
LIVRABLE D.T4.1.2

BROCHURE SUR LES SYSTEMES DE REDUCTION DE LA POLLUTION

Édité par FH Joanneum

06.02.2020

La combustion de la biomasse entraîne des émissions de gaz de combustion et de particules nocifs dans l'atmosphère, ce qui est principalement dû à la combustion incomplète de ces matériaux. Lorsqu'il s'agit d'améliorer l'efficacité et de réduire la pollution, les mesures non techniques telles que le comportement des consommateurs et la qualité des combustibles jouent un rôle important. Cependant, ces mesures primaires ne sont pas suffisantes pour réduire suffisamment les émissions de particules.

Les technologies en bout de chaîne sont utilisées pour réduire la quantité de particules rejetées dans l'atmosphère. Ce livrable se concentre uniquement sur les mesures secondaires et vise à expliquer les technologies de réduction les plus courantes. Le premier chapitre décrit la différence entre les mesures de réduction primaires et secondaires. Cette partie est suivie d'une section sur les cyclones, les filtres en tissu et les précipitateurs électrostatiques. Les condenseurs de gaz d'échappement et les épurateurs de gaz sont également inclus.

L'explication des technologies est suivie d'un chapitre sur les systèmes antipollution actuellement proposés sur le marché par différentes entreprises. Cette section vise à donner un aperçu de la mise en œuvre des différentes technologies ainsi que des coûts et des domaines d'application.

CONTENU

1. Mesures primaires et secondaires	3
2. Mesures secondaires de réduction	4
Cyclone	5
Filtre en tissu	6
Électrofiltre (ESP)	7
Condenseur	9
Épurateur de fumées	10
3. Systèmes de réduction des particules.....	11
Oekotube.....	11
Ruff-KAT	12
AL-Top	12
AWT-Top	13
ÖkoCarbonizer	13
ÖkoFen	14
Cyclojekt	14
Airjekt	15
ECOplus	15
4. Conclusion	16
Documentation	16

1. MESURES PRIMAIRES ET SECONDAIRES

Les **mesures primaires** comprennent l'amélioration de la technologie de combustion et de la géométrie de la chambre de combustion. En outre, il faut éviter les défaillances de l'opérateur grâce à des régulateurs de combustion guidés par des processus et des capteurs, avec une circulation contrôlée de l'air de combustion [1].

Les **mesures secondaires** sont axées sur la réduction des émissions de particules grâce à des technologies en bout de chaîne telles que l'épurateur de fumées de combustion, le précipitateur électrostatique ou la postcombustion. Les catalyseurs ainsi que les filtres en tissu et les filtres à particules sont d'autres technologies antipollution [1].

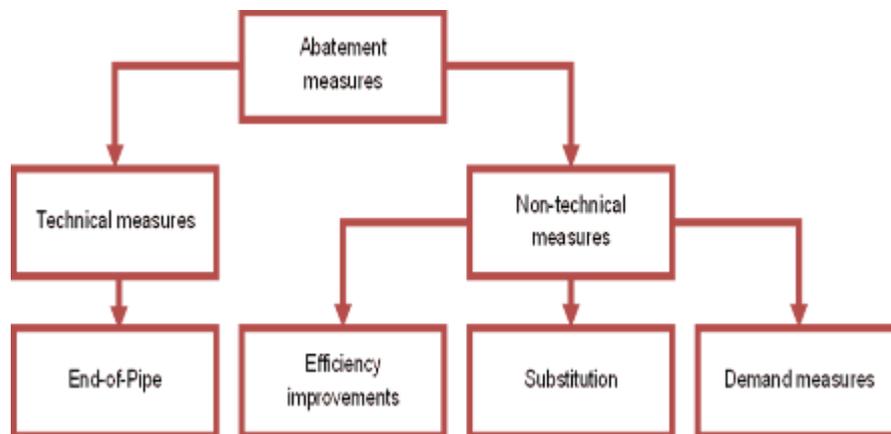


Figure 1: Mesures antipollution [2]

2. MESURES SECONDAIRES DE REDUCTION

Pour les systèmes de foyer à petite échelle, il existe différentes technologies de réduction disponibles qui sont énumérées ci-dessous. La figure 2 montre l'efficacité de divers systèmes pour différentes tailles de particules.

