

Stéphane Bicocchi Corinne L'hospitalier

# Les techniques de dépoussiérage des fumées industrielles

État de l'art



RE.CO.R.D.



35605

Editions  
**TEC**  
& **DOC**

ECL 93

35605

②

## LES TECHNIQUES DE DÉPOUSSIÉRAGE DES FUMÉES INDUSTRIELLES

### ÉTAT DE L'ART



Étude réalisée sous la direction et pour le compte de RE.CO.R.D.

par

**Stéphane BICOCCHI**  
Cadet International

Ingenieur UTC en Génie des procédés

DEA Sciences et Techniques de l'Environnement attribué par l'ENPC, l'ENGREF et l'Université de Paris XII  
Directeur des Études de Cadet International, Société du Groupe SETEC, spécialisée dans l'assistance à maître  
d'ouvrage, le conseil et la maîtrise d'œuvre dans la gestion, la valorisation et le traitement des déchets

et

**Corinne L'HOSPITALIER**

Ingenieur UTC en Génie des procédés

Ingenieur Chargée d'Études chez Cadet International



35605

**Editions**  
**TEC**  
&  
**DOC**

11, rue Lavoisier  
75008 Paris

LONDRES - PARIS - NEW YORK

---

---

## PARTIE I : LA PROBLEMATIQUE DES POUSSIÈRES

---

---

<b>1. GENERALITES SUR LES POUSSIÈRES.....</b>	<b>2</b>
1.1. Définitions .....	2
1.2. Origines et mécanismes de formation .....	3
1.3. Réglementations en vigueur et future .....	6
1.3.1. Les installations visées par l'arrêté du 2 février 1998 .....	6
(a) Cas général .....	6
(b) Cas particuliers .....	10
1.3.2. Les activités non visées par l'arrêté du 2 février 1998 .....	11
(a) Papeteries.....	11
(b) Installations spécialisées d'incinération et installations de coïncinération de certains déchets industriels spéciaux .....	12
(c) Installations d'incinération de résidus urbains.....	15
(d) Grandes installations de combustion ou GIC (installations de plus de 50 MW) .....	16
(e) Les installations de combustions de 20 à 50 MW .....	17
(f) Petites installations de combustion ou PIC (de 2 à 20 MW) .....	18
(g) Silos et installations de stockage de céréales, graines, produits alimentaires ou tout autre produit organique dégageant des poussières inflammables .....	20
(h) Cimenteries.....	21
(i) Verreries et cristalleries .....	22
(j) Carrières et installations de premier traitement des matériaux de carrière .....	23
(k) Centres d'incinération de cadavres d'animaux de compagnie .....	24
1.3.3. Les zones de protection spéciales .....	25
(a) Les zones existantes.....	25
(b) Réglementation applicable à ces zones.....	25
1.4. Effets sur la santé.....	27
1.4.1. Pénétration des poussières dans les voies respiratoires .....	27
1.4.2. Les mécanismes de défense .....	29
1.4.3. Evaluation des risques dus aux poussières .....	30
(a) Le cadmium .....	33
(b) Le plomb.....	34
(c) Le mercure .....	35
(d) Les dioxines et furanes .....	36
1.4.4. Valeurs limites et objectifs de qualité.....	37
1.5. Les poussières sur les lieux de travail .....	38
1.5.1. Valeurs réglementaires .....	39
1.5.2. Mesures de l'empoussièrément sur les lieux de travail.....	41
(a) Les appareils de mesure .....	41
(b) La nature des prélèvements : .....	42
(c) Evolution de l'empoussièrément dans le temps et l'espace : .....	43
1.5.3. Manifestations biologiques de l'exposition aux poussières .....	43
1.5.4. Principales poussières industrielles responsables d'affections professionnelles .....	45
1.5.5. Tableau des valeurs limites.....	49
1.6. Effets sur l'environnement .....	50
1.7. Sources d'émission et estimation des émissions de poussières.....	52
1.7.1. Les sources d'émission .....	52

1.7.2.	Estimation des émissions.....	52
(a)	La problématique.....	52
(b)	Les résultats du CITEPA.....	53
1.7.3.	Les émissions de poussières en cimenterie.....	57
(a)	La fabrication du ciment.....	57
(b)	L'évolution des émissions de poussières.....	57
(c)	Les moyens mis en œuvre.....	58
1.7.4.	Les émissions de poussières en sidérurgie.....	59
<b>1.8.</b>	<b>Mesure des poussières.....</b>	<b>61</b>
1.8.1.	Les appareils de mesure.....	61
1.8.2.	Résultats bruts et corrigés.....	65

