

Actions préventives pour éviter des émissions atmosphériques polluantes: agir à la source

- ☞ arrosage pour éviter les poussières ou installation de bâches
- ☞ récupération de vapeurs d'essence
- ☞ utilisation de peinture à base d'eau au lieu de solvant
- ☞ remplacement du charbon par du gaz
- ☞ optimisation des conditions de combustion des chaudière ou des moteurs
- ☞ etc
- ☞ mise en place de code de bonnes pratiques
- ☞ ou alors changement radical du procédé

Procédés d'épuration des émissions atmosphériques

- ☞ enlèvement des matières particulaires
- ☞ enlèvement des gaz
- ☞ Efficacité d'un procédé d'épuration (%)

$$\eta = \frac{C_{\text{entrée}} - C_{\text{sortie}}}{C_{\text{entrée}}} \cdot 100$$

- ☞ le coût d'une installation ↑ si efficacité ↑ et dp ↓

Matières particulaires

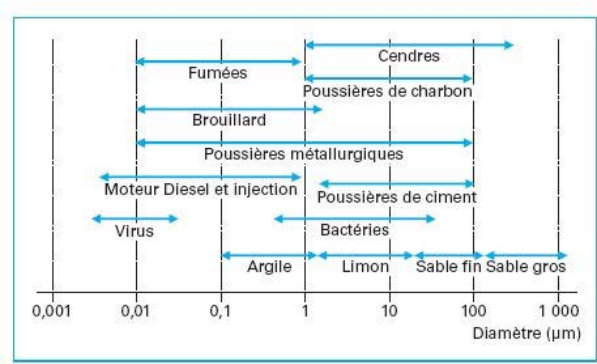
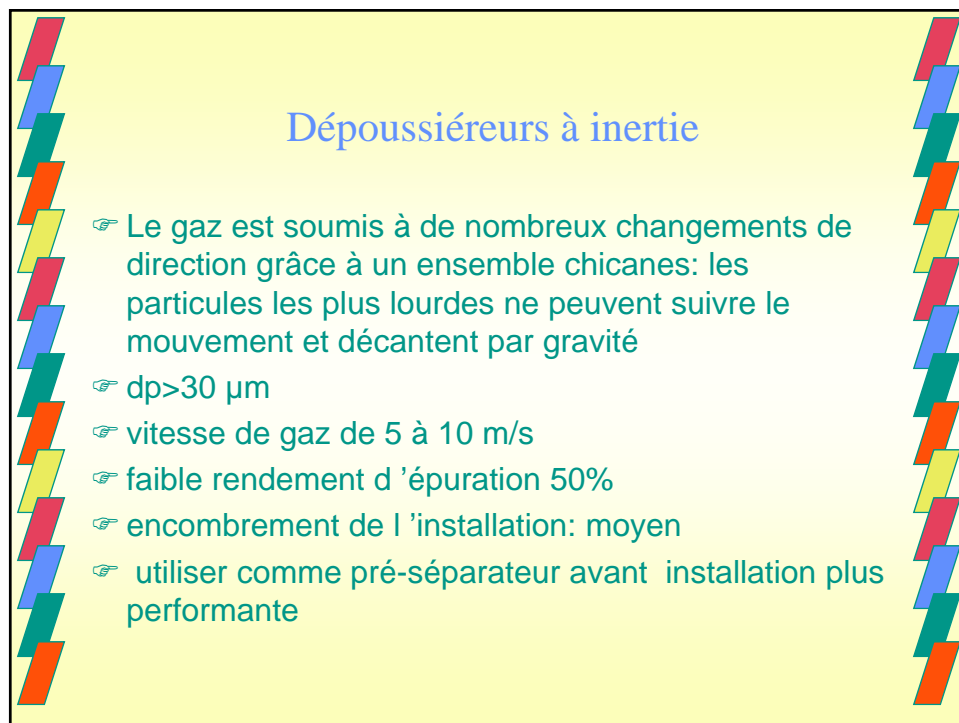
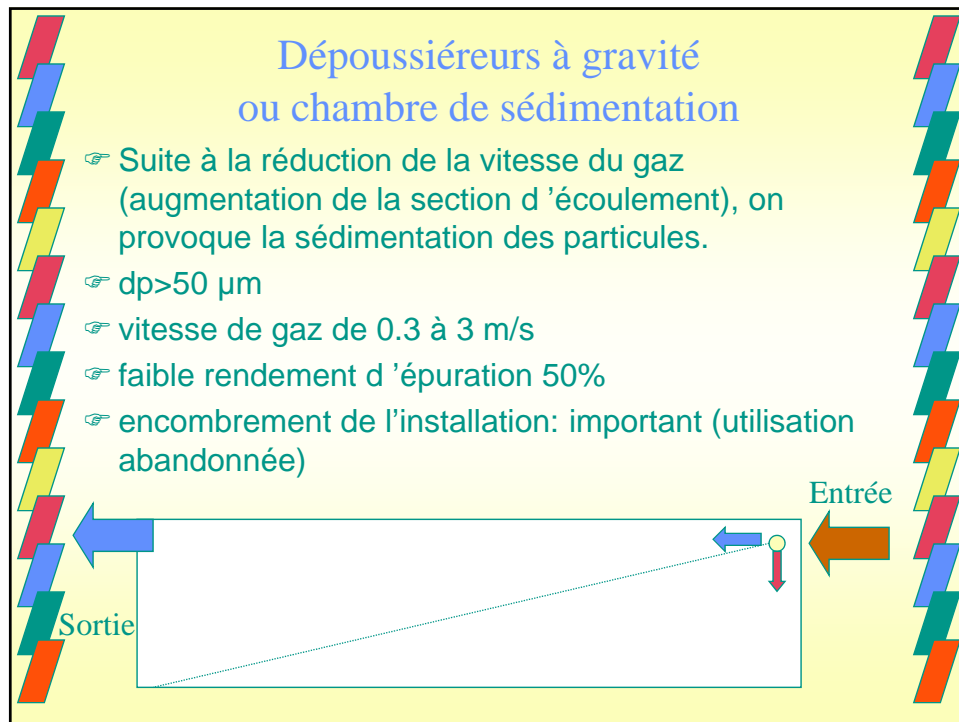


