

# RETROFIT D'INSTALLATIONS BIOMASSE, DANS L'OBJECTIF DE REDUIRE LEURS EMISSIONS ATMOSPHERIQUES DE PARTICULES

RAPPORT FINAL

JUILLET 2015

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : Best Energies / Debat / Exoceth W&ES  
N° de contrat : 1401C0037

**Coordination technique :** *Thouin, Simon*  
**Direction Productions et Energies Durables**  
**Service Bioressources**



RAPPORT FINAL

## REMERCIEMENTS

M. Thomas Nussbaumer (Verenum)  
M. Jean-Pierre Tachet (CIBE)  
M. Yann Rogaume (ENSTIB)  
M. Lionel Druette (CERIC)  
M. Bruno Chièze (Compte-R)  
M. Frédéric Autret (Weiss)  
M. Marc Houin (Kohlbach)  
M. Vincent Bleez (VBI)  
M. François Gallic (Scheuch)  
M. Godefroy Bès de Berc (Beirens / Save-Energy)  
M. Paul Monnier (ACS)  
M. Jérémy Cyffka (Tecfidis)  
M. Philippe Perrot (Philitec)  
M. Dominique Fraboulet (Nexair)

### En français :

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par la caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

### En anglais:

Any representation or reproduction of the contents herein, in whole or in part, without the consent of the author(s) or their assignees or successors, is illicit under the French Intellectual Property Code (article L 122-4) and constitutes an infringement of copyright subject to penal sanctions. Authorised copying (article 122-5) is restricted to copies or reproductions for private use by the copier alone, excluding collective or group use, and to short citations and analyses integrated into works of a critical, pedagogical or informational nature, subject to compliance with the stipulations of articles L 122-10 – L 122-12 incl. of the Intellectual Property Code as regards reproduction by reprographic means.

# TABLE DES MATIERES

<b>RESUME .....</b>	<b>1</b>
<b>1. CONTEXTE DE L'ETUDE .....</b>	<b>2</b>
1.1. ASPECT REGLEMENTAIRE.....	2
1.1. ASPECT TECHNIQUE .....	2
1.2. ETAT DES LIEUX DU PARC BOIS ENERGIE FRANÇAIS .....	3
<b>2. METHODOLOGIE D'ETUDE.....</b>	<b>4</b>
2.1. PHASES D'ETUDE.....	4
2.2. METHODOLOGIE D'ETUDE.....	4
2.2.1. Phase 1 : Collecte d'informations .....	4
2.2.2. Phase 2 : Etude de cas .....	4
2.2.3. Phase 3 : Etudes technico-économiques des solutions les plus appropriées à mettre en œuvre .....	5
<b>3. LES SOLUTIONS D'AMELIORATION ENVISAGEABLES.....</b>	<b>6</b>
3.1. DIAGNOSTIC PREALABLE .....	6
3.2. AMELIORATION DU COMBUSTIBLE .....	7
3.3. AMELIORATION DE LA COMBUSTION .....	7
3.4. AMELIORATION DU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION .....	8
3.5. MISE EN PLACE D'UN TRAITEMENT DES FUMÉES.....	9
3.5.1. Cyclones.....	9
3.5.2. Filtre à Manches.....	9
3.5.3. Electrofiltre.....	10
3.5.4. Comparatif .....	11
<b>4. LES SOLUTIONS D'AMELIORATION ADAPTEES AUX PROFILS DES INSTALLATIONS .....</b>	<b>12</b>
4.1. DETERMINATION DES VALEURS LIMITES D'EMISSIONS DE PARTICULES.....	12
4.2. DETERMINATION DU PROFIL TYPE DE LA CHAUFFERIE .....	13
<b>5. DESCRIPTION DES SOLUTIONS.....</b>	<b>15</b>
5.1. SOLUTIONS DE REDUCTION PRIMAIRE .....	15
5.1.1. Amélioration de la qualité du combustible.....	15
5.1.2. Amélioration de la combustion .....	16
5.2. SOLUTIONS DE REDUCTION SECONDAIRE .....	17
5.2.1. Solution 2 : Filtre à manches à l'intérieur de la chaufferie .....	17
5.2.2. Solution 3 : Electrofiltre à l'intérieur de la chaufferie.....	18
5.2.3. Solution 4 : Filtre à manches dans une extension à la chaufferie.....	19
5.2.4. Solution 5 : Electrofiltre dans une extension à la chaufferie .....	20
5.2.5. Solution 6 : Electrofiltre à l'extérieur.....	21
5.2.6. Focus sur les contraintes d'études techniques et les contraintes administratives .....	22
5.3. REVAMPING DE L'INSTALLATION / CHANGEMENT D'ENERGIE .....	22
5.3.1. Revamping de l'installation.....	22
5.3.2. Déclassement de l'installation.....	22
5.3.3. Changement d'énergie .....	23
<b>6. BILAN ECONOMIQUE.....</b>	<b>23</b>
6.1. EVALUATION ECONOMIQUE DES SOLUTIONS .....	24
6.1.1. Solution 2 : Filtre à manches à l'intérieur de la chaufferie .....	24
6.1.1. Solution 3 : Electrofiltre à l'intérieur de la chaufferie.....	26
6.1.2. Solution 4 : Filtre à manches dans une extension à la chaufferie.....	28
6.1.3. Solution 5 : Electrofiltre dans une extension .....	30

6.1.4.	<i>Solution 6 : Electrofiltre à l'extérieur</i> .....	32
6.2.	ANALYSE ECONOMIQUE DES SOLUTIONS.....	34
6.2.1.	<i>Répartition des postes</i> .....	34
6.2.2.	<i>Comparaison des solutions</i> .....	35
6.3.	IMPACT ECONOMIQUE DU RETROFIT.....	37
6.3.1.	<i>Augmentation du coût de la chaleur</i> .....	37
6.3.2.	<i>Comparaison de l'impact du rétrofit aux prix des autres énergies</i> .....	37
<b>7.</b>	<b>SOURCES ET LIMITES DE L'ETUDE</b> .....	<b>39</b>
7.1.	SOURCES DES DONNEES .....	39
7.2.	LIMITES DE L'ETUDE .....	39
7.2.1.	<i>Limites d'application</i> .....	39
7.2.2.	<i>Autres contraintes réglementaires</i> .....	39
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES</b> .....	<b>40</b>
8.1.	RAPPEL DU CONTEXTE .....	40
8.2.	SOLUTIONS DE REDUCTION DES EMISSIONS .....	40
8.2.1.	<i>Solutions de réduction primaire</i> .....	40
8.2.2.	<i>Solutions de réduction secondaire</i> .....	41
8.3.	IMPACT ECONOMIQUE DU RETROFIT.....	41
8.4.	PROPOSITIONS.....	42
<b>ANNEXES</b> .....		<b>43</b>
	ANNEXE 1 : SCHEMA D'UNE INSTALLATION BIOMASSE ; LES POINTS IMPORTANTS D'UN DIAGNOSTIC .....	44
	ANNEXE 2 : FICHE DE SYNTHESE DES CARACTERISTIQUES RELEVÉES LORS DU DIAGNOSTIC .....	45
	ANNEXE 3 : SITUATION REGLEMENTAIRE DES CENDRES SOUS FOYER ET DES POUSSIÉRES CAPTÉES PAR LES SYSTEMES DE FILTRATION.....	46
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....		<b>49</b>
<b>SIGLES ET ACRONYMES</b> .....		<b>50</b>

## Résumé

Aujourd'hui, environ 750 installations biomasse recensées de plus de 1 MW bois sont en fonctionnement sur le territoire Français. Ces installations consomment environ 9 millions tonnes de combustible bois. La très grande majorité de ces 750 installations biomasse sont soumises à la réglementation Française ICPE.

Cette réglementation est amenée à évoluer à partir de 2018, la limite d'émission de particules fines sera notamment abaissée de 150 mg/Nm<sup>3</sup> à 11 % d'O<sub>2</sub>, à un seuil plus contraignant de 50 mg/Nm<sup>3</sup> à 6 % d'O<sub>2</sub>. De plus, une réglementation Européenne est actuellement en cours d'élaboration et pourrait imposer un seuil d'émission de particules de 45 (puissance de 1 à 5 MW) et de 30 mg/Nm<sup>3</sup> à 6 % d'O<sub>2</sub> pour les installations les plus puissantes (puissances de 5 à 50 MW).

La présente étude vise à réaliser un état des lieux des solutions permettant la réduction des émissions de particules **en agissant sur le combustible, la combustion, le fonctionnement de l'installation et le traitement des fumées**. Cette étude traite notamment des performances de chaque système et de leurs contraintes d'implantation dans une chaufferie existante. Sont également analysés les coûts d'investissement ainsi que les coûts d'exploitation liés à l'implantation de tels systèmes au sein d'une installation biomasse existante ainsi que l'impact de ces coûts additionnels sur le prix de la chaleur.

De cette étude découle de nombreux constats :

- Tout d'abord, le traitement des fumées par **dépoussiéreur cyclonique seul ne permettra pas de respecter les futurs seuils d'émission** de particules fines en sortie de chaufferie. En effet, cette technologie de filtration n'est actuellement pas assez performante sur les particules de petites tailles. Cependant, la filtration par dépoussiéreur cyclonique est nécessaire car elle permet de préfiltrer les fumées avant leur entrée dans les systèmes de filtration complémentaires
- Certaines installations, affichants des émissions de particules importantes, pourront réduire leurs émissions **en améliorant sensiblement la qualité du combustible utilisé**.
- Les systèmes à voie humide, avec ou sans condenseurs, impliquent quant à eux des contraintes techniques de mise en œuvre trop complexes en chaufferie existante et ne peuvent être une solution de filtration adaptée, malgré des performances à priori intéressantes.
- Deux systèmes de filtration performants, pouvant être intégrés relativement simplement dans la structure de l'installation, ou au sein d'une extension. Ces deux systèmes de filtration, que sont le **filtre à manches et l'électrofiltre** affichent des performances comparables, pour des coûts d'investissement et d'exploitation relativement proches.

**L'étude permet notamment de mettre en évidence qu'en cas de mise en œuvre d'un traitement de fumées, le choix technologique doit se faire, non pas sur des critères économiques mais plutôt sur des critères techniques et d'intégration dans le site.**

## 1. Contexte de l'étude

### 1.1. Aspect réglementaire

Les chaufferies biomasse font parties des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), dans la rubrique 2910 Combustion. A ce titre, elles sont soumises à des valeurs limites d'émission (VLE) définies par la réglementation française.

Les installations biomasse classées pour l'environnement sont actuellement différenciées par rapport à la nature du combustible utilisé :

Installations classées en rubrique 2910A :

- Produits principalement d'origine agricole ou forestière,
- Les installations sont soumises à déclaration (entre 2 et 20 MW) et à autorisation (> 20 MW).

Installations classées en rubrique 2910B :

- Produits principalement d'origine industrielle,
- Les installations sont soumises à enregistrement (entre 100 kW et 20 MW) et à autorisation (> 20 MW).

A l'origine, la réglementation (AM 25 Juillet 1997) avait fixée des valeurs limites d'émissions de poussières de 150 (2-4MW) à 100 (4-20MW) mg/Nm<sup>3</sup> à 11% d'O<sub>2</sub>, soit respectivement 225 à 150 mg/Nm<sup>3</sup> à 6 % d'O<sub>2</sub>.

A ce jour, la rubrique 2910 Combustion des ICPE impose aux installations biomasse nouvelles et existantes soumises à déclaration, enregistrement, ou autorisation (d'une puissance de 100kW à 20MW) des valeurs limites d'émissions de particules :

- Pour les installations **nouvelles** une valeur limite d'émissions en particules de 50 mg/Nm<sup>3</sup> à 6 % d'O<sub>2</sub>,
- Pour les installations **existantes** une valeur limite d'émissions en particules de 225 à 150 mg/Nm<sup>3</sup> à 6 % d'O<sub>2</sub>.

A partir de 2018, l'ensemble des installations biomasse existantes classé sous le régime déclaration ou enregistrement devra respecter le seuil d'émission de particules de 50 mg/Nm<sup>3</sup> à 6 % d'O<sub>2</sub>.

Enfin, à l'horizon 2025, ces valeurs limites d'émissions devraient passer à 45 mg/Nm<sup>3</sup> à 6 % d'O<sub>2</sub> pour les installations de puissance comprise entre 1 et 5 MW et à 30 mg/Nm<sup>3</sup> à 6 % d'O<sub>2</sub> pour les installations de puissance comprise entre 5 et 50MW.

### 1.1. Aspect technique

Les émissions de polluants des installations de combustion utilisant la biomasse peuvent être aujourd'hui réduites au niveau du foyer de combustion (technologie dite de réduction primaire), ce sont principalement des innovations de fabricants de chaudières au niveau de la chambre de combustion, ou au niveau du parcours des fumées.

Elles peuvent être également réduites au niveau de l'évacuation des fumées (technologie dite de réduction secondaire) par le biais d'équipements spécifiques tels que les dépoussiéreurs cyclones, les Filtres à Manches (FAM), les Electrofiltres (ESP) ou d'autres technologies moins répandues (filtres à manches céramiques ou métalliques, filtres électro-cyclone, systèmes de lavage des fumées).

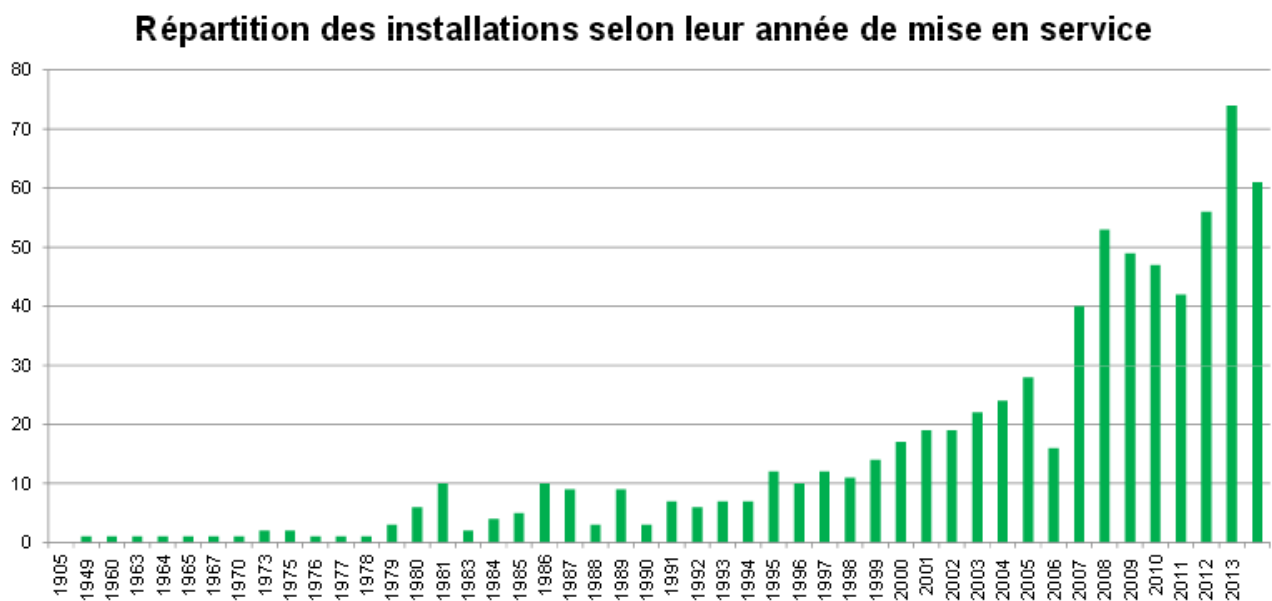
Les installations de petite et moyenne puissance (à partir de 200 kW) sont généralement équipées d'un système de traitement des particules fines de type cyclone, ce système a l'avantage d'être simple et fiable, et présente des performances intéressantes pour un coût économique relativement faible.

Cependant, au vu des nouvelles réglementations futures, ce type d'équipement ne permettra pas d'atteindre les seuils d'émissions requis et il sera souvent nécessaire d'ajouter un équipement supplémentaire plus performant.

## 1.2. Etat des lieux du parc bois énergie français

Le parc d'installations bois énergie Français est actuellement en expansion du fait d'une énergie biomasse relativement bon marché par rapport aux autres énergies comme le fioul ou le gaz. De plus, la politique du gouvernement est favorable au développement d'installations de ce type et propose des aides financières. Cette politique est principalement due à une ressource biomasse continuellement en augmentation en France, malgré le développement toujours plus nombreux de projets d'installations bois énergie.

Sur ce graphique apparait la croissance du parc d'installations biomasse en fonction de leur année de mise en service :



**Figure 1 : Evolution du nombre d'installation biomasse en fonction de de leur année de mise en service**  
(Source : CIBE, Réunion plénière du 09 Juin 2015)

On constate, dès les années 80, un développement des installations bois énergie, et ce quelques années seulement après le choc pétrolier, responsable de l'envolée des prix de l'énergie fossile jusqu'alors bon marché.

Ce graphique montre une accélération du développement des installations bois énergie à partir de l'année 2008, sous le double effet de la remontée du prix des énergies fossiles et du lancement du Fond Chaleur Renouvelable.

D'après l'étude réalisée par le CIBE en 2015, à partir des données de 2014 (CIBE - Réunion plénière du 09 Juin 2015), existe actuellement en France **un total de 763 installations de plus d'1 MW bois**. En partant du constat que la puissance bois est de l'ordre de 50 % de la puissance totale installée, on peut émettre l'hypothèse qu'environ 750 installations sont soumises au classement ICPE. Ces installations sont donc susceptibles d'être concernées par la mise aux normes à l'horizon 2018.

Toujours d'après cette étude, la grande majorité des installations biomasses (80 à 90 %) ont une puissance totale comprise entre 2 et 20 MW (dont 40 % entre 2 et 4 MW). En considérant par hypothèse que les installations d'une puissance supérieur à 10 MW sont d'ores et déjà équipées d'un système de filtration de type filtre à manches (FAM) ou électrofiltre (ESP), on peut estimer qu'environ 400 chaufferies (40 à 60 % du parc) sont actuellement dépourvues d'un système de filtration secondaire de type FAM ou ESP et donc susceptibles d'avoir à le mettre en place pour satisfaire aux exigences de la nouvelle réglementation ICPE.



## 2. Méthodologie d'étude

### 2.1. Phases d'étude

Pour mémoire, l'étude « Rétrofit d'installations biomasse, dans l'objectif de réduire leurs émissions atmosphériques de particules » se décompose en 3 phases de la façon suivante :

- Phase 1 : Collecte d'informations,
- Phase 2 : Etude de cas,
- Phase 3 : Etudes technico-économiques des solutions les plus appropriées à mettre en œuvre.

### 2.2. Méthodologie d'étude

#### 2.2.1. Phase 1 : Collecte d'informations

##### 2.2.1.1. Collecte d'informations

Dans le cadre de la phase 1, des entretiens avec des professionnels de la filière biomasse ont été menés suivant un guide d'entretien précis portant sur :

- La présentation du contexte,
- La perception globale du contexte environnemental, technique et réglementaire,
- Les connaissances sur les émissions de particules en sortie de foyer/échangeur,
- Les technologies de post-traitement « classiques »,
- Les autres technologies rencontrées ou en cours de développement,
- Les technologies de lavage de fumées / condensation,
- L'évolution technologique à court, moyen et long terme,
- Le retour d'expérience à l'international,
- Des exemples d'installation « remarquable »,
- Des remarques / observations complémentaires.

Les entretiens ont également permis de collecter de nombreux documents portant sur les caractéristiques techniques des équipements proposés par certains professionnels.

Ces professionnels sont experts (universitaires ou chercheurs), représentants de fabricants de chaudières biomasse ou représentants de fabricants de systèmes de filtrations.

##### 2.2.1.2. Bilan des PPA

En France, les plans de protection de l'atmosphère (PPA) définissent les objectifs et les mesures réglementaires permettant de ramener, à l'intérieur des agglomérations de plus de 250 000 habitants et des zones où les valeurs limites réglementaires sont dépassées ou risquent de l'être, les concentrations en polluants atmosphériques à un niveau inférieur aux valeurs limites réglementaires.

Dans le cadre de cette étude, un bilan des PPA a été dressé permettant par PPA d'identifier les valeurs limites d'émissions et mesures imposées.

#### 2.2.2. Phase 2 : Etude de cas

En complément des informations récoltées au cours de la phase 1, la phase 2 porte sur la réalisation d'études de cas sur un ensemble de 12 sites.

