

APPLICATION D'UN NOUVEAU PROCÉDÉ AU TRAITEMENT DES FUMÉES D'UIOM

Nathalie Muller, Belkacem Benadda, Michel Otterbein*

Laepsi, Insa

Ce travail est relatif à l'efficacité, en terme de dépollution, d'un nouveau procédé : la colonne à gouttes transportées. La particularité de cet appareil est d'utiliser des vitesses de gaz élevées (jusqu'à 14 m/s) comparables à celles trouvées en sortie de fours d'usine d'incinération d'ordures ménagères. Son avantage, comme le montrent les résultats présentés, est d'être utilisé à la fois pour le lavage des gaz acides et comme dépoussiéreur, et ceci pour un faible coût énergétique.

In this work is studied the depollution efficiency of a new process : the droplets column. The particularity of this device is the use of high gas velocities (up to 14 m/s) like to the fumes velocities in the chimney of the incineration unit ovens. The advantage as shown the results is to be used for the cleaning of polluted gas, like deduster and for a low energetic cost.

INTRODUCTION

Les fumées générées par combustion dans les unités d'incinération des ordures ménagères doivent subir un traitement avant d'être remises à l'atmosphère. En effet, leurs teneurs en poussières et vésicules liquides ainsi qu'en produits tels que les composés organiques volatils, le chlorure d'hydrogène, le dioxyde de soufre sont le plus souvent supérieures aux valeurs seuils définies par la législation européenne et française. Ces normes de rejet appelées à devenir de plus en plus sévères, impliquent que les installations se dotent d'unités de dépollution des gaz plus ou moins coûteuses. Les procédés les plus fréquemment utilisés pour le traitement des gaz dépendent de la nature des polluants. Pour traiter la pollution particulaire, on fera souvent appel à des procédés mécaniques par voie sèche : sédimentation, cyclone, filtre ou électrofiltre. Quant à la pollution gazeuse, particulièrement celle due aux gaz acides et aux métaux lourds, différents procédés de dépollution par voie sèche, semi-humide ou encore humide peuvent être utilisés. Mais, à l'heure actuelle, peu d'appareils associent le traitement simultané des gaz acides et des poussières. La colonne à gouttes transportées, dont le principe de fonc-

tionnement a été décrit dans les références^[1,2,3], est un contacteur gaz-liquide dérivé des colonnes à bulles classiques. Dans de telles colonnes, l'augmentation de la vitesse du gaz jusqu'à des vitesses moyennes fût vide U_G de l'ordre de 14 m/s, fait transformer progressivement la dispersion de bulles de gaz dans un liquide en dispersion de gouttes de liquide dans un gaz : c'est le domaine de la colonne à gouttes transportées.

Cet appareil permet de réaliser simultanément au sein du même volume réactionnel, la captation des poussières et le lavage des gaz par absorption : l'ensemble des polluants gazeux est transféré vers la phase liquide faisant ensuite l'objet d'un traitement adapté.

L'avantage de ce procédé est l'utilisation de vitesses de gaz élevées, ce qui permet, dans le cas d'une efficacité d'épuration identique à celle d'autres contacteurs gaz-liquide, de traiter, à diamètre égal des débits gazeux plus importants. Ces vitesses sont également comparables à celles retrouvées en sortie de fours d'usines d'incinération d'ordures ménagères. C'est par conséquent sur les polluants types retrouvés dans ces fumées (HCl, SO₂, poussières) que s'est portée l'étude de l'efficacité de ce procédé.

DESCRIPTION DU PILOTE

La colonne à gouttes transportées est un procédé fonctionnant à co-courant entre un gaz (air pollué) et de l'eau. La mise en contact est réalisée tout au long de la colonne, constituée de plusieurs viroles en PVC transparent ($d = 0,15$ m et de hauteur utile $H = 3,2$ m). Elle est schématisée sur la figure 1.

Les fortes vitesses de gaz sont atteintes grâce à un ventilateur centrifuge haute pression. Le gaz est introduit dans la colonne au travers d'un plateau perforé à trou unique central. En sortie de colonne, il est remis à l'atmosphère.