- Cyclone
- Filtre en tissu
- Condenseur
- Electrofiltre
- Épurateur de fumées
- Convertisseur catalytique de gaz d'échappement

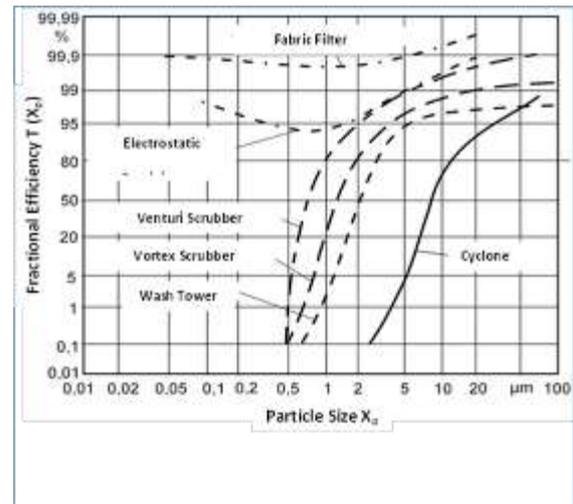


Figure 2 : efficacité des différentes mesures antipollution

CYCLONE

Un séparateur à cyclone utilise la force centrifuge pour éliminer les poussières des gaz de combustion. La géométrie de la chambre provoque un mouvement de rotation du flux gazeux. Le gaz entre de façon tangentielle dans la partie supérieure du cyclone et tourne dans un vortex intérieur avant de sortir de manière axiale par le haut. Les particules sont acheminées vers les parois extérieures et collectées au fond. Le type le plus traditionnel est le cyclone à flux inversé [4].

Avantages

- Faibles coûts d'investissement et de fonctionnement
- Résistant à la température [1]
- Peu d'entretien
- Tolérance aux températures élevées
- Haute efficacité pour les particules plus grosses [4]

Inconvénients

- Faible efficacité de séparation pour les très petites particules
- L'efficacité de la séparation dépend de la vitesse [1]
- Sensible aux flux variables et à la concentration de poussière
- Possibilité de condensation du goudron [4]

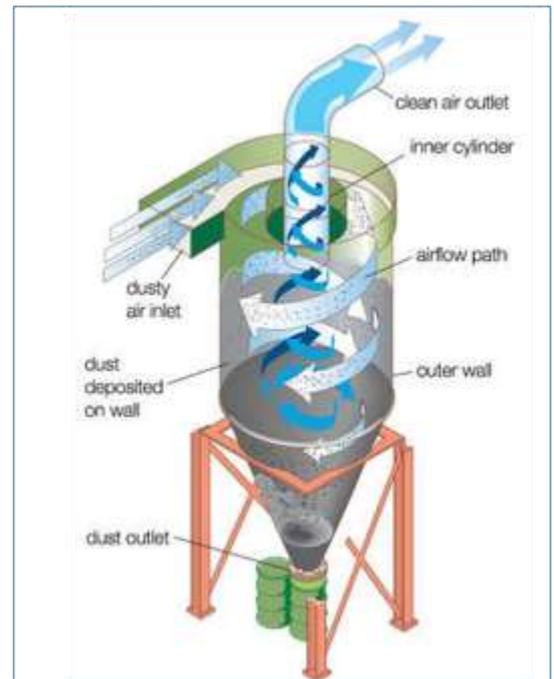


Figure 3 : cyclone [5]

FILTRE EN TISSU

Dans les séparateurs filtrants, le flux de gaz de combustion passe à travers un matériau filtrant qui capte les particules d'un diamètre supérieur aux espaces du matériau (tissu) du filtre. Les particules commencent à s'accumuler et la couche résultante agit comme un pré-filtre. Cela conduit à une efficacité accrue et à une baisse de la pression. La poussière doit être éliminée de façon périodique, soit par vibration, soit en raclant le tissu ou en inversant le fluide. Les filtres en tissu comprennent les matériaux tissés ou feutrés (coton, laine, polypropylène, nylon) [6].

Avantages

- Efficacité de séparation jusqu'à 99 %
- Efficacité de séparation élevée pour les petites particules [6]

Inconvénients

- Coûts d'investissement et de fonctionnement élevés
- Chutes de pression élevées
- Nécessite en partie du chauffage [1]
- Uniquement possible pour des températures allant jusqu'à 250 °C
- Les cendres enflammées peuvent endommager gravement les matériaux filtrants
- Remplacement des filtres tous les trois à cinq ans [6]

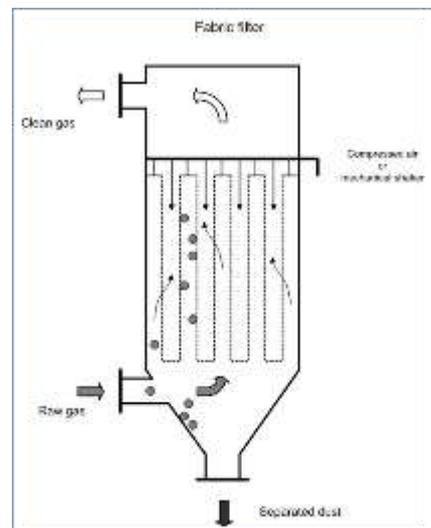


Figure 4: Filtre en tissu [7]