Ces études de cas permettent à partir d'informations récoltées relatives à la conception, la construction et l'exploitation des sites, de proposer des solutions d'améliorations permettant de répondre aux nouvelles exigences en termes d'émissions de particules.



Ces solutions d'améliorations portent sur :

- La mise en concordance entre la nature du combustible utilisé et les besoins de la chaudière,
- L'optimisation du process (de l'amenée du combustible jusqu'à l'évacuation des fumées en sortie de chaudière),
- L'amélioration du fonctionnement de l'installation,
- L'optimisation du traitement des fumées, et si nécessaire, l'ajout d'un système de filtration.

Pour chaque étude, une fiche synthétique a été réalisée :

- Décrivant brièvement le site et ses particularités,
- Décrivant précisément la solution technique retenue,
- Décrivant les contraintes techniques pour la mise en œuvre de la solution,
- Estimant la répercussion des investissements et coûts d'exploitation sur le coût de vente de la chaleur.

### **2.2.3. Phase 3 : Etudes technico-économiques des solutions les plus appropriées à mettre en œuvre**

La phase 3 consiste à extrapoler les données des études de cas en fonction de leurs similitudes afin de réaliser un panel de profils d'installations. Ces installations seront regroupées en fonction de leurs caractéristiques, ainsi que des solutions choisies permettant l'abaissement des émissions de particules en dessous des futurs seuils réglementaires futures. L'objectif de cette phase est d'apporter une aide à la décision synthétique permettant aux maîtres d'ouvrages et/ou exploitants de prendre en considération l'ensemble des points d'améliorations possibles, et d'orienter leurs choix vers des solutions correspondants aux caractéristiques de leurs installations.

La réduction des émissions de particules doit se faire à partir des solutions les moins intrusives et les moins onéreuses. D'une manière générale, sont privilégiées les solutions visant à améliorer la qualité du combustible et sa combustion. Si celles-ci ne permettent pas d'obtenir des résultats satisfaisants, des solutions plus lourdes comme la mise en place d'un système de filtration des fumées supplémentaire doivent être étudiées.

### 3. Les solutions d'amélioration envisageables

#### 3.1. Diagnostic préalable

L'abaissement du taux d'émission de particules étant lié à de nombreux paramètres, il est important de réaliser un diagnostic complet de l'installation biomasse avant d'envisager des solutions d'amélioration. Le schéma ci-dessous illustre les points importants à relever pour réaliser ce diagnostic :

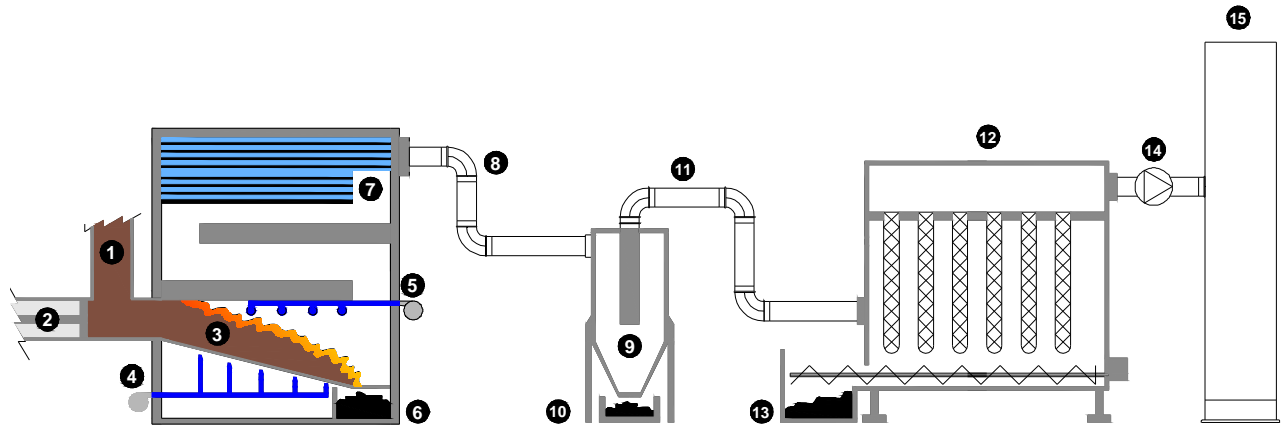


Figure 2 : Schéma d'une installation biomasse permettant de localiser les points importants d'un diagnostic

Le diagnostic d'une installation doit suivre un ordre chronologique, en analysant les caractéristiques du combustible. L'exploitant contrôle tout d'abord la conformité de la qualité combustible. Il est par la suite nécessaire de vérifier / optimiser la combustion de la biomasse en chaudière et les réglages de la régulation. Ces premiers points d'analyses permettent de s'assurer que tout est mis en œuvre afin de réduire la génération de particules de poussières dans les fumées.

Les points suivants permettent quant à eux de valider le bon fonctionnement des équipements de filtration des fumées existant en analysant les taux de particules en entrée et en sortie de filtre, ainsi que la quantité de cendre récupérée. Le tableau ci-après résume les paramètres à relever en 15 points du diagnostic de l'installation biomasse. Ces relevés pourront par la suite être comparés à des valeurs de référence afin de localiser les points faibles de l'installation.

N°	Phase process	Paramètres à relever pour un diagnostic
1	Combustible	Masse / Densité / Granulométrie / Humidité / Taux de fine / Taux de matières minérales
2	Poussoir	Masse introduite dans le foyer / Volume bois introduit par heure / Séquencement
3	Grille	Epaisseur du lit sur grille / Température foyer / Excès d'air / Répartition air 1 <sup>aire</sup> et 2 <sup>aire</sup>
4	Aire primaire	Débit d'air primaire / Pression sous grille / Répartition sous grille
5	Aire secondaire	Température / Débit d'air secondaire / Recyclage des fumées
6	Cendres chaudière	Aspect / Imbrûlés / Tonnage annuel / Pourcentage de masse bois
7	Echangeur	Température des fumées / Température fluide caloporteur
8	Sortie chaudière	Taux de poussière / Température
9	Filtre cyclone	Efficacité
10	Cendres filtre cyclone	Tonnage annuel / Pourcentage de masse bois
11	Sortie filtre cyclone	Taux de poussière / Température
12	Filtre complémentaire	Efficacité
13	Cendres filtre complémentaire	Tonnage annuel / Pourcentage de masse bois
14	Extracteur de fumées	Vitesse d'éjection des gaz
15	Cheminée	Taux de poussière / Température

Tableau 1 : Liste des points importants et des paramètres à relever lors d'un diagnostic d'installation

Ce travail constitue une première étape permettant la réduction des émissions de particules en chaufferie biomasse. L'exploitant peut visualiser d'une manière synthétique les points pouvant être améliorés sur l'ensemble de l'installation biomasse

Les améliorations envisagées pour la réduction des émissions de particules peuvent être classées en quatre catégories :

- Les améliorations du combustible,
- Les améliorations de la combustion,
- L'amélioration du fonctionnement de l'installation,
- La mise en place de traitement des fumées.

### **3.2. Amélioration du combustible**

La production de chaleur biomasse repose intégralement sur la disponibilité et la qualité du combustible biomasse. C'est donc sur ces premiers éléments que devront se porter les améliorations.

Si la filière biomasse est en plein développement aujourd'hui en France, la qualité du combustible n'est parfois pas au rendez-vous pour certaines installations. La cause première de ce manque de qualité est principalement due aux référentiels permettant de définir clairement les caractéristiques d'un combustible et à l'absence de contrôle rigoureux lors des livraisons. Si certains référentiels existent (FCBA, CIBE), ils ne sont actuellement pas assez étayés par des données scientifiques et des observations de terrain.

Il est donc possible aujourd'hui en France de se procurer des combustibles ayant des taux d'humidité très variables lors d'une même saison de chauffe, ou ayant des taux de fines largement supérieurs aux proportions définis.

L'amélioration du combustible repose essentiellement sur la définition précise des caractéristiques des combustibles acceptés par la chaudière bois :

- Nature du combustible (écorces, plaquettes, granulées, sciures, etc),
- Plage de granulométrie tolérée,
- Taux d'humidité,
- Taux de poussière / fine,
- Taux de matières minérales.

Il s'agira alors par la suite de faire correspondre au mieux les caractéristiques du combustible livré, avec les caractéristiques acceptées par la chaudière bois, cela passera si nécessaire par le changement de fournisseur si celui-ci n'est pas en mesure de fournir le combustible adéquat. La mauvaise qualité du combustible peut également être liée au mode de stockage sur le site de l'installation, en effet, le combustible doit être stocké à l'abri des intempéries et dans un local ventilé.

### **3.3. Amélioration de la combustion**

Le processus de combustion d'un combustible s'effectue en plusieurs phases faisant intervenir de nombreux paramètres. S'il est difficilement envisageable de revenir sur des choix technologiques mis en œuvres, il est toutefois possible d'améliorer ces équipements, ou d'ajouter des fonctionnalités supplémentaires notamment en terme de régulation.

Ces améliorations, très variables en fonction de la chaudière installée et de la faisabilité technique, constituent des voies de progrès simples et généralement peu onéreuses.

Pour réduire les émissions de particules, il est donc possible sans investissement trop important de (liste non-exhaustive) :

- Réduire l'excès d'air par une meilleure régulation du taux d'oxygène dans les fumées,
- Re-calibrer les débits de ventilation primaire et secondaire, et si nécessaire automatiser leur apport en fonction du taux d'O<sub>2</sub> présent dans les fumées de combustion en sortie de chaudière,
- Re-calibrer les registres de répartition de l'air primaire sous grille afin d'apporter la quantité d'air juste nécessaire au combustible aux différentes zones de la grille. Ce recalibrage permet également de limiter les envolées de particules dans les fumées de combustion,
- Réviser l'étanchéité du foyer de combustion afin de réduire l'infiltration d'air parasite au niveau des systèmes d'introduction et de décendrage,
- Re-calibrer le séquençage d'apport de combustible en début de grille de combustion, afin de linéariser la cadence d'introduction du combustible dans le foyer de la chaudière, ce qui permet de stabiliser la combustion à l'intérieur du foyer.
- Effectuer une réfection et/ou modification de la voûte réfractaire de la chaudière pour améliorer les flux et créer des points de chocs,
- Re-calibrer le séquençage de ramonage des tubes de fumées pour les chaudières équipées de système de ramonage automatique et multiplier les interventions de ramonage et de nettoyage du foyer / échangeur, afin de limiter les rejets.

Ces améliorations peuvent, pour les chaudières les moins bien réglées, permettre une réduction relativement significative des émissions de particules. Ces améliorations sont donc très bien adaptées aux chaudières les plus anciennes, mais auront moins d'impact pour les installations récentes.

### 3.4. Amélioration du fonctionnement de l'installation

Le fonctionnement à faible ou moyenne charge, ainsi que les phases de démarrage et d'arrêt de la chaudière sont les moments les plus propices à la production et au rejet de particules fines. La combustion étant incomplète, une part plus importante d'imbrulés est entraînée dans les fumées de combustion, de plus, la quantité et la répartition du combustible sur la grille ne sont pas bien souvent optimales. Le fonctionnement des installations doit être suivi au quotidien afin de limiter les rejets de particules fines lors de ces moments critiques.

Par ailleurs, un projet de chaufferie bois doit faire l'objet d'une étude spécifique, portant entre autre sur l'approvisionnement en combustible, la détermination des appels de puissance annuels, le choix de la puissance de la chaudière et les solutions de traitement des fumées.

En règle générale, la puissance nominale de la chaudière bois est comprise entre 40 et 50 % de la puissance maximale appelée au cours d'une saison de chauffe afin d'obtenir un taux de couverture optimisé tout en garantissant un régime de fonctionnement adéquat à la chaudière.

Alors que le sous-dimensionnement d'une chaudière bois n'entraîne pas de problèmes particuliers de fonctionnement, un surdimensionnement en revanche de la puissance de la chaudière bois peut entraîner des dysfonctionnements tels que usure prématuré et rejets de polluants. Afin de remédier à ces dysfonctionnements, il peut alors être envisagé :

- D'installer un volume d'hydro-accumulation afin de lisser les appels de puissance,
- De raccorder un ou plusieurs consommateurs de chaleur supplémentaires au réseau pour adapter l'appel de puissance en adéquation avec la capacité de production de la chaudière biomasse,
- De limiter la période de fonctionnement de la chaudière bois au profit de la chaudière d'appoint/secours lors des périodes d'appels de puissance non linéaires (en début et fin de saison de chauffe, en été pour la production d'eau chaude sanitaire,...).

Ces mesures de correction permettent de préserver la chaudière bois des fonctionnements à faible charge en homogénéisant l'allure d'appel de puissance.

### 3.5. Mise en place d'un traitement des fumées

Les chaufferies bois rentrant dans le champ de la présente étude sont à l'heure actuelle, principalement équipées de dépoussiéreurs cyclone ou multi-cyclone. Cependant ces systèmes permettent une réduction des émissions de particules insuffisante au vu de l'évolution réglementaire. Il sera donc nécessaire d'envisager pour la majorité des chaufferies bois existantes, l'intégration d'un équipement de filtration supplémentaire. On distingue aujourd'hui les grandes familles d'équipements de filtration suivantes :

- Le (multi-)cyclone,
- Le filtre à manches,
- L'électrofiltre.

#### 3.5.1. Cyclones

Les cyclones utilisent la force centrifuge pour séparer les fumées des poussières, ils sont donc très efficaces sur les poussières de gros diamètre (supérieur à 5 µm). Ils sont principalement utilisés pour traiter les fumées en sortie d'échangeur de la chaudière bois. Ce système est utilisé seul pour le traitement des fumées d'une grande partie des chaufferies bois de petites et moyennes puissances, car il permet de répondre aux exigences réglementaires, c'est surtout un équipement indispensable pour réduire le volume des poussières à traiter par des systèmes complémentaires (électrofiltres, filtres à manches, etc.).

Cette solution permet d'atteindre des rejets de particules fines compris entre 100 et 225 mg/Nm<sup>3</sup> à 6 % d'O<sub>2</sub> sous couvert de bons réglages et d'un combustible de qualité.

#### 3.5.2. Filtre à Manches

##### 3.5.2.1. Principe de fonctionnement

Les filtres à manches utilisent un média filtrant pour séparer les fumées des poussières, les particules sont retenues par le média et s'accumulent, ce qui permet d'accroître le pouvoir filtrant du filtre. Il est cependant indispensable de décoller ces amas régulièrement. Selon le type de média filtrant, les filtres à manches sont efficaces sur l'ensemble des tailles des particules. Un filtre à manches permet d'atteindre en sortie de filtre des taux compris entre 10 et 20 mg/Nm<sup>3</sup> à 6 % d'O<sub>2</sub>.

##### 3.5.2.2. Mise en œuvre

La mise en place d'un filtre à manches sur une installation existante entraîne des contraintes non négligeables. Ces équipements présentent des dimensions importantes, et en plus il est nécessaire de prévoir un dégagement suffisant à l'avant du filtre pour la maintenance (remplacement de manches).

En ce qui concerne le circuit des fumées, il est également indispensable de travailler en dépression (ventilateur d'extraction des fumées en aval du filtre). La perte de charge importante du filtre impose le remplacement du ventilateur d'extraction des fumées. La mise en place d'un silencieux doit aussi être envisagée afin de limiter les nuisances sonores.

Pour le dé-colmatage des manches il est également nécessaire de prévoir un compresseur d'air.

Autre point important, la sensibilité des filtres à manches aux températures de fumées élevées nécessite la mise en place d'un by-pass sur le circuit de fumées.

##### 3.5.2.3. Exploitation

Les principaux coûts d'exploitation relatifs à un filtre à manches sont :

- Conduite et contrôles de bon fonctionnement,
- Remplacement des manches,
- La consommation électrique (notamment du ventilateur d'extraction des fumées).

Les opérations de maintenance insuffisantes peuvent, d'une part, engendrer des dysfonctionnements graves (colmatage, incendies, etc.), et d'autre part, générer de l'indisponibilité de l'installation.

### **3.5.3. Electrofiltre**

#### **3.5.3.1. Principe de fonctionnement**

Les électrofiltres utilisent un champ électrique pour extraire les particules du flux de fumées, les particules chargées électriquement sont captées par des électrodes ou elles s'accumulent. Un système de frappe des électrodes permet de précipiter les particules dans la trémie de collecte.

Un électrofiltre permet d'atteindre en sortie de filtre des taux compris entre 30 et 50 mg/Nm<sup>3</sup> à 6 % d'O<sub>2</sub>.

#### **3.5.3.2. Mise en œuvre**

Les électrofiltres ont également un niveau d'encombrement important, supérieur aux filtres à manches (hors zone de maintenance), notamment en hauteur. Cependant, la mise en place d'un électrofiltre sur une installation existante impose moins de contraintes. Il est à noter que l'installation extérieure d'un électrofiltre est techniquement possible, il convient néanmoins d'appréhender la gestion des nuisances sonores.

Le filtre présentant peu de pertes de charge, il n'est généralement pas nécessaire de redimensionner l'extracteur de fumées, mais il est cependant important de vérifier la capacité de l'extracteur à combattre ces pertes de charges supplémentaires. Les électrofiltres sont également insensibles aux escarbilles et aux températures de fumées élevées, il n'est donc pas nécessaire de prévoir un by-pass.

Le fonctionnement de l'électrofiltre engendre une forte consommation d'électricité, cependant, cette surconsommation est similaire à la surconsommation d'électricité de l'extracteur de fumées dans le cas d'une installation comportant un filtre à manches. De ce fait, la forte consommation électrique d'un électrofiltre n'est pas une contrainte décisive, car on retrouve cette même contrainte sur les accessoires des autres systèmes de filtration.

#### **3.5.3.3. Exploitation**

Les principaux coûts d'exploitation relatifs à un électrofiltre sont :

- Conduite et contrôles de bon fonctionnement,
- La consommation électrique du filtre.

La présence de haute tension nécessite des qualifications spécifiques pour le personnel de maintenance.

L'électrofiltre est moins sensible au défaut de maintenance, qui dégradera surtout les performances de l'équipement.

### 3.5.4. Comparatif

Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques de chaque technologie :

Type	(Multi-)Cyclone	Filtre à Manches (FAM)	Electro-Filtre (ESP)
Performance	100 à 225 mg/Nm <sup>3</sup> à 6% d'O <sub>2</sub>	10 à 20 mg/Nm <sup>3</sup> à 6% d'O <sub>2</sub>	30 à 50 mg/Nm <sup>3</sup> à 6% d'O <sub>2</sub>
Taille de particules filtrées	> 5 µm	> 0,01 µm	> 0,01 µm
Conditions de Fonctionnement	- Sans objet	- Températures de fumées minimale 100 à 120 °C - Températures de fumées maximale ≈ 240 °C	- Températures de fumées minimale 100 °C - Températures de fumées maximale 350 °C
Encombrement	- Très faible encombrement	- Encombrement (emprise au sol & hauteur) légèrement plus faible que l'ESP - Accès maintenance plus important que l'ESP	- Encombrement (emprise au sol & hauteur) légèrement plus important que le FAM
Implantation	Intérieur	Intérieur	Intérieur & Extérieur
Coût (Investissement)	+	+++	++++
Coût (Maintenance)	+	++++	+++
Avantages	- Technologie simple	- Evolutif (niveau de filtration) - Efficacité (performance) - Possibilité d'ajouter des réactifs pour traitement autres polluants - Investissement par rapport à l'ESP	- Faible pertes de charges - Possibilité de travailler en pression et dépression - Possibilité monitoring (détection défaut d'isolation, mesure U/I) - Possibilité de raccorder 2 chaudières sur même filtre - Coût de maintenance (par rapport au FAM)
Inconvénients	- Efficacité	- Utilisation en dépression seul - Disponibilité (utilisation du by-pass) - Risque d'incendie - Intervention pour remplacement manches - Nuisance sonore (silencieux à prévoir) - Coût de maintenance (par rapport à l'ESP) - Fortes pertes de charge - Un filtre par chaudière - Nécessite air comprimé pour décolmatage	- Pas évolutif - Emprise et hauteur - Investissement par rapport au FAM - Nuisance sonore (frappes de décolmatage)

Tableau 2 : Comparatif des technologies de filtration



## 4. Les solutions d'amélioration adaptées aux profils des installations

Dans le cadre de la présente étude, 12 études de cas pour la mise aux normes de chaufferies bois vis-à-vis des rejets de particules fines ont été réalisées. L'objectif de ces études de cas est l'analyse technico-économique de différentes solutions de rétrofit d'installations existantes.