## 2. FACTEURS DETERMINANTS POUR LE CHOIX D'UN SYSTEME DE DEPOUSSIERAGE..... 67

<b>2.1.</b>	<b>Caractéristiques des poussières.....</b>	<b>67</b>
2.1.1.	Composition granulométrique.....	67
2.1.2.	Masse volumique.....	75
2.1.3.	Forme et surface spécifique.....	76
2.1.4.	Composition chimique.....	79
(a)	Verreries et cristalleries :.....	80
(b)	Cimenteries :.....	84
(c)	Papeteries :.....	85
(d)	Incinération des déchets spéciaux :.....	86
(e)	Incinération des ordures ménagères :.....	86
(f)	Combustion du charbon dans les centrales thermiques :.....	87
(g)	Sidérurgie.....	89
(h)	Production d'aluminium par électrolyse :.....	90
2.1.5.	Résistivité.....	91
2.1.6.	Vitesse de chute.....	98
2.1.7.	Concentration.....	100
2.1.8.	Cas des poussières explosives.....	101
(a)	Mécanismes des explosions de poussières :.....	101
(b)	Conditions d'explosibilité des poussières :.....	101
(c)	Caractéristiques d'explosion des poussières :.....	105
(d)	Quelques accidents caractéristiques :.....	109
(e)	Caractéristiques d'inflammabilité et d'explosion de poussières courantes.....	109
2.1.9.	Autres caractéristiques.....	113
<b>2.2.</b>	<b>Caractéristiques des gaz à traiter.....</b>	<b>113</b>
2.2.1.	Débit.....	113
2.2.2.	Température.....	113
2.2.3.	Composition chimique.....	114
2.2.4.	Point de rosée acide.....	114

## 3. LES TECHNIQUES DE DEPOUSSIERAGE..... 118

<b>3.1.</b>	<b>Les cyclones.....</b>	<b>118</b>
3.1.1.	Principe de fonctionnement des cyclones.....	118
3.1.2.	Les différents types de cyclones.....	120
3.1.3.	Vitesse des gaz.....	122
3.1.4.	Perte de charge.....	122
3.1.5.	Efficacité.....	123
3.1.6.	Dimensionnement.....	125
3.1.7.	Caractéristiques et inconvénients d'un cyclone.....	130

<b>3.2.</b>	<b>Les laveurs.....</b>	<b>130</b>
3.2.1.	Principe de fonctionnement des laveurs Venturi.....	131
3.2.2.	Quelques considérations théoriques.....	134
3.2.3.	Colmatage des laveurs.....	135
3.2.4.	Corrosion des laveurs.....	135
3.2.5.	Efficacité et perte de charge.....	136
3.2.6.	Dimensionnement.....	136
3.2.7.	Caractéristiques et inconvénients d'un laveur Venturi.....	136
<b>3.3.</b>	<b>Les dépoussiéreurs à média filtrants.....</b>	<b>137</b>
3.3.1.	Les différentes technologies à média filtrants.....	137
3.3.2.	Principe de fonctionnement d'un filtre à manches.....	140
3.3.3.	Nature de la couche filtrante.....	141
3.3.4.	Les différents types de filtres à manches.....	141
3.3.5.	Caractéristiques et inconvénients d'un filtre à manches.....	146
<b>3.4.</b>	<b>Les électrofiltres.....</b>	<b>147</b>
3.4.1.	Principe de fonctionnement des électrofiltres.....	147
3.4.2.	Les électrofiltres humides.....	148
3.4.3.	Caractéristiques et inconvénients d'un électrofiltre sec.....	151
<b>3.5.</b>	<b>Rendement des dépoussiéreurs.....</b>	<b>152</b>
3.5.1.	En théorie.....	152
(a)	Rendement global ou quantitatif :.....	152
(b)	Rendement qualitatif ou fractionnaire :.....	152
3.5.2.	En pratique.....	153
<b>3.6.</b>	<b>Critères de choix d'un système de dépoussiérage.....</b>	<b>153</b>
<b>3.7.</b>	<b>Les techniques les plus courantes par branches d'activités.....</b>	<b>155</b>
<b>3.8.</b>	<b>Constructeurs ou fournisseurs de dépoussiéreurs.....</b>	<b>157</b>
<b>4.</b>	<b>ANNEXES DE LA PARTIE I.....</b>	<b>158</b>
4.1.	Liste des figures.....	158
4.2.	Liste des tableaux.....	160
4.3.	Références bibliographiques.....	163

