



HAL
open science

SUR LA DYNAMIQUE DE PARTICULES DE CHARBON INJECTÉES DANS UNE FLAMME DE PREMELANGE

Thierry Baritaud, Daniel Durox, Roger Prud'homme

► **To cite this version:**

Thierry Baritaud, Daniel Durox, Roger Prud'homme. SUR LA DYNAMIQUE DE PARTICULES DE CHARBON INJECTÉES DANS UNE FLAMME DE PREMELANGE. Rapport 84-5 du Laboratoire d'Aérodynamique du CNRS, 1984. hal-03846304

HAL Id: hal-03846304

<https://hal.science/hal-03846304>

Submitted on 10 Nov 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ISSN 0248 451 X
Publ. N°725

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

LABORATOIRE D'AEROTHERMIQUE

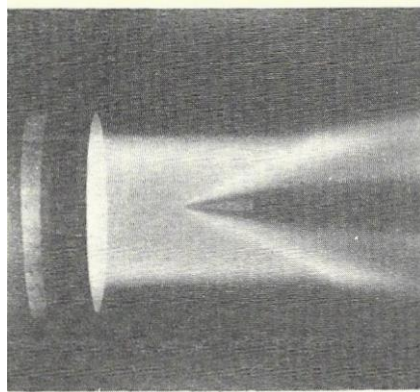
Rapport 84-5

SUR LA DYNAMIQUE DE PARTICULES
DE CHARBON INJECTEES DANS UNE FLAMME DE PREMELANGE

Par

Thierry BARITAUD, Daniel DUROX, Roger PRUD'HOMME

novembre 1984



4 ter, route des Gardes

Tél. (1) 534—75—50

F. 92190 MEU DON

Télex 204135F Labobel

SUR LA DYNAMIQUE DE PARTICULES DE CHARBON INJECTÉES DANS UNE FLAMME DE PRÉMÉLANGE

Résumé :

La compréhension et la modélisation de l'interaction entre turbulence et charbon pulvérulent en combustion nécessitent une détermination expérimentale de la dynamique des deux phases en présence. La vélocimétrie laser a été appliquée pour une expérience d'injection de particules de charbon en faible concentration volumique dans une flamme de prémélange. Son utilisation a permis l'obtention des moyennes, écarts types et histogrammes de vitesse pour les phases gazeuse et solide. Une étude systématique de la dynamique du charbon pulvérulent en combustion apparaît donc possible avec ce moyen de mesure.

Abstract :

Understanding and modelisation of the interaction between turbulence and pulverized coal in combustion is nearly impossible without experimental data on the dynamics of the two phases present. Laser velocimeter data has been obtained in a premixed gas flame with an injection of coal particles, the particle volume concentration being low. Mean and RMS values, and probability density of the velocity were obtained for both the solid and gas phases. A systematic study of the pulverized coal in combustion appears possible with this experimental method.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
1. ETUDE DU SIGNAL DOPPLER	1
2. INJECTION DE PARTICULES DE CHARBON DANS UNE FLAMME DE PREMELANGE	2
2.1 Propriétés dynamiques moyennes du charbon dans la flamme de prémélange	2
2.2 Histogramme des vitesses	2
3. ESSAI DE DISCRIMINATION GAZ-CHARBON	3
CONCLUSION	4
REFERENCES	5
FIGURES	

INTRODUCTION

Depuis quelques années, on observe un accroissement de l'intérêt porté à la combustion du charbon, notamment en vue d'une utilisation plus rationnelle de ce combustible fossile. C'est l'aspect physico-chimique de la particule de charbon qui est le plus souvent étudié /1/, ce qui permet de mieux cerner les phénomènes à la base de la combustion. Cependant, dans les dispositifs industriels, le charbon est souvent brûlé par injection en mélange avec des gaz, en particulier sous forme pulvérulente. La seule connaissance de la physique d'une particule statique en combustion n'est plus suffisante, car la situation rencontrée est celle d'écoulements diphasiques très fortement turbulents. L'accès à la dynamique conjointe des phases gazeuse et solide est alors certainement une étape nécessaire à l'élaboration de modèles /2/.

Les travaux reportés ici ont pour but de démontrer la possibilité d'accéder à la dynamique de particules de charbon en combustion à l'aide de la vélocimétrie laser. En utilisant l'ensemble expérimental d'étude de la combustion des gaz du Laboratoire d'Aérothermique /3/, des données statistiques sur la vitesse de particules de charbon (*) injectées dans une flamme de prémélange ont pu être obtenues avec cet appareil de mesure.

Les mesures de vitesse sont effectuées avec les mêmes moyens que pour la flamme de gaz purs, et l'injection des particules de charbon réalisée avec l'ensemencement habituellement destiné à envoyer des particules traceuses (oxydes réfractaires).