Ces 12 installations aux caractéristiques très distinctes, peuvent être considérées comme étant représentatifs du parc de chaufferies françaises existantes. Ces études ont été réalisées en exploitant notamment les informations relatives à la conception, à la construction et à l'exploitation des sites. Ces données une fois regroupées ont permises de proposer la solution technico-économique la plus adaptée à chaque site, pour répondre aux exigences de la réglementation de 2018 relative aux émissions de particules tout en anticipant la future réglementation européenne de 2025.

Pour chaque site étudié sont détaillés :

- Les solutions techniques envisageables et leurs contraintes de mise en œuvre,
- Une estimation des investissements relatifs aux dispositifs de filtration des fumées,
- Une analyse économique de l'impact des solutions sur le coût de la chaleur,
- Un bilan environnemental lié au traitement des fumées,
- Une préconisation de solution à retenir entre les solutions envisageables.

### 4.1. Détermination des Valeurs Limites d'Emissions de particules

La valeur limite d'émission applicable à une installation peut être définie à plusieurs échelles :

- Locale (Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA)),
- Nationale (ICPE),
- Européenne (Directive Européenne en cours de discussion).

La réglementation est amenée à évoluer à plusieurs niveaux, plusieurs PPA sont en cours de révision, l'AM 13 août 2013 modifie la VLE applicable aux installations existantes avec une application au 01 janvier 2018 et un projet de directive européenne est en cours de discussion avec une application prévisionnelle à l'horizon 2025.

Ces trois évolutions réglementaires abaisseront successivement les valeurs d'émissions de particules des installations de combustion biomasse. Dans le cadre de la réflexion pour la mise aux normes, il est donc important d'anticiper, dans la mesure du possible, les évolutions futures des valeurs limites d'émission.

En réalisant des améliorations sur son installation, dans le but d'abaisser les émissions de particules en dessous des seuils les plus contraignants connus à ce jour, l'objectif est de limiter, d'une part, le nombre d'interventions sur l'installation, et d'autre part, le coût global.

Le tableau ci-dessous récapitule les valeurs limites d'émission à considérer en fonction de la puissance de l'installation et de la réglementation applicable.

Puissance de l'installation (MW)		1 < P < 2	2 < P < 5	5 < P < 20
VLE particules fines en mg/Nm <sup>3</sup> à 6 % d'O <sub>2</sub>	Réglementation ICPE (2018)	-	50	
	Réglementation Européenne (2025)	45		30
	Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA)	-	45* / 50**	
	<b>Bilan</b>	<b>45</b>		<b>30</b>

Tableau 3 - Détermination de la VLE applicable

\* PPA Ile de France et Haute-Normandie / \*\* Autres PPA

## 4.2. Détermination du profil type de la chaufferie

La définition de la valeur limite d'émission de particules constitue le premier pas vers le choix de solutions à mettre en œuvre pour le respect des futures valeurs limites d'émission. La définition de la solution technique doit aussi intégrer la place disponible pour la mise en place d'un système de traitement de fumées. La puissance de l'installation est un critère intégrant surtout dans la définition de la VLE et permet d'évaluer les coûts d'investissement et d'exploitation. Ce critère n'intervient pas dans la définition du profil. Le diagramme ci-dessous permet la définition du profil et des solutions selon la configuration de l'installation :

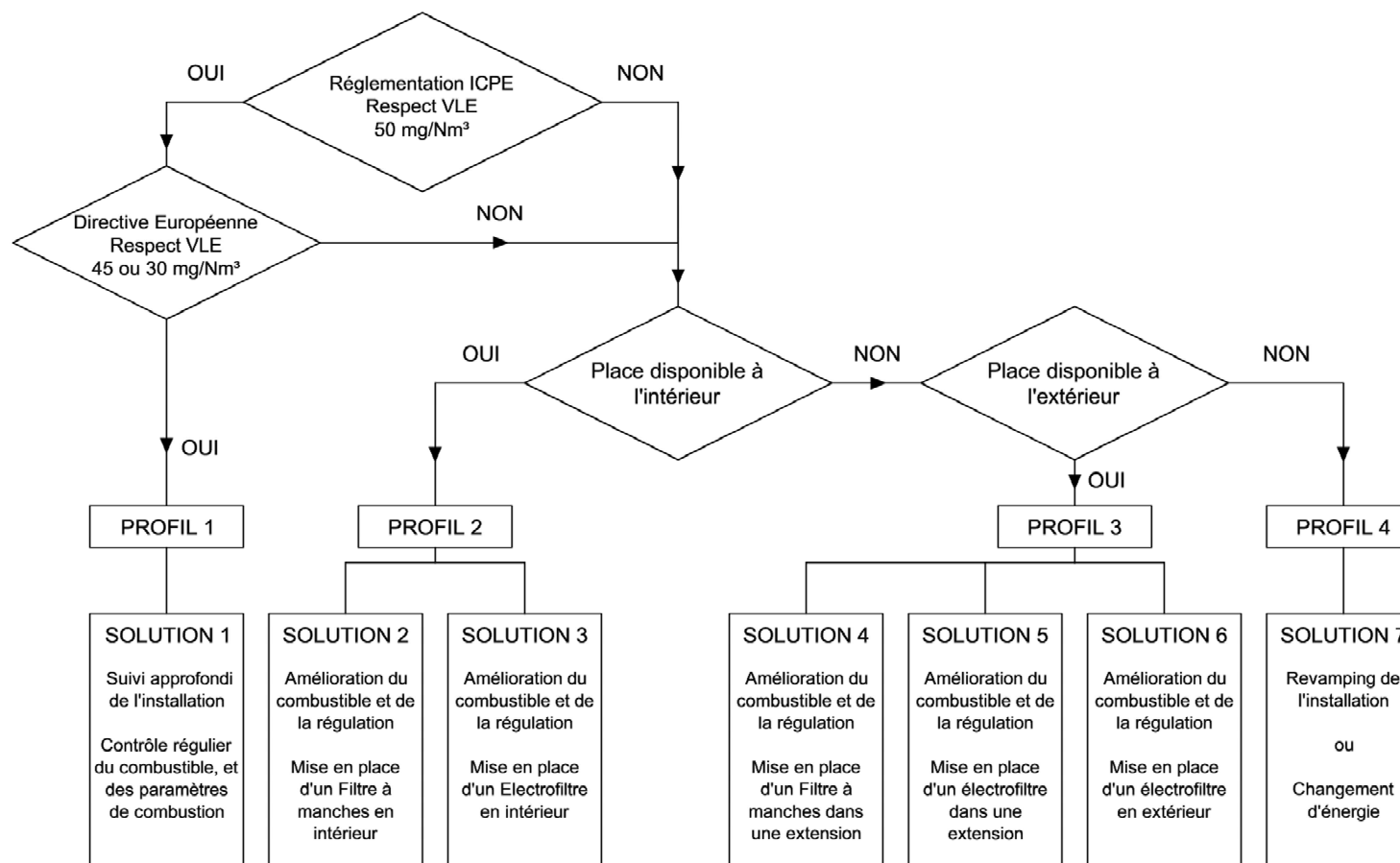


Figure 3 : Diagramme de définition des profils et des solutions

Du diagramme de définition des profils et des solutions découle un ensemble de quatre profils regroupant sept solutions techniques :

**PROFIL 1 :** Chaufferie respectant les valeurs limites d'émissions :

- **Solution 1 :** Aucune intervention à prévoir, les émissions de particules actuelles en sortie de chaufferie sont inférieures aux valeurs limites d'émissions de particules à venir, une veille sur la qualité du combustible ainsi que sur les paramètres de combustion est à assurer.

**PROFIL 2 :** Chaufferie ne respectant pas les VLE, avec de la place disponible en chaufferie pour la mise en place d'un traitement de fumées :

- **Solution 2 :** La solution consiste à la mise en place d'un système de traitement de fumées de type filtre à manches à l'intérieur de la chaufferie, ainsi qu'une amélioration de la qualité du combustible et de la combustion.
- **Solution 3 :** La solution consiste à la mise en place d'un système de traitement de fumées de type électrofiltre à l'intérieur de la chaufferie, ainsi qu'une amélioration de la qualité du combustible et de la combustion.

**PROFIL 3 :** Chaufferie ne respectant pas les VLE, sans place disponible à l'intérieur de la chaufferie, mais place disponible à l'extérieur de la chaufferie pour la mise en place d'un traitement de fumées :

- **Solution 4 :** La solution consiste à la mise en place d'un système de traitement de fumées de type filtre à manches dans une extension à la chaufferie existante, ainsi qu'une amélioration de la qualité du combustible et de la combustion.
- **Solution 5 :** La solution consiste à la mise en place d'un système de traitement de fumées de type électrofiltre dans une extension à la chaufferie existante, ainsi qu'une amélioration de la qualité du combustible et de la combustion.
- **Solution 6 :** La solution consiste à la mise en place d'un système de traitement de fumées de type électrofiltre à l'extérieur de la chaufferie existante, ainsi qu'une amélioration de la qualité du combustible et de la combustion.

**PROFIL 4 :** Chaufferie ne respectant pas les VLE, sans place disponible en chaufferie, et sans place disponible à l'extérieur de la chaufferie :

- **Solution 7 :** Les contraintes d'implantation en l'état actuel de l'installation ne permettent pas d'envisager l'implantation d'un système de traitement des fumées. Une rénovation complète de l'installation est à envisager. Un changement d'énergie ou un déclassement de la chaufferie peut également être envisagé.

Ces quatre profils ont été définis en fonction de paramètres influant le choix technologique et structurel de l'amélioration à mettre en place. La puissance de la chaudière biomasse n'étant pas un paramètre clé dans le choix du système de filtration, celui-ci n'apparaît pas dans la définition des profils ci-dessus. Par contre, la puissance de l'installation est un paramètre économique important quant à la définition des montants d'investissement et des coûts d'exploitation.

## 5. Description des solutions

Dans cette partie seront détaillées les solutions techniques de réduction des émissions de particules, ainsi que les contraintes liées à leurs mises en place.

Les solutions ont été répertoriées sous deux catégories, les solutions de réduction primaire permettant de réduire les particules fines en sortie de chaudière et les solutions de réduction secondaire permettant d'épurer les fumées par traitement de fumées.

### 5.1. Solutions de réduction primaire

#### 5.1.1. Amélioration de la qualité du combustible

**Solutions concernées :** Solution 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7

La qualité du combustible est un paramètre qui influence les émissions de particules. Il est important de veiller à ce que le combustible possède les caractéristiques souhaitées. Le cas échéant, une amélioration de la qualité du combustible s'impose.

L'amélioration de la qualité du combustible consiste à :




- Réduire le taux de fines du combustible,
- Assurer un approvisionnement constant en humidité et granulométrie,
- Réduire le taux de matières minérales du combustible (écorces, souches, corps étrangers).

Néanmoins, dans le cadre de la démarche d'amélioration de la qualité du combustible, les contraintes suivantes peuvent être rencontrées :

- Les contrats d'approvisionnements les plus anciens ne font pas référence à une caractérisation précise du combustible suivant la normalisation (EN 14961) ou ont été établis avant la publication de la norme,
- Certains contrats d'approvisionnement ont été établis pour des périodes longues (ex. durée d'une délégation de service public),
- Certains fournisseurs, selon la filière de mobilisation du combustible, ne sont pas en mesure techniquement d'améliorer la qualité du combustible,
- L'amélioration du combustible peut impliquer une augmentation du prix d'achat.

On notera également l'importance du stockage sur site de l'installation qui peut également limiter la dégradation sur site. A ce titre, le silo doit assurer une protection contre les intempéries et infiltrations d'eau mais également être suffisamment ventilé.

L'analyse de la corrélation qualité de combustible / rejets de particules fines, lors des études de cas a permis d'étayer le lien de cause à effet indéniable, présenté dans le tableau ci-dessous :

		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taux de fines faible,</li> <li>- Calibrage régulier,</li> <li>- Pas d'écorces.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taux de fines faible,</li> <li>- Calibrage irrégulier,</li> <li>- Peu d'écorces.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taux de fines très important,</li> <li>- Taux d'humidité élevé,</li> <li>- Principalement de l'écorce.</li> </ul>
Taux d'émission de particules en sortie de chaufferie* (à 6 % d'O <sub>2</sub> ) :		
≈ 100 mg/Nm <sup>3</sup>	≈ 100 mg/Nm <sup>3</sup>	≈ 550 mg/Nm <sup>3</sup>

**Tableau 4 : Comparaison qualité combustible / rejets particules fines**

\* Valeur de rejet constaté lors du dernier contrôle périodique, mesures effectués en aval du dépoussiéreur cyclone. Résultats constatés sur des sites différents équipés de technologies de combustion similaires.

### 5.1.2. Amélioration de la combustion

**Solutions concernées :** Solution 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7

La combustion est un point à examiner avec beaucoup d'attention. En effet, la qualité des réglages influe fortement sur le taux de particules émis. Si les techniques et les équipements de régulation ont grandement évolués aux cours des années, les chaudières biomasses les plus anciennes encore en fonctionnement sont équipées de systèmes de régulation moins développés et moins performants que les chaudières commercialisées aujourd'hui. Il est donc envisageable d'apporter aux plus anciennes chaudières des moyens de régulations supplémentaires.

L'âge de la chaudière conditionne énormément sur l'efficacité de ces voies de progrès, les possibilités d'amélioration / optimisation des points suivants sont à étudier au cas par cas :

- L'excès d'air / Taux d'oxygène dans les fumées,
- Les débits et la répartition de l'air primaire et secondaire,
- L'étanchéité du foyer de combustion,
- L'apport de combustible,
- La voûte réfractaire,
- Le ramonage de l'échangeur.

## 5.2. Solutions de réduction secondaire

### 5.2.1. Solution 2 : Filtre à manches à l'intérieur de la chaufferie

La filtration par manches est actuellement la technologie la plus efficace pour la réduction des émissions de particules. Le taux de particule estimé en sortie de chaufferie, pour une installation utilisant du combustible de bonne qualité et possédant un bon réglage de combustion est de l'ordre de 10 à 20 mg/Nm<sup>3</sup> à 6% d'O<sub>2</sub>.

Dans le cadre de la solution 2, il est préconisé la mise en place d'un filtre à manches à l'intérieur de la chaufferie. Avant d'envisager l'intégration de l'équipement à l'intérieur du bâtiment, la faisabilité technique doit être validée, les points de vigilance suivants sont mis en avant :

- Espace (emprise et hauteur) suffisant pour l'équipement, l'accès de maintenance et les équipements périphériques,
- Espace de stockage et d'évacuation des résidus de filtration (cendres volantes),
- Accès suffisant pour la mise en place de l'équipement (toiture démontable, mur fusible, etc.),
- Capacité du génie civil d'accepter la descente de charge,
- Alimentation électrique disponible sur site.

La mise en place d'un filtre à manches implique la réalisation des travaux suivants :

- Adaptation du génie civil (ouverture / fermeture pour accès, socle),
- Mise en place du filtre à manches et accessoires (stockage des cendres, compresseurs d'air, armoire électrique,...),
- Remplacement du ventilateur d'extraction des fumées,
- Réalisation de carreaux de fumées (raccordements, by-pass filtre, silencieux,...),
- Raccordements électriques et divers, asservissement avec chaudière.

Le graphique ci-dessous donne l'encombrement, en fonction de puissance de la chaudière bois, (emprise au sol) d'un filtre à manches, y compris les accès de maintenance :

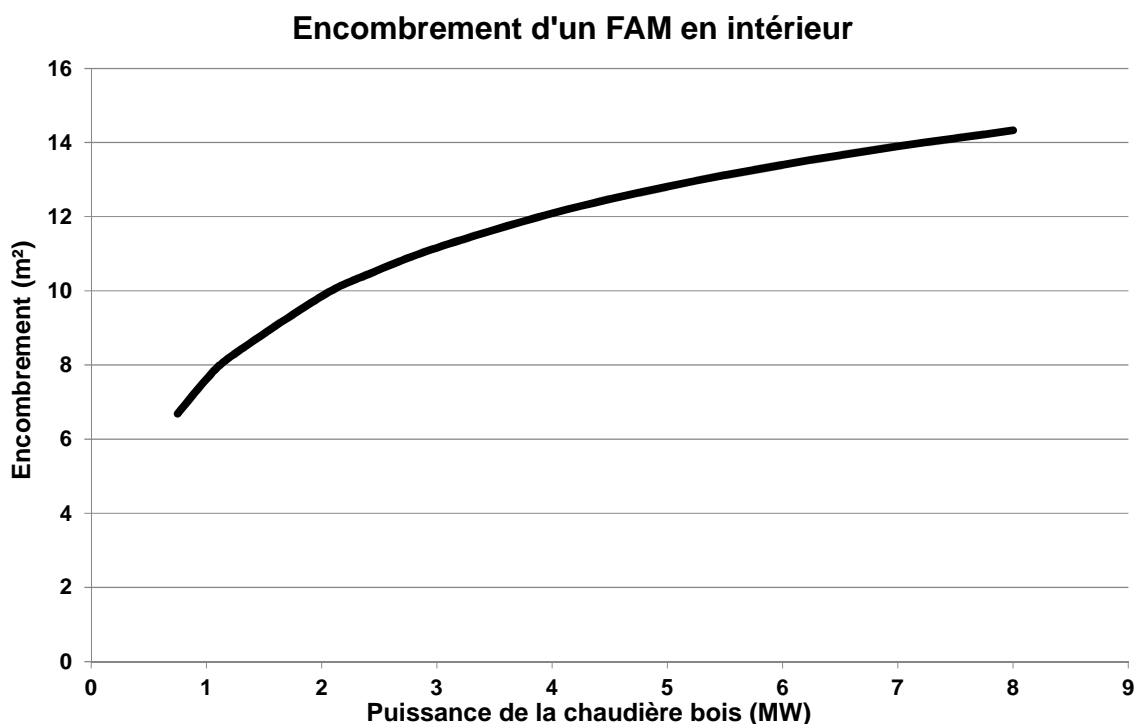


Figure 4 : Graphique encombrement FAM en intérieur



### 5.2.2. Solution 3 : Electrofiltre à l'intérieur de la chaufferie

La filtration par électrofiltre est actuellement une technologie efficace, présentant un rapport performance / contraintes d'exploitation intéressant. Le taux de particule estimé en sortie de chaufferie, et pour une installation utilisant du combustible de bonne qualité et possédant un bon réglage de combustion est de l'ordre de 30 à 50 mg/Nm<sup>3</sup> à 6% d'O<sub>2</sub>.

Dans le cadre de la solution 3, il est préconisé la mise en place d'un électrofiltre à l'intérieur de la chaufferie. Avant d'envisager l'intégration de l'équipement en intérieur du bâtiment, la faisabilité technique doit être validée, les points de vigilance suivants sont mis en avant :

- Espace (emprise et hauteur) suffisant pour l'équipement, l'accès de maintenance et les équipements périphériques,
- Espace de stockage et d'évacuation des résidus de filtration (cendres volantes),
- Accès suffisant pour la mise en place de l'équipement (toiture démontable, mur fusible, etc.),
- Capacité du génie civil d'accepter la descente de charge,
- Alimentation électrique disponible sur site.

La mise en place d'un électrofiltre implique la réalisation des travaux suivants :

- Adaptation du génie civil (ouverture / fermeture pour accès, socle),
- Mise en place de l'électrofiltre et accessoires (stockage des cendres, armoire électrique,...),
- Réalisation de carreaux de fumées (raccordements),
- Raccordements électriques et divers, asservissement avec chaudière.