ÉLECTROFILTRE (ESP)

Un électrofiltre se compose d'une électrode de précipitation haute tension chargée négativement et d'un collecteur ou plaque collectrice reliée à la terre. Le gaz est ionisé en raison de la différence de potentiel entre la décharge et l'électrode collectrice. Les ions produits entrent en collision avec les particules de poussière, ce qui entraîne une charge négative des particules. Par conséquent, les particules sont attirées vers la surface de collecte qui est orientée parallèlement au flux. La vitesse de ce mouvement dépend de l'intensité du champ électrique. Le flux gazeux déplace les particules plus loin à mesure qu'elles s'approchent de la surface de collecte, ce qui doit être pris en compte lors du dimensionnement des surfaces de collecte. Les plaques collectrices doivent être nettoyées périodiquement de la poussière. La poussière retirée est collectée dans une trémie et évacuée manuellement ou automatiquement [8].

Avantages

- Efficacité de séparation élevée pour les petites particules
- Chutes de pression basses
- Faible consommation d'énergie
- Grande durabilité [4]

Inconvénients

- Coûts d'investissement élevés
- Coûts d'entretien élevés
- Haute tension
- Appareil de grande taille [4]

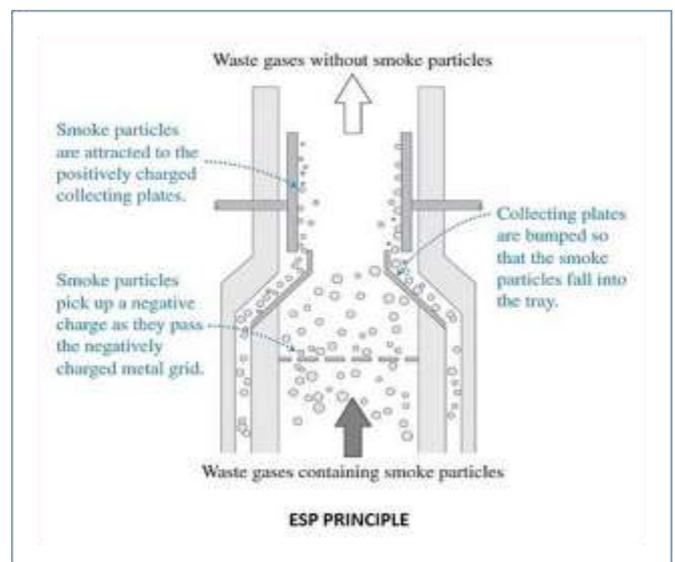


Figure 5 : électrofiltre [9]

Les précipitateurs électrostatiques peuvent être divisés en deux catégories, à savoir l'électrofiltre humide et l'électrofiltre sec. La différence réside dans le mécanisme de nettoyage, comme le montre la figure 6.

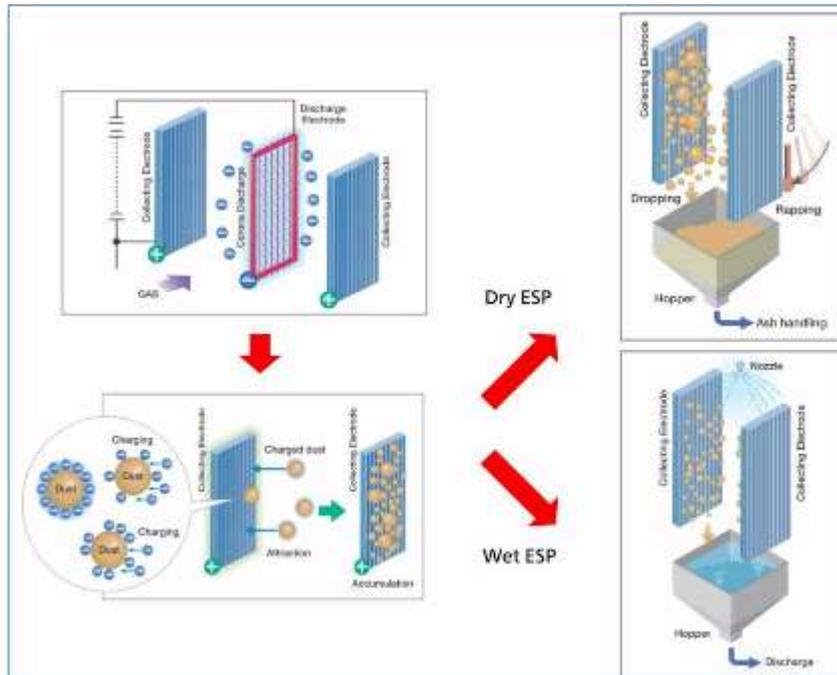


Figure 6 : principe de fonctionnement de l'électrofiltre humide et sec [10]