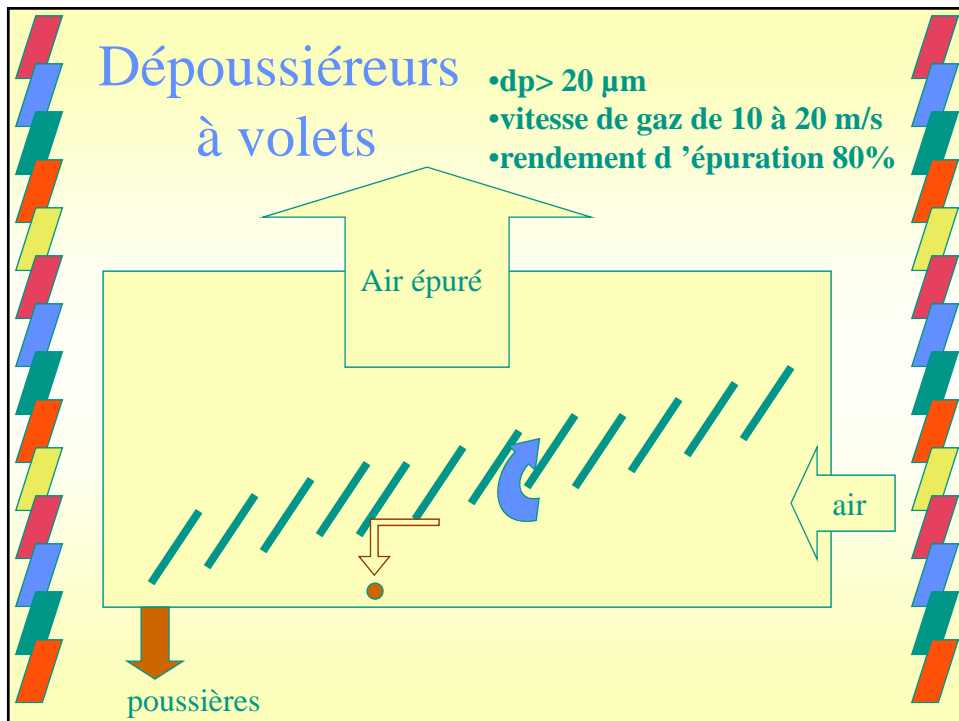
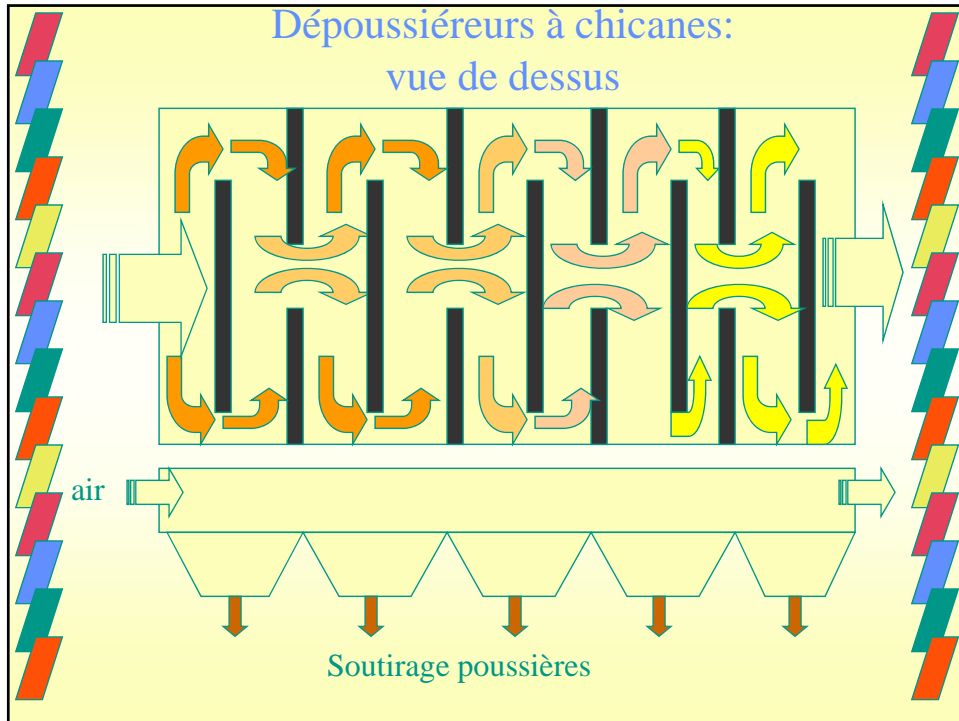
Figure 1 - Granulométrie des particules suivant leur origine

Source: Techniques de l'ingénieur p G 1710 -1

Dépoussiéreurs: forces agissantes

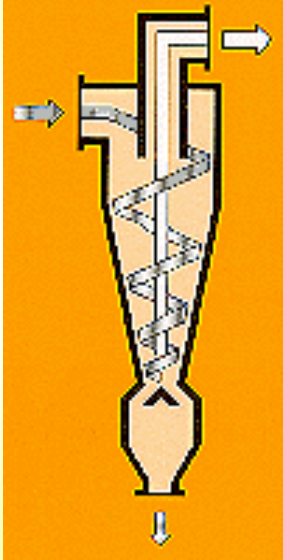
- ☞ Dépoussiéreurs mécaniques: gravité, inertie, force centrifuge.
- ☞ Dépoussiéreurs humides (scrubber): captage des particules dans une phase liquide.
- ☞ Dépoussiéreurs à couches poreuses (filtres).
- ☞ Dépoussiéreurs électriques (électrostatique): champ électrique.





Cyclones

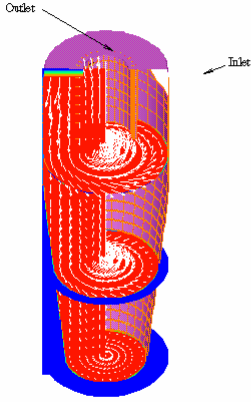
•La force centrifuge projette les particules sur la paroi



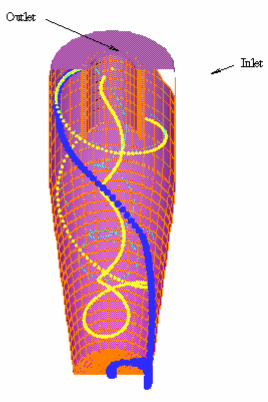
$$F = M_p \left[\frac{V_{Tangentielle}^2}{R} \right]$$

l'accélération centrifuge peut varier de 5 à 2500 g

Cyclones




Gas phase velocity vectors in axial and radial planes in a cyclone separator computed using COMPACT-3D



Particle Trajectories in a cyclone separator computed using COMPACT-3D

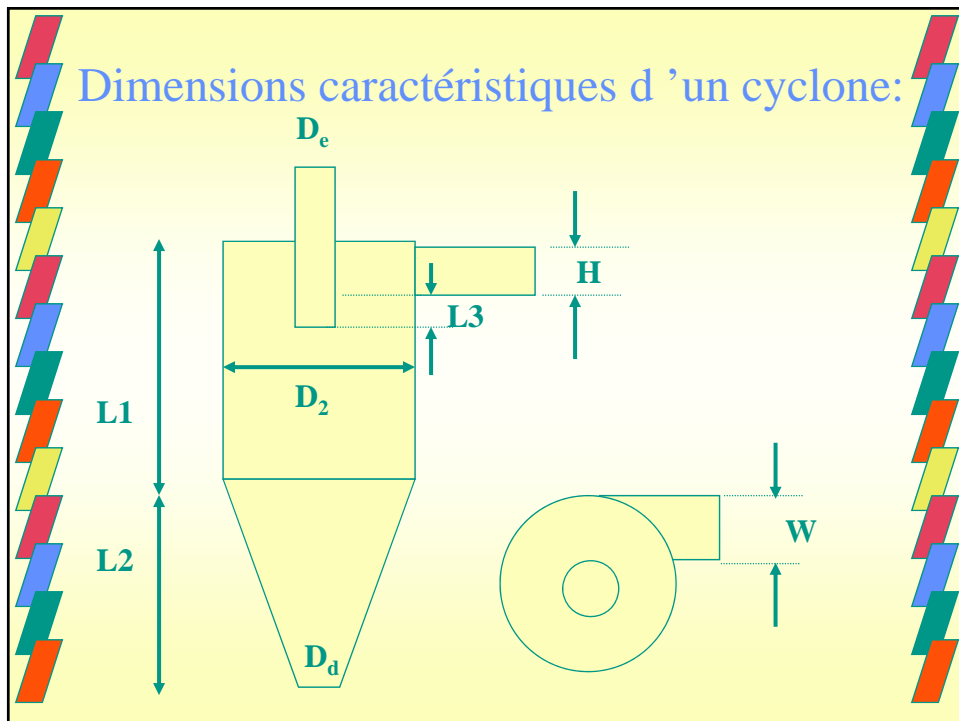
Cyclones



- $d_p > 10 \mu\text{m}$
- vitesse de gaz de 10 à 20 m/s
- rendement d'épuration 85%
- encombrement moyen

• diamètre cyclone:
de 25 à 200 cm

- emploi simple
- pas de pièce en mouvement
- les moins chers des dépoussiéreurs



Dimensions du cyclone standard de Lapple:

$$L_1 = L_2 = 2D_2$$

$$W = L_3 = D_d = \frac{D_2}{4}$$

$$H = D_e = \frac{D_2}{2}$$

$$N_e = \frac{1}{H} \left(L_1 + \frac{L_2}{2} \right)$$

D_p : diamètre des particules

$D_{p,50}$: diamètre des particules qui seraient enlevées dans le cyclone avec une efficacité de 50%