Le graphique ci-dessous donne l'encombrement, en fonction de puissance de la chaudière bois, (emprise au sol) d'un électrofiltre :

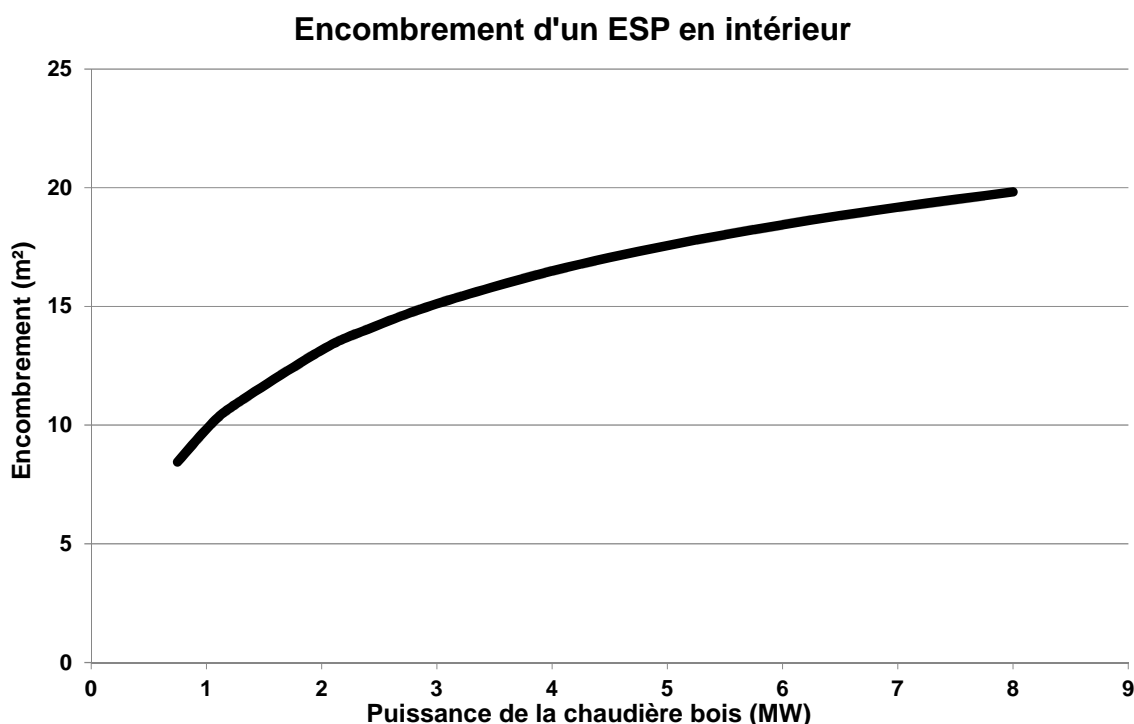


Figure 5 : Graphique encombrement ESP en intérieur



### 5.2.3. Solution 4 : Filtre à manches dans une extension à la chaufferie

Dans le cadre de la solution 4, au regard de l'absence de place disponible à l'intérieur de la chaufferie il est préconisé la mise en place d'un filtre à manches dans une extension à la chaufferie existante. Avant d'envisager cette solution, la faisabilité technique doit être validée, les points de vigilance suivants sont mis en avant :

- Foncier disponible pour la construction de l'extension,
- Compatibilité administrative avec le projet (PLU),
- Adéquation avec les équipements existants (emplacement cheminée, maintien accès, etc.),
- Alimentation électrique disponible sur site.

La mise en place d'un filtre à manches dans une extension au bâtiment implique la réalisation des travaux suivants :

- Construction de l'extension (terrassements, génie-civil, couverture, etc.),
- Mise en place du filtre à manches et accessoires (stockage des cendres, compresseurs d'air, armoire électrique,...),
- Remplacement du ventilateur d'extraction des fumées,
- Réalisation de carnaux de fumées (raccordements, by-pass filtre, silencieux,...),
- Raccordements électriques et divers, asservissement avec chaudière.

Le graphique ci-dessous donne l'encombrement, en fonction de puissance de la chaudière bois, (emprise au sol) de l'extension nécessaire pour accueillir un filtre à manches :

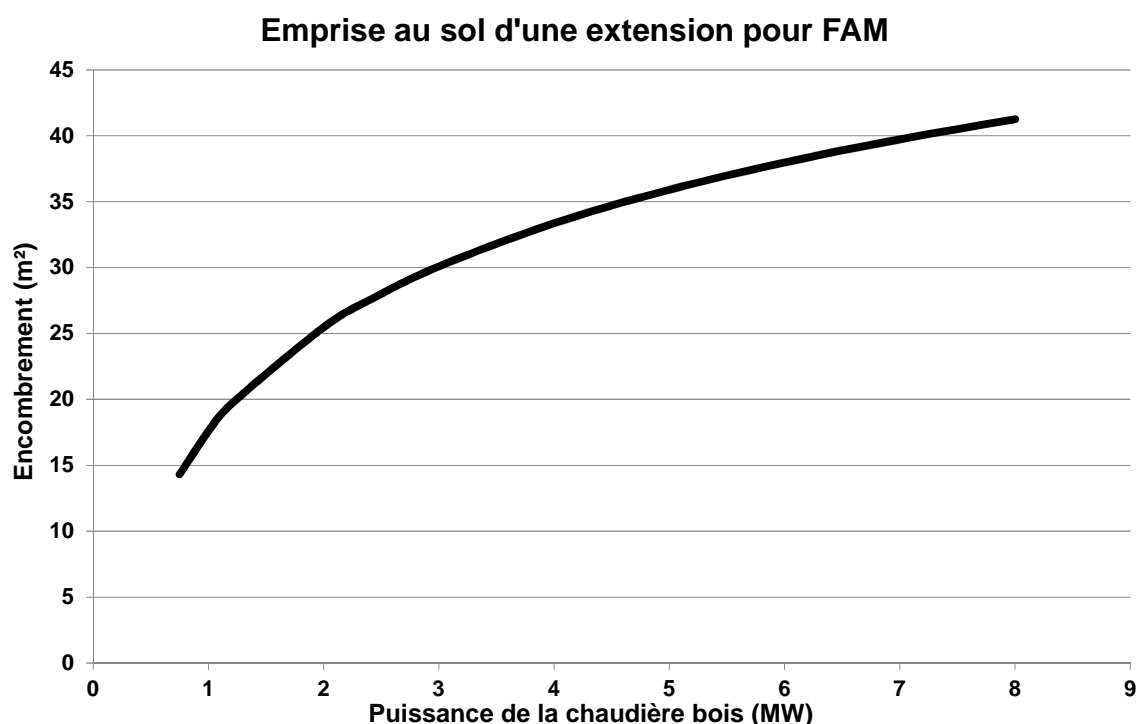


Figure 6 : Graphique emprise au sol de l'extension pour FAM

### 5.2.4. Solution 5 : Electrofiltre dans une extension à la chaufferie

Dans le cadre de la solution 5, au regard de l'absence de place disponible à l'intérieur de la chaufferie il est préconisé la mise en place d'un électrofiltre dans une extension à la chaufferie existante. Avant d'envisager cette solution, la faisabilité technique doit être validée, les points de vigilance suivants sont mis en avant :

- Foncier disponible pour la construction de l'extension,
- Compatibilité administrative avec le projet (PLU),
- Adéquation avec les équipements existants (emplacement cheminée, maintien accès, etc.),
- Alimentation électrique disponible sur site.

La mise en place d'un électrofiltre implique la réalisation des travaux suivants :

- Construction de l'extension (terrassements, génie-civil, couverture, etc.),
- Mise en place de l'électrofiltre et accessoires (stockage des cendres, armoire électrique,...),
- Réalisation de carnaux de fumées (raccordements),
- Raccordements électriques et divers, asservissement avec chaudière.

Le graphique ci-dessous donne l'encombrement, en fonction de puissance de la chaudière bois, (emprise au sol) de l'extension nécessaire pour accueillir un électrofiltre :

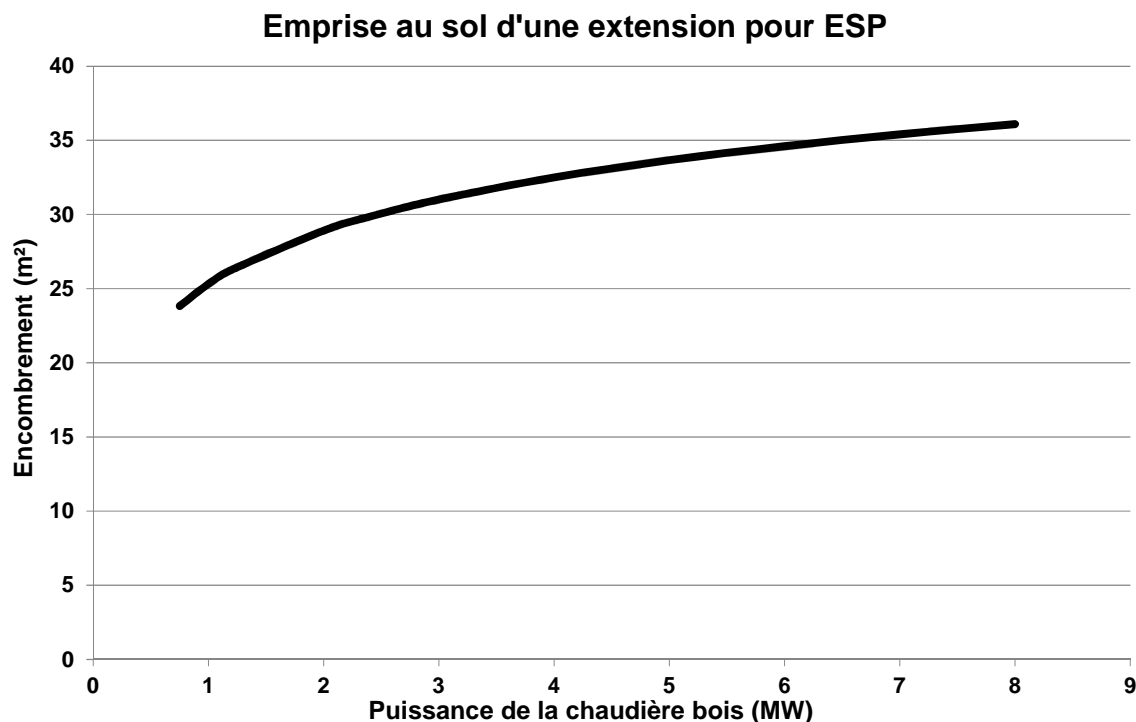


Figure 7 : Graphique emprise au sol de l'extension pour ESP

### 5.2.5. Solution 6 : Electrofiltre à l'extérieur

Dans le cadre de la solution 6, au regard de l'absence de place disponible à l'intérieur de la chaufferie et lorsque l'environnement de la chaufferie le permet, il est préconisé la mise en place d'un électrofiltre en extérieur. Avant d'envisager cette solution, la faisabilité technique doit être validée, les points de vigilance suivants sont mis en avant :

- Foncier disponible pour l'implantation,
- Compatibilité administrative avec le projet (PLU, nuisances sonores),
- Adéquation avec les équipements existants (emplacement cheminée, maintien accès, etc.),
- Alimentation électrique disponible sur site.

La mise en place d'un électrofiltre implique la réalisation des travaux suivants :

- Mise en place d'une dalle (terrassements, génie-civil),
- Mise en place de l'électrofiltre et accessoires (stockage des cendres, armoire électrique,...),
- Réalisation de carreaux de fumées (raccordements),
- Raccordements électriques et divers, asservissement avec chaudière.

Le graphique ci-dessous donne l'emprise, en fonction de puissance de la chaudière bois, au sol d'un électrofiltre en extérieur :

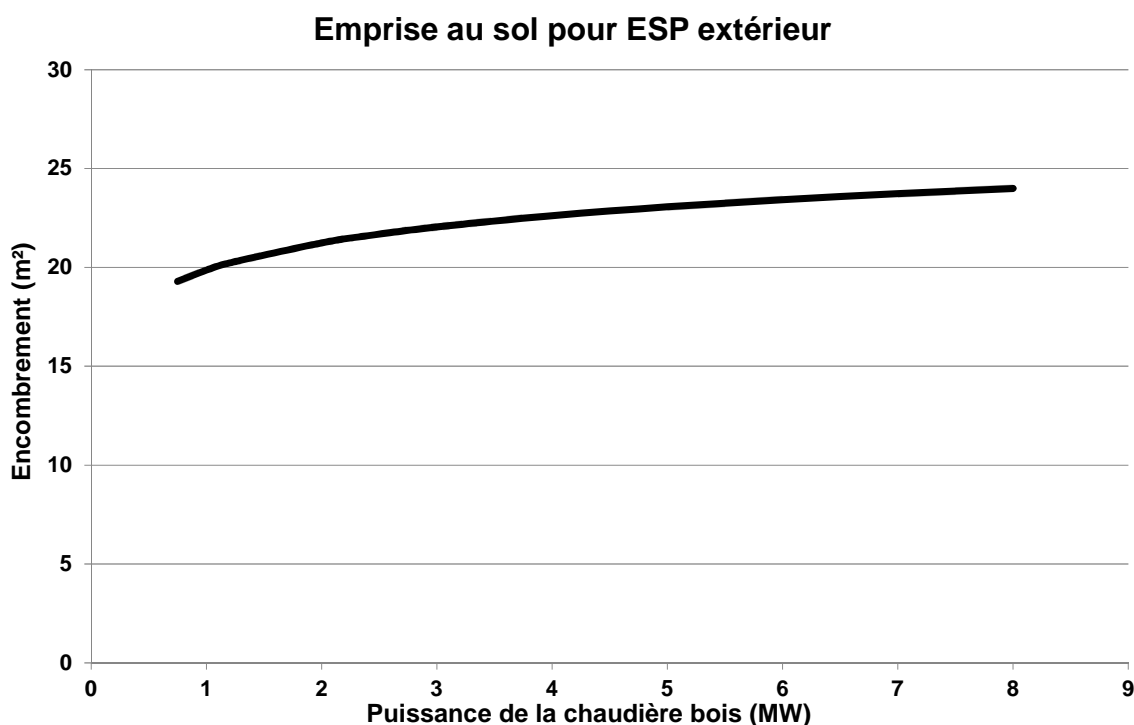


Figure 8 : Graphique emprise au sol d'un ESP extérieur

### **5.2.6. Focus sur les contraintes d'études techniques et les contraintes administratives**

La mise en place d'une solution de réduction secondaire des particules fines consiste à la mise en place d'un traitement de fumées sur une installation existante. Cette intervention est lourde et nécessite la prise en compte d'un certain nombre de contraintes techniques et administratives.

D'un point de vue administratif et réglementaire, les contraintes suivantes sont à intégrer :

- Réglementations applicables aux chaufferies et aux installations classées pour l'environnement (implantation, degrés coupe-feu, émergences sonores, etc.),
- Règlements d'urbanisme (PLU).

Dans ce cadre, il est préconisé de mener les études suivantes :

- Etudes géotechnique en cas d'extension, ou étude structurelle en cas d'utilisation d'un bâtiment existant,
- Etude acoustique permettant de réaliser une extension limitant les émissions sonores du système de filtration en extérieur,
- Etudes de maîtrise d'œuvre, établissement d'une déclaration de travaux ou permis de construire.

### **5.3. Revamping de l'installation / changement d'énergie**

Si les actions d'amélioration du combustible et de la régulation de la chaudière biomasse ne permettent pas un abaissement suffisant des émissions de particules, et si la place disponible en chaufferie et en extérieur ne permet pas l'installation d'un système de traitement de fumées, il doit alors être envisagé une des solutions suivantes :

- Revamping de l'installation,
- Déclassement de l'installation,
- Changement d'énergie.

Ces solutions ne doivent être envisagées uniquement si aucunes des autres solutions ne permettent une mise en conformité de l'installation vis-à-vis des futures seuils d'émissions de particules.

#### **5.3.1. Revamping de l'installation**

Le revamping de l'installation consistera au réaménagement complet de la chaufferie afin de permettre le respect des contraintes réglementaires.

Cette solution s'étudiera au cas par cas pour trouver une solution permettant notamment l'intégration d'un dispositif de traitement secondaire. Outre la mise en place d'un traitement de fumées cette solution peut comprendre :

- Le remplacement et/ou modification de la chaudière bois et périphériques,
- La modification du génie-civil de l'installation.

#### **5.3.2. Déclassement de l'installation**

Le déclassement de l'installation consistera à brider la puissance de l'installation en-deça du seuil de classement afin de soustraire celle-ci des contraintes réglementaires sur les valeurs limites d'émission. Cette solution ne pourra être envisagée que pour les installations de faible puissance.

### 5.3.3. Changement d'énergie

La solution de changement d'énergie consistera, soit à substituer le combustible biomasse par un combustible moins générateur de particules (type granulés par exemple, sous réserve de faisabilité technique), soit le remplacement de la biomasse par un combustible fossile (type gaz naturel).

## 6. Bilan économique

Dans cette partie seront détaillés les impacts financiers liés à la mise en place de solution de réduction secondaire de type traitement de fumées.

Le bilan économique de la mise en place d'une solution de réduction secondaire intègre d'une part, l'investissement nécessaire à la mise en place de l'équipement et d'autre part, les (sur)coûts d'exploitation liés à l'équipement.

L'analyse économique s'établit en coût global, intégrant les coûts d'exploitation et financement des investissements, cette analyse se décompose alors de la façon suivante :

- Poste **P1'** : (Sur)-consommation d'électricité lié à l'équipement,
- Poste **P2** : Conduit et maintenance de l'équipement,
- Poste **P3** : Gros entretien et renouvellement,
- Poste **P4** : Le financement des investissements.

L'établissement du poste P4 est basé sur un financement de type prêt bancaire sur une durée de 15 ans à un taux fixe de 4%.

## 6.1. Evaluation économique des solutions

### 6.1.1. Solution 2 : Filtre à manches à l'intérieur de la chaufferie

#### 6.1.1.1. Solution 2 : Investissement

Le tableau ci-dessous indique les montants d'investissement poste par poste pour la solution 2, mise en place d'un filtre à manches à l'intérieur de la chaufferie :

Investissement (€ HT)	Solution 2 : FAM Intérieur			
	1 MW	3 MW	6 MW	8 MW
Puissance chaudière	1 MW	3 MW	6 MW	8 MW
Filtre	72 K€	98 K€	114 K€	120 K€
Autres équipements	44 K€	69 K€	84 K€	90 K€
Frais d'étude	12 K€	16 K€	18 K€	19 K€
<b>Total</b>	<b>128 K€</b>	<b>183 K€</b>	<b>216 K€</b>	<b>229 K€</b>

Tableau 5 : Investissement solution 2

Le graphique ci-dessous montre l'évolution du montant de l'investissement global en fonction de la puissance de la chaudière bois pour la solution 2 :

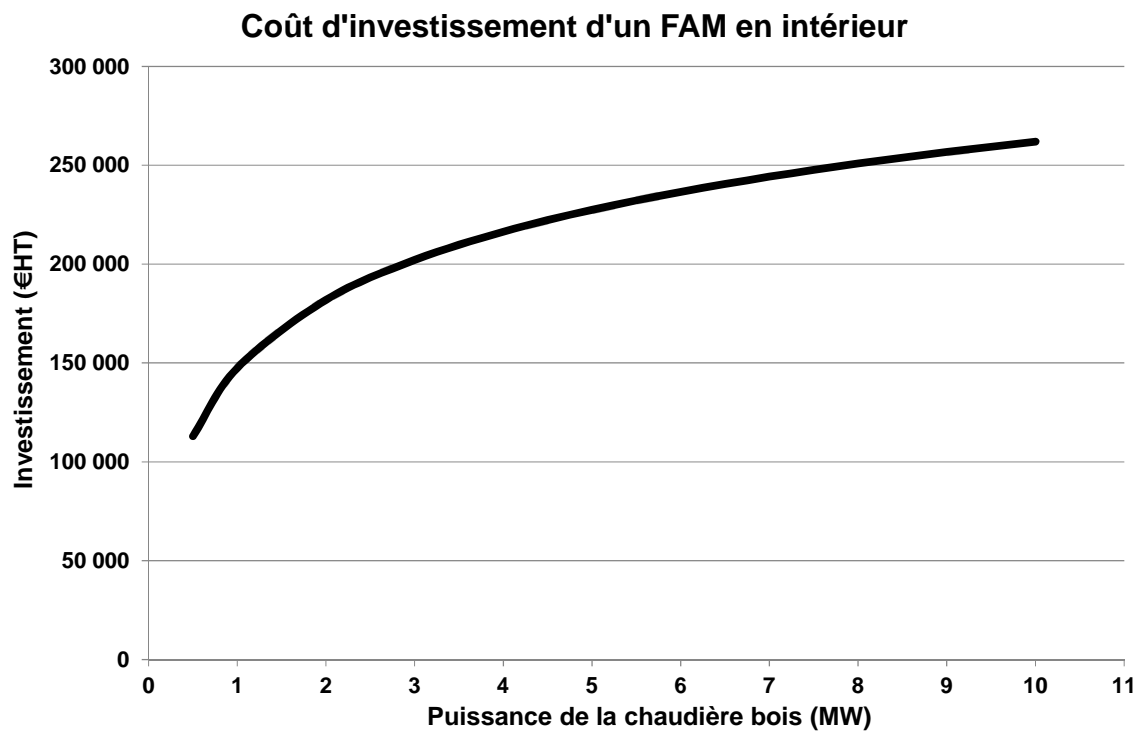


Figure 9 : Graphique investissement solution 2

### 6.1.1.2. Solution 2 : Coût global d'exploitation

Le tableau ci-dessous indique les coûts d'exploitation poste par poste et de financement annuels pour la solution 2, mise en place d'un filtre à manches à l'intérieur de la chaufferie :

