

# PROCEDE SIMPLE D'AMELIORATION DES BRULEURS FIOUL REDUCTION MASSIVE DE LA POLLUTION

DATE DE PUBLICATION SUR LE SITE Econologie.com : **11 avril 2008**  
<http://www.econologie.com/forums/amelioration-bruleur-fioul-reduction-nox-et-co-flamme-bleue-vt5172.html>

MESURES ET ESSAIS, VALIDATION DU PROCEDE : **31 mai 2008**

ENREGISTREMENT SOLEAU I.N.P.I. **09 juin 2008**

## CONTENU :

PREFACE.....	2
1 PRESENTATION DU PROCEDE.....	3
2 MISE EN ŒUVRE.....	4
3 EXPLICATIONS ET FONCTIONNEMENT.....	7
4 ESSAIS ET MESURES.....	9
5 CE QUI PEUT ETRE FAIT IMMEDIATEMENT.....	16
6 ANNEXE : détermination d'un gicleur FOD.....	17

**AUTEUR :**  
Pascal MALOCHET

## **PREFACE**

La pollution sous forme de particules de carbone (suies), d'oxydes d'azote (NOx) et de monoxyde de carbone (CO) représente la majeure partie des polluants de nos grandes villes.

Ce document propose de décrire un procédé applicable immédiatement sur tous les équipements de chauffage au fioul existants ;

ce procédé, simple et peu coûteux, permet la réduction des émissions de polluants d'un facteur de 20.

La description de ce procédé se trouve détaillée ci après et appuyé par des mesures réalisées avec du matériel de pointe.

# 1 PRESENTATION DU PROCEDE

## Amélioration de la combustion des systèmes de chauffage au fioul

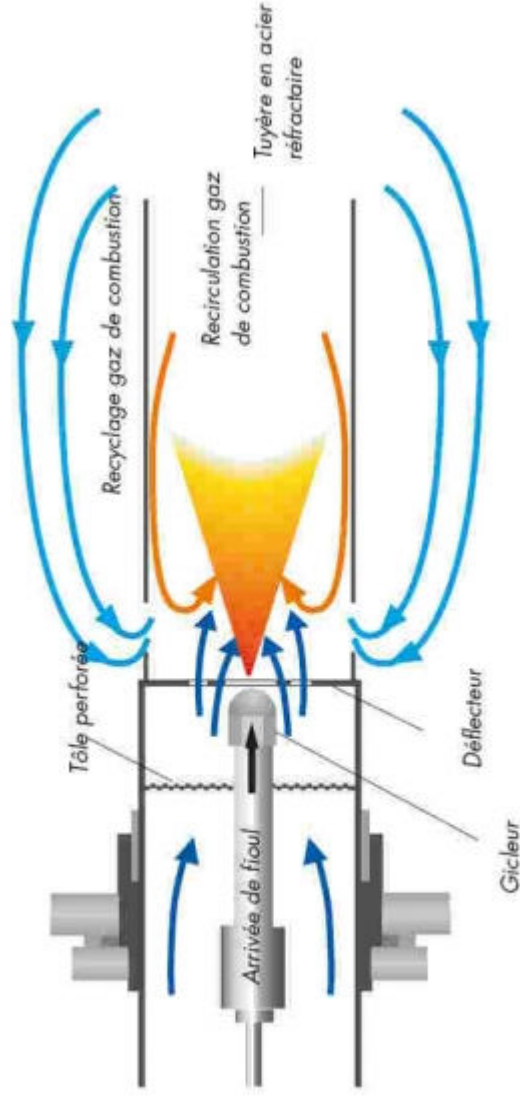
L'objectif est de réemployer l'eau issue de la combustion du fioul afin de réduire les imbrûlés propres à ce type de chaudière :

Réaction de combustion parfaite du G.O. (l'azote n'est pas présent) :  $2 \text{ C}_{16}\text{H}_{34} + 49 \text{ O}_2 = 32 \text{ CO}_2 + 34 \text{ H}_2\text{O}$

La pulvérisation du fioul à l'état liquide ne permet pas sa vaporisation, de nombreuses gouttelettes ne sont pas totalement brûlées. Il en résulte une grande quantité de suies.

La température élevée de la flamme (entre 1800 et 1900°C) produit beaucoup de NOx.