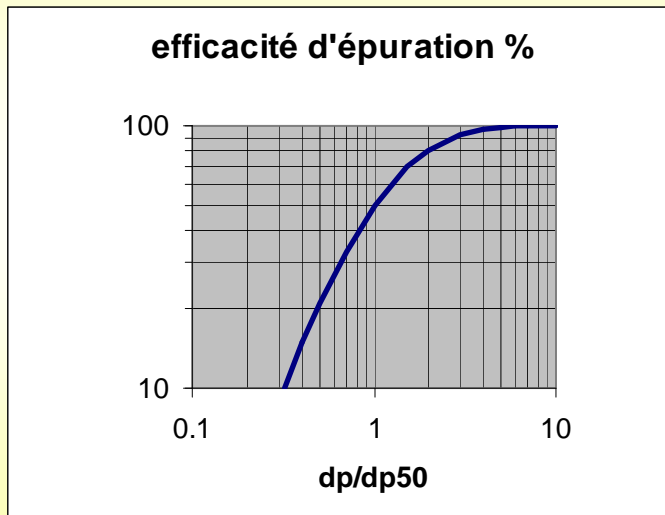
$$D_{p,50} = \sqrt{\frac{9\mu HW^2}{2\pi N_e Q \rho_p}}$$

μ : viscosité du gaz

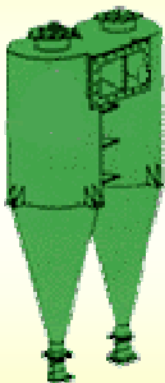
Q débit volumique m^3/s

ρ_p masse volumique des particules

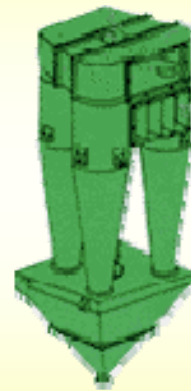
Efficacité des cyclones



Multi-cyclones: plusieurs cyclones de faible diamètre travaillant en parallèle



- $dp > 5 \mu\text{m}$
- vitesse de gaz 10 à 20 m/s
- rendement d'épuration 95%



• diamètre des multi-cyclones: 10 à 40 cm

Perte de charge des dépoussiéreurs

- L'écoulement du gaz se fait grâce à l'existence d'une différence de pression entre l'entrée et la sortie: perte de charge
- compresseur en amont ($p > p_{atm.}$) ou ventilateur en aval ($p < p_{atm.}$)
- la séparation est fonction de la perte de charge

	d_p mini μm	Efficacité	Perte de charge mm d'eau
Chambre de sédimentation	50	50	5
Dépoussiéreurs à chicanes	50	50	3-12
Dépoussiéreurs à volets	20	80	10-50
Cyclones	10	85	10-70
Multi-cyclones	5	90	50-150

1 atmosphère = 10 330 mm d'eau (10.33 mètres)

Dépoussiéreurs humides (scrubbers):

- ☞ Les particules sont captées par des gouttes d'eau
- ☞ les différents appareils se distinguent par leur performance à promouvoir le contact goutte/particule
- ☞ 3 fonctions doivent être remplies:
 - humidification du gaz (saturation du gaz en eau)
 - contact gaz/particules avec les gouttes
 - séparation des gouttes chargées en poussières du courant de gaz

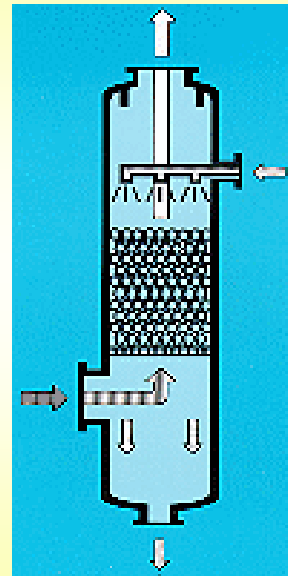
Dépoussiéreurs humides

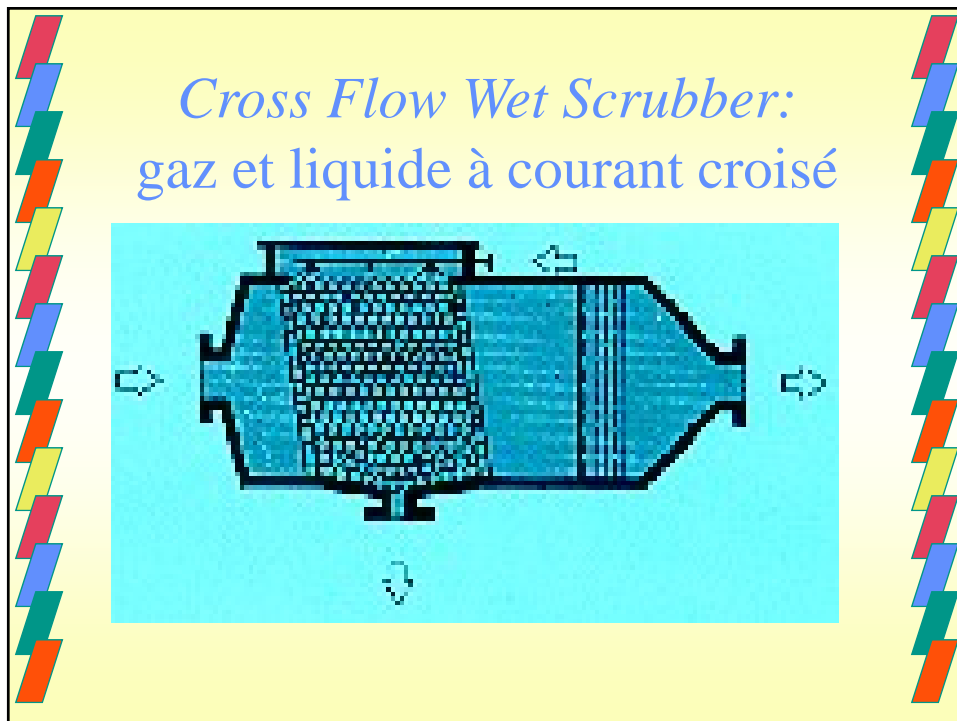
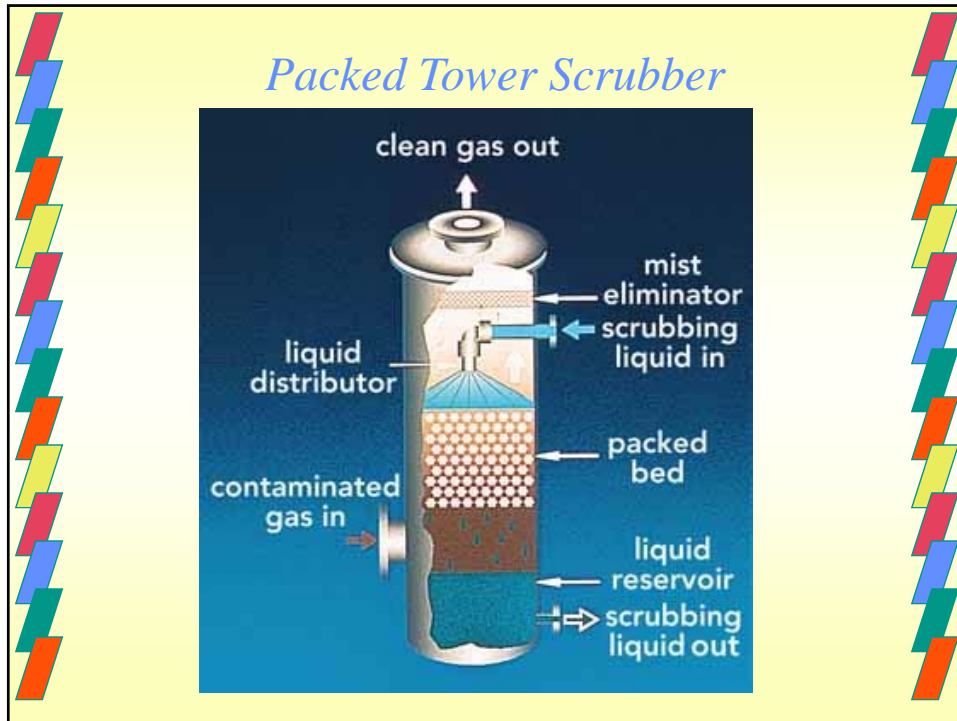
	Taille minimum des particules enlevées μm	Efficacité (%)	Vitesse du gaz (m/s)
Tour à pulvérisation	10	70	0.5 - 1
Laveur cyclonique	5	90	10-20
Colonnes garnies	5	90	0.5 - 1
Laveur Venturi	0.5	99	50-200