Il s'agit donc d'une première approche de recherche systématique sur l'interaction entre turbulence et combustion de charbon pulvérisé dans un écoulement.

1. ETUDE DU SIGNAL DOPPLER

Le volume de mesure des vélocimètres laser courants a un diamètre de l'ordre de 100 μm , dans le cas d'un photomultiplicateur placé en incidence latérale, pour une interfrange d'environ 1 μm (2,5 μm pour notre appareil). Les compteurs de vitesse actuellement commercialisés sont utilisés pour traiter des signaux réfléchis par des particules de dimension inférieure à l'interfrange. Or le charbon dont nous disposons avait une taille de 40 à 60 μm . Sa section efficace de diffusion est donc bien supérieure à celle de l'ensemencement passif utilisé pour suivre les gaz. De plus, elle varie beaucoup au cours de la réaction, du fait des modifications de taille et de brillance. Il convenait donc de s'assurer de la validité des mesures obtenues sur le charbon avec la vélocimétrie classique.

Après observation des signaux Doppler envoyés par le charbon lors de son passage dans le volume de mesure, nous pouvons cependant assurer que la détermination de la vitesse de ces grosses particules en réaction est possible. La figure 1 représente une série de signaux Doppler bruts sans la composante continue, ainsi que deux bouffées Doppler convenablement filtrées. On observe bien la fréquence de modulation typique qui permet de remonter à la vitesse, bien que le signal ait une allure un peu différente du cas classique.

Il faut noter cependant que le rapport signal/bruit est moins bon que pour les applications classiques, nécessitant de ce fait un laser très puissant ainsi qu'une chaîne de traitement performante. Enfin, l'observation à l'aide d'un système dont le volume de mesure est de l'ordre de celui des particules observées permet une mesure plus locale qu'un dispositif à très grande interfrange. Pour résumer, les anémomètres classiques semblent s'adapter très convenablement à la mesure des vitesses de particules de charbon, moyennant un surcroît de précautions.

2. INJECTION DE PARTICULES DE CHARBON DANS UNE FLAMME DE PREMELANGE

La validité des mesures de vitesses de particules de charbon à l'aide de la vélocimétrie laser étant établie, nous avons voulu l'appliquer au charbon en combustion. Un cas simple est celui du charbon pulvérulent injecté dans une flamme de prémélange. On assure ainsi un fort chauffage des particules permettant le démarrage de leur combustion et on peut espérer mettre en évidence un comportement original du charbon.

L'étude déjà menée pour ce qui concerne les gaz purs donne des éléments de comparaison.

Le dispositif existant au laboratoire d'Aérodynamique permet d'injecter des particules de charbon à la place de l'ensemencement habituel. Le passage dans la flamme de prémélange assure un fort chauffage des particules permettant leur ignition. On peut ainsi suivre le charbon au cours de sa combustion. La flamme est composée d'un mélange acétylène/air/azote, de richesse 0,75, de taux de dilution 0.16 pour un débit total de 32,5 l/mn. On la place sous une pression réduite à 1/4 d'atmosphère afin d'élargir sa zone de combustion elle s'accroche naturellement à la sortie d'un jet de 2.2 cm de diamètre (fig. 2). Le dispositif expérimental est représenté sur la

figure 3. Il est complété par l'électronique et l'informatique de traitement du signal appropriés. Le débit de charbon délivré par l'ensemenceur n'est pas mesuré, mais demeure suffisamment faible pour que l'on puisse négliger, en première approximation, l'action du charbon sur la flamme. La flamme ainsi obtenue présente un taux maximal de turbulence de 20% dans la zone de combustion.

2.1 Propriétés dynamiques moyennes du charbon dans la flamme de prémélange

Nous avons comparé la vitesse moyenne et le taux de fluctuation moyen des particules de charbon et du gaz au cours de la traversée du front de flamme sur l'axe du jet.

Les vitesses moyennes du charbon et du gaz sont représentées sur la figure 4. On remarque une différence de comportement notable, que l'on attribue en première approximation à l'inertie des particules de charbon. La vitesse du charbon est inférieure à celle du gaz avant la flamme, et supérieure après. Le maximum est déplacé vers la zone de post-combustion. Un effet « moteur » du charbon en réaction dans la zone de perturbation de la flamme peut aussi être invoqué. Les taux de fluctuations du charbon (fig. 5), eux aussi décalés, sont légèrement plus bas dans la zone de combustion. Ces mesures, reprises plusieurs fois, ont présenté une assez bonne répétitivité, de l'ordre de 5%. Il faut noter que malgré la température élevée de la flamme d'acétylène (environ 2000°C), Les particules de charbon ne brûlent pas complètement à la traversée du front, ce qui confirme des études antérieures /4/.