Le principe employé sera celui du brûleur dit à "flamme bleue":



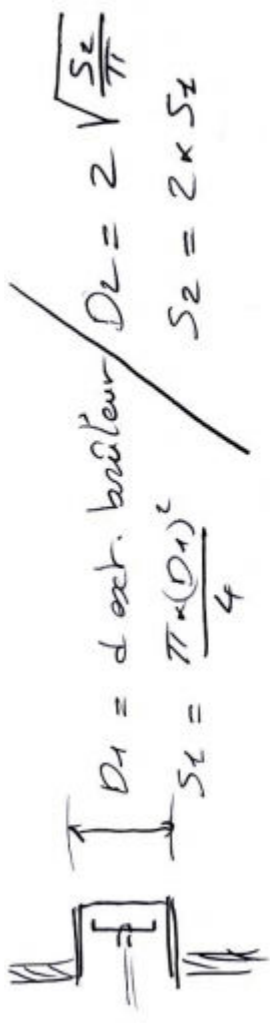
## 2 MISE EN ŒUVRE

L'extrême simplicité de la mise en œuvre permet d'envisager rapidement sa mise en place sur tous les brûleurs fonctionnant au fioul et de prévoir une adaptation aux brûleurs gaz.

Exemple de montage réalisé chez un particulier :



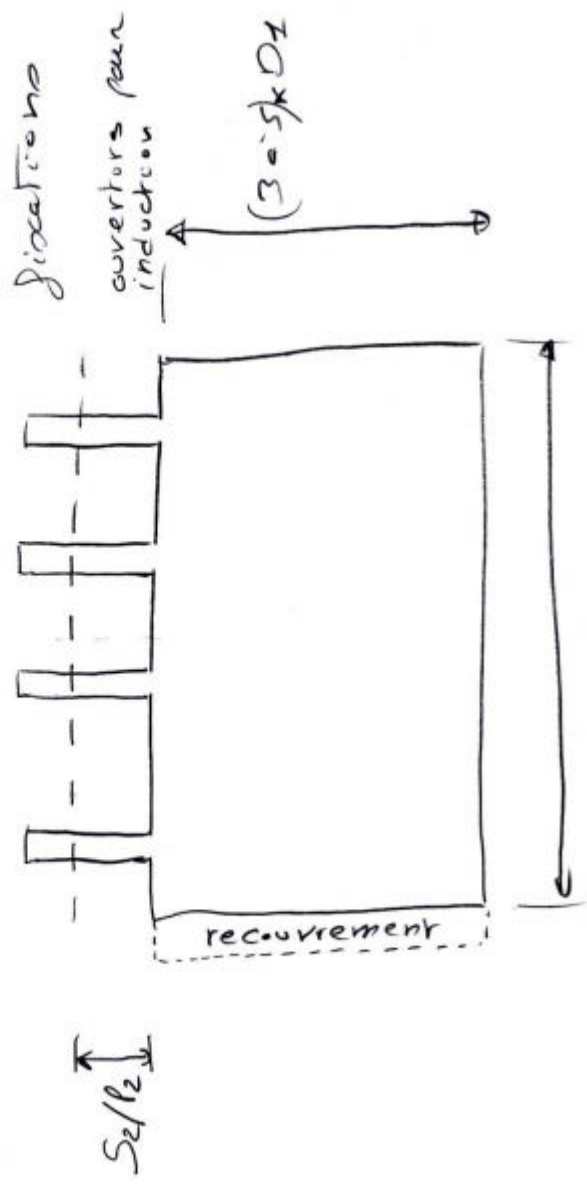
Développé du tube d'induction à monter sur la tête de brûleur à partir d'une plaque de tôle:



$$D_1 = d \text{ ext. brûleur} / D_2 = 2 \sqrt{\frac{S_2}{\pi}}$$

$$S_2 = 2 \times S_1$$

Développé de la tôle



$P_2 = \pi \times D_2$

### **CONSIGNES D'INSTALLATION:**

- Réduire de 2 tailles le gicleur du brûleur (angle 60°) et aussi limiter la T° des fumées à 130°C maxi pour les modèles sans condensation.
- Construire le tube d'induction en tôle ou autre à partir du gabarit ci avant et le monter en retrait sur le tube du brûleur
- Reculer l'accroche flamme à fond
- Augmenter la pression de la pompe fioul afin de pulvériser plus fin (10bars minimum)
- Régler le débit d'air pour obtenir une T° flamme supérieure à 950°C et inférieure à 1300°C