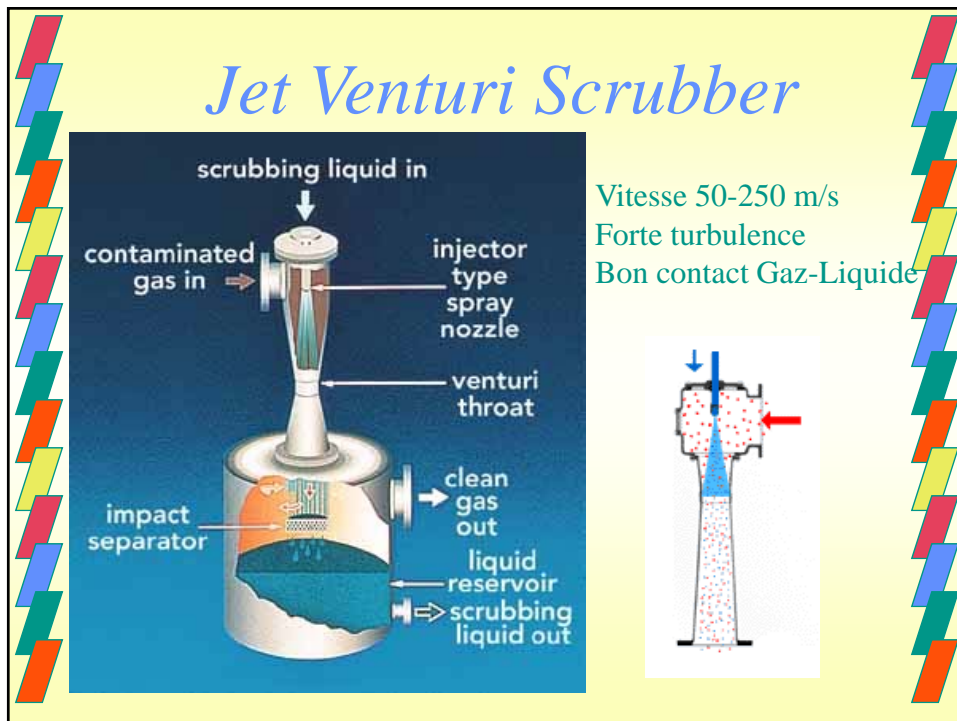
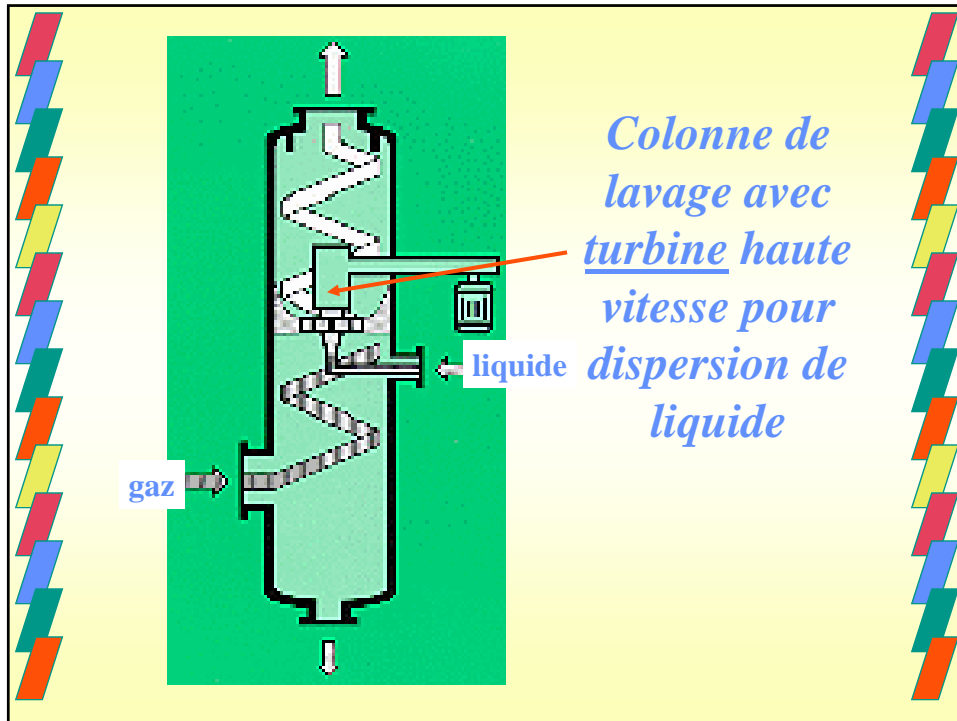
	Débit liquide ($\text{m}^3/10^3 \text{m}^3$ de gaz)	Perte de charge mm d'eau
Tour de pulvérisation	0.05-0.3	25
Laveur cyclonique	0.1-1.	50-150
Colonnes garnies	0.7-2.	25-250
Laveur venturi	0.4-1.4	250-750

Packed-Bed scrubber:

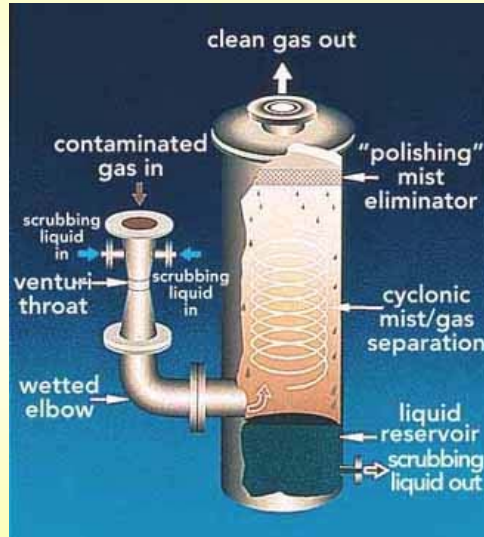
contre-courant
gaz ascendant
liquide descendant







Venturi Scrubber



Packaged Venturi Scrubbing System with solids removal for chemical dust collection



Avantages des dépoussiéreurs humides

- ☞ Appareils peu encombrants.
- ☞ Bonne efficacité jusqu 'à 99%.
- ☞ Forts débits gazeux admissibles.
1000 à 200 000 m³/h.
- ☞ Insensibles à l 'humidité et la température
- ☞ Adaptés pour la capture de polluants particulaires et gazeux
- ☞ peuvent servir aussi à refroidir les gaz.

Inconvénients

- Le dépoussiérage humide va produire une eau usée et des boues qu'il faudra traiter
- coût élevé en énergie
- génère un panache blanc (vapeur d'eau) visible pouvant être associé par le public à une émission polluante

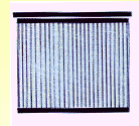
Dépoussiéreurs à couches poreuses

- ☞ On force le gaz à passer au travers d'un matériau filtrant
- ☞ le dépôt des particules forme une couche, le gâteau, dont la résistance à l'écoulement du gaz augmente
- ☞ après un certain temps d'utilisation, il faut débarrasser le filtre du gâteau

Cartouche filtrantes



Filtre plat

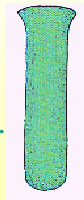


Textiles naturels ou synthétiques

Filtre à manches
3 à 12 m



Chandelle céramique
filtration à hautes temp.