Tout au long de la colonne se situent différentes prises de pression reliées à des tubes manométriques permettant d'évaluer les pertes de charge et les rétentions.

L'air entrant est pollué artificiellement par des polluants gazeux (HCl, SO₂) ou des poussières. Dans ce cas, l'injection des poudres est assurée par un système comportant une

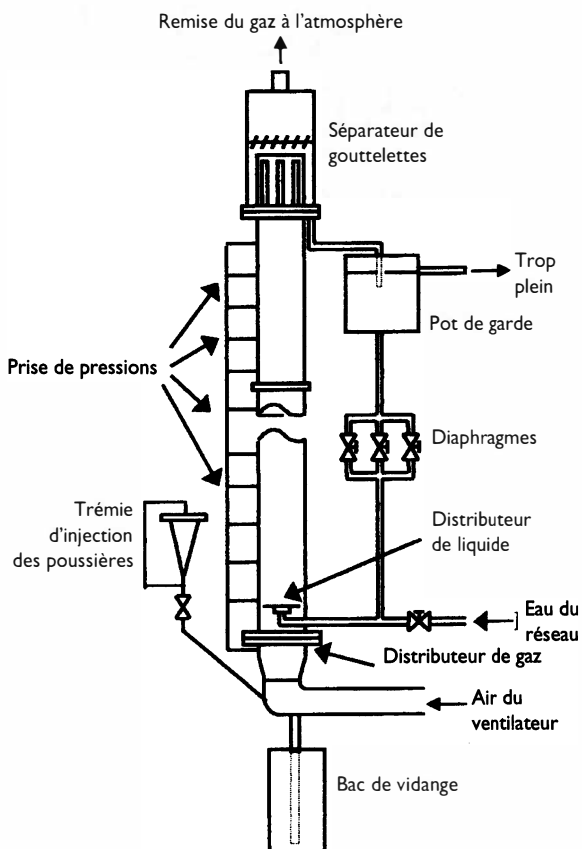


Figure 1 : la colonne à gouttes transportées

vis sans fin couplée à une arrivée d'air permettant d'acheminer les poudres vers la colonne.

CAPTATION DES EFFLUENTS GAZEUX

L'air entrant dans la colonne à gouttes transportées est pollué artificiellement par du chlorure d'hydrogène ou du dioxyde de soufre. En ce qui concerne les quantités injectées, nous nous sommes basés sur celles trouvées dans les fumées brutes d'usine d'incinération d'ordures ménagères soit environ 1500 ppm pour HCl et 300 ppm en ce qui concerne SO₂. L'air est analysé en entrée et en sortie de colonne.

Absorption de HCl

Tous les essais présentés ci-dessous ont été effectués à un débit d'air de 795 m³/h soit une vitesse de 12 m/s. Le tableau 1 fait état des principaux résultats obtenus dans le cas du chlorure d'hydrogène pour différents points de fonctionnement donnés.

Au vu de ces résultats, on constate que la colonne à gouttes transportées est très efficace pour le traitement des gaz chargés en chlorure d'hydrogène quelque soit le débit liquide utilisé. Les quantités de chlorure d'hydrogène retrouvées en sortie restent largement inférieures aux normes de rejet imposées par la législation française.

Tableau 1 : Résultats de l'efficacité d'épuration pour HCl

Q _L (m ³ /h)	C _i (mg/Nm ³)	C _f (mg/Nm ³)	E (%)	Normes de rejet (mg/Nm ³)*
0,8	1515	14,4	99,1	50
1,0	1515	7,6	99,5	50
1,2	1515	4,5	99,7	50
1,3	1515	3,0	99,8	50

* La vitesse du gaz utilisée nous place dans le cas de fours de capacité supérieure à 3 t/h, c'est-à-dire dans les conditions de normes les plus sévères

Tableau 2 : Résultats de l'efficacité d'épuration du SO₂

	Q _L (m ³ /h)	C _i (mg/Nm ³)	C _f (mg/Nm ³)	E (%)	Normes de rejet (mg/Nm ³)*
	0,8	531	292,1	45,0	300
Sans ajout de soude	1,0	531	265,6	50,0	300
	1,2	398	185,9	53,0	300
En présence de soude	0,8	531	79,7	85,0	300
	1,0	531	53,1	90,0	300
	1,2	531	26,6	95,0	300

* La vitesse du gaz utilisée nous place dans le cas de fours de capacité supérieure à 3 t/h, c'est-à-dire dans les conditions de normes les plus sévères.