T° de flamme inférieure à 950°C : production de CO  
T° de flamme supérieure à 1300°C : production de NOx

IL FAUT IMPERATIVEMENT UN APPAREIL DE MESURE DE CO (Chauffagiste) POUR REGLER LA FLAMME

### **RESULTAT VISUEL :**



- ABAISSEMENT DE LA T° DE FLAMME,
- PRATIQUEMENT PLUS D'IMBRULES ET RÉDUCTION DRASTIQUE DES SUIES
- AUGMENTATION DE L'ECHANGE DANS LE FOYER DE LA CHAUDIERE
- AMÉLIORATION DU RENDEMENT DE COMBUSTION, ET DE FAIT ÉCONOMIE DE COMBUSTIBLE
- REDUCTION NOTOIRE DES POLLUANTS CO et NOx (voir chapitre mesures)

### 3 EXPLICATIONS ET FONCTIONNEMENT

Les produits de la combustion du fioul sont essentiellement du CO<sub>2</sub> et de la vapeur d'eau

RAPPEL:

Réaction de combustion parfaite du G.O. (l'azote n'est pas présent) :  $2 \text{ C}_{16}\text{H}_{34} + 49 \text{ O}_2 = 32 \text{ CO}_2 + 34 \text{ H}_2\text{O}$

#### La re-circulation des gaz brûlés permet :

- La réduction de la température de flamme sous le seuil des 1300°C afin de ne plus produire de NO<sub>x</sub>,
- Le maintien de cette température au dessus de 950°C pour ne pas produire de CO,
- Une augmentation du taux de brassage (mélange) carburant/comburant au coeur de la flamme,
- D'autre part, l'injection de vapeur d'eau issue de la combustion du fioul au coeur de la flamme pour éviter les C.O.V.

La vapeur d'eau commence sa dissociation thermique (thermolyse de l'eau) à partir de 800°C:  $2\text{H}_2\text{O} + \text{Energie} = 2\text{H}_2 + \text{O}_2$

La température de la flamme n'est pas homogène, plus chaude au centre et de plus en plus "froide" vers l'extérieur, la température "moyenne mesurée" sur le montage présenté est de 1000°C avec un maximum estimé à 1600°C au centre (flamme jaune, d'où les quelques ppm de NO<sub>x</sub> mesurés) et un minimum sous les 900°C en couche limite (d'où les quelques ppm de CO mesurés)

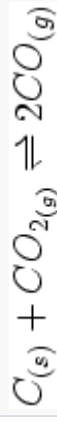
La thermolyse de l'eau au coeur de la flamme (dissociation et combustion) a un bilan énergétique nul dans le foyer, mais la combustion "détonante" de l'hydrogène permet la vaporisation complète des gouttelettes de fioul en suspension dans la flamme (origine des C.O.V. imbrûlés), surtout en périphérie,

- là où le montage permet une re-circulation maximum,
- là où les imbrûlés sont traditionnellement produits sur les flammes de brûleur fioul traditionnels

Le tube d'induction permet de maintenir confinée la Température de flamme proche des 1000°C

**Sur le CO:****Citation:****CO:**

Ce gaz ici indésirable résulte de la combustion de matière carbonée dans des conditions spécifiques de combustion incomplète. L'oxygénation du foyer reste insuffisante pour brûler complètement les gaz formés à partir de la matière, mais la réaction est assez exothermique pour élever et maintenir la température au delà de 950°C. Le monoxyde de carbone se forme alors préférentiellement au dioxyde de carbone, selon l'équilibre de Boudouard.



La variation d'enthalpie standard de cette réaction à 298 K vaut  $\Delta_r H^\circ = 172,3 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

Cette réaction est endothermique, elle est donc favorisée par une augmentation de la température

Sa métastabilité en dessous de 950 °C

un excès de recyclage des gaz brûlés ( $CO_2 + H_2O$ ) entraîne une diminution de la  $T^\circ$  de la flamme en dessous des 950°C fatidiques

Il faut veiller à régler ce type de brûleur en fonction de la  $T^\circ$  de la flamme, c'est à dire avec une mesure de CO.