Électrofiltre humide

L'électrofiltre humide comprend un filtre métallique qui retient les particules chargées jusqu'à ce que la chute de pression atteigne un niveau qui déclenche un système de nettoyage automatique qui utilise un jet d'eau. Le mélange eau-poussière est collecté au fond de la chambre. Ce système est particulièrement avantageux pour l'élimination du goudron et d'autres particules collantes [4].

Électrofiltre sec

Contrairement à l'électrofiltre humide, l'électrofiltre sec n'utilise pas d'eau pour le nettoyage. Les mécanismes de nettoyage à sec comprennent le grattage, le brossage ou les vibrations [8].

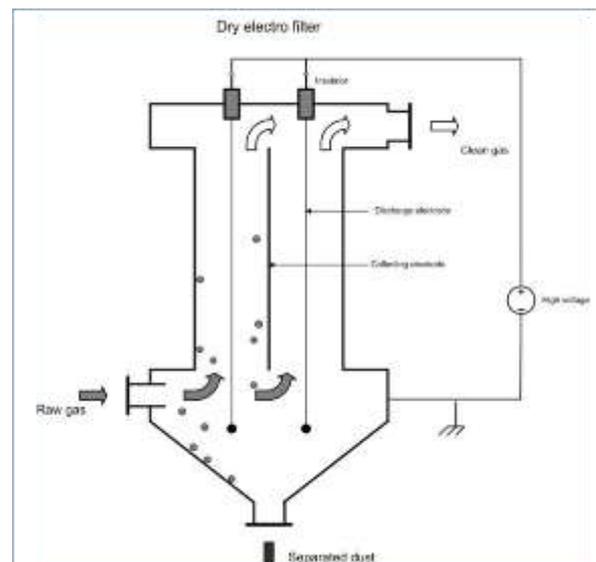


Figure 7 : électrofiltre sec [11]

CONDENSEUR

Cette technologie a deux fonctions, à savoir la récupération de la chaleur des gaz de combustion, qui peut ensuite être utilisée pour alimenter le réseau de chauffage, et la séparation des solides des gaz de combustion. Si les gaz de combustion sont refroidis en dessous du point de condensation, l'eau contenue dans les gaz de combustion se condense. La chaleur des gaz de combustion est absorbée par les gouttelettes d'eau et la somme de celles-ci est égale à une grande surface d'échange de chaleur, ce qui donne un taux de récupération de chaleur élevé.

Les particules sont piégées dans les gouttelettes d'eau condensée et acheminées jusqu'à l'eau de traitement. Celle-ci est filtrée avant d'être rejetée dans les eaux usées. Le système utilise essentiellement le même principe qu'un épurateur de fumées de combustion, mais sans les produits chimiques. De ce fait, le condenseur d'échappement est moins efficace pour extraire les particules des gaz de combustion [12]. L'association avec une autre technologie antipollution peut augmenter l'efficacité de l'ensemble du système [13].

Avantages

- Faibles coûts de fonctionnement
- Économies possibles grâce à la récupération de la chaleur [1]

Inconvénients

- Coûts d'investissement élevés
- Faible efficacité de séparation
- L'efficacité de la séparation dépend largement de la température de retour [1]

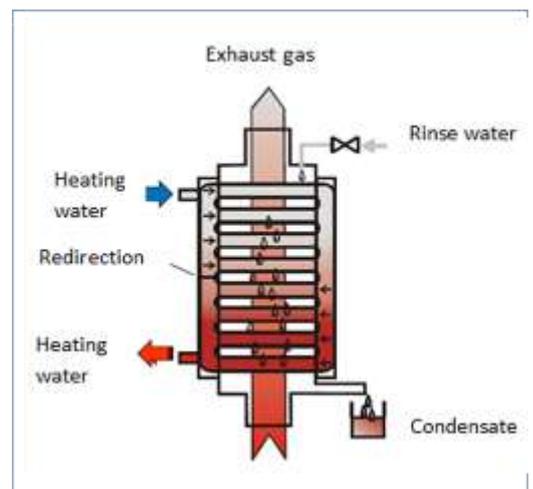


Figure 8 : condenseur [1]

