 | 0.000 |
| 440 ¹ | 5645 | 8.85 | 95 | 0.149 | 17 | 0.026 | 85 | 0.134 |
| | 313 | 0.46 | 10 | 0.015 | 23 | 0.034 | 7 | 0.011 |
| 600 | 137 | 0.05 | 90 | 0.033 | 291 | 0.106 | 69 | 0.025 |
| | 52 | 0.02 | 16 | 0.006 | 176 | 0.068 | 0 | 0.000 |
| 1800 | 212 | 0.02 | 11 | 0.001 | 1090 | 0.103 | 0 | 0.000 |
| | 315 | 0.03 | 11 | 0.001 | 1144 | 0.109 | 84 | 0.008 |

1 tel que mesuré

2 après réglages et changement de combustibles

Tableau 4 : Émissions de particules

| Puissances nominale de l'appareil (kW) | Emissions | | |
|--|-----------|-------|---|
| | g/h | g/MJ | mg/Sm ³ @12% CO ₂ |
| 75 | 11 | 0.047 | 94.8 |
| 125 | 11 | 0.032 | 76.4 |
| 440 | 270 | 0.423 | 1408.1 |
| 600 | 126 | 0.046 | 87.7 |
| 1800 | 533 | 0.050 | 148.7 |

Tableau 5 : Émissions de HAP - µg/DSm³

| | Appareil (kW) | | | | | |
|----------------------------------|---------------|--------|-------|--------|--------|--------|
| | 75 | 125 | 440 | 600 | 1800 | Blanc |
| Acénaphthène | 1.09 | 0.167 | 102. | 0.060 | <0.06 | 33.8 |
| Acénaphthylène | 16.6 | 0.186 | 1060. | 0.124 | 0.218 | 129 |
| Acridine | <0.012 | <0.011 | <4.63 | <0.009 | <0.011 | 1.02 |
| Anthracène | 3.63 | 0.297 | 211. | 0.053 | <0.06 | 59.5 |
| Benzo (a) anthracène | 2.38 | 0.204 | 650. | <0.009 | <0.06 | 16.2 |
| Benzo (b) fluoranthène | 4.35 | 0.796 | 46.7 | 0.051 | <0.18 | 3.08 |
| Benzo (k) fluoranthène | <0.036 | <0.032 | 81.2 | <0.028 | <0.18 | 6.41 |
| Benzo (b) fluorène | <0.048 | <0.043 | <18.5 | <0.028 | <0.24 | 4.1 |
| Benzo (g,h,i) pérylène | 1.93 | <0.043 | <19.5 | <0.037 | <0.24 | 2.82 |
| Benzo (a) pyrène | 1.78 | <0.043 | 34.7 | <0.037 | <0.24 | 6.15 |
| Benzo (e) pyrène | 1.06 | 0.175 | 17. | 0.023 | <0.09 | 2.82 |
| Chrysène/triphénylène | 1.44 | 0.425 | 82.2 | <0.009 | <0.06 | 7.18 |
| Coronène | <0.030 | <0.027 | <11.6 | <0.023 | <0.15 | 2.56 |
| Dibenzo (a,h) anthracène | 0.118 | 0.088 | <23.3 | <0.046 | <0.3 | 10.5 |
| 9,10-diméthylantracène | <0.018 | <0.016 | 6.95 | <0.014 | <0.09 | 1.54 |
| 7,12-diméthylbenz (a) anthracène | <0.030 | <0.027 | 11.6 | <0.023 | <0.015 | 2.565 |
| Fluoranthène | 20.3 | 3.21 | 930. | 0.331 | 0.186 | 95.4 |
| Fluorène | 3. | 0.255 | 324. | 0.0758 | 0.5 | 75.1 |
| Indéno (1,2,3-cd) pyrène | 1.39 | 0.066 | <24.5 | <0.046 | <0.3 | 5.13 |
| 2-méthylantracène | <0.012 | <0.012 | <4.63 | <0.009 | <0.06 | 1.02 |
| 2-méthylphénanthrène | <0.012 | <0.010 | <4.63 | <0.009 | <0.06 | 1.02 |
| Naphthalène | 42.4 | 26.6 | 463 | 3.02 | 12.3 | 92300. |
| Pérylène | 0.154 | <0.021 | <9.4 | <0.018 | <0.12 | 2.05 |
| Phénanthrène | 28.4 | 60.39 | 1830 | 0.66 | <0.06 | 195. |
| Pyrène | 18.5 | 1.98 | 148 | 0.204 | <0.06 | 62. |

Tableau 6 : Émissions de HAP (µg/h)

| | 75 | 125 | l'appareil | (kW) | |
|----------------------------------|-------|-------|------------|-------|--------|
| | | | 440 | 600 | 1800 |
| Acénaphthène | 163. | 30.8 | 22500. | 87 | <261. |
| Acénaphthylène | 2480. | 34.2 | 235000. | 181 | 949. |
| Acridine | <1.8 | <1.95 | <1020. | <13.4 | <47.4 |
| Anthracène | 541. | 54.7 | 46500. | 76.9 | <261. |
| Benzo (a) anthracène | 355. | 37.6 | 144000. | <13.4 | <261. |
| Benzo (b) fluoranthène | 648. | 147 | 10300. | 73.6 | <783. |
| Benzo (k) fluoranthène | <5.4 | <5.86 | 17900. | <40.1 | <783. |
| Benzo (b) fluorène | <7.2 | <7.82 | <4090. | <40.1 | <1044. |
| Benzo (g,h,i) pérylène | 287. | <7.82 | <4300 | <53.5 | <1044. |
| Benzo (a) pyrène | 265. | <7.82 | 7670. | <53.5 | <1044. |
| Benzo (e) pyrène | 158. | 32.2 | 3750. | 32.8 | <391. |
| Chrysène/triphénylène | 241. | 78.2 | 18200. | <13.4 | <261. |
| Coronène | <4.5 | <4.89 | <2560. | <33.4 | <652. |
| Dibenzo (a,h) anthracène | 17.6 | 16.1 | <5160. | <66.9 | <1300. |
| 9,10-diméthylanthracène | <2.7 | <2.93 | 1540. | <20.1 | <391. |
| 7,12-diméthylbenz (a) anthracène | <4.5 | <4.89 | 2560. | <33.4 | <652. |
| Fluoranthène | 3020. | 590. | 206000. | 482. | 810. |
| Fluorène | 446. | 46.9 | 71600. | 110. | 2610. |
| Indéno (1,2,3-cd) pyrène | 207. | 12.2 | <5410. | <66.8 | <1300. |
| 2-méthylanthracène | <1.8 | <1.95 | <1020. | <13.4 | <261. |
| 2-méthylphénanthrène | <1.8 | <1.95 | <1020. | <13.4 | <261. |
| Naphthalène | 6310. | 4890. | 102000. | 4390. | 53600. |
| Pérylène | 23. | <3.91 | <2080. | <26.8 | <522. |
| Phénanthrène | 4240. | 1180. | 404000. | 961. | <261. |
| Pyrène | 2750. | 364. | 32600. | 298. | <261. |