2.2 Histogramme des vitesses

Les histogrammes des vitesses du charbon, représentés sur la figure 6, permettent d'apprécier le degré d'homogénéité du système. Ils sont assez similaires à ceux du gaz, bien qu'en général plus centrés, ce que l'on peut attribuer encore une fois à l'inertie des grosses particules. D'autre part, dans la zone de fin de combustion ($z = 3,5$ cm) ils présentent un aspect plus "bimodal" que pour le gaz (fig. 7), mettant éventuellement en évidence la coexistence de particules brûlées et imbrûlées au même endroit.

3. ESSAI DE DISCRIMINATION GAZ-CHARBON

L'étude systématique des interactions gaz-charbon passe certainement par la connaissance conjointe du champ dynamique turbulent de la phase

gazeuse, et celle de la dynamique des particules de charbon.

Afin de voir si l'on pouvait discriminer le comportement du gaz (particules de ZrO_2 de $1 \mu m$) et de charbon (40 à $60 \mu m$), nous en avons injecté un mélange dans la flamme. L'histogramme (fig. 8) à la cote $z = 3,5$ cm montre la répartition ainsi obtenue. Il semble difficile de reconnaître deux populations, même avec un traitement numérique. Une étude plus fine avec un dosage précis oxyde/charbon, permettrait peut-être d'obtenir quelques informations. On peut aussi proposer une technique de discrimination électronique des signaux Doppler avec un tel mélange, mais l'appareil n'existant pas, il est à mettre au point.

CONCLUSION

L'injection de particules de charbon en très faible concentration volumique dans un écoulement réactif a permis d'obtenir des résultats statistiques sur leur dynamique, tels que moyenne, écart quadratique et histogramme à l'aide de la vélocimétrie Laser. La comparaison avec les données concernant la combustion du seul prémélange a mis en évidence un comportement original du charbon par rapport au gaz.

S'il semble important de pouvoir mesurer conjointement les caractéristiques turbulentes du gaz et des particules de charbon, une méthode de mesure discriminative devra être mise au point.

(*) Tamisage de charbon d'une granulométrie comprise entre 40 et $60 \mu m$ fourni par Le CERCHAR.

Références

/1/ E. Kumpinsky and N.R. Amundson, Ind. Eng. Chem. Fundam. 22:62-71, 1983

/2/ Y. Molodofsof and D.W. Muzyka, General probabilistic multiphase flow equations. Rapport de l'Université de Technologie de Compiègne, France déc. 1983

/3/ T. Baritaud, Flamme turbulente de prémélange - Aspects théoriques et expérimentaux, Thèse de 3ème cycle de l'Université Paris 6, déc. 1983

/4/ G. de Soete and A. Queraud, A heated grid study of the pyrolysis slash oxydation competition during ignition of coal dust ; Int. Symp. on conversion to solid fuels, Newport Beach, CA, oct. 26—28, 1982.