Absorption du SO₂

En ce qui concerne le second polluant type qui est le dioxyde de soufre, les résultats sont consignés dans le tableau 2. Les quantités injectées sont volontairement supérieures à celles des émissions des UIOM, car la quantité rejetée par ces usines (300 ppm) respecte déjà les normes en vigueur.

Les essais ont également été réalisés à une vitesse de 12 m/s, ce qui nous place, comme précédemment, dans des conditions identiques à des fours de capacité supérieure à 3 t/h. Les efficacités d'épuration du dioxyde de soufre sont d'autant plus importantes que le débit liquide est grand. En effet, la quantité d'eau présente dans la colonne étant plus importante pour accueillir une même quantité de polluants gazeux, le transfert de matière gaz-liquide est par conséquent amélioré. Ces résultats, bien que donnant des efficacités relativement moyennes, sont d'ores et déjà satisfaisants. En effet, ils sont comparables à ceux obtenus avec certains procédés industrialisés fonctionnant à base de pulvérisation d'eau et sans ajout de base^[4].

Les rendements d'épuration se trouvent également nettement améliorés en présence d'une base et ceci dès un faible débit liquide.

Influence de la présence de poussières sur la captation des gaz acides

Une quantité connue de cendres de la centrale thermique est injectée dans le flux d'air entrant en même temps que le chlorure d'hydrogène ou le dioxyde de soufre. La quantité de polluants gazeux est mesurée en entrée et en sortie de colonne sans se préoccuper de la quantité de poussières rejetées.

Tableau 3 : Influence des poussières sur la captation des gaz acides

	Q _p (kg/h)	C _i (mg/Nm ³)	C _f (mg/Nm ³)	E (%)	Normes de rejet (mg/Nm ³)*
HCl	0	1515	7,6	99,5	50
	2,7	1515	7,6	99,5	50
	8,6	1212	7,6	99,3	50
	0	531	53,1	90,0	300
SO ₂	2,0	531	53,1	90,0	300
	9,4	531	53,1	90,0	300

* La vitesse du gaz utilisée nous place dans le cas de fours de capacité supérieure à 3 t/h, c'est à dire dans les conditions de normes les plus sévères.

Pour un point de fonctionnement donné, différents débits de poussières ont été utilisés.

Quelque soit le débit de poussières injectées, la présence de particules n'affecte pas l'efficacité de captation des effluents gazeux considérés.

Compte tenu de ces premiers résultats, la teneur en polluants gazeux tel que HCl et SO₂ peut être fortement abattue dans un procédé comme la colonne à gouttes transportées. Les quantités recueillies en sortie pour ces deux gaz acides sont toujours largement inférieures aux normes en vigueur et ne sont pas modifiées par la présence de poussières.

CAPTATION DES POUSSIÈRES

Pour tester l'efficacité de la colonne en tant que dépoussiéreur, il nous faut, dans un premier temps, simuler une fumée industrielle constituée d'un gaz vecteur, dans notre cas l'air ambiant, transportant des particules solides. Pour cela, et comme il a été décrit précédemment, les poussières sont injectées dans le flux d'air entrant par l'intermédiaire d'une vis sans fin.

Le système de mesure de la quantité de poussières à la sortie de la colonne est assuré par une sonde positionnée dans la conduite d'air de sorte que l'isocinétisme soit respecté et que l'échantillon prélevé soit représentatif.

Différentes poudres ont été utilisées. Le choix s'est opéré principalement en fonction de leur granulométrie et de leur aptitude à être manipulées facilement.

Il s'agit de :

- la silice (de dimension comprise entre 0 et 7,5 µm),
- le talc (de 0 à 40 µm),
- la farine de ciment (de 0 à 360 µm),
- les cendres d'une centrale thermique (de 0 à 400 µm).