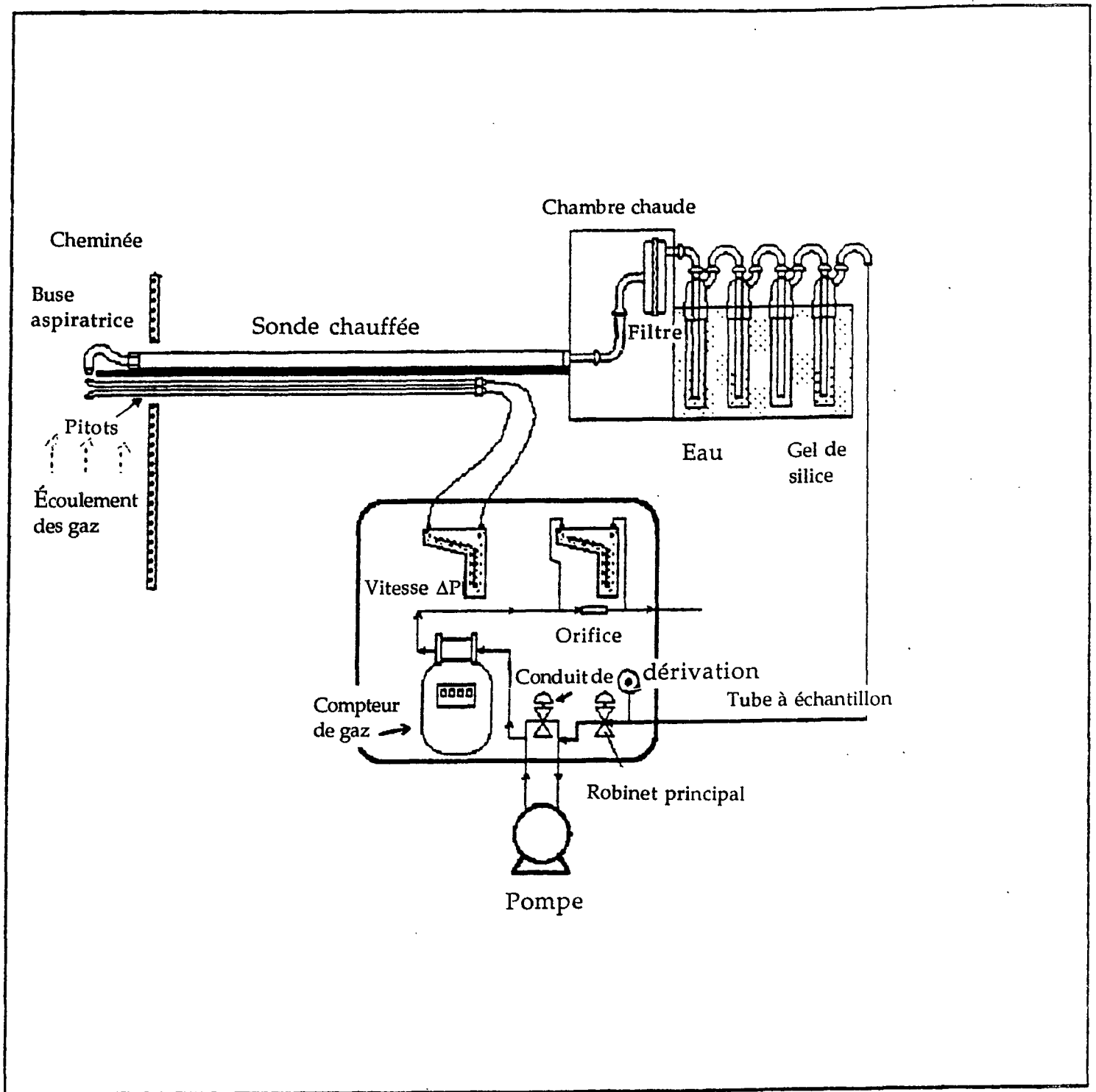


Figure 1 : Échantillonneur de particules, méthode 5

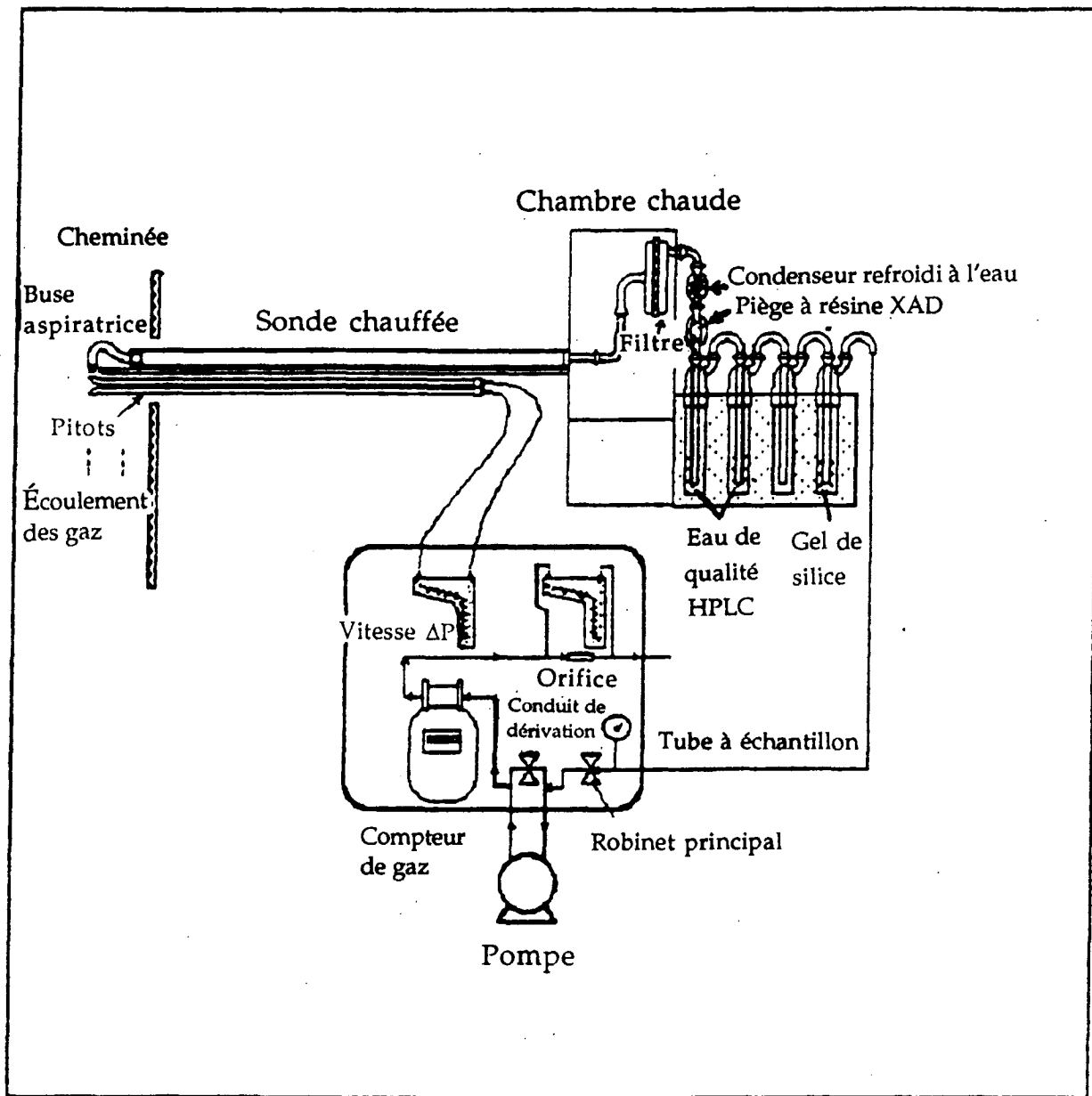


Figure 2 : Échantillonneur de HAP, méthode 5 modifiée