FIGURES

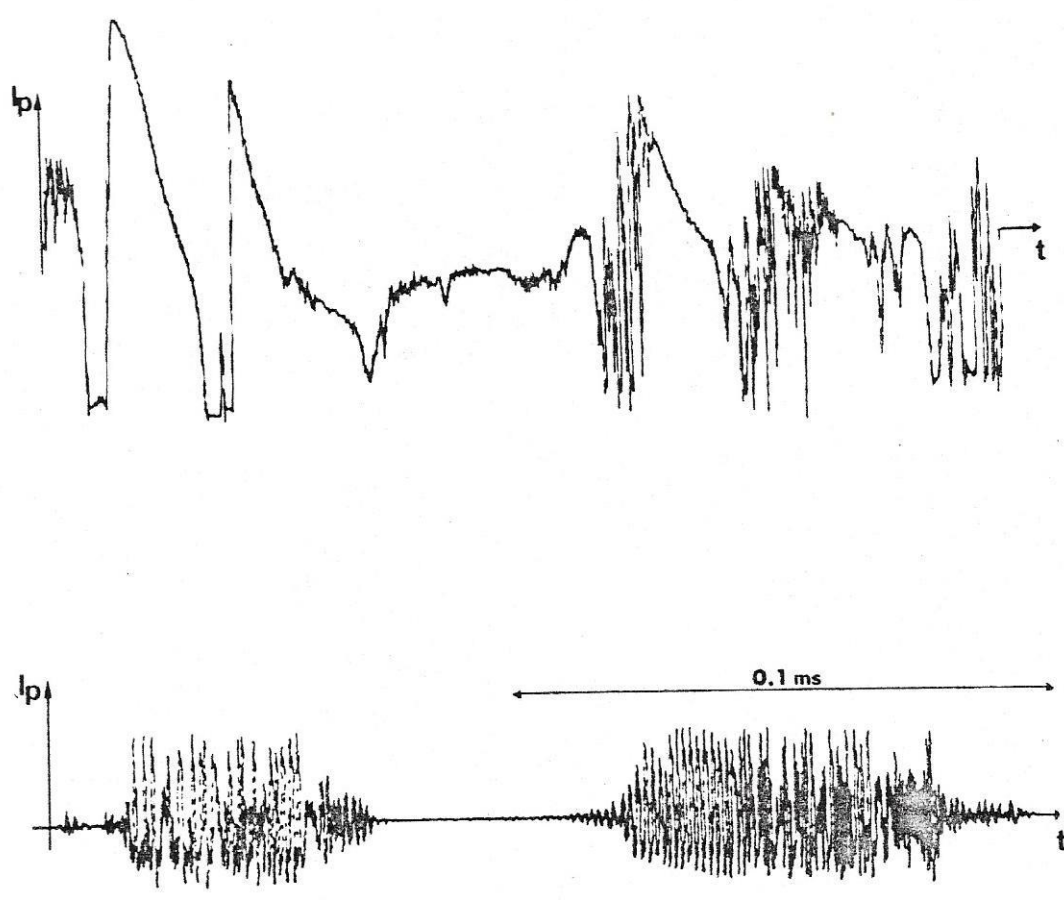


Figure 1
Courant délivré par le photomultiplicateur en fonction
du temps, avant et après filtrage