Caractéristiques des matériaux filtrants:

Matière	Marques commerciales les plus répandues
Polyimide	P84 [®]
Polyamide 6	Perlon [®]
Polyamide 66	Nylon [®] , Nylsuisse [®]
Polyamide aromatique ou méta-aramide	Nomex [®] , Conex [®]
Polyester	Trévira [®] , Tergal [®] (France), Terylche [®] (GB), Dacron [®] (USA), Diolene [®] (Allemagne), Ters [®]
Polypropylène	Meraklon [®] , Courliène [®] , Moplen [®] (Allemagne)
Polyacrylonitrile	Crylon [®] , Orlon [®] , Dralon [®] , Redon [®] , Dolanit [®] , Ricem [®]
Polychlorure de vinyle	Rhovyl [®] , Fibravyl [®] , Thermovyl [®] , Clevyl [®] , Vinyon [®]
Polytétrafluoréthylène (PTFE)	Téflon [®] , Rastex [®] , Toyoflon [®] , Gore-tex [®] , Profilen [®]
Polysulfure de phénylène ou polyphénylènesulphide ou polyoléfine (PPS)	Ryton [®] , Forton [®] , Procon [®] , Trol [®]

tableau 4 : correspondance entre fibres et marques commerciales

http://www.record-net.org/record/RFpdf/Rap_record99-0218_1A.pdf

Caractéristiques des matériaux filtrants:

	Température ° C d'opération continue	Resistance aux acides	Resistance aux bases	Coût relatif
Coton ¹	82	Médiocre	Très bonne	2.
Creslan ¹	122	Bonne	Très bonne	
Dacron ²	137	Bonne	Très bonne	2.8
Dvnel ⁷	72	Excellente	Moyenne	
Fiberglas ³	257	Moyenne-bonne	Moyenne-Bonne	6
Filtron ⁴	132	Excellente	Très bonne	
Gore-Tex ⁵	Dépend du support	Dépend du support	Dépend du support	
Nomex ²	192	Moyenne	Excellente	8
Nylon ³	92	Moyenne	Excellente	2.5
Orlon ³	127	Excellente	Moyenne-bonne	
Polypropylène	92	Excellente	Excellente	1.5
Téflon ⁵	232	Excellente	Excellente	25
Laine	92	Très bonne	Médiocre	3

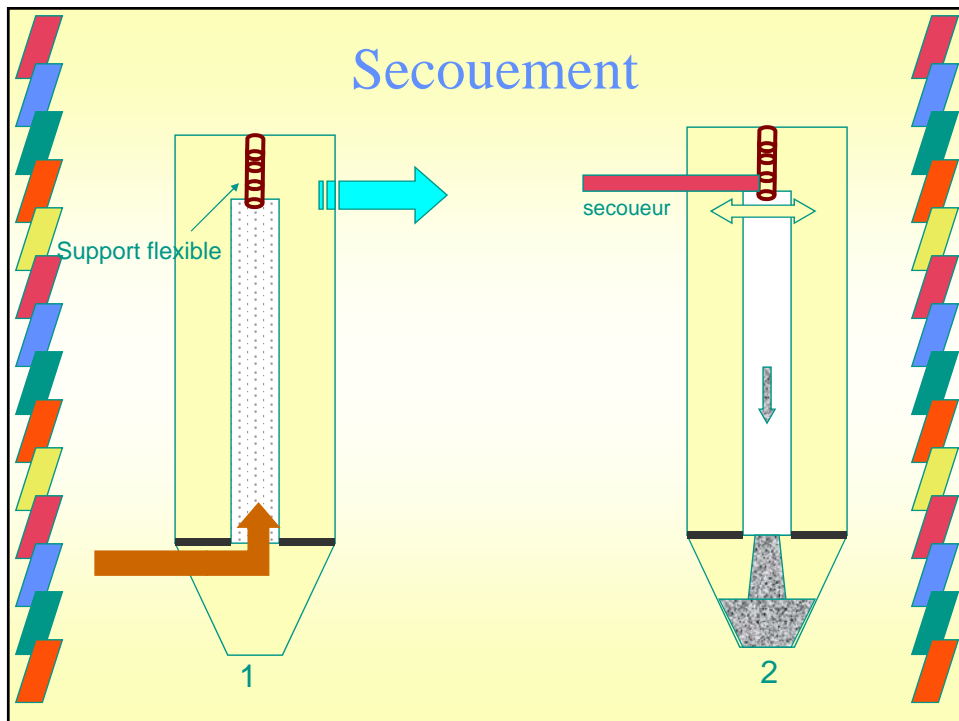
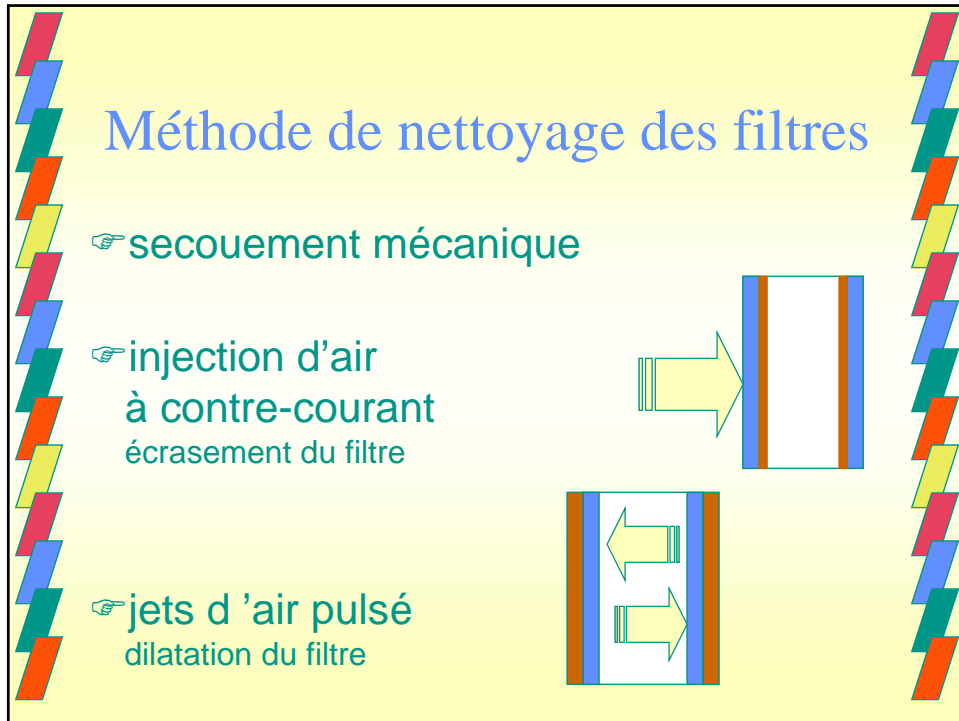
marques déposées 1 : American Cyanamid, 2 Du Pont, 3 Owens-Corning Fiberglas, 4 Wheelabrator-Fry Inc. 5 Gore and Co.

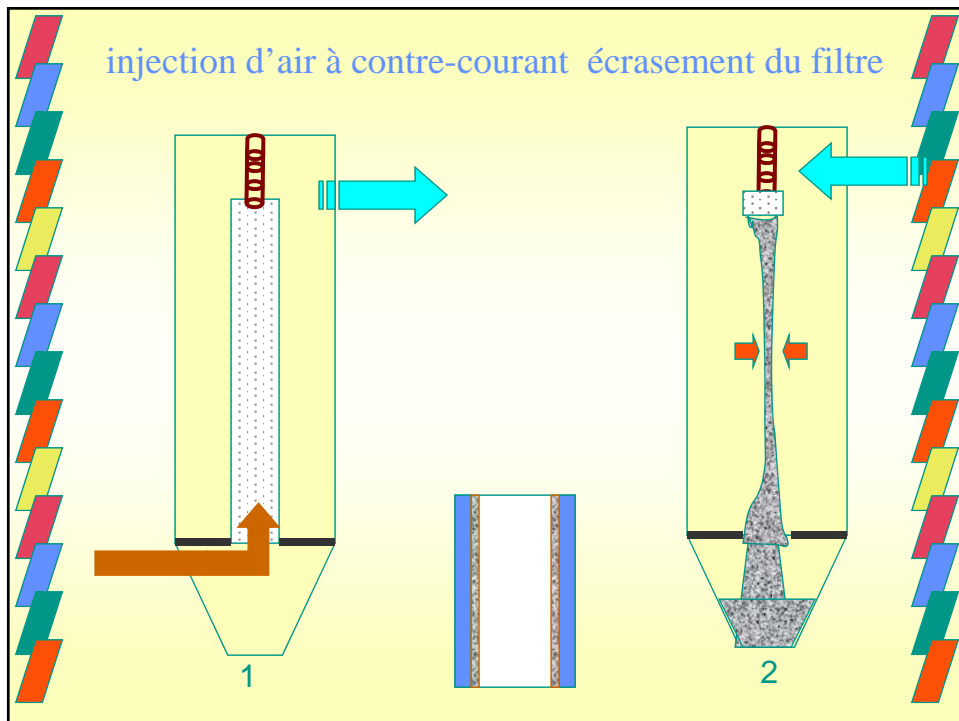
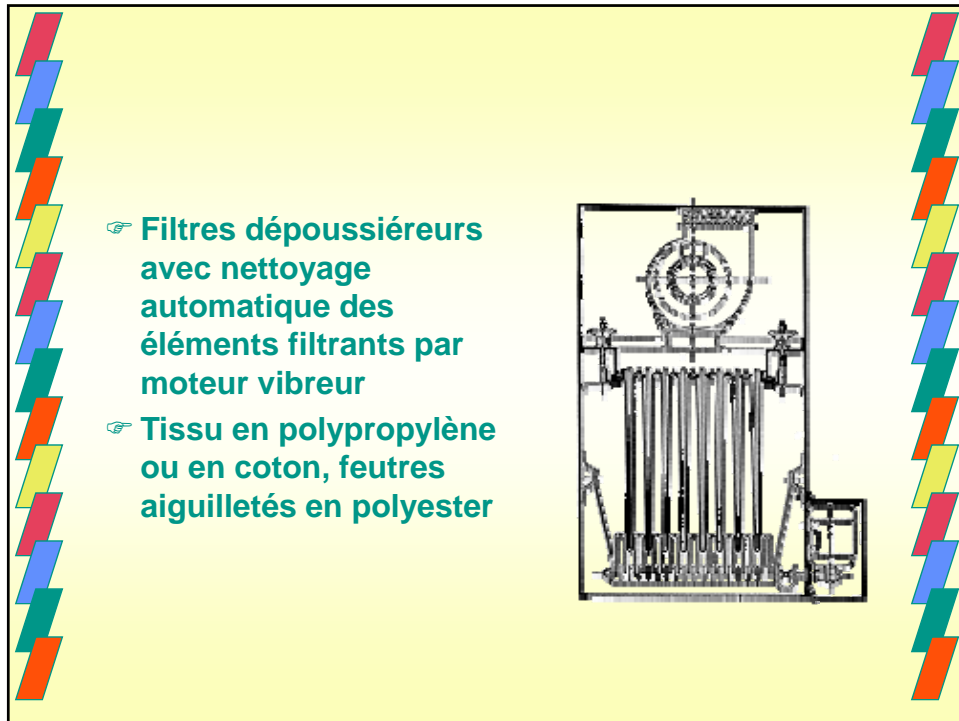