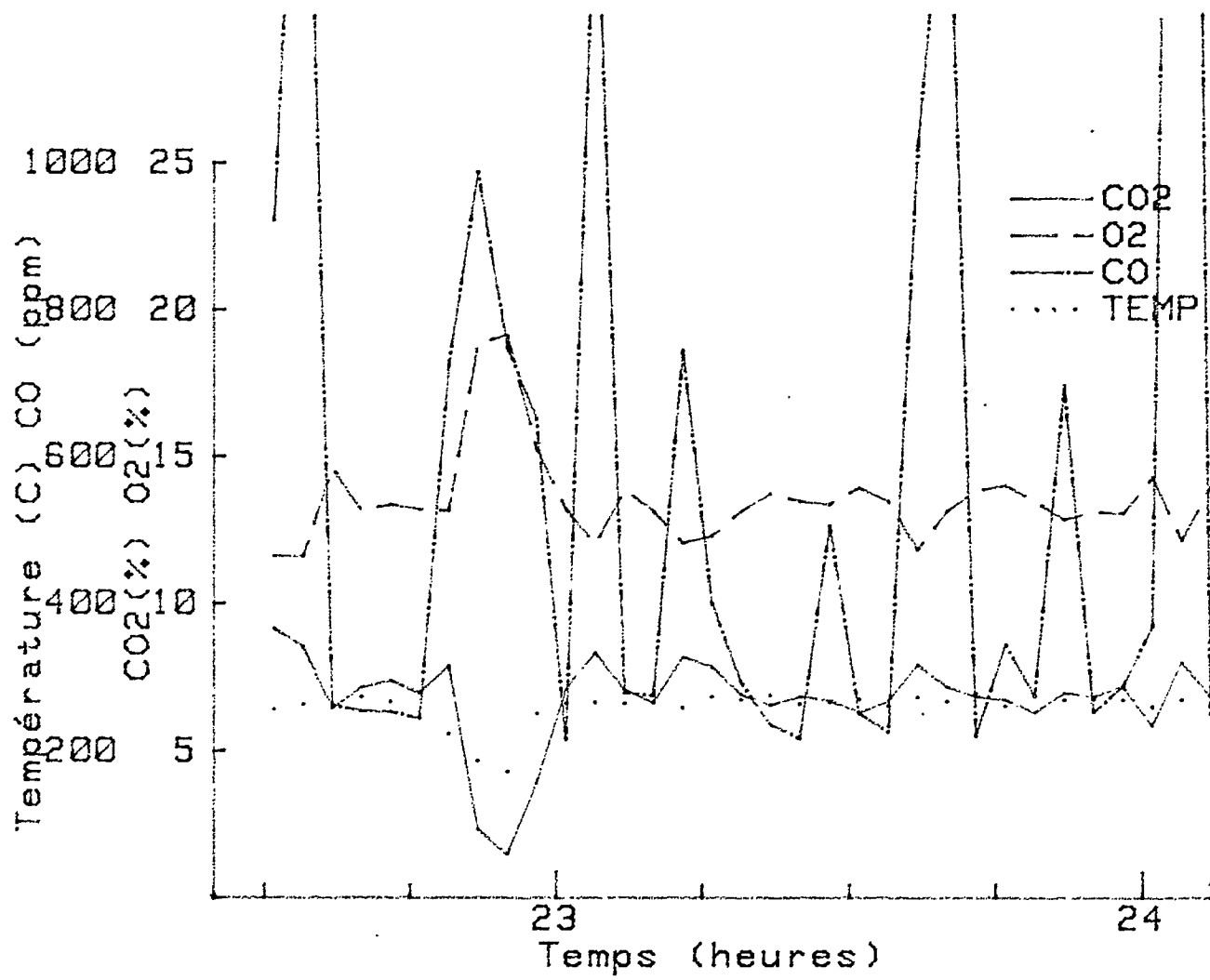


Fig. 3 - Mesures des gaz d'échappement de l'appareil de 75 kW pendant le prélèvement des particules