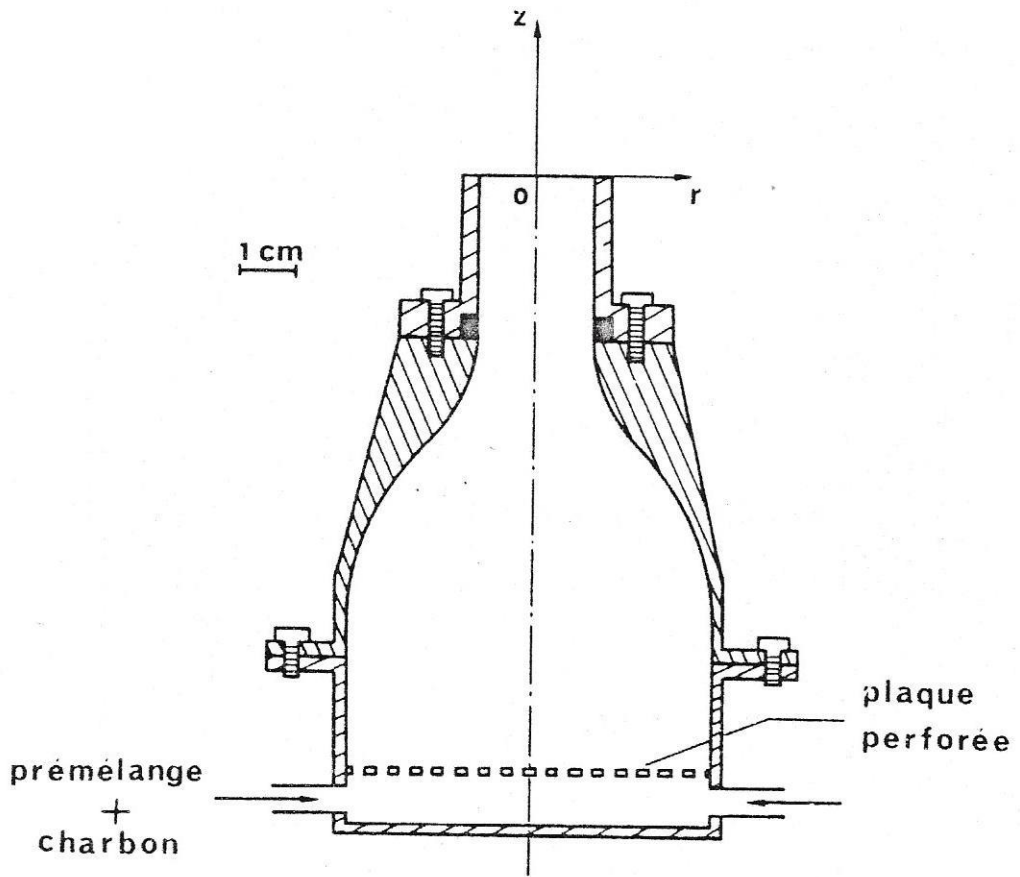


Figure 2

Le brûleur, avec le convergent et la plaque perforée contrôlant la turbulence

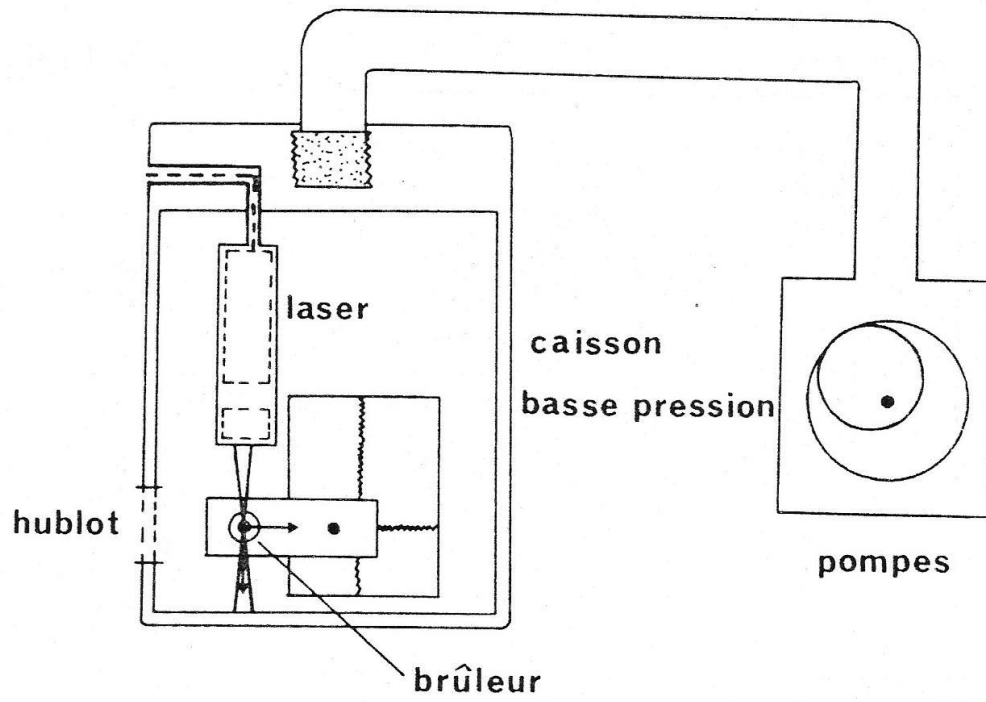


Figure 3
Ensemble expérimental