Exploitation	Solution 2 : FAM Intérieur			
	1 MW	3 MW	6 MW	8 MW
Puissance chaudière	1 MW	3 MW	6 MW	8 MW
P1'	1,8 K€	4,6 K€	6,4 K€	7,2 K€
P2	3,6 K€	9,2 K€	12,7 K€	14,2 K€
P3	1,1 K€	3,0 K€	4,2 K€	4,7 K€
P4	12,4 K€	19,4 K€	23,8 K€	25,7 K€
<b>Total</b>	<b>19 K€</b>	<b>36 K€</b>	<b>47 K€</b>	<b>52 K€</b>

Tableau 6 : Coût d'exploitation solution 2

Le graphique ci-dessous montre l'évolution du coût d'exploitation et de financement en fonction de la puissance de la chaudière bois, pour la solution 2 :

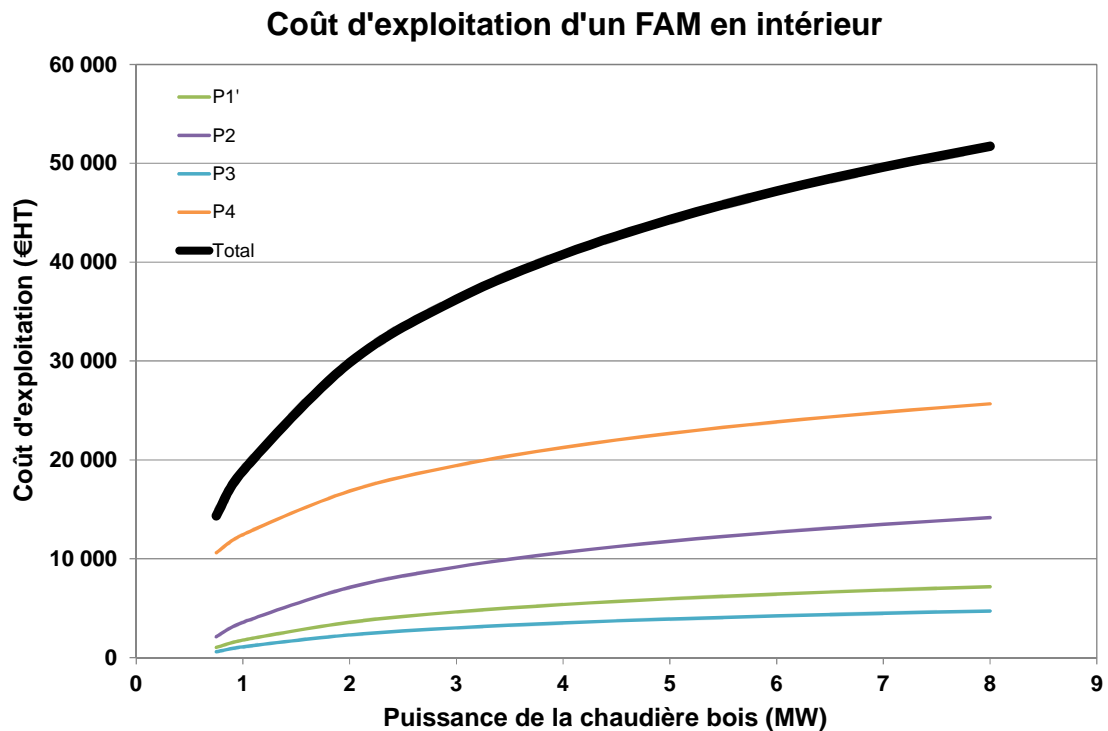


Figure 10 : Graphique coûts d'exploitation solution 2



### 6.1.1. Solution 3 : Electrofiltre à l'intérieur de la chaufferie

#### 6.1.1.1. Solution 3 : Investissement

Le tableau ci-dessous indique les montants d'investissement poste par poste pour la solution 3, mise en place d'un électrofiltre à l'intérieur de la chaufferie :

Investissement	Solution 3 : ESP Intérieur			
	1 MW	3 MW	6 MW	8 MW
Puissance chaudière	1 MW	3 MW	6 MW	8 MW
Filtre	93 K€	125 K€	145 K€	153 K€
Autres équipements	36 K€	55 K€	67 K€	72 K€
Frais d'étude	13 K€	18 K€	21 K€	65 K€
<b>Total</b>	<b>142 K€</b>	<b>198 K€</b>	<b>233 K€</b>	<b>290 K€</b>

Tableau 7 : Investissement solution 3

Le graphique ci-dessous montre l'évolution du montant de l'investissement global en fonction de la puissance de la chaudière bois pour la solution 3 :

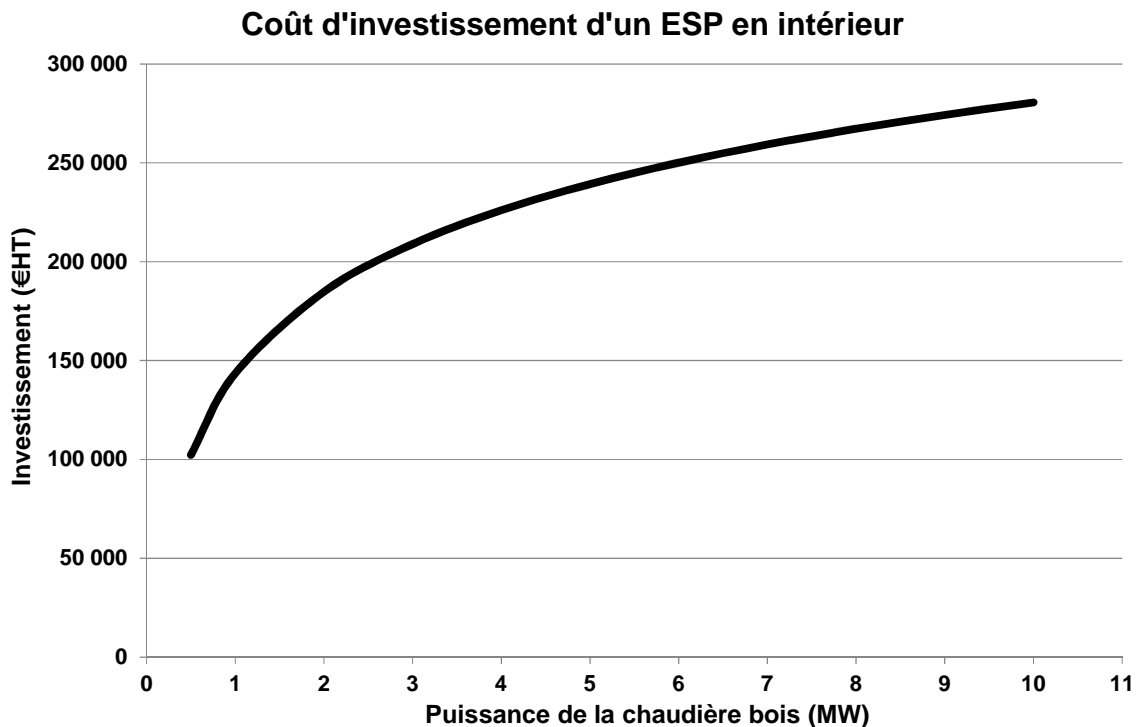


Figure 11 : Graphique investissement solution 3

### 6.1.1.2. Solution 3 : Coût global d'exploitation

Le tableau ci-dessous indique les coûts d'exploitation poste par poste et de financement annuels pour la solution 3, mise en place d'un électrofiltre à l'intérieur de la chaufferie :

Exploitation	Solution 3 : ESP Intérieur			
	1 MW	3 MW	6 MW	8 MW
Puissance chaudière	1 MW	3 MW	6 MW	8 MW
P1'	1,6 K€	4,1 K€	5,7 K€	6,4 K€
P2	1,6 K€	3,7 K€	5,1 K€	5,7 K€
P3	1,0 K€	2,5 K€	3,4 K€	3,8 K€
P4	12,9 K€	18,5 K€	22,0 K€	23,5 K€
<b>Total</b>	<b>17 K€</b>	<b>29 K€</b>	<b>36 K€</b>	<b>39 K€</b>

Tableau 8 : Coût d'exploitation solution 3

Le graphique ci-dessous montre l'évolution du coût d'exploitation et de financement en fonction de la puissance de la chaudière bois, pour la solution 3 :

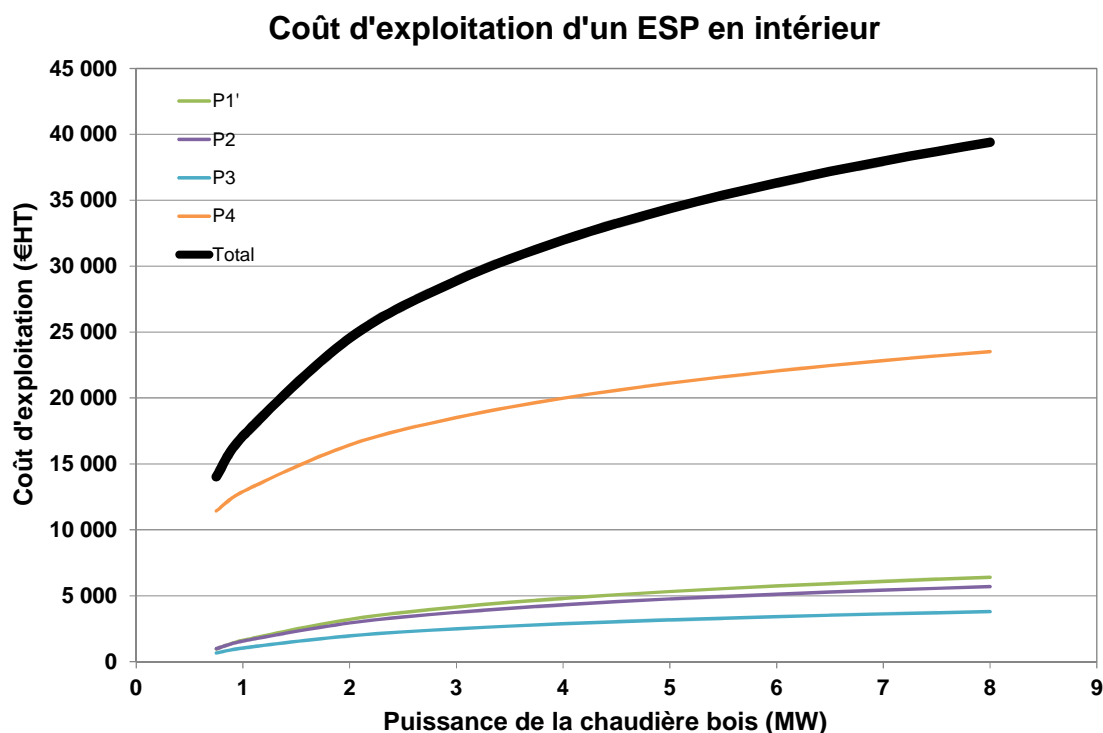


Figure 12 : Graphique coûts d'exploitation solution 3

## 6.1.2. Solution 4 : Filtre à manches dans une extension à la chaufferie

### 6.1.2.1. Solution 4 : Investissement

Le tableau ci-dessous indique les montants d'investissement poste par poste pour la solution 4, mise en place d'un filtre à manches dans une extension à la chaufferie :

Investissement	Solution 4 : FAM Extension			
	1 MW	3 MW	6 MW	8 MW
Puissance chaudière	1 MW	3 MW	6 MW	8 MW
Filtre	72 K€	98 K€	114 K€	120 K€
Autres équipements	44 K€	69 K€	84 K€	90 K€
Génie Civil	45 K€	56 K€	62 K€	65 K€
Frais d'étude	16 K€	21 K€	24 K€	26 K€
<b>Total</b>	<b>177 K€</b>	<b>244 K€</b>	<b>284 K€</b>	<b>301 K€</b>

Tableau 9 : Investissement solution 4

Le graphique ci-dessous montre l'évolution du montant de l'investissement global en fonction de la puissance de la chaudière bois pour la solution 4 :

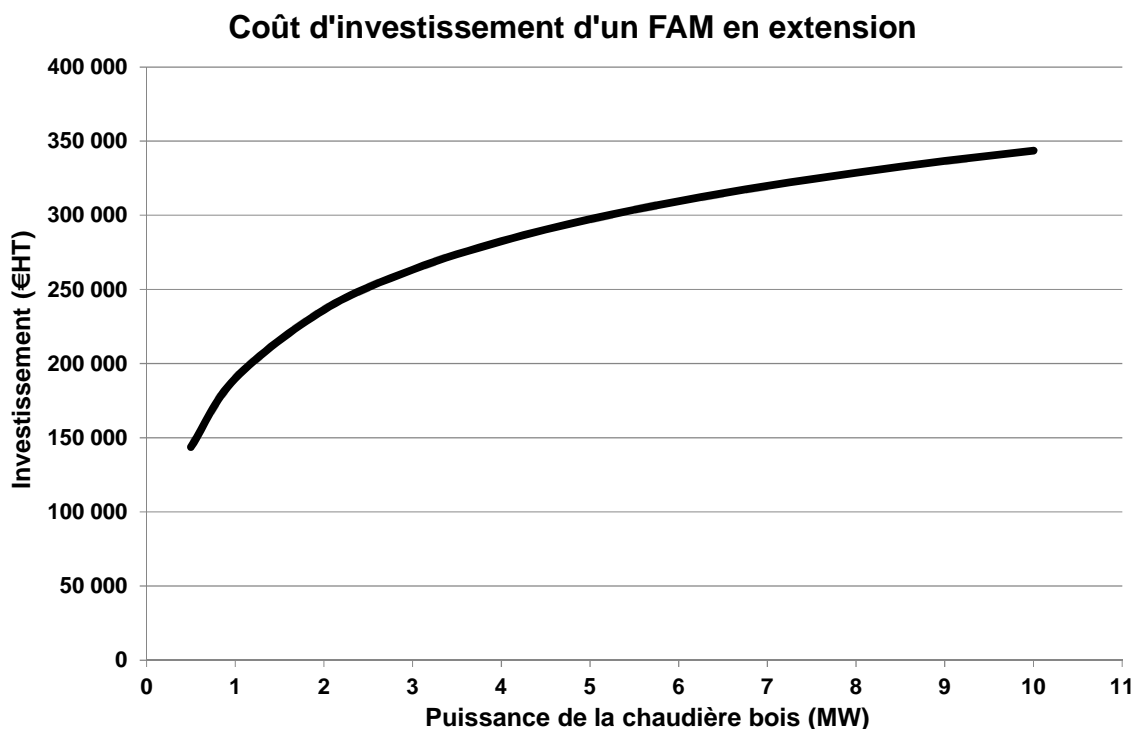


Figure 13 : Graphique investissement solution 4

### 6.1.2.2. Solution 4 : Coût global d'exploitation

Le tableau ci-dessous indique les coûts d'exploitation poste par poste et de financement annuels pour la solution 4, mise en place d'un filtre à manches dans une extension à la chaufferie :

Exploitation	Solution 4 : FAM Extension			
	1 MW	3 MW	6 MW	8 MW
Puissance chaudière				
P1'	1,8 K€	4,6 K€	6,4 K€	7,2 K€
P2	3,6 K€	9,2 K€	12,7 K€	14,2 K€
P3	1,1 K€	3,0 K€	4,2 K€	4,7 K€
P4	16,7 K€	24,3 K€	29,2 K€	31,2 K€
<b>Total</b>	<b>23 K€</b>	<b>41 K€</b>	<b>53 K€</b>	<b>57 K€</b>

Tableau 10 : Coût d'exploitation solution 4

Le graphique ci-dessous montre l'évolution du coût d'exploitation et de financement en fonction de la puissance de la chaudière bois, pour la solution 4 :

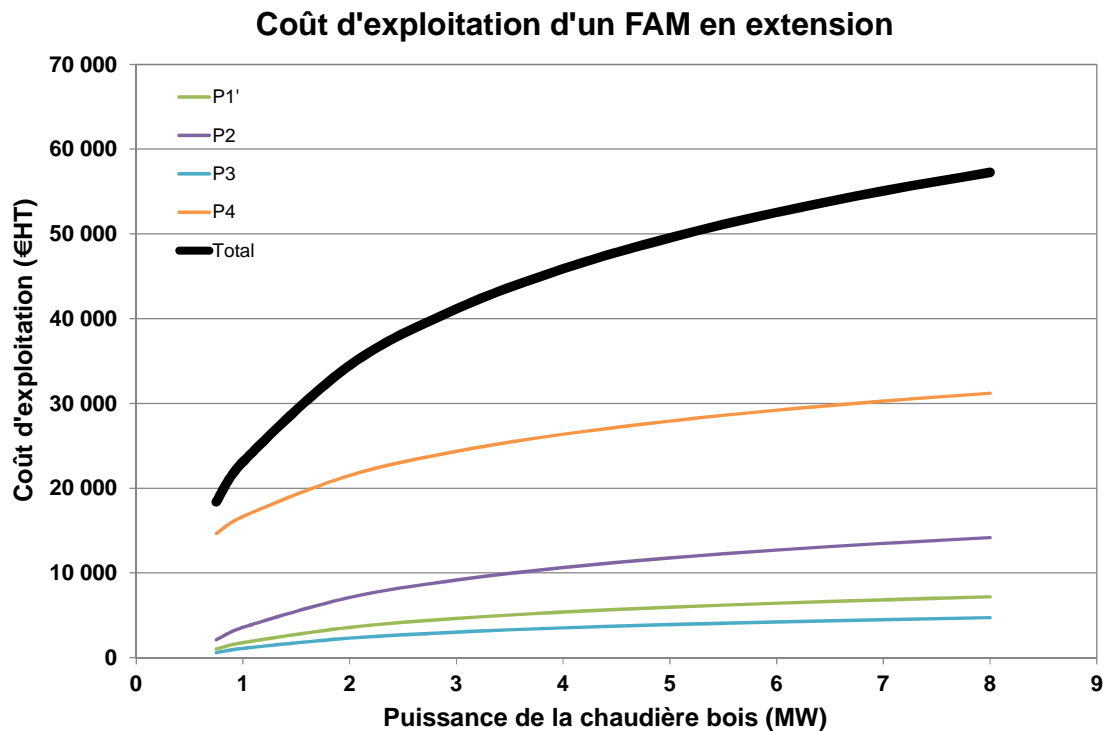


Figure 14 : Graphique coûts d'exploitation solution 4

### 6.1.3. Solution 5 : Electrofiltre dans une extension

#### 6.1.3.1. Solution 5 : Investissement

Le tableau ci-dessous indique les montants d'investissement poste par poste pour la solution 5, mise en place d'un électrofiltre dans une extension à la chaufferie :

Investissement	Solution 5 : ESP Extension			
	1 MW	3 MW	6 MW	8 MW
Puissance chaudière	1 MW	3 MW	6 MW	8 MW
Filtre	93 K€	125 K€	145 K€	153 K€
Autres équipements	36 K€	55 K€	67 K€	72 K€
Génie Civil	49 K€	69 K€	82 K€	87 K€
Frais d'étude	19 K€	24 K€	26 K€	27 K€
<b>Total</b>	<b>197 K€</b>	<b>273 K€</b>	<b>320 K€</b>	<b>339 K€</b>

Tableau 11 : Investissement solution 5

Le graphique ci-dessous montre l'évolution du montant de l'investissement global en fonction de la puissance de la chaudière bois pour la solution 5 :