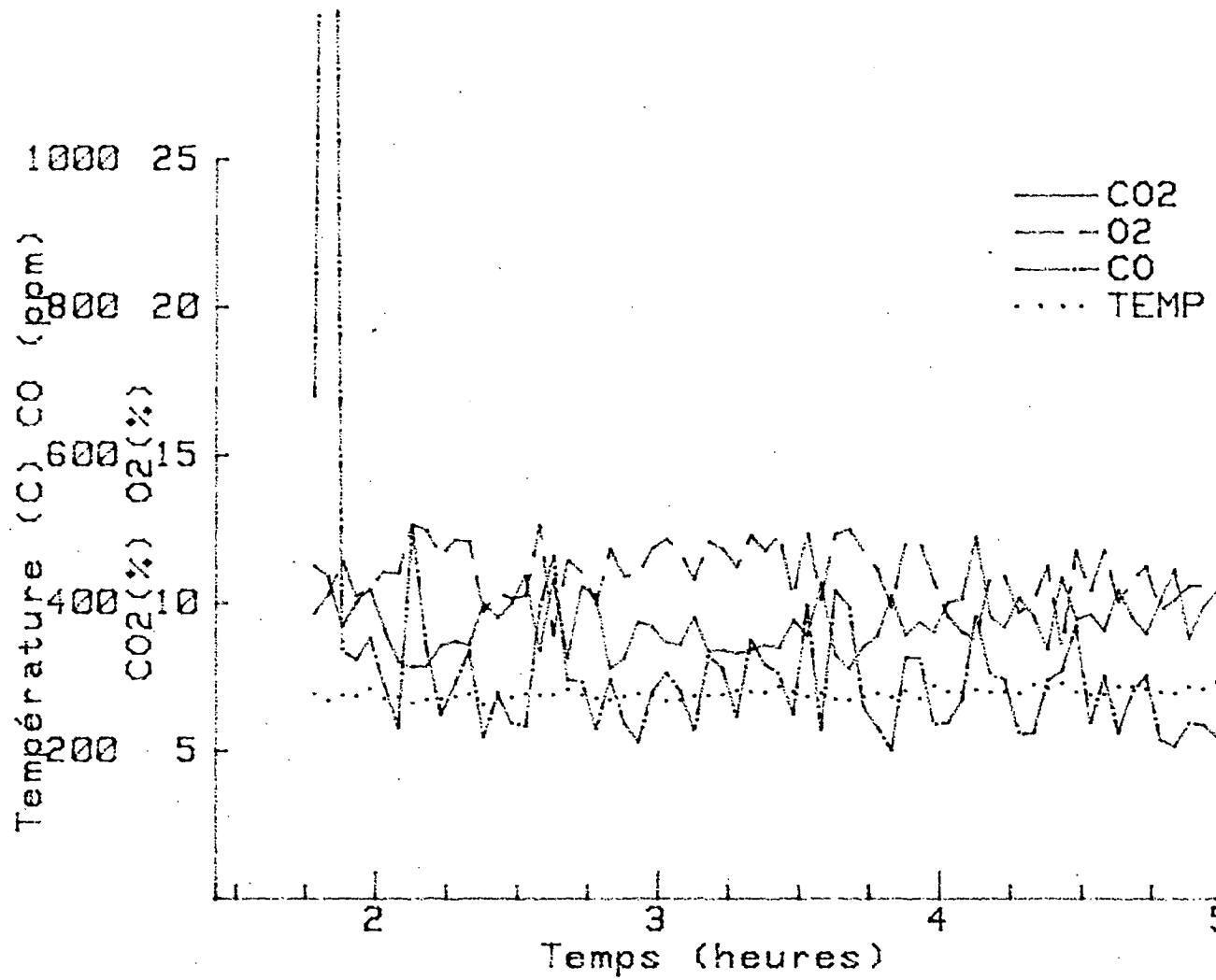


Fig. 4 - Mesures des gaz d'échappement de l'appareil de 75 kW pendant le prélèvement des HAP

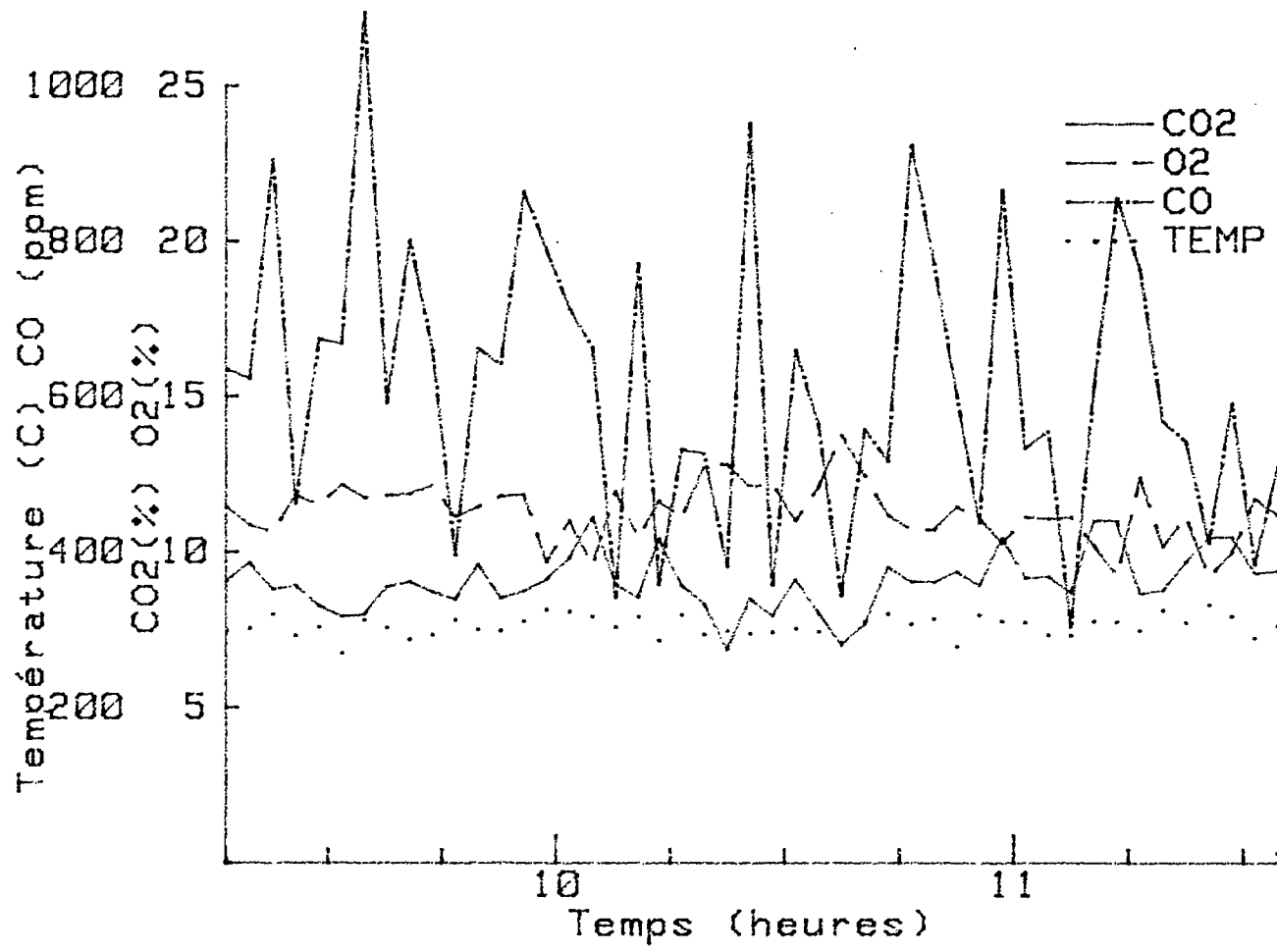


Fig. 5 - Mesures des gaz d'échappement de l'appareil de 125 kW pendant le prélèvement des particules