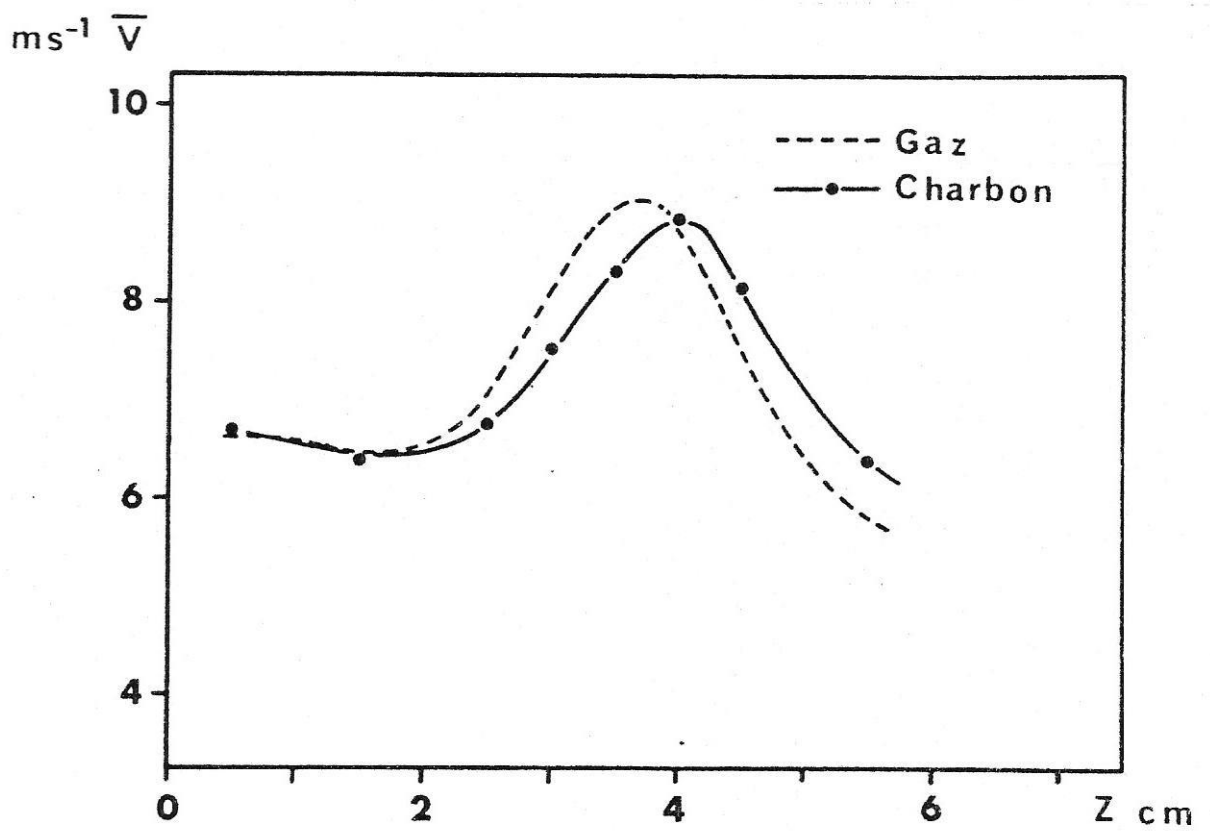


Figure 4

Profil de vitesse moyenne sur l'axe du jet
pour le gaz et le charbon

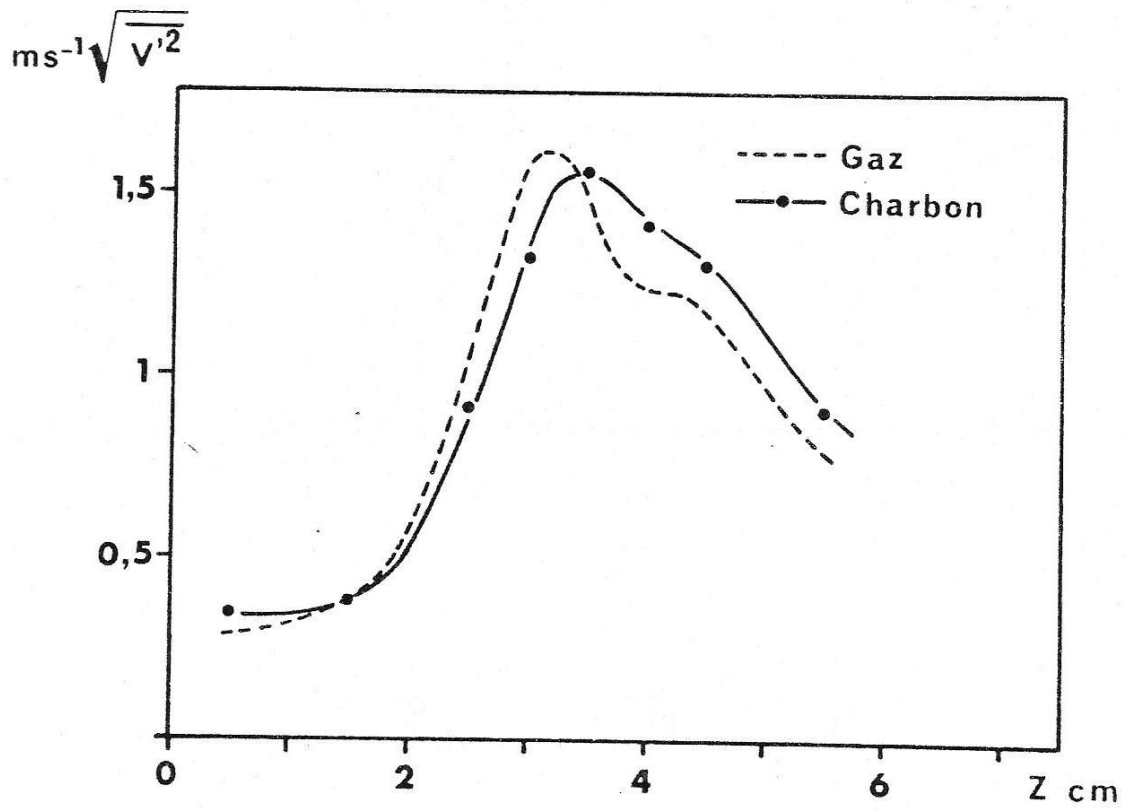


Figure 5

Profil des écarts types de vitesse sur l'axe du jet