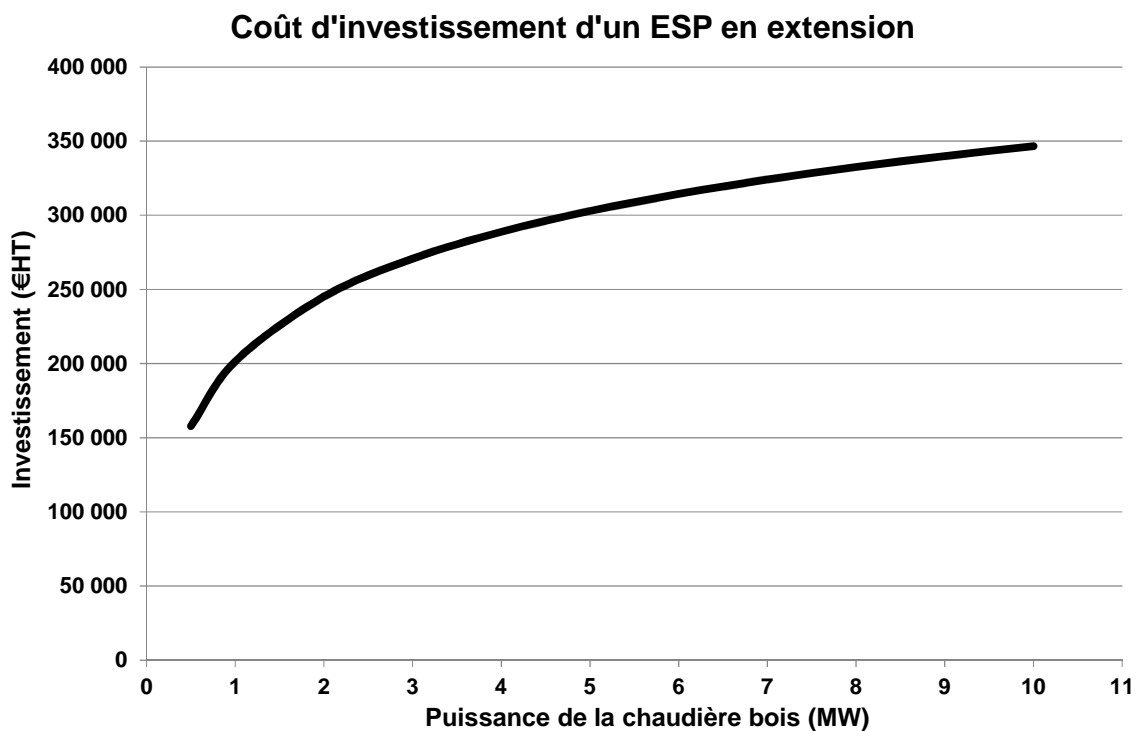


Figure 15 : Graphique investissement solution 5

### 6.1.3.2. Solution 5 : Coût global d'exploitation

Le tableau ci-dessous indique les coûts d'exploitation poste par poste et de financement annuels pour la solution 5, mise en place d'un électrofiltre dans une extension à la chaufferie :

Exploitation	Solution 5 : ESP Extension			
	1 MW	3 MW	6 MW	8 MW
Puissance chaudière	1 MW	3 MW	6 MW	8 MW
P1'	1,6 K€	4,1 K€	5,7 K€	6,4 K€
P2	1,6 K€	3,7 K€	5,1 K€	5,7 K€
P3	1,0 K€	2,5 K€	3,4 K€	3,8 K€
P4	18,0 K€	23,7 K€	27,3 K€	28,8 K€
<b>Total</b>	<b>22 K€</b>	<b>34 K€</b>	<b>42 K€</b>	<b>45 K€</b>

Tableau 12 : Coût d'exploitation solution 5

Le graphique ci-dessous montre l'évolution du coût d'exploitation et de financement en fonction de la puissance de la chaudière bois, pour la solution 5 :

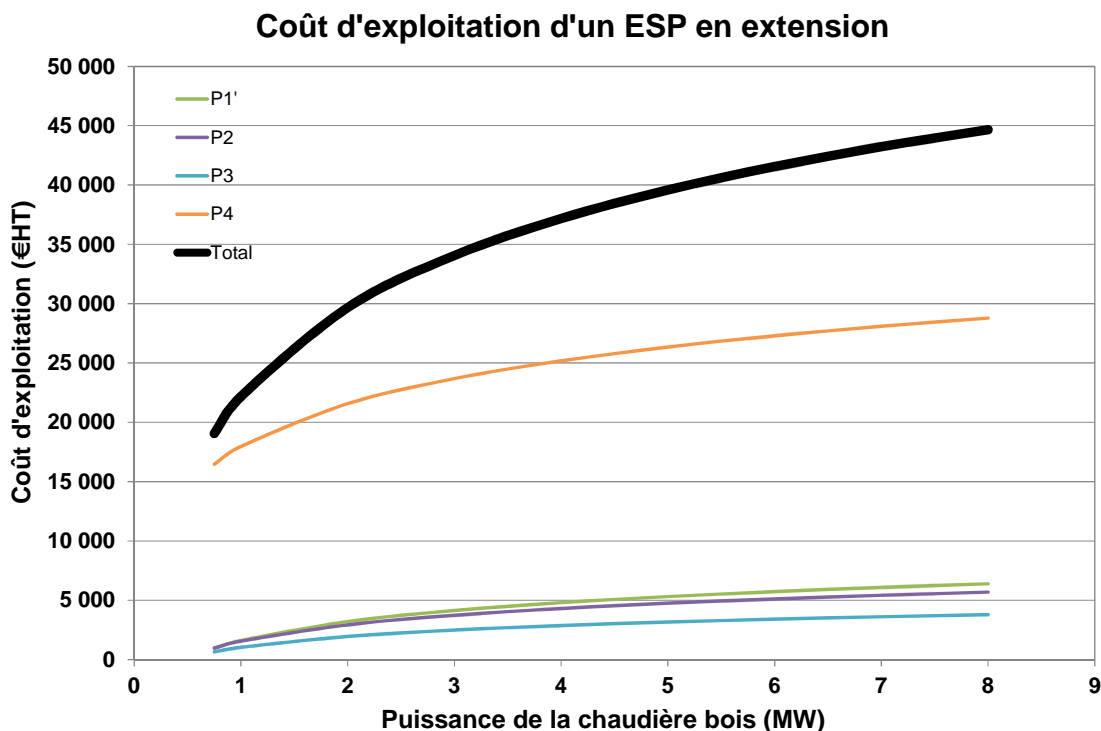


Figure 16 : Graphique coûts d'exploitation solution 5

## 6.1.4. Solution 6 : Electrofiltre à l'extérieur

### 6.1.4.1. Solution 6 : Investissement

Le tableau ci-dessous indique les montants d'investissement poste par poste pour la solution 6, mise en place d'un électrofiltre à l'extérieur de la chaufferie :

Investissement	Solution 6 : ESP Extérieur			
	1 MW	3 MW	6 MW	8 MW
Puissance chaudière	1 MW	3 MW	6 MW	8 MW
Filtre	93 K€	125 K€	145 K€	153 K€
Autres équipements	36 K€	55 K€	67 K€	72 K€
Génie Civil	7 K€	11 K€	14 K€	16 K€
Frais d'étude	14 K€	19 K€	22 K€	23 K€
<b>Total</b>	<b>150 K€</b>	<b>210 K€</b>	<b>248 K€</b>	<b>264 K€</b>

Tableau 13 : Investissement solution 6

Le graphique ci-dessous montre l'évolution du montant de l'investissement global en fonction de la puissance de la chaudière bois pour la solution 6 :

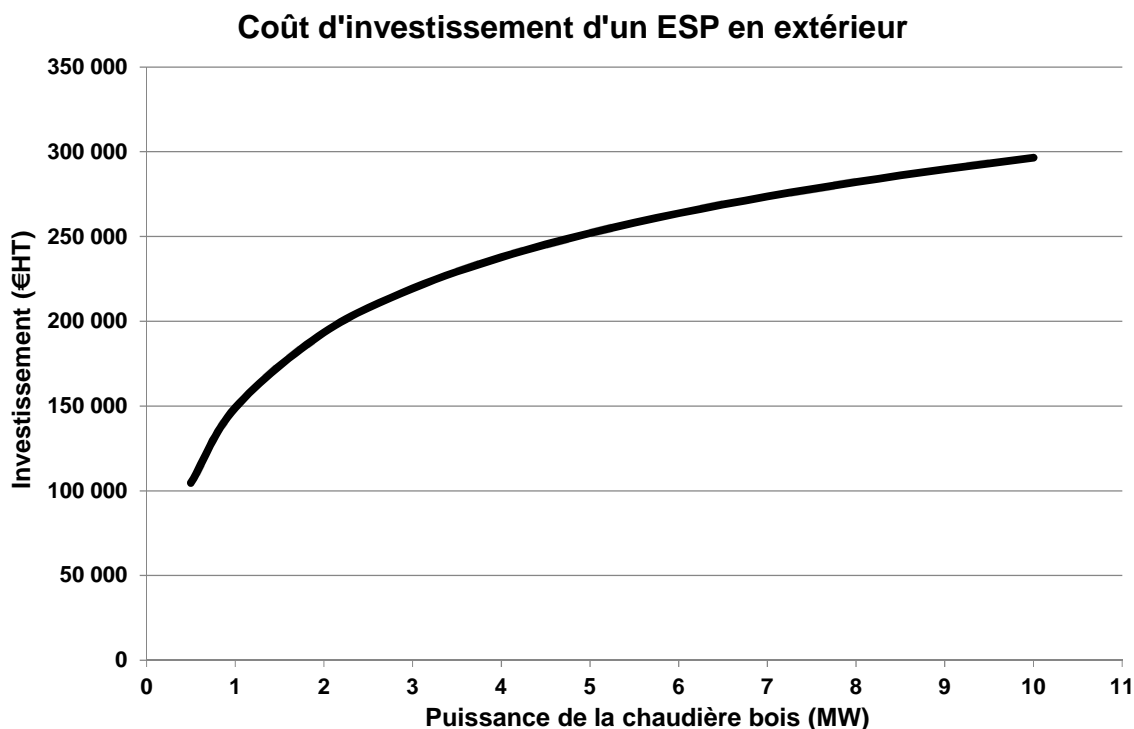


Figure 17 : Graphique investissement solution 6



### 6.1.4.2. Solution 6 : Coût global d'exploitation

Le tableau ci-dessous indique les coûts d'exploitation poste par poste et de financement annuels pour la solution 6, mise en place d'un électrofiltre à l'extérieur de la chaufferie :

Exploitation	Solution 6 : ESP Extérieur			
	1 MW	3 MW	6 MW	8 MW
Puissance chaudière	1 MW	3 MW	6 MW	8 MW
P1'	1,6 K€	4,1 K€	5,7 K€	6,4 K€
P2	1,6 K€	3,7 K€	5,1 K€	5,7 K€
P3	1,0 K€	2,5 K€	3,4 K€	3,8 K€
P4	13,8 K€	19,2 K€	22,7 K€	24,1 K€
<b>Total</b>	<b>18 K€</b>	<b>30 K€</b>	<b>37 K€</b>	<b>40 K€</b>

Tableau 14 : Coût d'exploitation solution 6

Le graphique ci-dessous montre l'évolution du coût d'exploitation et de financement en fonction de la puissance de la chaudière bois, pour la solution 6 :

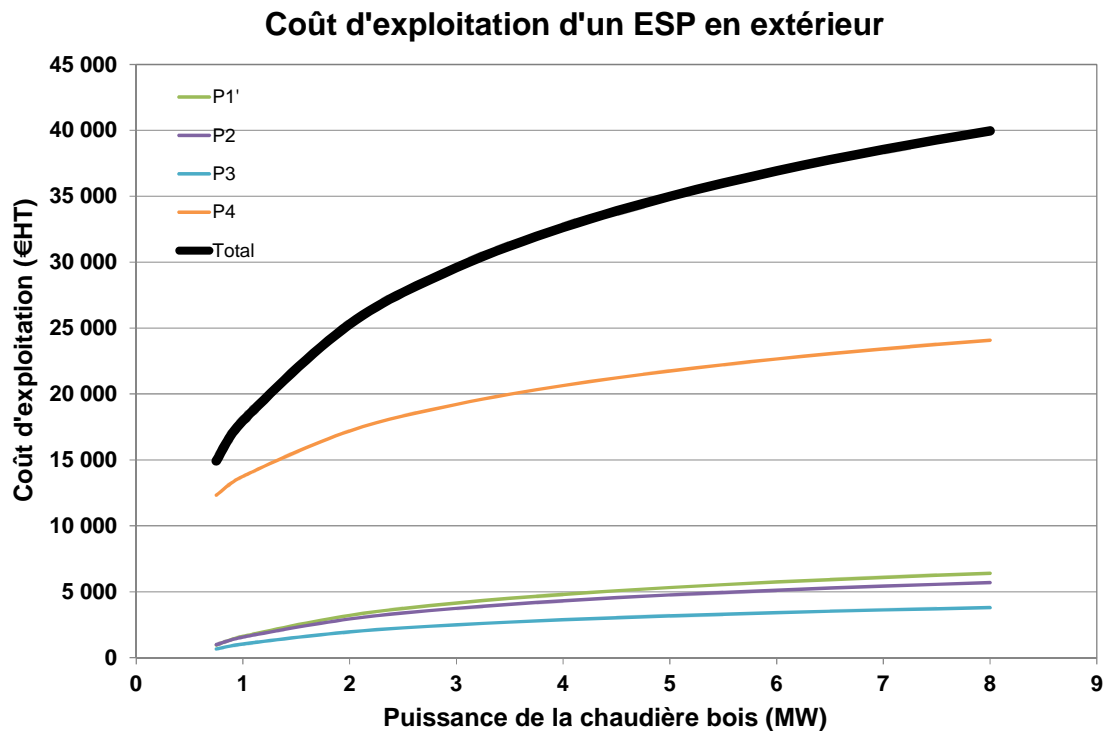


Figure 18 : Graphique coûts d'exploitation solution 6

## 6.2. Analyse économique des solutions

### 6.2.1. Répartition des postes

Le bilan économique des solutions de réduction secondaire permet d'établir l'analyse comparative des différentes solutions.

Le graphique ci-dessous donne la répartition des coûts, pour les 5 solutions de réduction secondaire pour une installation équipée d'une chaudière biomasse d'une puissance de 2 MW :

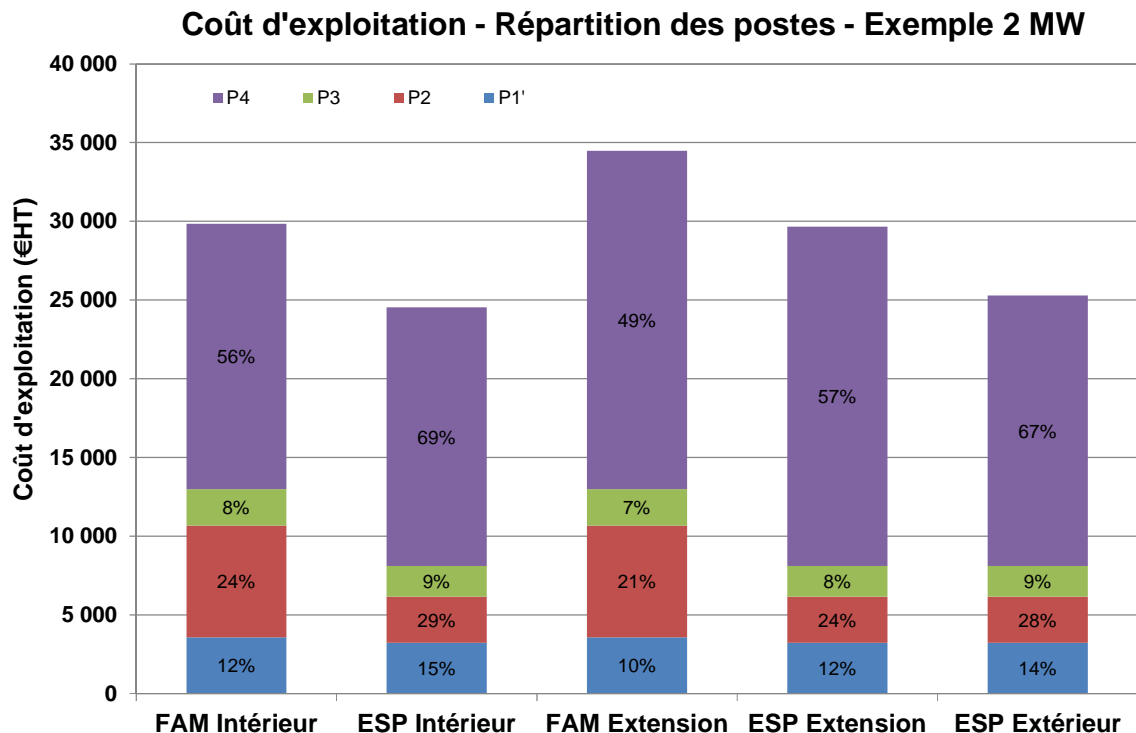


Figure 19 : Histogramme, répartition des coûts pour une installation de 2 MW

Le graphique ci-dessus montre l'hétérogénéité du bilan économique suivant la solution de réduction secondaire.

En ce qui concerne l'investissement, celui-ci est nettement impacté par la possibilité technique de la mise en place de l'équipement en intérieur de chaufferie ou la nécessité de créer une extension. Naturellement, la solution ESP Extérieur présente une bonne alternative économique, néanmoins cette solution ne pourra convenir que dans des cas biens particuliers (milieu industriel par exemple). Pour différencier les deux technologies, il s'avère que la solution filtre à manches, présente un investissement plus faible que l'électrofiltre, que ce soit pour l'équipement seul ou pour l'investissement total.

En ce qui concerne l'exploitation, le poste P1' consommation électrique, la modélisation en fonction de la puissance de l'installation présente une marge d'erreur. En effet, la consommation électrique est intrinsèquement liée à la production de l'installation qui peut varier sensiblement d'une installation à l'autre pour la même puissance. Le P2, conduite maintenance, comprend également le remplacement des manches pour un filtre à manches. Sur ce poste une différence de coût important est constatée entre les deux technologies. Le P3, gros entretien et renouvellement est similaire pour les deux technologies. La comparaison des coûts d'exploitation montre que contrairement au poste investissement, la technologie électrofiltre présente des coûts d'exploitation inférieurs.

## 6.2.2. Comparaison des solutions

### 6.2.2.1. Comparaison de l'investissement

Le graphique ci-dessous compare les 5 solutions de réduction secondaire, d'un point de vue investissement :

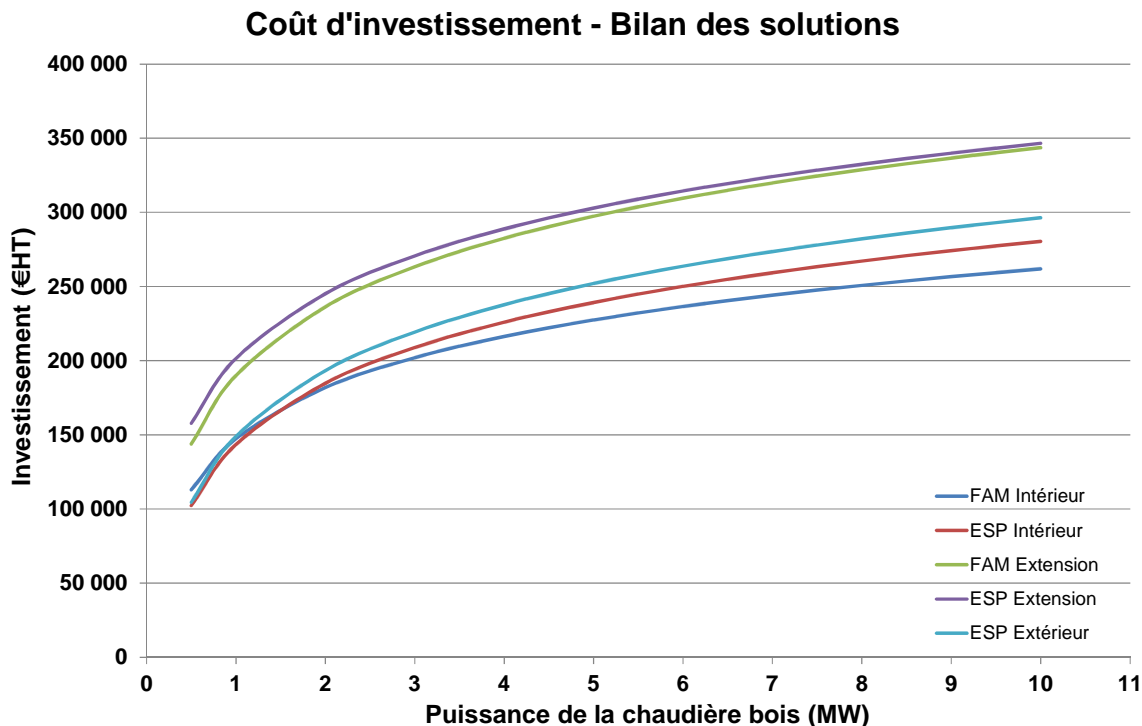


Figure 20 : Graphique, comparaison des coûts d'investissements des 5 solutions

Le graphique ci-dessous compare le coût d'investissement pour les 5 solutions de réduction secondaires sur la plage de puissance de 0,75 MW à 10 MW.