Résultats obtenus

Les premiers essais de captation des poussières ont été effectués au point de fonctionnement suivant :

$$Q_L = 0,8 \text{ m}^3/\text{h},$$

$$U_G = 10,4 \text{ m/s}.$$

Le tableau 4 reprend l'ensemble des résultats obtenus pour les poussières citées précédemment.

Ces premiers résultats montrent déjà l'efficacité de la colonne à gouttes transportées en tant que système de dépous-

Tableau 4 : Efficacité du procédé en fonction des différentes particules

Poussières	Q _p (kg/h)	C _i (mg/Nm ³)	C _f (mg/Nm ³)	E (%)
Cendres	0,7	860	5,6	99,4
	4,4	5600	4,5	99,9
Farine de ciment	1,05	1600	9,7	99,4
	14,9	22500	143,2	99,1
Talc	15,6	23700	128,7	99,5
	1,7	2600	9,2	99,6
Silice	5,9	9100	31,2	99,7
	0,21	320	26,5	91,8
Silice	0,16	240	10,9	95,6
	0,2	300	1,0	99,6

siéage. Cependant, ils ne permettent pas d'établir une relation précise entre spectre granulométrique et efficacité de dépoussiérage. Seuls les essais avec la silice, dont la granulométrie s'étend de 0,9 µm à 7,5 µm, tendent à montrer que pour des particules de l'ordre de quelques microns, l'efficacité pourrait être meilleure. Cependant, comme cette poudre est très légère, le système d'injection ne permet pas de l'injecter en grande quantité ; ces résultats obtenus ne sont donc pas suffisamment significatifs. On ne peut toutefois pas affirmer que la colonne à gouttes transportées n'est pas efficace avec ce type de particules ; il faudrait, en toute rigueur, encore augmenter le débit liquide pour augmenter la vitesse d'impact entre les particules^[6].

On peut remarquer également qu'au vu de la vitesse utilisée dans les essais de captation de poussières, les normes de rejet pour les installations d'incinération des résidus urbains et assimilés nous placent dans le cas d'installations de capacité de 1 à 3 t/h, ce qui correspond à une quantité de poussières totale rejetée de 100 mg/Nm³.

Seuls les essais avec la farine de ciment pour des concentrations initiales en poussières relativement importantes ont donné des concentrations en sortie supérieures aux normes de rejet. Il existe probablement pour chaque catégorie de poussière donnée, une quantité maximale à injecter de façon à respecter les normes de rejet en vigueur. D'autres essais devront être effectués dans ce sens.

Il apparaît d'autre part que l'efficacité de dépoussiérage est peu affectée par la concentration en poussières dans le gaz à traiter. D'autres essais à plus forte concentration initiale de poussières dans l'air doivent être réalisés jusqu'à atteindre la saturation de l'eau en circulation. Cependant, dans l'application industrielle de ce procédé, l'eau serait partiellement régénérée grâce à un soutirage des boues et une admission d'eau propre au niveau du pot de garde, la concentration en poussières dans l'eau, maintenue constante, permettrait d'éviter les problèmes de saturation.

Influence du débit liquide sur la captation des poussières

Pour étudier l'influence du débit liquide sur l'efficacité de dépoussiérage, la farine de ciment a été injectée avec une concentration initiale d'environ 13 g/Nm³, ceci pour trois

Tableau 5 : Efficacité en fonction du débit liquide avec la farine de ciment

Q _L (m ³ /h)	P (kW) pour 1000 m ³ /h de gaz	C _i (mg/Nm ³)	C _f (mg/Nm ³)	E (%)
0,4	0,27	14100	146	99,0
0,8	0,36	12200	92	99,2
1,1	0,44	13500	58	99,6

points de fonctionnement différents, comme le montre le tableau 5.

Ainsi, pour traiter cette fumée précise (C_i = 13 g/Nm³ de farine de ciment) et atteindre en sortie la valeur seuil de 100 mg de poussières par Nm³ d'air épuré, un débit d'eau de 1,1 m³/h est nécessaire. Si l'on augmentait la vitesse du gaz à l'entrée jusqu'à 12 m/s, les normes de rejet correspondraient à celles imposées à des fours d'usine d'incinération d'ordures ménagères de capacité supérieure à 3 t/h soit 30 mg de poussières par Nm³ d'air épuré. Il faudrait alors probablement encore augmenter le débit d'eau afin de satisfaire ces normes.