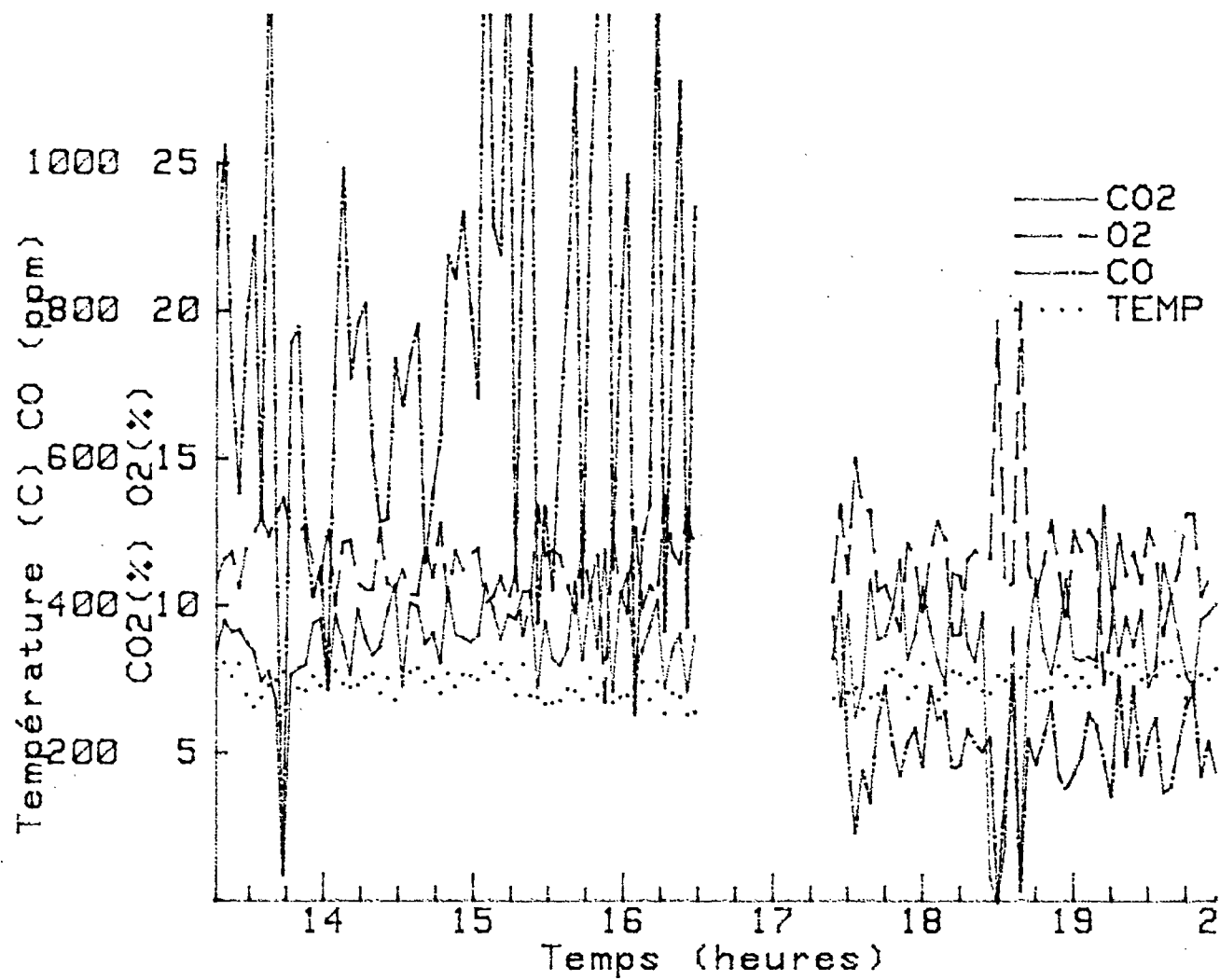


Fig. 6 - Mesures des gaz d'échappement de l'appareil de 125 kW pendant le prélèvement des HAP

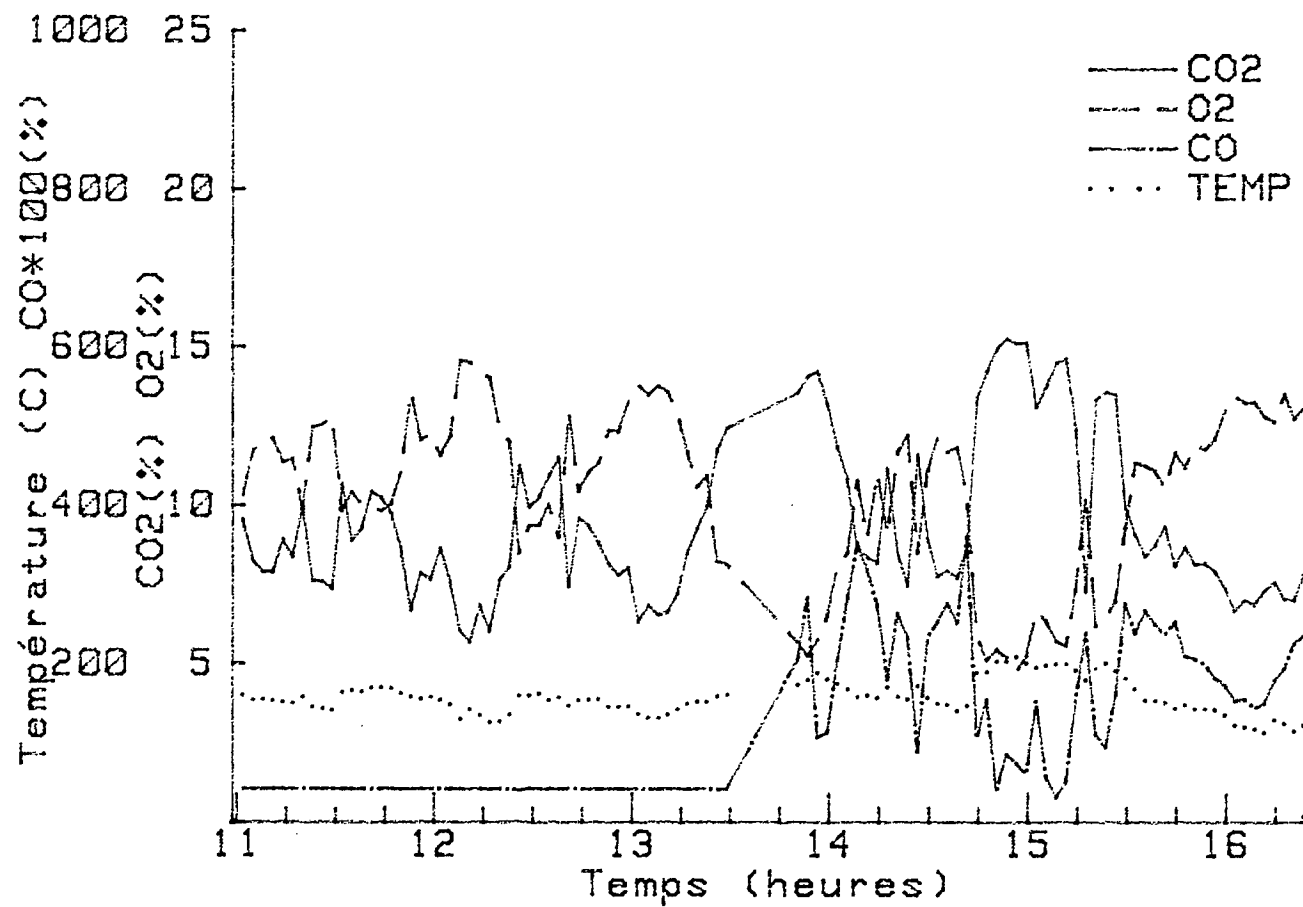


Fig. 7 - Mesures des gaz d'échappement de l'appareil de 440 kW pendant le prélèvement des particules