Indéniablement, le coût du rétrofit est fortement impacté par la nécessité de la construction d'une extension. En effet, les courbes « FAM Extension » et « ESP Extension » se démarquent nettement des courbes « FAM Intérieur », « ESP Intérieur » et « ESP Extension ». Au regard d'un projet de mise en place d'une solution de réduction secondaire, l'identification de ce facteur est essentiel.

Quant à la différenciation des technologies, filtre à manches et électrofiltre, hors contexte du site (extension ou non), il apparaît que sur la plage de puissance 0,75 MW à 2 MW, la différence du montant de l'investissement est faible. Au-delà (puissances supérieures à 2 MW) il apparaît que le filtre à manches présente des coûts d'investissement nettement moins onéreux.

Cette différence est moindre dans le cas de la mise en place du système de traitement de fumées dans une extension. Ceci s'explique, d'une part, par la différence d'encombrement entre les 2 technologies (le filtre à manches présente un encombrement plus important si on intègre les zones de maintenance), et d'autre part, les contraintes d'adaptation à l'existant plus important pour un filtre manches (remplacement de ventilateur, mise en place de silencieux, etc...).

### 6.2.2.2. Comparaison de l'exploitation

Le graphique ci-dessous compare les coûts d'exploitation annuels en fonction de la puissance de l'installation, en intégrant les postes suivants :

- Poste **P1'** : (Sur)-consommation d'électricité lié à l'équipement,
- Poste **P2** : Conduit et maintenance de l'équipement,
- Poste **P3** : Gros entretien et renouvellement,
- Poste **P4** : Le financement des investissements.

L'établissement du poste P4 est basé sur un financement de type prêt bancaire sur une durée de 15 ans à un taux fixe de 4%.

#### Coût d'exploitation - Bilan des solutions

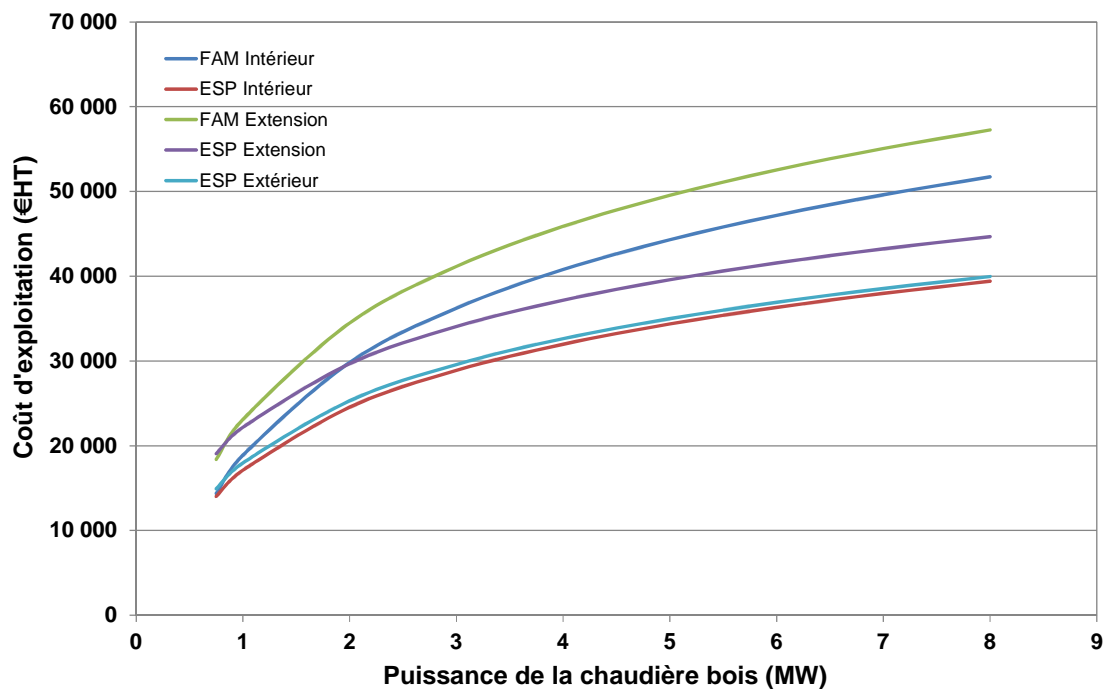


Figure 21 : Graphique, comparaison des coûts d'exploitation des 5 solutions

Le graphique ci-dessus montre les différences, en coût global (investissement et exploitation), entre les 5 solutions de réduction secondaire.

Les différences entre les différentes solutions sont relativement faibles sur une plage de faible puissance (inférieur à 1,5 MW). Au-delà le bilan économique en coût global est plus favorable à la technologie électrofiltre. Cette différence s'explique surtout par des coûts d'exploitation plus importants (notamment le changement de manches) pour la technologie filtre à manches.

## 6.3. Impact économique du rétrofit

### 6.3.1. Augmentation du coût de la chaleur

Le graphique ci-dessous montre l'impact économique de la mise en place d'une installation de réduction secondaire sur le coût global de la chaleur :

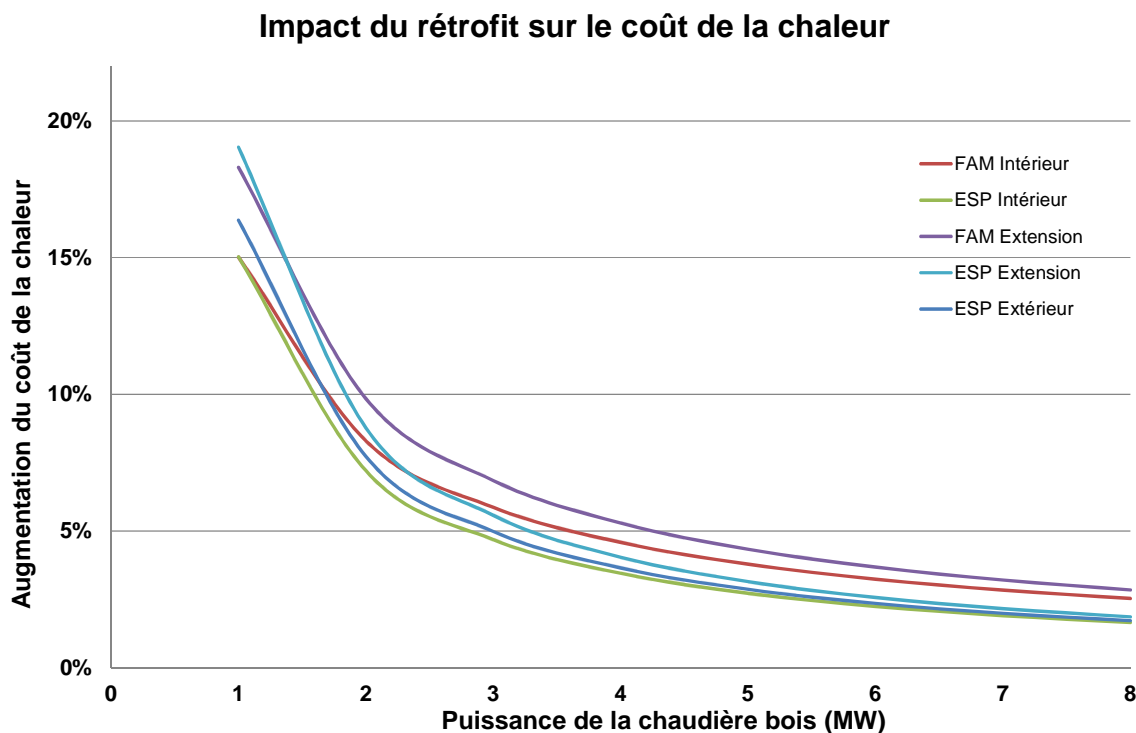


Figure 22 : Graphique, impact du rétrofit sur le coût de la chaleur

Le graphique ci-dessus a été établi sur la base du bilan économique en coût global des solutions et de l'analyse du coût global actuel des installations.

Ce graphique montre que l'impact du coût de la chaleur est très important pour les installations jusqu'à 4 MW. Au-delà de cette puissance, l'augmentation du coût de la chaleur est inférieure à 5%. A noter que pour les installations d'une puissance de 2 MW ou inférieur, **l'augmentation du coût de la chaleur est de l'ordre de 10 à 20%**.

La présente analyse permet de mettre en évidence un point important ; la difficulté de la mise en conformité des installations de faible puissance, au regard de l'impact très important sur le coût de la chaleur. La répercussion du surcoût du traitement des fumées sur les prix de vente de la chaleur nuira indéniablement à l'attractivité de certains projets biomasse.

### 6.3.2. Comparaison de l'impact du rétrofit aux prix des autres énergies

Au regard des précédentes constatations (impact important du rétrofit sur le prix de vente de chaleur), il est important de veiller à la compétitivité de la biomasse, notamment dans le bouquet énergétique des réseaux de chaleur.

En se basant sur la dernière enquête de prix publié par l'association AMORCE (AMORCE RCE23, Comparatif des modes de chauffage et prix de vente de la chaleur en 2013), l'impact du rétrofit a été mis en perspective avec l'énergie de référence gaz naturel.

Le graphique ci-dessous montre les résultats de l'enquête de prix pour l'année 2013.

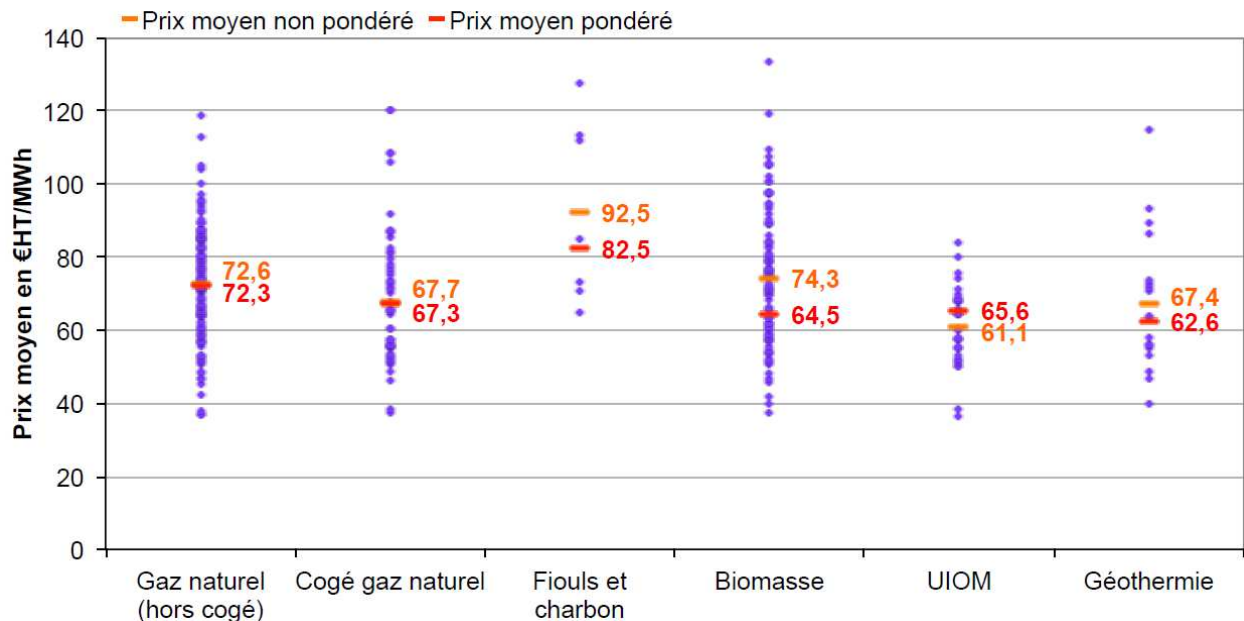


Figure 23 : Graphique, AMORCE, enquête de prix 2013

Cette enquête révèle notamment que le prix de vente moyen pondéré des réseaux de chaleur ayant le gaz naturel comme énergie principale s'élevait à 72,6 € HT/MWh en 2013.

Le graphique ci-dessous montre les prix moyens de vente pour 9 installations issues des études de cas (puissances de 0,75 à 3,2 MW), avant et après rétrofit, suivant la solution de réduction secondaire mis en œuvre :

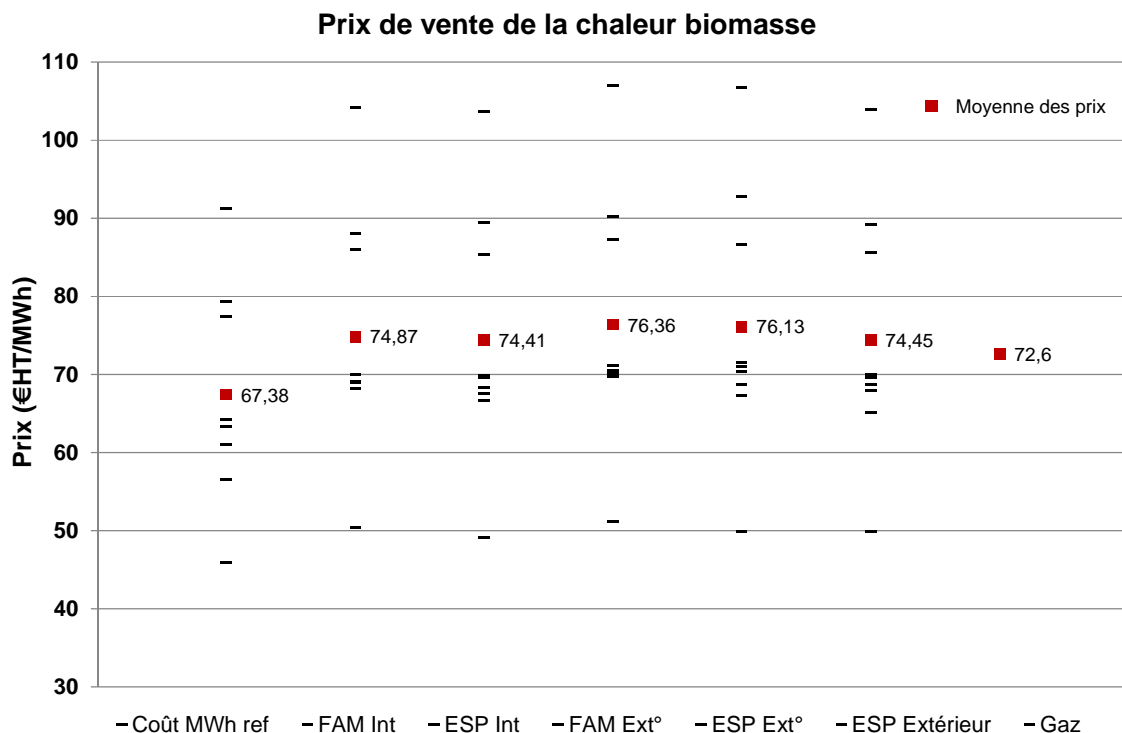


Figure 24 : Graphique, Prix moyens de vente avant et après rétrofit

Le graphique ci-avant montre que les prix de vente de la chaleur biomasse avant l'implantation d'un système de filtration étaient généralement inférieurs au prix de vente moyen de la chaleur produite par l'énergie gaz naturel (prix de référence en 2013). Cependant, l'implantation d'un système de filtration inverse la tendance, surtout pour les installations de faibles puissances, l'augmentation des coûts d'exploitation accroît directement le prix de vente de la chaleur produite, jusqu'à dépasser le prix de vente d'une chaleur produite par l'énergie gaz naturel.

La contrainte réglementaire supplémentaire d'abaissement de la valeur limite d'émission de particules pénalise fortement les installations biomasse de faibles puissances. L'intégration d'un système de filtration représente un investissement financier très important, impossible à absorber sans augmenter le prix de vente de la chaleur produite par ces installations, un prix de vente de moins en moins compétitif par rapport au prix de vente de la chaleur produite par l'énergie gaz.

## 7. Sources et limites de l'étude

### 7.1. Sources des données

L'évaluation économique des solutions de réduction secondaire sont basés d'un part sur les indications des fournisseurs (fabricants de filtres, fabricants de chaudières) et d'autre part sur des estimations basés sur les retours d'expérience en ingénierie.

### 7.2. Limites de l'étude

#### 7.2.1. Limites d'application

Les données techniques et économiques présentés dans le présent rapport ont pour objet de généraliser les principaux paramètres relatifs à la mise en place d'un équipement de réduction secondaire (électrofiltre ou filtre à manches), néanmoins les contraintes intrinsèques de chaque installation peuvent impacter ces données.

#### 7.2.2. Autres contraintes réglementaires

La présente étude focalise sur l'abaissement des VLE de particules fines des installations de combustion biomasse. Dans le cadre d'une mise aux normes d'une installation de combustion biomasse il conviendra également d'appréhender les évolutions réglementaires sur les points suivants :

- **Epanchage des cendres** : L'AM du 26 août 2013 et la fiche technique combustion n°7 (16/04/2015) imposent une collecte séparé des cendres foyer et des cendres volantes (sous cyclone ou sous filtre) en cas de d'épandage des cendres. La technique de séparation des cendres foyer et cendres volantes sous cyclone est actuellement très peu répandu, voire quasi inexistante sur les installations existantes. Une adaptation des systèmes de décendrage est à prévoir en cas de valorisation des cendres foyer par épandage.
- **Autres VLE** : Outre la VLE particules fines, AM du 26 août 2013 modifie également la valeur limite d'émission en monoxyde de carbone (CO, passage de 375 à 250 mg/Nm<sup>3</sup> à 6 % d'O<sub>2</sub>).



## 8. Conclusions et perspectives

### 8.1. Rappel du contexte

La filière biomasse, actuellement en constante évolution, du fait d'une ressource abondamment disponible et d'un soutien important des politiques publiques, constitue une alternative très intéressante vis-à-vis des énergies fossiles.

Si la biomasse est considérée comme une énergie renouvelable, elle n'est cependant pas exempte de défauts. En effet, la combustion de la biomasse génère des émissions de particules fines dans l'atmosphère. Or, ces particules fines issues de la combustion de la biomasse, parmi d'autres sources de pollution de particules fines (transports, industrie, agriculture,...), participent à la pollution de l'air. Cette pollution constitue un problème de santé publique, en effet, des études scientifiques ont démontrées que l'exposition aux particules fines augmente la morbidité cardio-respiratoire et favorise l'apparition de pathologies respiratoire (cf. Avis de l'ADEME - Bois énergie et qualité de l'air).

Afin de réduire ces émissions de particules fines dans l'atmosphère, la réglementation Française actuelle (Réglementation ICPE) impose des valeurs limites d'émission (VLE) de particules pour les installations de combustion. Ainsi, les installations biomasse existantes se doivent de ne pas dépasser une valeur limite d'émission de particules de 225 à 150 mg/Nm<sup>3</sup> à 6 % d'O<sub>2</sub>. Les réglementations évoluant constamment, ce seuil est ramené à 50 mg/Nm<sup>3</sup> à 6 % d'O<sub>2</sub> à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2018. De plus, une directive Européenne est actuellement en cours de discussion. L'ensemble des installations biomasse existantes et nouvelles pourraient voir leur seuil limite d'émission abaissé de 50 à 45 mg/Nm<sup>3</sup> à 6 % d'O<sub>2</sub> pour les installations de puissance comprise entre 1 et 5 MW, et de 50 à 30 mg/Nm<sup>3</sup> à 6 % d'O<sub>2</sub> pour les installations de puissance comprise entre 5 et 50 MW.

### 8.2. Solutions de réduction des émissions

Ces nouveaux seuils, contraignants, ne pourront pas être respectés avec uniquement le traitement des fumées par un dépoussiéreur cyclone. Cette technologie d'épuration des fumées équipe la majorité des installations de combustion biomasse datant d'avant la mise en place du Fonds Chaleur Renouvelable (2009).