ÉPURATEUR DE FUMÉES

Dans les épurateurs de fumées de combustion humides, les particules de poussière sont éliminées par absorption à travers un liquide. Ces systèmes peuvent également éliminer les métaux lourds, le NO_x , le monoxyde de carbone et le dioxyde de carbone. Les épurateurs de fumées de combustion peuvent être divisés en deux catégories : les épurateurs par pulvérisation et les épurateurs de surface. La première catégorie comprend les tours de pulvérisation et les épurateurs à venturi. Ceux-ci pulvérisent le liquide par des buses dans le flux ascendant de gaz de combustion. Toutes les gouttelettes d'eau contenues dans le gaz propre sont éliminées par un antibrouillard et retombent dans la chambre. La deuxième catégorie, qui comprend les tours à plateaux et les colonnes à garnissage, utilise une surface humide comme support de collecte [8].

Avantages

- Réduction d'autres émissions (HCl, SO_3 , etc.)
- Économies grâce à la récupération de la chaleur [1]
- Élimination des particules collantes
- Utilisable pour les gaz très chauds et humides [4]

Inconvénients

- Coûts de fonctionnement élevés
- Faible efficacité pour les très petites particules
- Dispositif complexe [1]
- Élimination coûteuse du condensat [14]
- Sensible aux basses températures
- Corrosion [4]

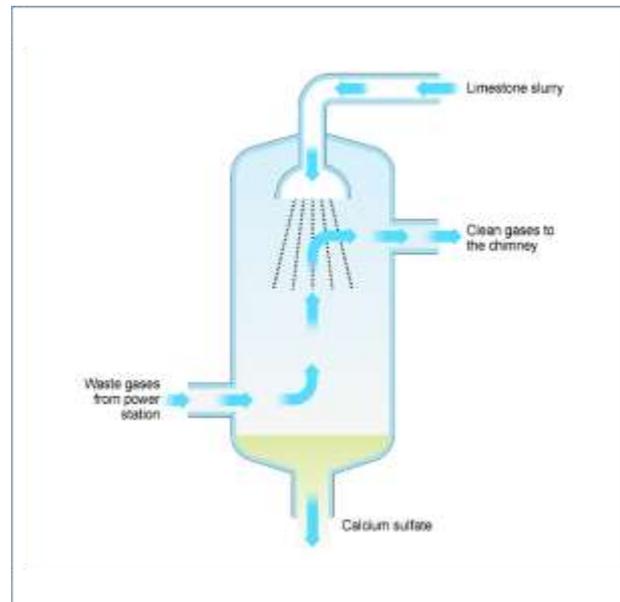


Figure 9: Épurateur de fumées [14]

3.SYSTEMES DE REDUCTION DES PARTICULES

Le chapitre suivant énumère les différents systèmes antipollution disponibles de diverses entreprises sur le marché. Les technologies incluses sont principalement des précipitateurs électrostatiques, mais aussi une chaudière granulés à condensation et un système de récupération de chaleur.

OEKOTUBE

OekoTube est fabriqué en Suisse par Oekosolve AG et Schröder Abgastechnologie en Allemagne [1]. OekoTube est un précipitateur électrostatique qui est utilisé pour le chauffage d'une seule pièce et les foyers à alimentation automatique. OekoTube est installé dans une cheminée [15].

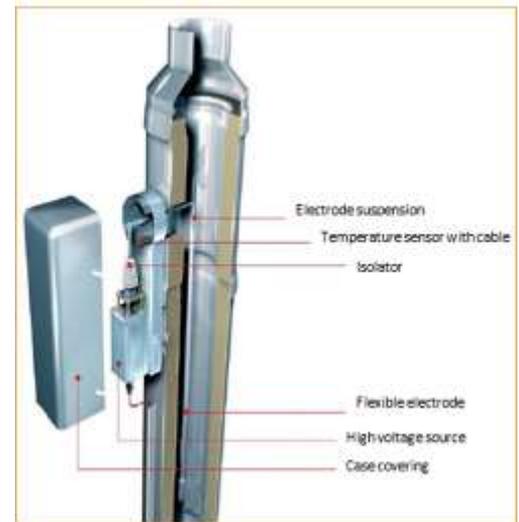


Figure 10 : OekoTube [1]

Efficacité de séparation	80-85 % [16]
Puissance	Jusqu'à 50 kW [15]
Coût	1 633 - 1 748 € [16] Faibles coûts d'exploitation et de maintenance [15]
En usage depuis	2010 [16]
Distribution	<1 000 sur le marché [16]
Caractéristiques	Rétrocompatible [15]

OekoTube-Inside

Contrairement à l'OekoTube, OekoTube-Inside est installé dans la chaudière [15].