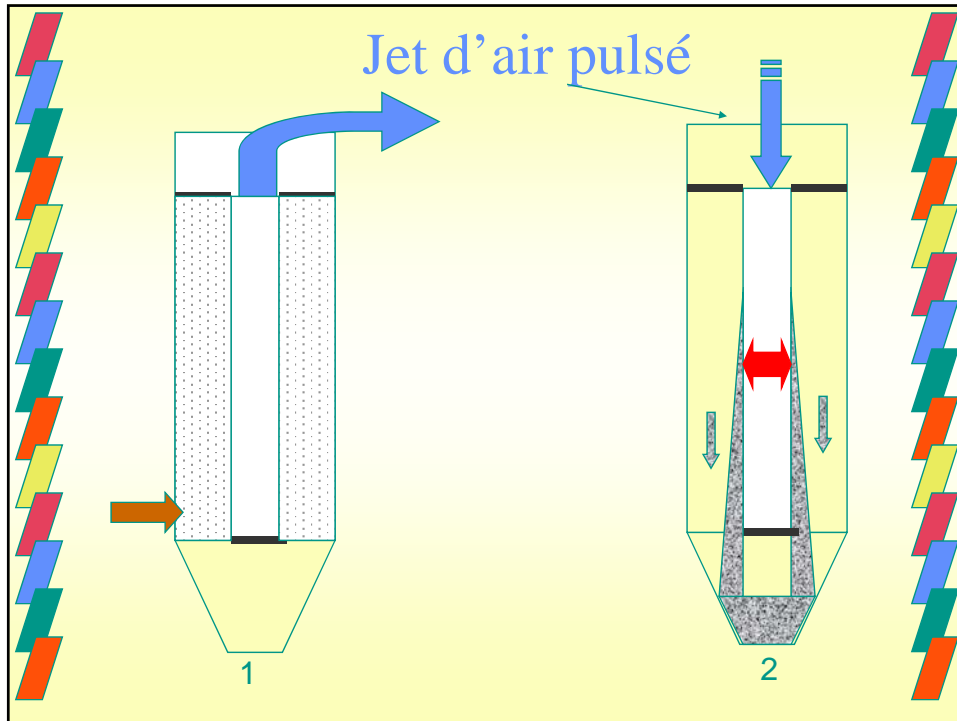
☞ **Reverse Air and Shake/Deflate Systems**



Wheelabrator custom-designed reverse air and shake/deflate systems employ either a reverse "back washing" action or a rhythmic shaking of the filter tubes to release collected dust for subsequent disposal. They are suited for coal-fired boilers and primary manufacturing processes such as smelting.

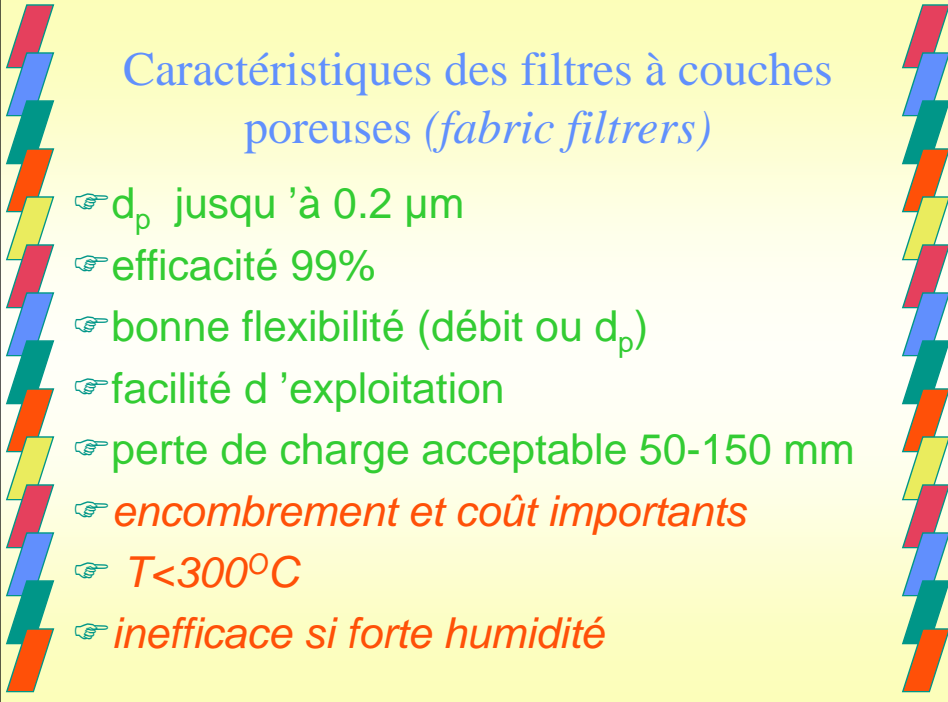






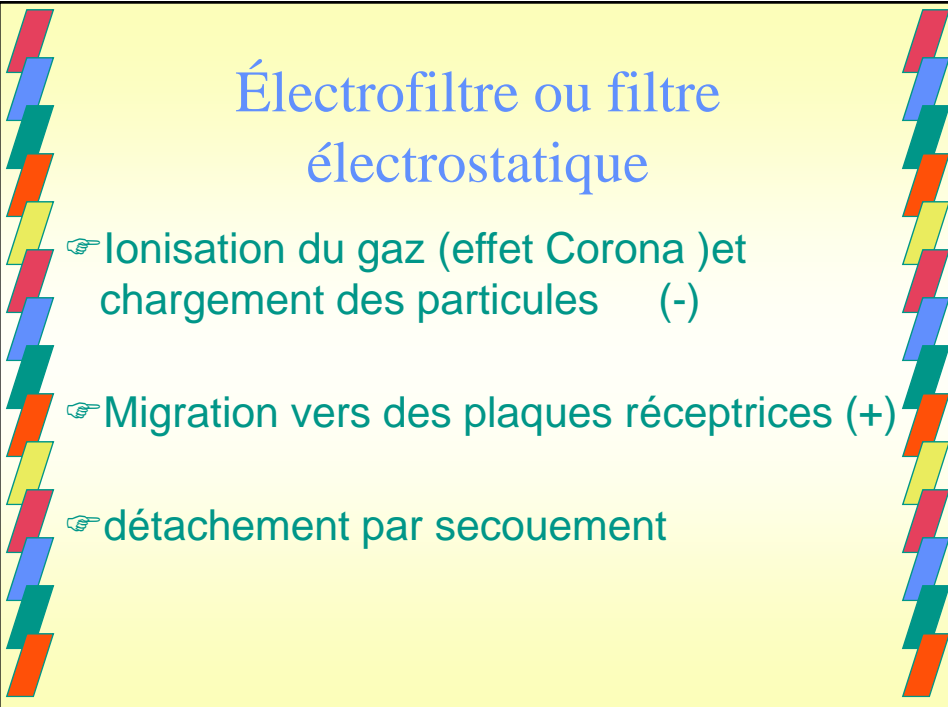
Vitesse de filtration:

☞	rapport air filtré/surface filtrante (m ³ /min)/ m ² =m/min	
☞	0.6-1.8	secouement mécanique
☞	0.3-0.9	air à contre-courant
☞	1.5-4.5	jets d'air pulsé



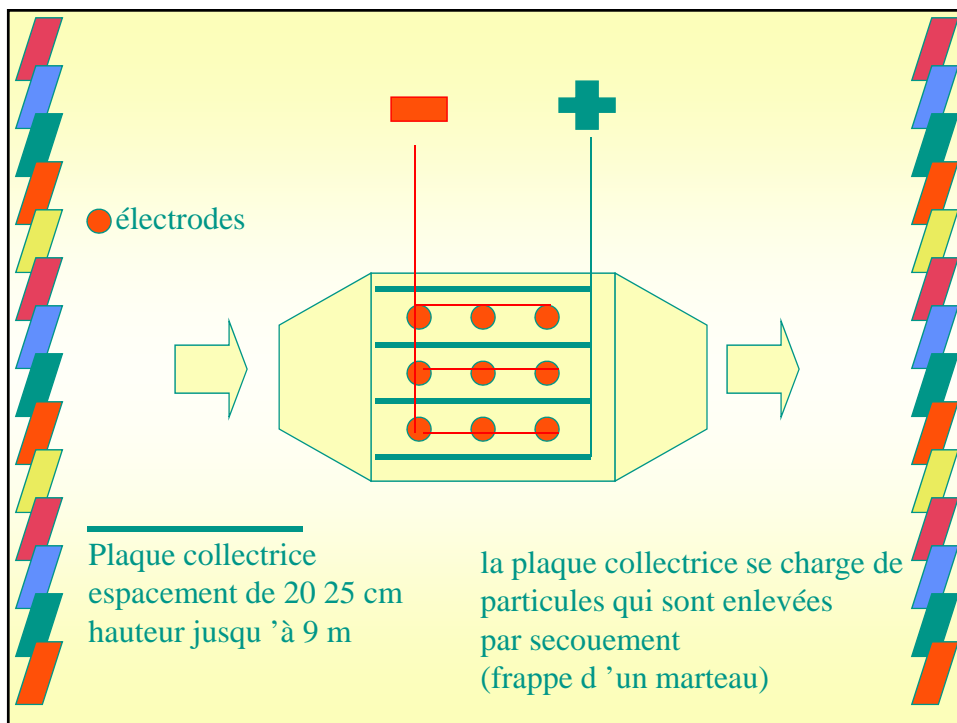
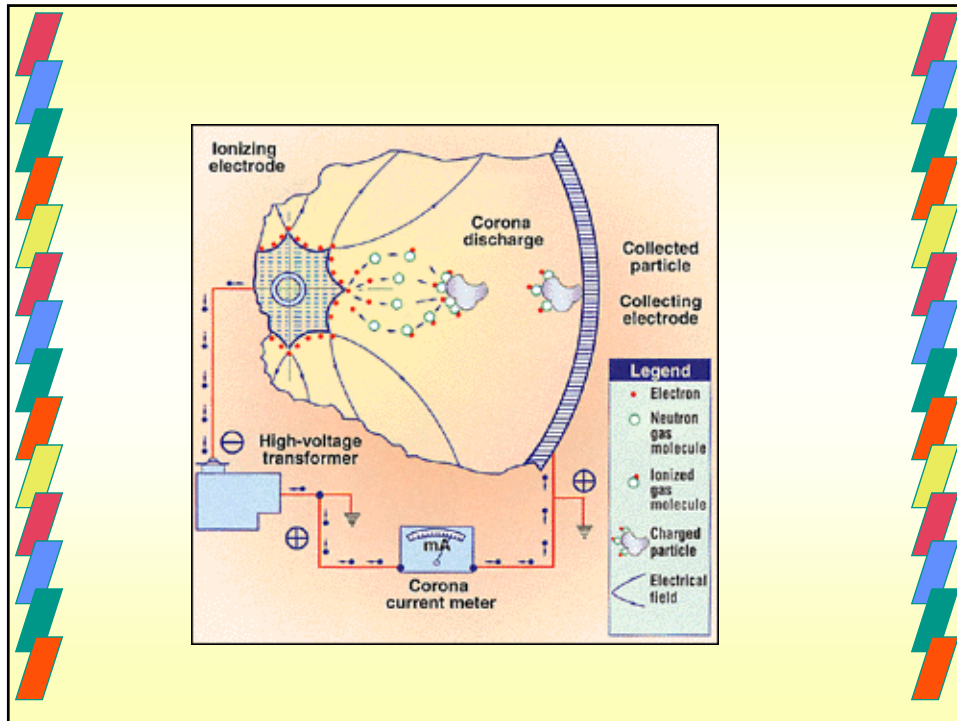
Caractéristiques des filtres à couches poreuses (*fabric filters*)

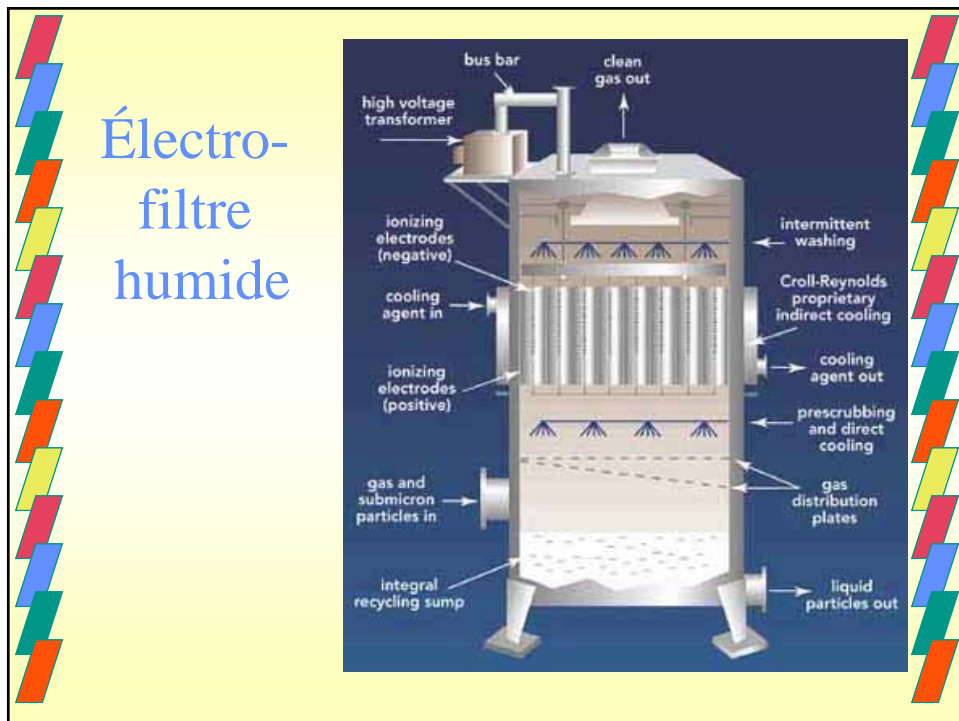
- ☞ d_p jusqu'à $0.2 \mu\text{m}$
- ☞ efficacité 99%
- ☞ bonne flexibilité (débit ou d_p)
- ☞ facilité d'exploitation
- ☞ perte de charge acceptable 50-150 mm
- ☞ *encombrement et coût importants*
- ☞ $T < 300^\circ\text{C}$
- ☞ *inefficace si forte humidité*