La température de flamme doit être supérieure à 950°C et inférieure à 1300°C

$T^\circ$  de flamme inférieure à 950°C : production de CO

$T^\circ$  de flamme supérieure à 1300°C : production de NOx



## 4 ESSAIS ET MESURES

Installation des équipements de mesure en chaufferie :

Chaudière BUDERUS des années 1970



A gauche, un sécheur d'air à effet Pelletier pour travailler avec des gaz secs

Au milieu l'Analyseur de C.O.V. (Composés Organiques Volatils) avec son brûleur qui fonctionne à l'hydrogène + Hélium, pour quantifier les Composés Organiques Volatils (imbrûlés) et vérifier la qualité de la combustion en ppm équivalent CH4 sur gaz humide uniquement.

A droite, un analyseur HORIBA capable à lui seul de nous donner des mesures précises de NOx Chimieluminescence, SO2 infra rouge, CO Infra rouge, CO2 infra rouge, O2 Paramagnétique .

Derrière, les gaz d'étalonnage.

Ce qui frappe de prime abord, c'est la quantité quasi nulle de C.O.V. relevés quelques soient les réglages suivants alors que les mesures sont stables aux alentours des 400/500 ppm équivalent CH4 sur gaz humide pour un brûleur traditionnel:

**Voici les relevés du premier réglage du brûleur, COV=0 :**



Pas mal pour un réglage « au pif »

**CE QUE NOUS POUVONS D'HORS ET DEJA AFFIRMER, C'EST QUE LA RE-CIRCULATION DE LA VAPEUR D'EAU ISSUE DE LA COMBUSTION DU FIOUL PERMET EN EFFET DE DIVISER LA POLLUTION ORGANIQUE (suies) A DES VALEURS QU'ASIMMENT NULLE.**

Pour validation du seuil de 950 de T° de flamme pour la production du CO, ci dessous augmentation du débit d'air :

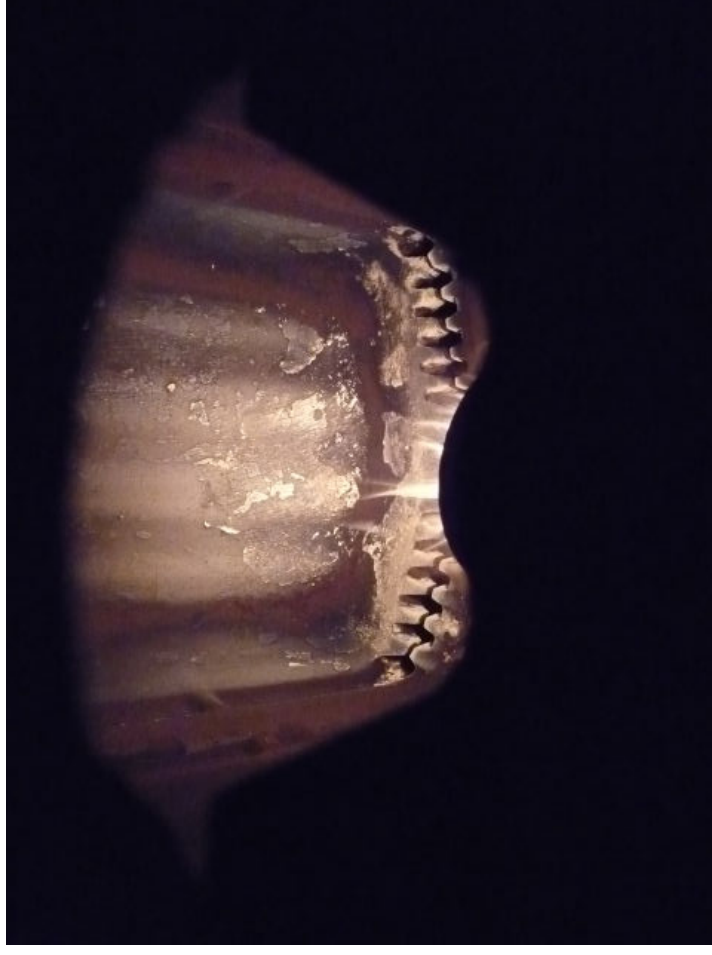


Avec la flamme bleue de la page 6 ; trop « Bleue » = CO car flamme trop froide, ici 270 ppm de CO!!

AUGMENTONS ENCORE UN PEU LE DEBIT D'AIR ET LE CO AUGMENTE !! CQFD notez comme les C.O.V. (suies) augmentent avec la production de CO et notez aussi que, comme la T° de flamme diminue, les NOx diminuent aussi.