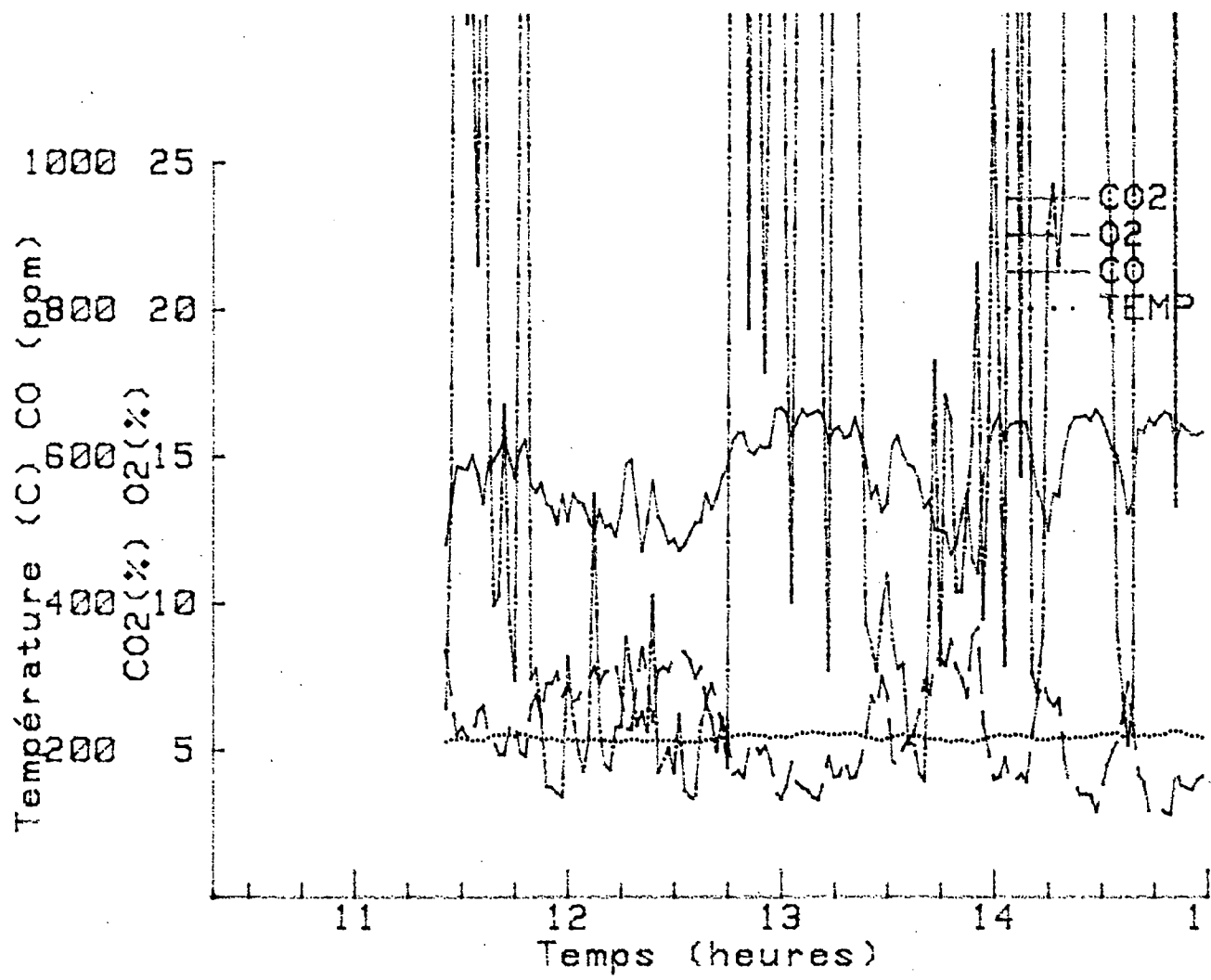


Fig. 8 - Mesures des gaz d'échappement de l'appareil de 440 kW pendant le prélèvement des HAP