pour le gaz et le charbon

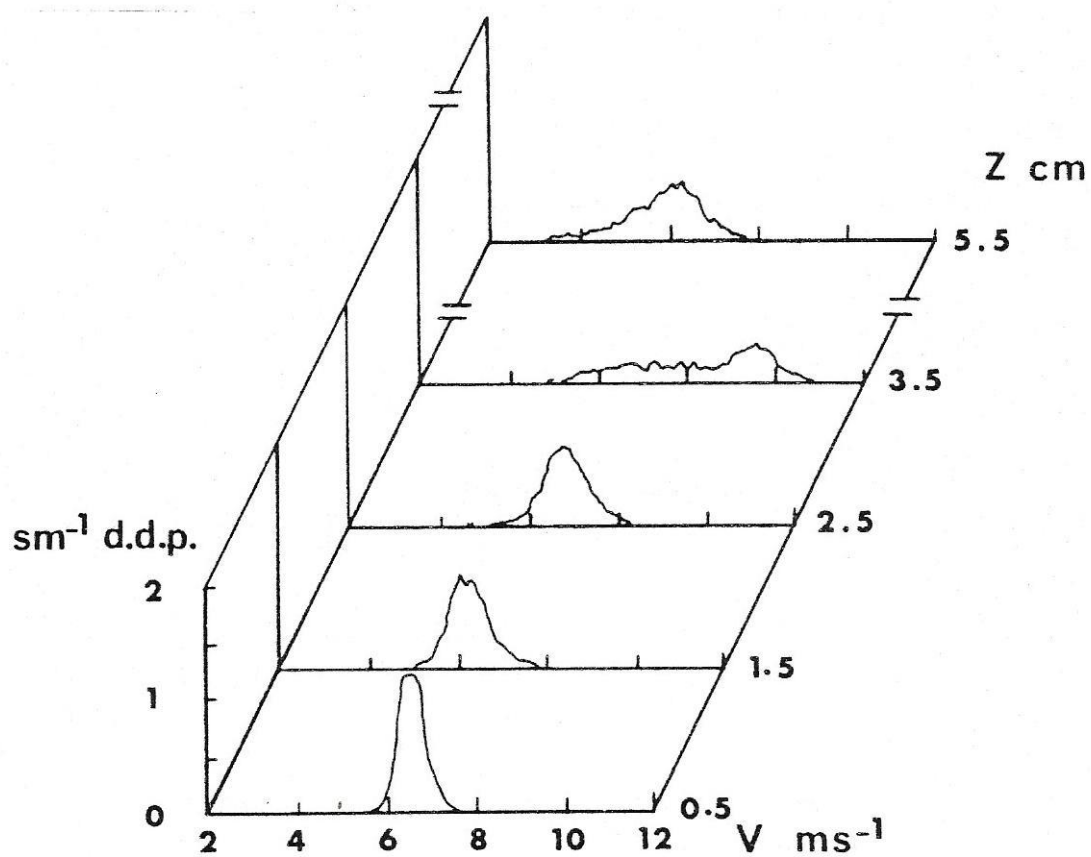


Figure 6

Densité de probabilité des vitesses des particules de charbon sur l'axe du jet à la traversée de la flamme