## PARTIE II : LES TECHNIQUES EFFICACES

<b>1. LES FILTRES A MANCHES.....</b>	<b>166</b>
1.1. Mécanismes de la filtration.....	166
1.2. Média filtrants.....	169
1.2.1. Mode de confection des média filtrants.....	170
(a) Les tissus :.....	170
(b) Les feutres aiguilletés :.....	171
1.2.2. Les différents types de fibres et leurs conditions de fonctionnement.....	172
1.2.3. Les traitements de surface.....	183
(a) Flambage :.....	183
(b) Calandrage :.....	183
(c) Laminage :.....	184
(d) Traitements complémentaires :.....	184
1.2.4. Inconvénients des média filtrants classiques tissés ou feutrés.....	185
1.3. Les manches.....	185
1.3.1. Les différents types de manches.....	185
1.3.2. Durée de vie des manches.....	186
1.4. Perte de charge.....	187
1.5. Le décolmatage.....	189
1.5.1. Les différentes techniques.....	190
(a) Secouage ou vibrations mécaniques imposées aux manches :.....	190
(b) Nettoyage par injection d'un grand volume d'air à contre-courant sous faible pression :.....	191
(c) Nettoyage pneumatique (injection d'un petit volume d'air à contre-courant sous haute pression) :.....	192
(d) Caractéristiques et limites des décolmatages « off-line » et « on-line ».....	194
1.5.2. Fréquence de décolmatage.....	195
1.5.3. Tableau récapitulatif des caractéristiques associées à chaque type de nettoyage.....	196
1.6. Dimensionnement.....	197
1.6.1. Informations à collecter.....	197
1.6.2. Détermination de la surface filtrante.....	198
1.6.3. Quelques exemples.....	200
1.7. Efficacité des filtres à manches.....	200
1.8. Conditionnements préalables destinés à adapter la suspension aux conditions de fonctionnement des média.....	202
1.8.1. Conditionnement des poussières.....	203
1.8.2. Conditionnement des gaz.....	203
1.9. Traitement couplé à d'autres polluants.....	204
1.9.1. Injection d'adsorbants.....	204
1.9.2. Dépoussiérage associé à l'élimination des dioxines et furanes.....	205
1.10. Exploitation.....	208
1.10.1. Mise en route de l'installation.....	208
(a) Contrôle (hors tension électrique).....	208
(b) Mise en route à blanc (appareils sous tension).....	209

(c) Mise en route en charge (aux conditions normales d'exploitation).....	209
(d) Contrôle après un certain temps de fonctionnement.....	210
1.10.2. Arrêt de l'installation.....	211
1.10.3. Réglage du cycle de décolmatage.....	211
1.10.4. Stockage.....	212
1.11. Maintenance.....	212
1.11.1. Changement des éléments filtrants.....	212
1.11.2. Entretien – lavage – réparation des éléments filtrants.....	214
1.11.3. Surveillance.....	216
1.11.4. Fonctionnement défectueux.....	218
(a) Pouvoir de rétention insuffisant :.....	218
(b) Rejet visible accidentel :.....	218
(c) Perte de charge trop élevée :.....	219
(d) Usure rapide des média :.....	219
(e) Déchirures ou affaiblissement localisé :.....	220
(f) Principales anomalies pouvant se produire et actions à entreprendre :.....	220
1.12. Caractéristiques des filtres proposés par les constructeurs.....	223
1.13. Synthèse.....	225
<b>2. LES ELECTROFILTRES.....</b>	<b>228</b>
2.1. Aspects théoriques.....	228
2.1.1. Effet couronne.....	228
2.1.2. Conduction électrique des gaz.....	232
(a) Processus d'ionisation.....	232
(b) Attachement des électrons.....	233
2.1.3. Champ électrique.....	233
2.1.4. Charge électrique des poussières.....	235
(a) Charge par choc.....	235
(b) Charge par diffusion.....	236
2.1.5. Vitesse de migration des poussières.....	238
2.2. Efficacité.....	239
2.2.1. En théorie.....	239
2.2.2. En pratique.....	241
2.3. Dimensionnement.....	243
2.3.1. Vitesse de migration des particules.....	243
2.3.2. Surface spécifique.....	246
2.3.3. Ratio longueur sur hauteur des plaques.....	248
2.3.4. Exemple de procédure de calcul de la surface spécifique d'un électrofiltre [18].....	248
(a) Notations utilisées.....	248
(b) Procédure.....	249
2.3.5. Exemples d'application et de dimensionnement.....	252
2.4. Paramètres de fonctionnement et de dimensionnement.....	253
2.4.1. Composition du gaz.....	253
2.4.2. Température.....	255
2.4.3. Pression.....	255
2.4.4. Vitesse du gaz.....	256
2.4.5. Répartition des gaz.....	256
2.4.6. Débit.....	257
2.4.7. Composition granulométrique des poussières.....	258
2.4.8. Concentration.....	259
2.4.9. Masse volumique des poussières.....	261