Efficacité de séparation	80-85 % [16]
Puissance	10-70kW [16]
Application	Systèmes de chaudière [16]
Distribution	~1 000 sur le marché [16]

RUFF-KAT

RUFF-KAT était fabriqué par la société RUFTEC (la société n'existe plus) en Allemagne. Il utilise la précipitation électrostatique et est appliqué pour les foyers (à bois) [1].

Puissance	30 kW [1]
Caractéristiques	Rétrocompatible [1]

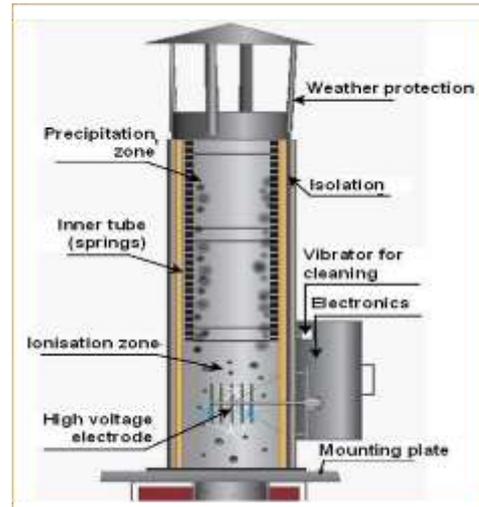


Figure 11 : Ruff-KAT [17]

AL-TOP

Le précipitateur électrostatique AL-TOP est un produit fabriqué en Allemagne par Schröder Abgastechnologie [1].

Efficacité de séparation	75-80 % [16]
Puissance	50-300 kW [16]
Coût	9 950 - 17 900 € [16] Faibles coûts d'exploitation et de maintenance [15]
En usage depuis	<2009 [16]
Distribution	~100 [16]
Caractéristiques	Rétrocompatible Consommation moyenne en électricité <25 W [15]



Figure 12 : AL-Top [18]

AWT-TOP

AWT-TOP est un système de récupération de chaleur et de technologie calorifique fabriqué par Schröder Abgastechnologie en Allemagne. Il est utilisé dans l'industrie mais peut également être utilisé par les ménages [1].

Amélioration de l'efficacité	Jusqu'à 20 % [1]
Puissance	15-2 000 kW [19]
Coût	50€/kW puissance du foyer [20] Faibles coûts de fonctionnement [19]
En usage depuis	de nombreuses années [21]
Caractéristiques	Rétrocompatible [19] Convient à la biomasse [1]



Figure 14 : échangeur de chaleur [22]



Figure 13 : AWT-Top [23]

ÖKOCARBONIZER

ÖkoCarbonizer est fabriqué en Allemagne par Bschor GmbH. Ce condenseur d'échappement est utilisable pour le fioul, le gaz et la biomasse (granulés, copeaux de bois, bûches de bois) [1]. Il convient aux particuliers, aux stations de chauffage central et pour les ménages nombreux [24].

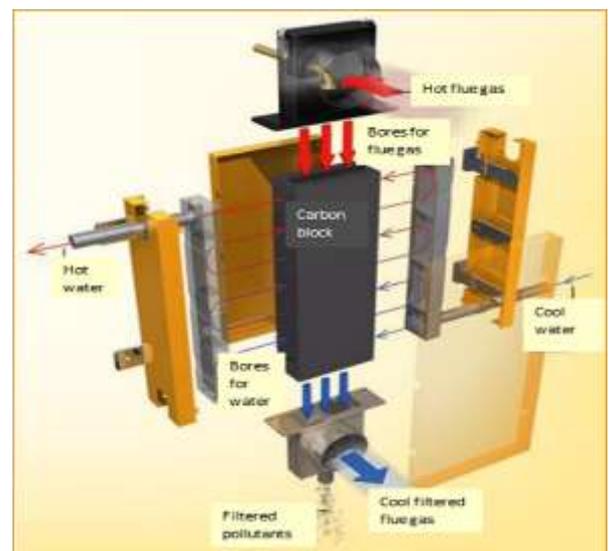


Figure 15 : ÖkoCarbonizer [1]

Efficacité	Jusqu'à 86 % [1]
Puissance	20-450 kW [24]
Coût	1 000-20 000 € [24] 50-80 €/kW puissance du foyer [20]
En usage depuis	~2004 [24]
Caractéristiques	Rétrocompatible [20] Auto-nettoyage par le condensat [1] Économies d'énergie grâce à la récupération de la chaleur [1]

ÖKOFEN

ÖkoFEN est une société, basée en Autriche et en Allemagne, qui fabrique des chaudières granulés à condensation [1]. Elles sont utilisées par les ménages, les habitations collectives et les bâtiments publics. Dans les bâtiments publics, elles sont souvent réalisées sous forme de système en cascade. Les émissions de particules de ces chaudières sont inférieures aux limites d'émission réglementaires sans séparateur supplémentaire [26].