## VOICI NOTRE MEILLEUR REGLAGE :



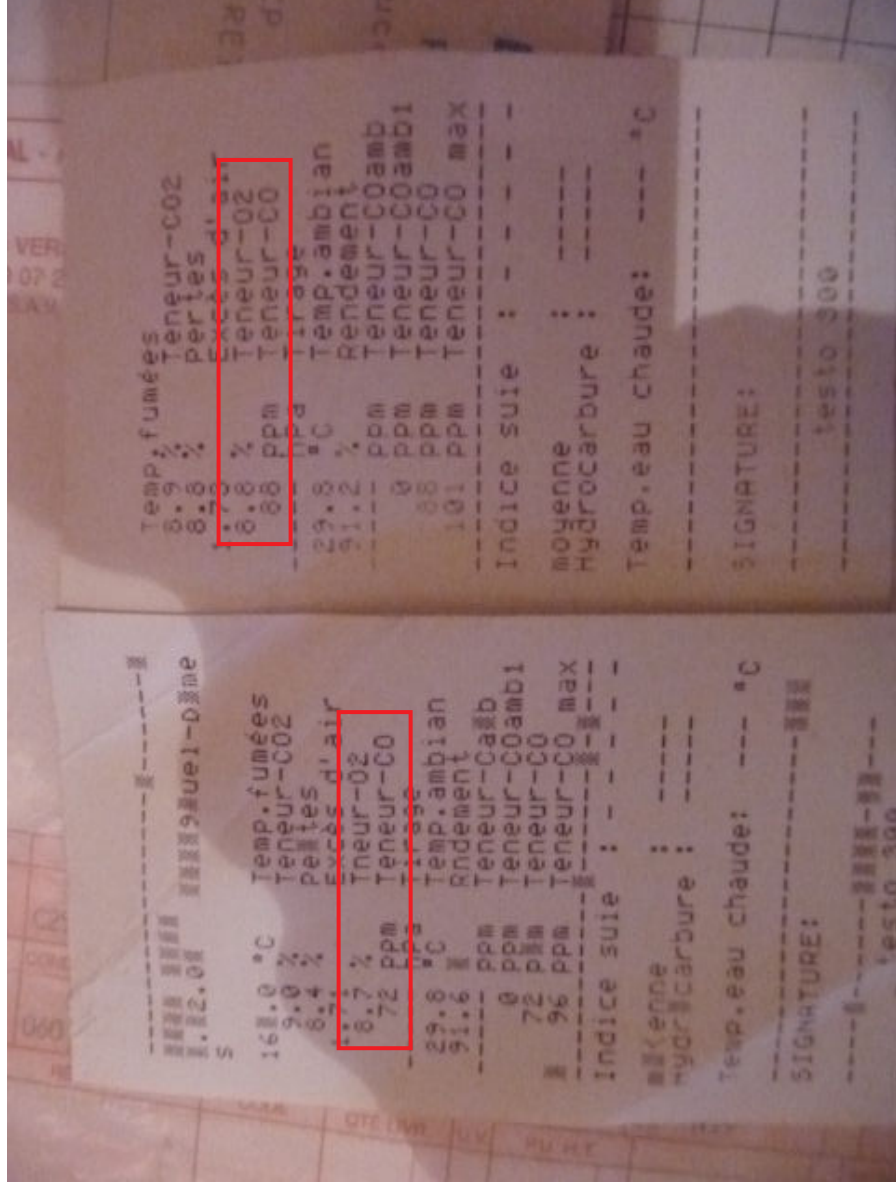
## AVEC UNE FLAMME QUI N'EST PAS TOTALEMENT BLEUE D'OU LA NECESSITE DE FAIRE LE REGLAGE AVEC UN ANALYSEUR DE CO

La température de flamme n'est pas homogène, et pour ce dernier réglage, la T° est supérieure à 1000°C mais avec une couche extérieure inférieure à 950°C du fait de la couche limite due au recyclage, cela signifie que l'on pourrait faire mieux avec un mélangeur/accroche flamme différent.

Mesure de la température à la sortie du tube d'induction avec thermocouple type K :



Pour comparaisons, voici les précédentes mesures réalisées avant l'ajout de mon montage sur le brûleur, édifiant non?  
CO divisé par 9 !!  
NOx divisés par 20!!