2.4.10.	Résistivité des poussières .....	261
(a)	Influence de la résistivité.....	261
(b)	Les mesures à prendre pour limiter les problèmes de résistivité.....	263
(c)	Comparaison de l'efficacité du conditionnement et d'un générateur à impulsions.....	265
2.4.11.	Nature des poussières.....	265
<b>2.5.</b>	<b>Perte de charge .....</b>	<b>266</b>
<b>2.6.</b>	<b>Frappage.....</b>	<b>266</b>
<b>2.7.</b>	<b>Conception générale .....</b>	<b>272</b>
2.7.1.	Caisson.....	272
2.7.2.	Trémies .....	273
2.7.3.	Système de répartition des gaz .....	273
2.7.4.	Electrodes.....	275
(a)	Electrodes réceptrices.....	275
(b)	Electrodes émissives .....	276
<b>2.8.</b>	<b>Alimentation électrique .....</b>	<b>276</b>
2.8.1.	Alimentation courant continu .....	276
2.8.2.	Alimentation haute tension pulsée .....	278
<b>2.9.</b>	<b>La réfection d'électrofiltres .....</b>	<b>280</b>
<b>2.10.</b>	<b>Montage d'un électrofiltre.....</b>	<b>280</b>
<b>2.11.</b>	<b>Exploitation.....</b>	<b>281</b>
<b>2.12.</b>	<b>Entretien .....</b>	<b>282</b>
2.12.1.	Entretien du matériel électrique.....	283
2.12.2.	Entretien de l'électrofiltre .....	284
<b>2.13.</b>	<b>Synthèse .....</b>	<b>285</b>
<b>3.</b>	<b>CHOIX : ÉLECTROFILTRE OU FILTRE À MANCHES ? .....</b>	<b>287</b>
<b>4.</b>	<b>ANNEXES.....</b>	<b>290</b>
4.1.	Liste des figures.....	290
4.2.	Liste des tableaux.....	292
4.3.	Références bibliographiques.....	293

**L**es poussières, un peu oubliées ces dernières années, reviennent sous les feux de l'actualité et suscitent l'intérêt croissant des responsables de la santé publique, de l'environnement et des milieux de l'industrie.

De nombreuses études, conduites dans des contextes forts variés, convergent pour attribuer aux poussières fines une part de responsabilité dans la survenue d'une vaste gamme d'effets sanitaires, dont certains sont sérieux.

Les réglementations nationales et européennes évoluent rapidement et tiendront probablement compte dans quelques années de la granulométrie des poussières, comme le font déjà certains pays. Aux États-Unis par exemple, les rejets de poussières de taille inférieure à 10  $\mu\text{m}$  sont limités.

Il s'agit de se préparer à ces futures évolutions en acquérant une connaissance des problèmes à résoudre et des solutions disponibles pour améliorer les performances des procédés couramment utilisés (cas d'unités existantes) ou pour retenir les équipements les mieux adaptés et les plus évolutifs (cas d'unités nouvelles).

C'est dans ce contexte que s'inscrit cet état de l'art des techniques de dépoussiérage des fumées.

Cette étude basée sur des recherches bibliographiques et enrichie par des contacts avec des professionnels vise à apporter les éléments de réflexion techniques et économiques quant au choix d'une technologie de dépoussiérage lors de la mise aux normes d'une installation existante ou de la conception d'une nouvelle unité.

### **L'étude comprend deux parties.**

La première partie expose la problématique des poussières en présentant dans un premier temps le contexte : effets des poussières sur la santé et sur l'environnement, bilan des émissions de poussières en France et réglementation en vigueur suivant les secteurs d'activité. Les diverses techniques de dépoussiérage sont ensuite décrites (principe de fonctionnement, caractéristiques et limites des cyclones, laveurs Venturi, filtres à manches et électrofiltres), ainsi que les facteurs déterminants pour le choix d'un équipement (caractéristiques des poussières et du gaz à traiter).

La seconde partie présente de façon approfondie les deux technologies les plus efficaces (notamment pour capter les particules fines, les plus dangereuses pour la santé et les plus difficiles à capter) : les filtres à manches et les électrofiltres.

#### **Stéphane Bicocchi**

*Directeur des études chez Cadet International,  
ingénieur UTC en génie des procédés,  
DEA Sciences et techniques  
de l'environnement*

#### **Corinne L'hospitalier**

*Ingénieur chargée d'études chez Cadet  
International, ingénieur UTC en génie des  
procédés*

2-7430-0485-1



9782743004859