On peut supposer que, pour chaque type de poussières que l'on pourra traiter avec la colonne à gouttes transportées, on devra définir expérimentalement un débit liquide adéquat permettant d'assurer un traitement efficace sans dépense inutile d'énergie.

CONCLUSION

La colonne à gouttes transportées est un système d'épuration des fumées à double emploi, aussi efficace avec des polluants gazeux (tels HCl ou SO₂ en présence de soude) qu'avec des poussières.

D'une façon générale, les résultats d'épuration des effluents gazeux sont déjà fort prometteurs puisque les quantités de polluants retrouvées en sortie d'installation sont largement inférieures à celles imposées par la législation.

L'efficacité du procédé en tant que système de dépoussiérage, en utilisant des débits liquides faibles (0,8 à 1,1 m³/h) circulant en circuit fermé et pour des fumées pas trop chargées en poussières (3 à 13 g/Nm³) s'élève à :

– 99,9 % pour des poussières relativement grosses (0-40 et 0-400 μm)

– 96,0 % pour des poussières plus fines (0-7,5 μm).

Son efficacité avec des particules fines semble meilleure que celle de la plupart des autres systèmes de dépoussiérage (à l'exception des laveurs venturisés).

Le procédé est remarquable par sa simplicité : la seule augmentation du débit liquide permet d'améliorer l'efficacité. Cette simplicité nous permet de supposer un encombrement et un coût d'installation plus faibles que pour d'autres procédés.

Les vitesses de gaz utilisées sont élevées (jusqu'à 14 m/s avec ce pilote). Ceci permet de traiter, à diamètre égal à d'autres procédés, d'importants débits gazeux.

Au niveau des dépenses énergétiques, la colonne à gouttes transportées apparaît tout à fait comparable aux autres systèmes de dépoussiérage. Elle se rapproche de l'électrofiltre, système actuellement le plus avantageux (pour 1000 m³/h de

gaz traité, la puissance consommée est de 0,4 kW alors qu'elle est de 0,5 à 1 kW pour l'électrofiltre). Nous restons ici prudents dans nos comparaisons avec les autres procédés car il faudrait, en toute rigueur, considérer le système de dépollution complet. Or, nous n'avons étudié ici que le transfert de la pollution de l'air dans l'eau sans se préoccuper du traitement de la phase aqueuse.

* **Nathalie Muller, Belkacem Benadda, Michel Otterbein**

Laepsi - Insa - 20, avenue Albert Einstein - 69621 Villeurbanne

Nomenclature

C _i	mg/Nm ³	quantité de polluants injectée à l'entrée
C _f	mg/Nm ³	quantité de polluants en sortie
d	m	diamètre de la colonne
E	%	efficacité d'épuration
H	m	hauteur de la colonne
Q _L	m ³ /h	débit liquide
Q _P	kg/h	débit de poussières injecté
P	kW	puissance consommée
U _G	m/s	vitesse du gaz

Bibliographie

- [1] Benadda, B., Bressat, R., Otterbein, M., in : *Colloque Exposition Européen. Énergie et Environnement*, Marseille (1995).
- [2] Benadda, B., Bressat, R., Kafoufi, K., Otterbein, M., Muller, N., in : *Actes de la deuxième conférence maghrébine de génie des procédés, Gabès et Djerba*. Tome 1 (1996) pp.487-490.
- [3] Muller, N., Benadda, B., Otterbein, M., *Chem. Eng. Tech.*, (1997), Vol. 7, pp. 469-474.
- [4] Dimitrov, C. *La technique moderne*, novembre-décembre, (1987), pp. 41-44.
- [5] Stairmand, C.J., *Heat Ventil.*, 29, (1953).
- [6] Muhrad, W., in : *Techniques de l'Ingénieur*, J2-II (1979) A 5700, pp.14-21.