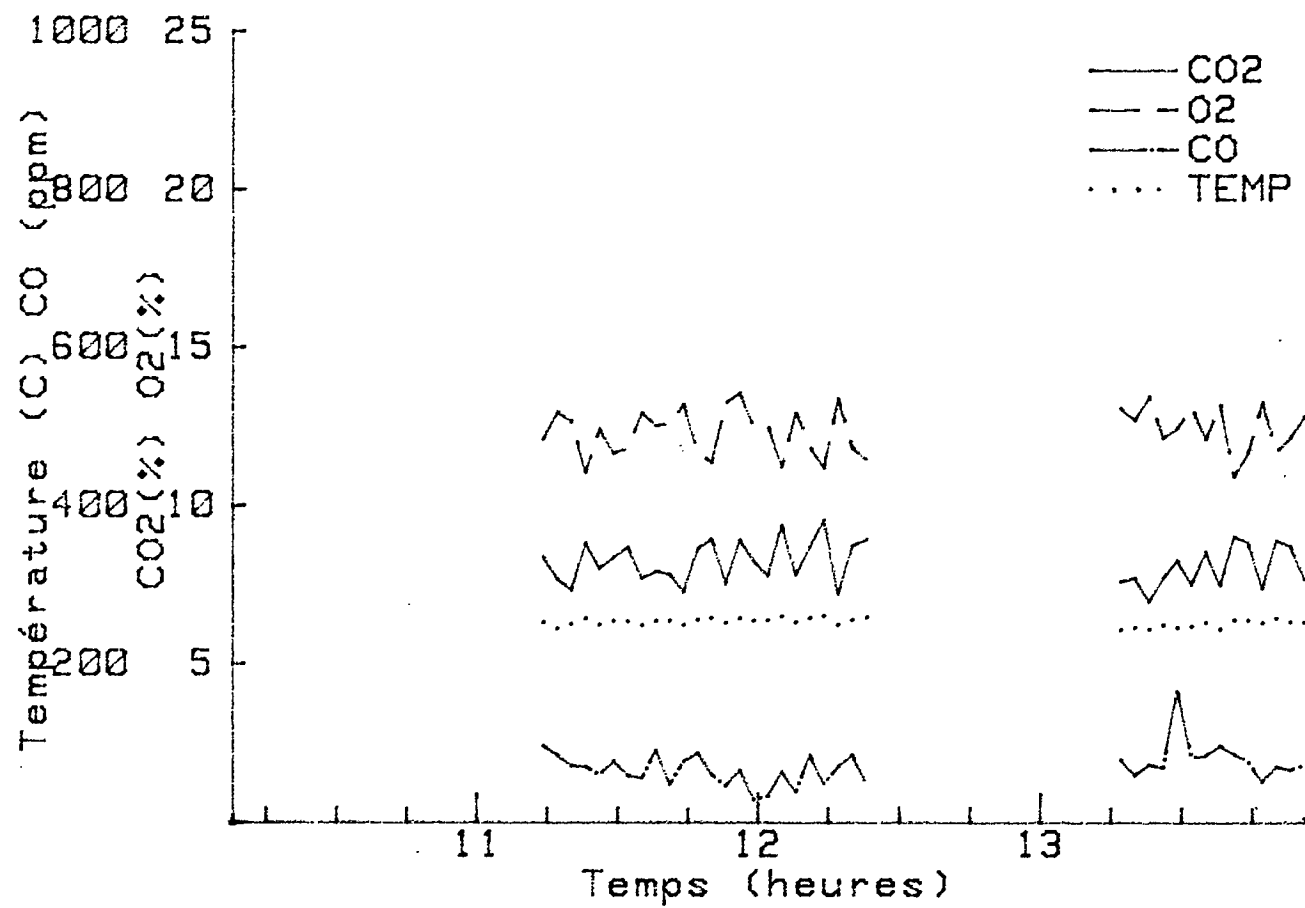


Fig. 9 - Mesures des gaz d'échappement de l'appareil de 600 kW pendant le prélèvement des particules

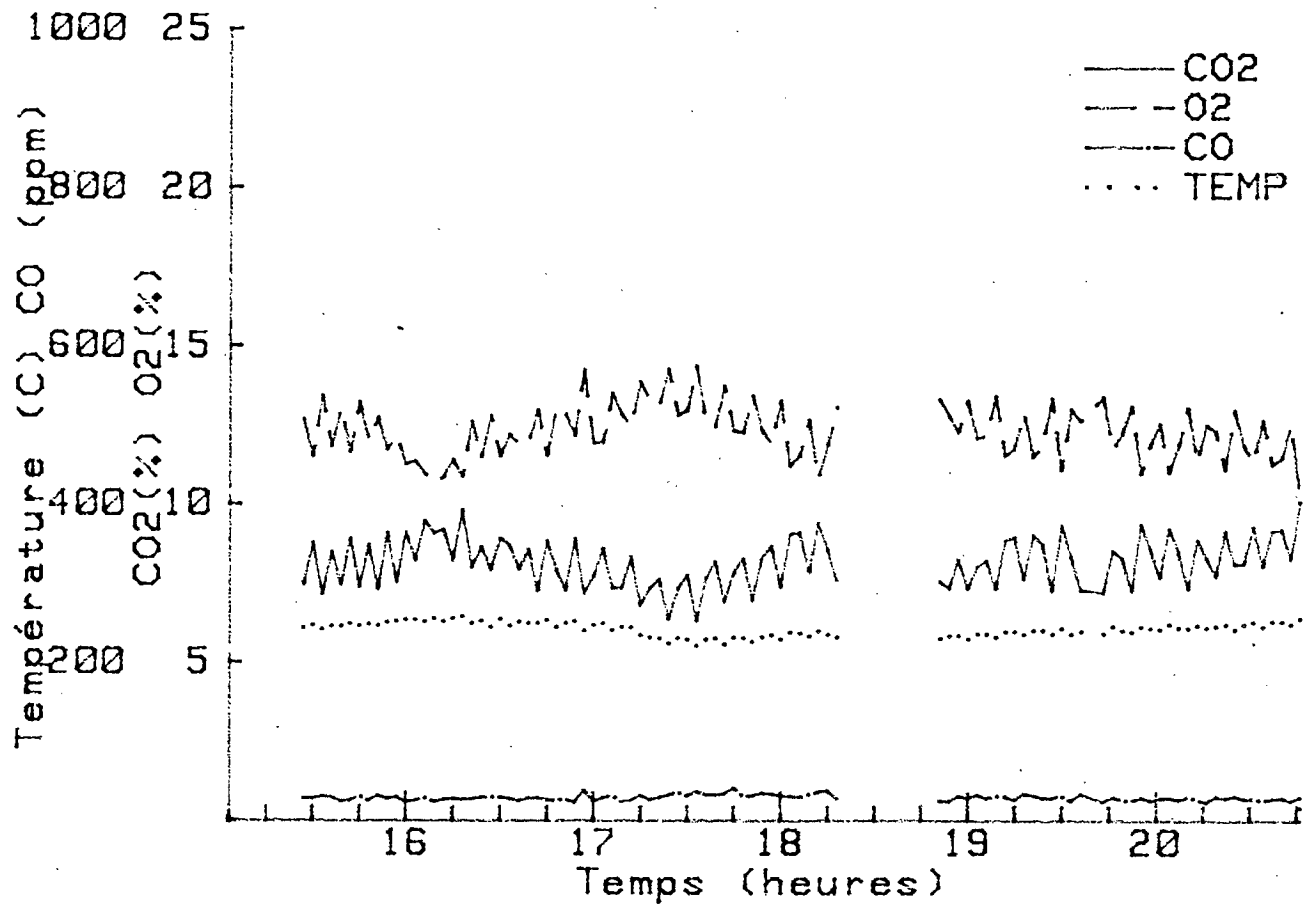


Fig. 10 - Mesures des gaz d'échappement de l'appareil de 600 kW pendant le prélèvement des HAP