Récupération de chaleur	10-15 % [1]
Puissance	10-64 kW [27] Jusqu'à 512kW pour les bâtiments publics [26]
Coût de la chaudière	12 000-14 000 € [28] 18 000-25 000 € [28]
Coût total (y compris l'installation etc.)	
En usage depuis	2004 [26]

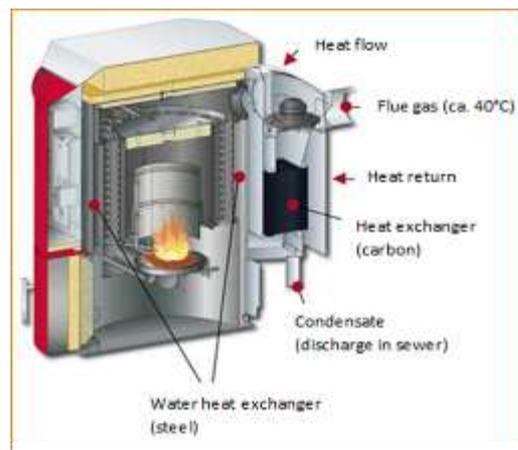


Figure 16 : ÖkoFen [1]

CYCLOJEKT

Cyclojekt associe le principe du cyclone et du précipitateur électrostatique et est produit par Kutzner + Weber en Allemagne [29]. Il est disponible pour les ménages, les habitations collectives et les bâtiments publics [30].

Efficacité de séparation	90 % [29]
Puissance	160, 240 et 320 kW [30]
Application	Ménages, habitations collectives, bâtiments publics [30]
Coût	13 233,75-21 633,37 € [31]

En usage depuis	~2017 [30]
Distribution	~50 sur le marché [30]
Caractéristiques	Rétrocompatible [29]

AIRJEKT

Airjekt est un précipitateur électrostatique, qui remplace Zumikron, et est fabriqué par Kutzner + Weber en Allemagne [30].

Efficacité de séparation	95 % [30]
Puissance	25-100 kW [30]
Coût	1 527,69-4 072,73 € [31] Faibles coûts de fonctionnement [32]
En usage depuis	~2009 [30]
Distribution	~10 000 sur le marché [30]
Caractéristiques	Rétrocompatible [29]

ECOPLUS

HARK Ecoplus en Allemagne, équipe les cheminées d'un filtre céramique pour les particules. Ces filtres doivent être autonettoyants mais peuvent également être rincés à l'eau [33].

Puissance	11 kW [33]
Coût	2 200-4 400 € [34]
En usage depuis	2007 [33]

4. CONCLUSION

L'utilisation accrue du bois et du charbon dans des foyers individuels qui ne sont plus à la pointe de la technologie entraîne une augmentation significative des émissions de particules.

Les carburateurs à bois et les chaudières à granulés modernes ne sont **pas** le problème en termes de particules. Les appareils plus anciens provoquent cependant des émissions de particules importantes dont il faut tenir compte. Les mesures antipollution par modernisation sont une possibilité pour les réduire.

Les impacts sur la santé humaine des émissions de combustion de la biomasse sont encore insuffisamment étudiés, mais on estime qu'ils ne sont pas négligeables.

Le plus grand potentiel de réduction des particules réside dans le remplacement des anciens appareils de combustion par des chaudières à granulés et des carburateurs à bois modernes à faibles émissions.

Afin de réduire les émissions de particules, il est nécessaire de poursuivre le développement des technologies de réduction primaires et secondaires. En outre, l'offre et la mise en œuvre sur le marché doivent être appliquées [1].