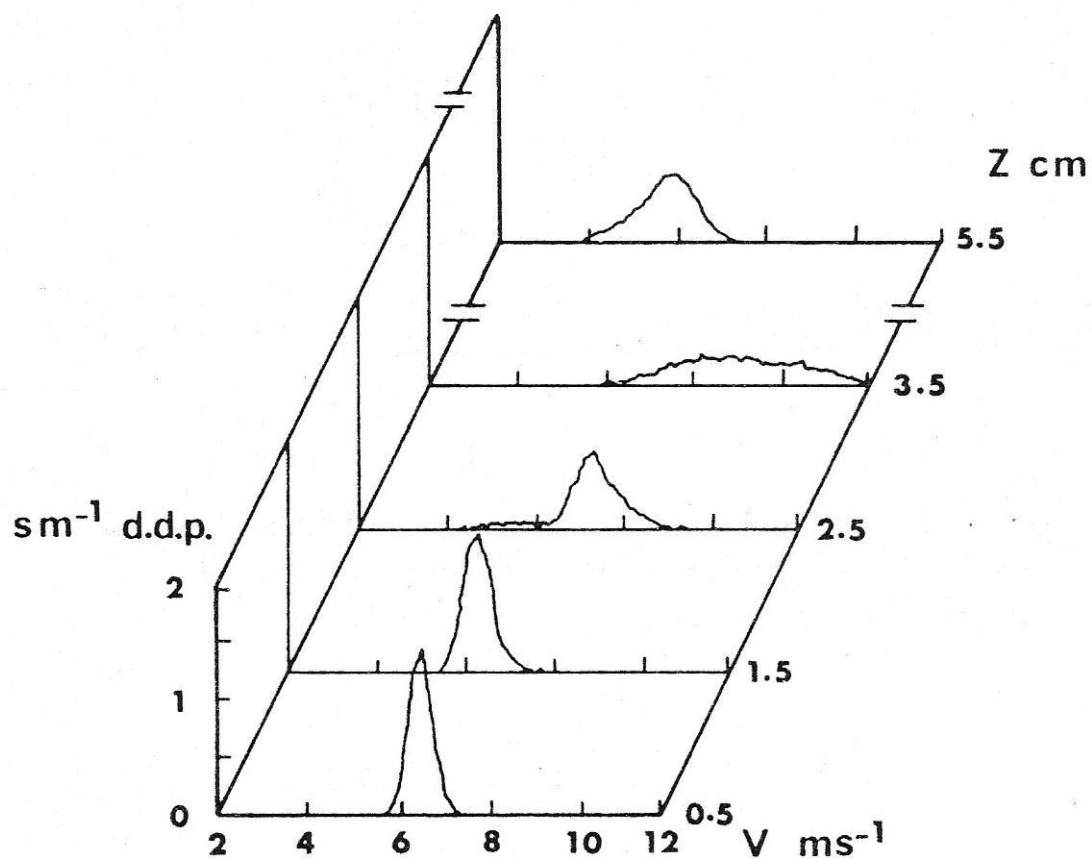


Figure 7

Densité de probabilité des vitesses pour le gaz
sur l'axe du jet à la traversée de la flamme

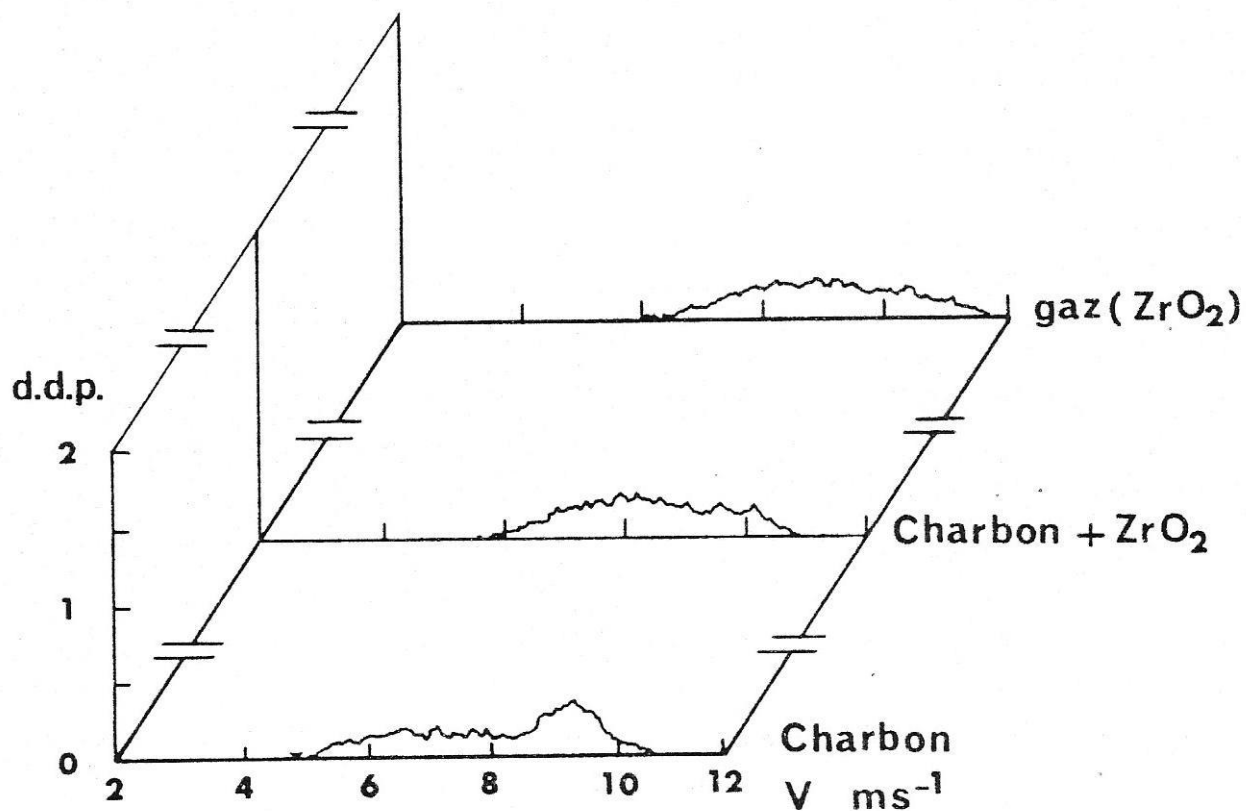


Figure 8

Comparaison des densités de probabilité de particules sur l'axe à $z = 3,5$ cm pour le charbon, le gaz (ZrO_2) et un mélange charbon/ ZrO_2

Réalisé avec le concours du Service Imprimerie de la 5ème Circonscription
1, Place Aristide-Briand — 92190 Meudon Tél. 534 75 50 — Télex 204135