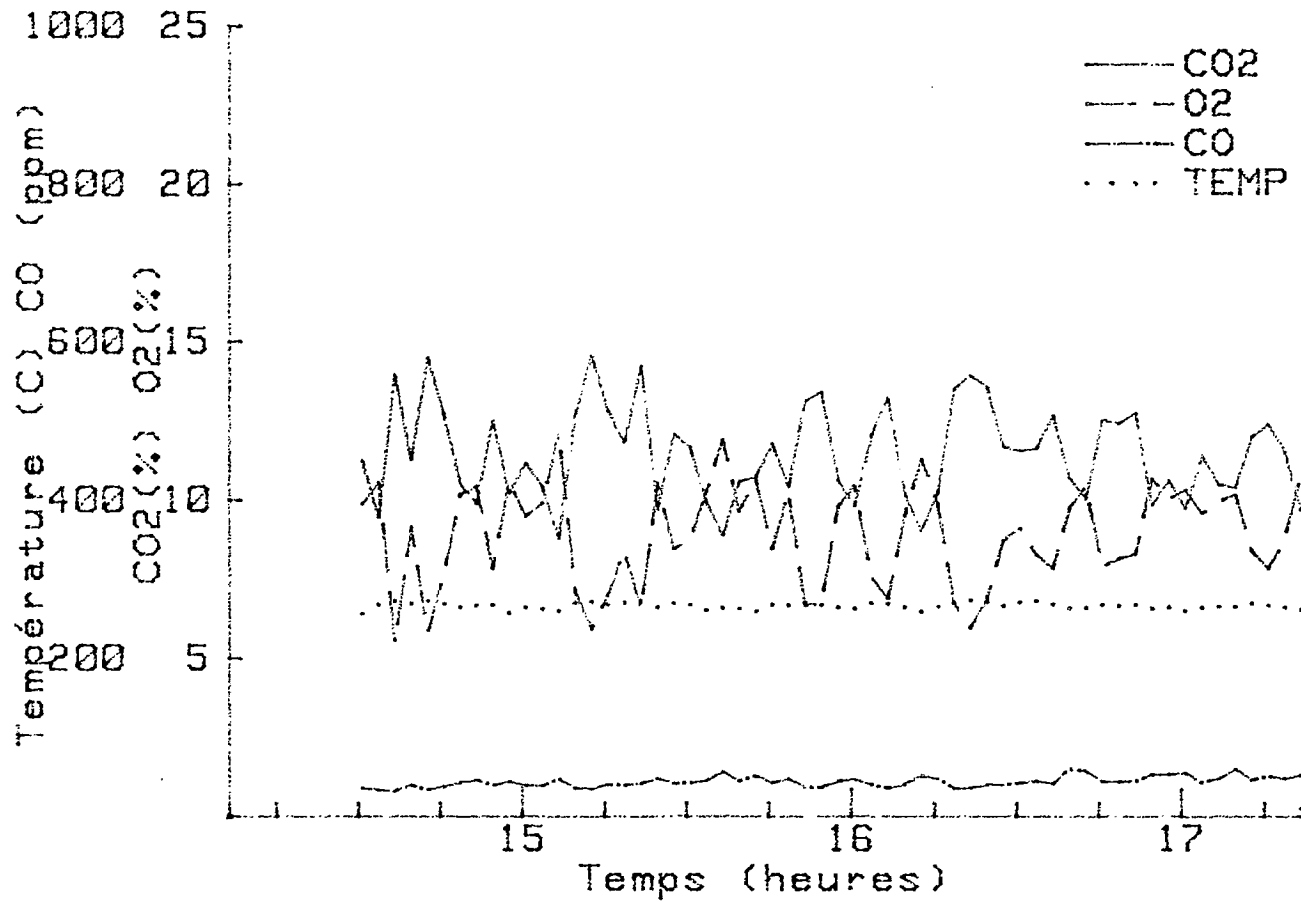


Fig. 11 - Mesures des gaz d'échappement de l'appareil de 1800 kW pendant le prélèvement des particules

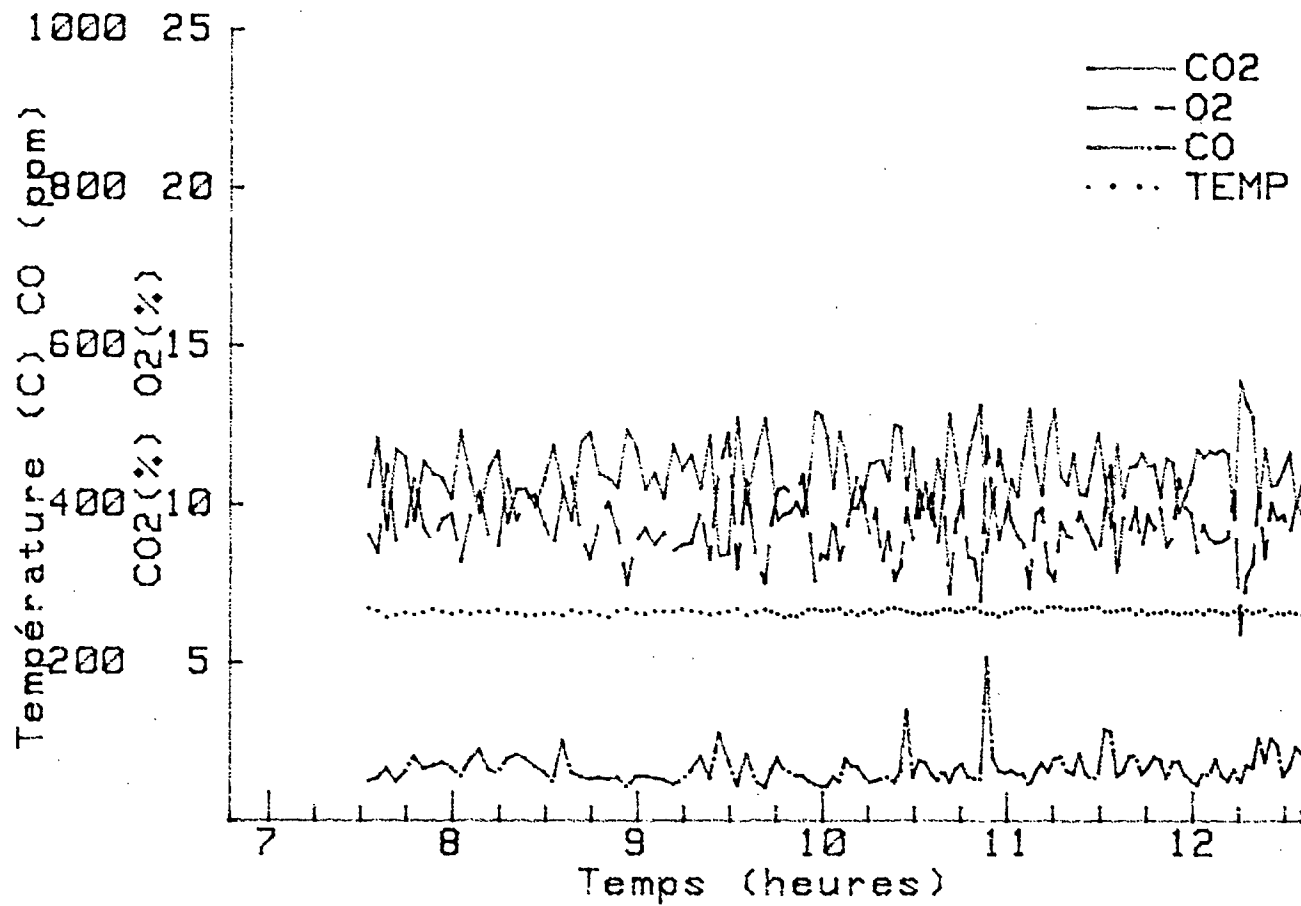


Fig. 12 - Mesures des gaz d'échappement de l'appareil de 1800 kW pendant le prélèvement des HAP