DOCUMENTATION

- [1] D. W. Linke, "Abgassystemkomponenten zur Effizienzsteigerung und Staubabscheidung an Biomasse- Feuerstätten."
- [2] C. Sternhufvud, M. Belhaj, and S. Åström, *The feature of Non technical measures and their importance in air pollutants reduction - applied to two meta-analysis*. Stockholm: IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd, 2006.
- [3] net4media solutions GmbH, "clean-heat," *Deutsche Umwelthilfe e.V.*, 2019. [en ligne]. Lien : <https://www.clean-heat.eu/de/projekt/clean-heat.html>. [Accessed: 26-Apr-2019].
- [4] S. van Loo and J. Koopejan, *The handbook of biomass combustion and co-firing*. London: Earthscan, 2008.
- [5] Baghouse.com, "Cyclone Dust Collectors." [en ligne]. Lien : <https://www.baghouse.com/products/dust-collection-systems/cyclone-collectors/>, [Accessed: 09-Oct-2019].
- [6] L. K. Wang, J. R. Taricska, Y.-T. Hung, J. E. Eldridge, and K. H. Li, "Fabric filtration," *Handb. Environ. Eng.*, pp. 59–94, 2004.
- [7] emis, "fabric filter." [en ligne]. Lien : <https://emis.vito.be/nl/node/19440>. [Accessed: 10-

- Oct-2019].
- [8] R. C. Flagan and J. H. Seinfeld, *Fundamentals of air pollution engineering*. Prentice Hall, 1988.
 - [9] Metallon, "Electrostatic precipitator (ESP)." .
 - [10] MHPS-Mitsubishi Hitachi Power Systems, "Air Quality Control Systems (AQCS) Electrostatic Precipitators (ESP)." [en ligne]. Lien : <https://www.mhps.com/products/aqcs/lineup/dust-collector/>,. [Accessed: 10-Oct-2019].
 - [11] emis, "dry electro filter." [en ligne]. Lien : <https://emis.vito.be/en/techniekfiche/dry-electro-filter>. [Accessed: 10-Oct-2019].
 - [12] IS Save Energy AG, "saveenergy," 2016. [en ligne]. Lien : <http://www.saveenergy.ch/flue-gas-condenser>. [Accessed: 06-Jun-2019].
 - [13] W.Linke, "ish2013," 2012. .
 - [14] Blogspot, "Chemistry Project-Solutions to reduce impact of zinc extraction on the environment." [en ligne]. Lien : <http://xlttmt.blogspot.com/>. [Accessed: 09-Oct-2019].
 - [15] Schröder Abgastechnologie, "OEKOTUBE."
 - [16] Schröder Abgastechnologie +492307973000, "Call: OekoTube."
 - [17] EU- Ultra-Low-Dust, "Next generation small-scale biomass combustion technologies with ultra-low emissions." [en ligne]. Lien : <http://www.ultralowdust.eu/>. [Accessed: 09-Oct-2019].
 - [18] Schröder Abgastechnologie, "AL-TOP." .
 - [19] Schröder Abgastechnologie, "Fibel Wärmerückgewinnung," 2015.
 - [20] B. Hebenstreit, "Endbericht ActiveCond," 2012.
 - [21] Schröder Abgastechnologie+4923979730018, "Call: OekoTube AWT-Top."
 - [22] K. Schröder, "Nutzung der Abgaswärme," *tab-Das Fachmedium der TGA-Branche*. [en ligne]. Lien : https://www.tab.de/artikel/tab_Nutzung_der_Abgaswaerme_1309386.html. [Accessed: 09-Oct-2019].
 - [23] Schröder Abgastechnologie, "AWT." [en ligne]. Lien : <https://www.schraeder.com/abgaswaermetauscher>. [Accessed: 09-Oct-2019].
 - [24] Bschor GmbH +499074957458, "Call: ÖkoCarbonizer."
 - [25] ÖkoCarbonizer, "Umwelt schonen!" [en ligne]. Lien : <http://carbonizer.de/content.php?id=71>. [Accessed: 15-Nov-2019].
 - [26] ÖkoFEN +49820429800, "Call: ÖkoFen."

-
- [27] “ÖkoFEN-Die Heizung für Pellets.” [en ligne]. Lien : <https://www.oekofen.com/de-at/pelletheizung/>. [Accessed: 02-Nov-2019].
- [28] Kesselheld, “ÖkoFEN: Modelle, Preise und Unternehmen.” [en ligne]. Lien : <https://www.kesselheld.de/oekofen/>. [Accessed: 02-Nov-2019].
- [29] Kutzner + Weber GmbH, “Der Zyklonabscheider Cyclojekt ®,” 2019.
- [30] Kutzner + Weber GmbH+4981419570, “Call: Airjekt and Cyclojekt.”
- [31] Kutzner + Weber GmbH, “Komponenten für die Abgas- und Heizungstechnik Components for Flue Gas and Heating Technology,” 2019.
- [32] Kutzner + Weber GmbH, “Die Feinstaubabscheider der Serie Airjekt ® 1,” 2019.
- [33] HARK +4920659970, “Call: ECOplus.”
- [34] HARK, “ecoplus.” [en ligne]. Lien : <https://www.hark-shop.de/search?q=ecoplus>. [Accessed: 02-Nov-2019].