DEMONSTRATION EST FAITE QUE L'INJECTION DE VAPEUR D'EAU EST FORTEMENT BENEFIQUE A LA COMBUSTION DU FIOUL.

## **5 CE QUI PEUT ETRE FAIT IMMEDIATEMENT**

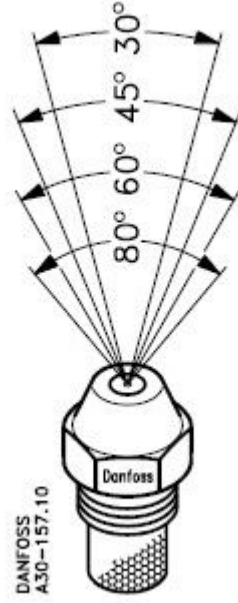
- Faire valider le procédé par un organisme certifié
- Proposer une obligation de modification des installations existantes, avec si possible une aide de l'état.



## 6 ANNEXE : détermination d'un gicleur FOD

Le Gicleur de ce brûleur était un 0,55 Gal/h angle 60° S(Plein) qui fonctionne à 7bar

ANGLE DE PULVERISATION:



Pour obtenir un bon mélange dans le tube, un angle de pulvérisation large est préférable mais attention à ne pas pulvériser sur les parois du tube, un angle de 60° sera adapté pour obtenir une flamme courte.

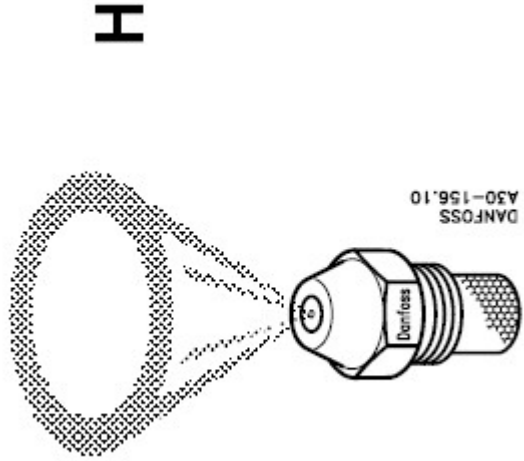
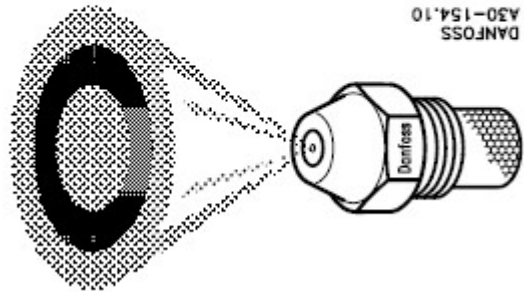
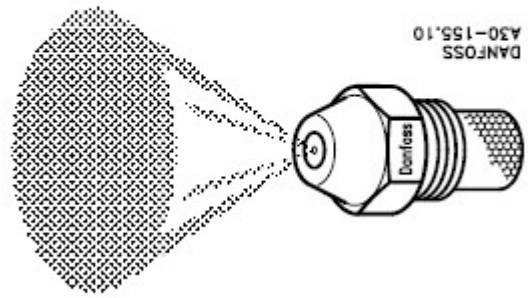
PRESSION :

Je souhaite augmenter la pression de pulvérisation tout en réduisant la puissance, le tableau ci dessous m'indique q'un gicleur de taille 0,40 à 7bar est l'équivalent d'un 0,55 à 14bar.

Pressions de référence

6 bar GPH	7 bar GPH	8 bar GPH	10 bar GPH	12 bar GPH	14 bar GPH
0,37	0,40	0,43	0,48	0,52	0,56
0,42	0,45	0,48	0,54	0,59	0,64
0,46	0,50	0,53	0,60	0,65	0,71
0,51	0,55	0,59	0,66	0,72	0,78
0,55	0,60	0,64	0,72	0,78	0,85
0,60	0,65	0,69	0,78	0,85	0,92
0,69	0,75	0,80	0,90	0,98	1,06
0,79	0,85	0,91	1,02	1,11	1,20
0,92	1,00	1,07	1,19	1,31	1,41

TYPE DE REPARTITION



Une répartition pleine "S" me semble plus adaptée à notre application, car répartie homogènement dans le flux d'air primaire, bien que la "H" permette de pulvériser le fioul en sandwich entre le flux d'air neuf et le flux de gaz recyclés.