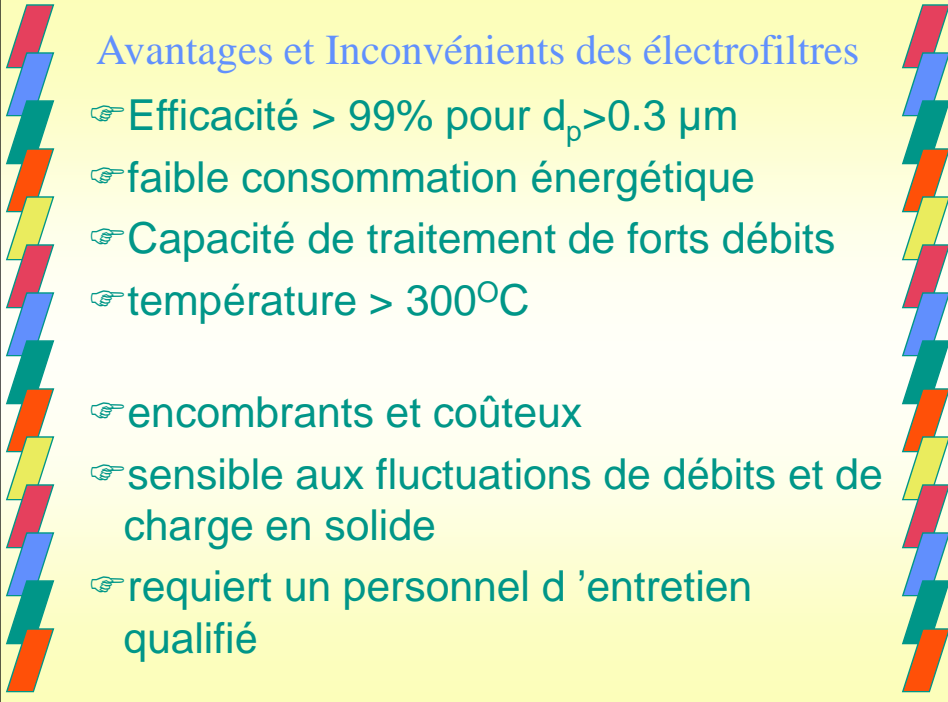


Électrofiltre ou filtre électrostatique

- ☞ Ionisation du gaz (effet Corona) et chargement des particules (-)
- ☞ Migration vers des plaques réceptrices (+)
- ☞ détachement par secouement



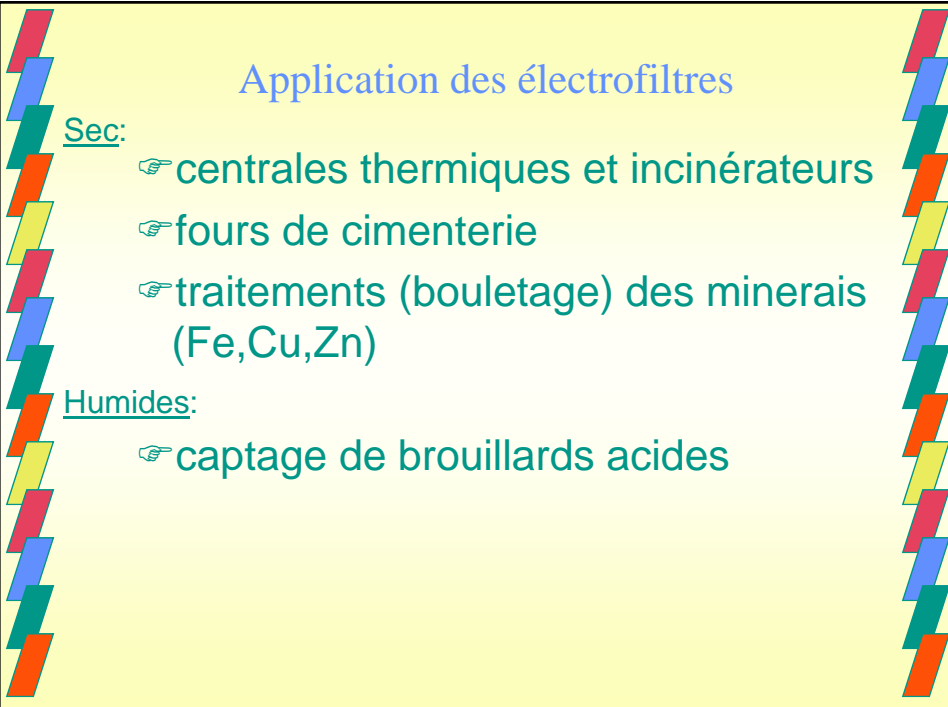




Avantages et Inconvénients des électrofiltres

- ☞ Efficacité > 99% pour $d_p > 0.3 \mu\text{m}$
- ☞ faible consommation énergétique
- ☞ Capacité de traitement de forts débits
- ☞ température > 300°C

- ☞ encombrants et coûteux
- ☞ sensible aux fluctuations de débits et de charge en solide
- ☞ requiert un personnel d'entretien qualifié



Application des électrofiltres

Sec:

- ☞ centrales thermiques et incinérateurs
- ☞ fours de cimenterie
- ☞ traitements (bouletage) des minerais (Fe, Cu, Zn)

Humides:

- ☞ captage de brouillards acides

Sélection des procédés

TABLE 2. COMPARISON OF CONTROL METHODS				
Process conditions and requirements	Wet ESP	Scrubber	Dry ESP	Baghouse
Captures particles < 1 micrometer in size	Yes	Yes	Yes	Yes
Handles moist gas	Yes	Yes	No	No
High efficiency for sub-micrometer particles with low energy consumption	Yes	No	Yes	No
Particles collected in liquid	Yes	Yes	No	No
Recommended for fire-sensitive processes	Yes	Yes	No	No

<http://www.croll.com/art2.htm>

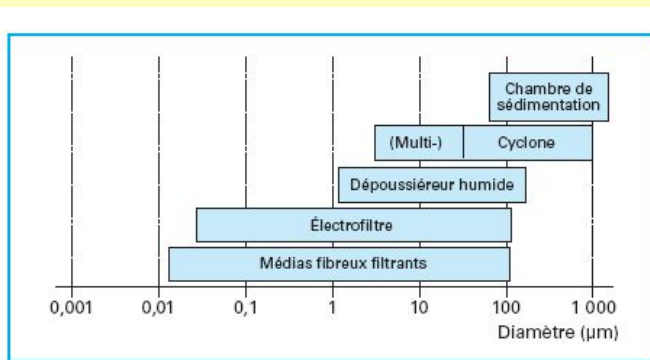


Figure 13 – Performances des systèmes de filtration suivant la taille des particules

Source: Techniques de l'ingénieur p G 1710 -13

Tableau 3 – Classification des systèmes d'élimination des particules par secteur d'activité

	Média filtrant	Cyclone	Électrofiltre	Laveur
Sidérurgie, cimenterie [33]	++		++	
Incinération de déchets	++		++	
Papeterie, industrie du bois, verrerie		++	++	
Agroalimentaire [17]	++			+
Chimie	++			
Pétrochimie		+	++	
Atelier de peinture, vernis	++			++

Source: Techniques de l'ingénieur p G 1710 -14

Secteur d'activité	Dépoussiéreurs
Verreries	Principalement des électrofiltres
Cimenteries	Electrofiltres remplacés progressivement par des filtres à manches
Chimie	Principalement des filtres à manches (particules fines)
Sidérurgie	Principalement des électrofiltres remplacés progressivement par des filtres à manches (problème des dioxines)
Pétrochimie	Souvent des électrofiltres, parfois des cyclones (craquage catalytique)
Incinération des ordures ménagères	Electrofiltres remplacés progressivement ou suivis par des filtres à manches
Incinération des boues	Souvent des électrofiltres
Métallurgie des métaux non-ferreux	Filtres à manches ou électrofiltres
	Principalement des électrofiltres
	Electrofiltres secs ou humides
Industrie agro-alimentaire	Principalement des filtres à manches

tableau 64 : les dépoussiéreurs généralement utilisés par branches d'activités

http://www.record-net.org/record/RFpdf/Rap_record99-0218_1A.pdf