Dans ce contexte, l'identification de solutions permettant de réduire les rejets de particules fines est indispensable. La présente étude met en avant les solutions suivantes permettant de réduire les émissions de particules fines des installations de combustion biomasse existantes :

- Solutions de réduction primaires :
  - Amélioration de la qualité du combustible,
  - Amélioration de la combustion du combustible,
  - Amélioration du fonctionnement de l'installation.
- Solution de réduction secondaires :
  - Mise en place d'un traitement de fumées.

#### 8.2.1. Solutions de réduction primaire

Les améliorations portant sur la qualité du combustible et la qualité de la combustion sont dites solutions de réduction primaires.

Le contrôle de la qualité du combustible est l'étape indispensable à ne pas négligé afin d'obtenir les meilleurs résultats tout au long du processus de réduction des émissions de particules. En effet, le choix d'un bon combustible, permettra de minimiser la génération de particules fines, facilitera les réglages de combustion au quotidien, et diminuera le taux de poussière à traiter par les systèmes de filtration en sortie de chaudière. Cette étude montre qu'il est difficile de réclamer une certaine qualité du combustible aux fournisseurs, principalement en raison d'une définition imprécise des caractéristiques du combustible au sein des contrats de livraison, et par manque de référentiel faisant l'unanimité et permettant de définir clairement ces-dites



caractéristiques. Il est cependant possible d'obtenir le combustible souhaité en apportant des modifications au contrat de livraison, en mélangeant deux combustibles différents, ou en changeant de fournisseur.

La qualité de la combustion impact également la génération de particules fines. Les améliorations liées à l'optimisation de la combustion sont difficiles, en effet, l'âge et la qualité de la régulation d'origine de la chaudière influent fortement les possibilités d'amélioration. Cependant, des améliorations simples peuvent être adaptées sur une grande majorité des chaudières les plus anciennes. Ces améliorations sont difficilement estimables en termes de réduction des émissions de particules, et en termes de coûts financiers liés à leur implantation.

L'amélioration du fonctionnement de l'installation est également un paramètre important, en effet, le fonctionnement à faible charge, et les phases de début et de fin de combustion sont des périodes de fonctionnement propices à la génération de particules fines. Les périodes de fonctionnement à faible charge et les phases de fonctionnements répétées de début et de fin de combustion apparaissent principalement en période estival, lorsque les appels de puissances à couvrir sont faibles et hétérogènes.

### **8.2.2. Solutions de réduction secondaire**

La réduction des émissions de particules par traitement de fumées de combustion est désignée par le terme réduction secondaire. Les technologies suivantes sont mises en avant pour le traitement de fumées et l'abattement de particules fines :

- Les dépoussiéreurs (multi-)cyclones,
- Les filtres à manches,
- Les électrofiltres.

Si les filtres cycloniques actuels sont incapables de répondre aux futurs seuils d'émissions de particules, il se développe sur le marché une nouvelle génération de filtres cycloniques plus performants. Cette technologie pourrait donc être intéressante à l'avenir, malgré l'abaissement des seuils réglementaires d'émissions de particules. Cette technologie, robuste, reste cependant le meilleur procédé permettant de préfiltrer les fumées de combustion, avant leur entrée dans les systèmes de filtration secondaires.

Actuellement se distinguent sur le marché actuel deux systèmes de filtration, le filtre à manches et l'électrofiltre. Ces deux systèmes, reconnus comme étant les filtres les plus adaptés actuellement disponibles, permettent de respecter les limites actuels et futurs d'émission de particules. Chaque système possède ses propres contraintes techniques de fonctionnement et de mise en œuvre. Il apparaît que la technologie électrofiltre présente moins de contraintes d'adaptation à l'existant, alors que le filtre à manches présente de meilleures performances et est évolutif.

Du point de vue financier également peu de différences apparaissent. Les coûts d'investissement liés à l'implantation d'un filtre à manches sont relativement proches des coûts d'investissement liés à l'implantation d'un électrofiltre. Cependant, une différence se dessine sur les coûts d'exploitation. En effet, les coûts d'exploitation d'un filtre à manches sont supérieurs à ceux d'un électrofiltre.

Il convient également de mettre en avant que le développement d'installation de traitement de fumées nécessitera la formation du personnel d'exploitation afin de garantir le bon fonctionnement de ces équipements et l'obtention des performances attendues.

### **8.3. Impact économique du rétrofit**

Enfin, cette étude montre également que l'installation d'un filtre à manches ou d'un électrofiltre au sein des installations biomasse les plus petites (puissance biomasse comprise entre 1 et 3 MW) augmente très significativement les coûts globaux d'exploitation (5 à 20 %). Une augmentation des coûts d'une telle ampleur pourra, dans bien des cas, présenter un frein important à l'attractivité de la chaleur produite à parti de la biomasse.

Cette étude a permis de mettre en évidence deux systèmes de traitement des fumées : les filtres à manches et les électrofiltres. Si malgré les nombreux points de comparaisons étudiés, il n'existe que très peu de

paramètres permettant de choisir entre l'un ou l'autre des systèmes, cette étude met le doigt sur un problème réel : l'impact négatif sur le bilan économique.

Par ailleurs, sur la base du recensement effectué par le CIBE, l'estimation du nombre de chaufferies concerné par le rétrofit s'élève à 400 installations sur le plan national. Au regard de ces éléments et en considérant un montant d'investissement moyen de 250 k€ HT, le coût global de la mise aux normes s'élèverait à environ 100 M€ HT.

## 8.4. Propositions

Les coûts d'investissement, et par conséquent les surcoûts d'exploitation augmentent de manière exponentielle pour les installations de faible puissance. Afin d'éviter un effet néfaste pour ces installations, en conclusion de la présente étude il est proposé les modulations d'application de l'abaissement des VLE :

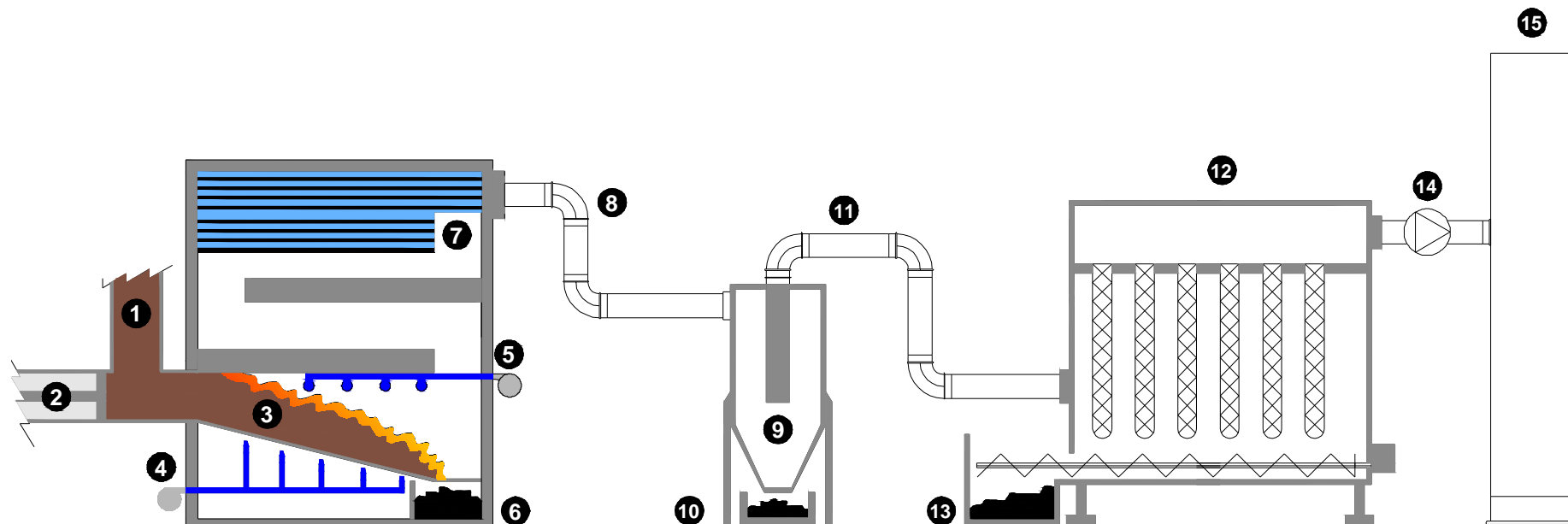
- **Ajournement pour les installations les plus anciennes** : Pour les installations dont la chaudière est âgée de 15 ans et plus, afin d'éviter un investissement important dans un traitement de fumées pour une durée de vie résiduelle faible de la chaudière, un ajournement de la date d'application est proposé permettant la mise en norme lors du remplacement de la chaudière.
- **Démarche qualité combustible / combustion** : Assouplissement temporaire (exemple : 5 ans) de la VLE applicable (exemple : 100 mg/Nm<sup>3</sup> à 6% d'O<sub>2</sub>), en cas de la mise en place d'une démarche qualité sur le combustible et la combustion. La démarche qualité sur le combustible pourra porter sur l'utilisation d'un combustible avec un taux de fines bas (inférieur à **3%**). La démarche qualité sur la combustion pourra porter sur un montant minimum d'investissement pour améliorer la régulation de la combustion.
- **Modification VLE pour les petites installations** : Assouplissement de la VLE (exemple : 100 mg/Nm<sup>3</sup> à 6% d'O<sub>2</sub>) pour les installations comprenant une chaudière bois d'une puissance inférieure à 4 MW.
- **Mise à l'arrêt ponctuels** : Arrêt obligatoire de la chaudière biomasse en cas de pics de pollution, obligeant le recours à une énergie moins polluante.
- **Subventions** : Mise en place d'un dispositif d'aide pour la mise en place d'un système de traitement de fumées si les travaux sont réalisés avant la date limite d'application de la nouvelle réglementation sur les seuils d'émissions de particules.

Les solutions d'assouplissement des contraintes réglementaires pourront être proposées uniquement si les installations ne sont pas concernées par un PPA ou situé dans une zone géographique assujetti à des alertes pollutions.

Il existe de nombreuses dispositions permettant de faciliter cette transition réglementaire, et celles-ci ne doivent pas se limiter à ces quelques idées précédemment exposées.

## Annexes

## Annexe 1 : Schéma d'une installation biomasse ; les points importants d'un diagnostic



Points à observer :

1 – Combustible  
 2 – Poussoir  
 3 – Grille  
 4 – Aire primaire  
 5 – Aire secondaire

6 – Cendres chaudière  
 7 – Echangeur  
 8 – Sortie chaudière  
 9 – Filtre cyclone  
 10 – Cendres filtres cyclone

11 – Sortie filtre cyclone  
 12 – Filtre complémentaire  
 13 – Cendres filtre complémentaire  
 14 – Extracteur de fumées  
 15 – Sortie chaufferie

## Annexe 2 : Fiche de synthèse des caractéristiques relevées lors du diagnostic

N°	Phase process	Paramètres	Valeurs normalisées	Valeurs constatées	Commentaires
1	Combustible	Masse : Densité : Granulométrie : Humidité : Taux de fine : Taux de matières minérales :	3 750 t 250 kg/m <sup>3</sup> * 30 % 2 % 1,5 %		
2	Poussoir	Masse introduite dans le foyer : Volume bois introduit par heure : Séquencement :	1,25 t/h 5 m <sup>3</sup> /h 42 coups de piston/h		
3	Grille	Épaisseur du lit sur grille : Température foyer : Taux d'excès d'air : Répartition air primaire / secondaire :	30 cm 750 °C 10 % 30 / 70 %		
4	Aire primaire	Débit d'air primaire : Pression sous grille : Répartition sous grille :	3 m <sup>3</sup> /h * *		
5	Aire secondaire	Température : Débit d'air secondaire :	1 000 °C 5,6 m <sup>3</sup> /h		
6	Cendre chaudière	Tonnage annuel : Pourcentage de masse bois :	53 t 20 %		
7	Echangeur	Dépression au carneau de sortie :	15 mbars		
8	Sortie chaudière	Taux de poussière : Température :	700 mg/Nm <sup>3</sup> 180 °C		
9	Filtre cyclone	Efficacité :	*		
10	Cendre filtre cyclone	Tonnage annuel : Pourcentage de masse bois :	5,25 t 1,4 %		
11	Sortie filtre cyclone	Taux de poussière :	150 mg/Nm <sup>3</sup>		
12	Filtre complémentaire	Efficacité :	*		
13	Cendre filtre complémentaire	Tonnage annuel : Pourcentage de masse bois :	0,5 t 0,14 %		
14	Extracteur de fumées	Vitesse d'éjection des gaz :	7 m/s		
15	Sortie chaufferie	Taux de poussière : Température :	50 mg/Nm <sup>3</sup> 140 °C		

## Annexe 3 : Situation réglementaire des cendres sous foyer et des poussières captées par les systèmes de filtration

La combustion de la biomasse entraîne inévitablement une production de cendre sous foyer et la génération de particules fines dans les fumées de combustion. La quantité de cendre et de particule d'une chaudière dépend fortement de la qualité du combustible et de la qualité des réglages.

Aujourd'hui, la gestion des déchets générés par la combustion de la biomasse est très encadrée.

### 1.1. Les cendres sous foyer

Les cendres issues de la combustion de la biomasse et extraites par voie sèche ou par voie humide **sous l'équipement de combustion** peuvent être revalorisées par épandage, dans la limite d'un volume annuel de 5 000 tonnes par an.

Pour permettre une revalorisation des cendres générées par une installation biomasse, il est nécessaire de réaliser :

- Une étude préalable d'épandage caractérisant la nature, la quantité prévisionnelle, le rythme de production et la valeur agronomique des cendres produites par l'installation biomasse,
- Un plan d'épandage, permettant de localiser clairement les parcelles où l'épandage est possible, et identifiant les prêteurs de terres ayant souscrit un contrat écrit avec l'exploitant de l'installation de combustion,
- Un programme prévisionnel annuel d'épandage, en accord avec les prêteurs de terres.

L'épandage des cendres n'est pas possible sur toutes les parcelles du fait de valeurs limites de concentration d'éléments métalliques dans les sols. Sont notamment contrôlées les teneurs en :

- Cadmium,
- Chrome,
- Cuivre,
- Mercure,
- Nickel,
- Plomb,
- Zinc.

De plus, l'épandage des cendres est interdit à proximité des zones protégées comme :

- Les puits, forages, sources, réserves et cours d'eau,
- Les habitations ou locaux recevant du public,

Cependant, pour être épandues, ces cendres doivent respecter certaines teneurs limites en éléments-traces métalliques, ainsi qu'en composés-traces organiques, définies au niveau national, et adaptables localement par arrêté préfectoral.

Pour contrôler la conformité des cendres, des analyses sont effectuées, sur un échantillonnage représentatif et selon les normes en vigueur. Ces échantillonnages sont réalisés :

- Soit sur chaque lot destiné à l'épandage grâce au prélèvement de 25 échantillons sur l'ensemble du volume du lot destiné à l'épandage,
- Soit en continu, grâce à la réalisation d'un prélèvement sur les cendres évacuées du foyer une fois par semaine lorsque le volume annuel de cendres produites sous foyer dépasse 2 000 tonnes, ou une fois par semaine lorsque le volume produit est en dessous de 2 000 tonnes par an.

Ces échantillons sont ensuite analysés pour contrôler leur teneur en éléments-traces métalliques, et leur teneur en composés-traces organiques.

Dans ce tableau apparaissent les teneurs limites en éléments-traces métalliques à ne pas dépasser pour la revalorisation des cendres par épandage :

Eléments-Traces-Métalliques	Valeur Limite dans les cendres (mg/kg matière sèche)
Cadmium	10
Chrome	1 000
Cuivre	1 000
Mercurure	10
Nickel	200
Plomb	800
Zinc	3 000
Chrome + cuivre + Nickel + Zinc	4 000

Dans ce tableau apparaissent les teneurs limites en composés-traces organiques à ne pas dépasser pour la revalorisation des cendres par épandage :

Composés-Traces-Organiques	Valeur Limite dans les cendres (mg/kg matière sèche)	
	Cas général	Épandage sur pâturage
Total des 7 principaux PCB	0,8	0,8
Fluoranthène	5	4
Benzo(b)fluoranthène	2,5	2,5
Benzo(a)pyrène	2	1,5

Si une des teneurs en élément-traces métalliques, ou en composés-traces organiques dépasse ces seuils, il est interdit d'utiliser ces cendres pour une revalorisation en épandage. Les cendres doivent être alors évacuées vers un centre spécialisé pour le traitement de ce type de déchet.

Les centres de traitement des déchets ne sont pas tous autorisés à retraiter les cendres issues d'installations biomasses. En effet, les cendres peuvent être selon leurs teneurs en éléments polluants (métalliques et organiques), classées en déchet de classe 1, ou en déchet de classe 2.

Les déchets de classe 2 sont des déchets dits « non dangereux », il existe actuellement en France environ 250 décharges autorisées de classe 2.

Les déchets de classe 1 sont des déchets présentant un caractère dangereux pour l'environnement ou pour les êtres vivants. Les techniques utilisées pour leur enfouissement sont donc très spécifiques et difficiles, notamment pour éviter les réactions chimiques entre déchets dans la fosse. Il existe actuellement en France environ 14 décharges de classe 1.

Les cendres issues du foyer de combustion sont généralement éligibles à l'épandage, de par leurs faibles teneurs en éléments polluants.

### 1.2. Les poussières issues des systèmes de filtration des fumées

La réglementation est très claire sur ce type de déchet, il est impossible de revaloriser les poussières récoltées lors de la filtration des fumées, par un épandage.

Actuellement, au sein des installations biomasses, les cendres sous foyer et les poussières récoltées par le filtre cyclone sont récoltées par le même système convoyeur, et stockées dans les mêmes bennes, or, réglementairement, pour permettre une revalorisation des cendres sous foyer, il est interdit de mélanger ces mêmes cendres avec les poussières issues d'un système de filtration des fumées de combustion.

D'une manière générale, un déchet polluant, quel qu'il soit, ne devrait pas être mélangé avec un autre déchet polluant.

Ces poussières récoltées doivent être retraitées dans des centres de retraitement des déchets. Elles atteignent en général des teneurs en éléments polluants les définissant comme déchets de classe 1, mais parfois, à cause d'un combustible pollué ou à cause d'une combustion mal maîtrisée, ces poussières atteignent des teneurs en éléments polluants les définissant comme déchets de classe 2.

Le retraitement de ces déchets est donc une véritable problématique future, car en plus des différences significatives de coûts de retraitement entre ces deux classes de déchets, le nombre limité de ces centres obligera les exploitants d'installations biomasse à assumer des frais d'acheminement très variables en fonction des distances les séparant de ces centres.

Limiter la génération de particules fines et adaptant le combustible aux besoins de la chaudière, et adapter les réglages de la combustion sont donc des actions essentielles, car elles permettront de réduire le volume de poussières à traiter, et limiterons les volumes à acheminer vers les centres de traitement autoriser à les stocker.

Il est actuellement difficile d'évaluer les surcoûts engendrés par l'évacuation et le retraitement de ces déchets, du fait des variables nombreuses :

- Qualité du combustible,
- Qualité des réglages de la combustion,
- Quantité de combustible consommée annuellement,
- Poussières captées par le ou les systèmes de filtration,
- Niveau de classement des poussières (classe 1 ou classe 2),
- Distance séparant l'installation du centre en mesure de retraiter ces déchets.

Cependant, il est évident que le retraitement de ces déchets engendrera des surcoûts d'exploitation non négligeables aux exploitants d'installations biomasses.



## Références bibliographiques

- CIBE. Focus sur le montage de projets de chaufferies sur la dernière saison de chauffe / CIBE : Réunion plénière du 9 juin 2015. [http://www.cibe.fr/IMG/pdf/COM\\_ANI\\_-\\_Presentation\\_Pleniere\\_du\\_9\\_juin\\_2015.pdf](http://www.cibe.fr/IMG/pdf/COM_ANI_-_Presentation_Pleniere_du_9_juin_2015.pdf)
- AMORCE / ADEME. RCE23 : Comparatif des modes de chauffage et Prix de vente de Chaleur 2013. <http://www.amorce.asso.fr/fr/espace-adherents/publications/rdc/prix-de-la-chaleur/rce-23-comparatif-des-mode-de-chauffage-et-prix-de-vente-de-chaleur-2013/>
- ADEME. Avis de l'ADEME : Bois énergie et qualité de l'air. <http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/avis-ademe-sur-bois-energie-et-qualite-air-2013.pdf>

## Sigles et acronymes

<b>ADEME</b>	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
<b>CIBE</b>	Comité Interprofessionnel du Bois Énergie
<b>AMORCE</b>	Association nationale des collectivités, des associations et des entreprises pour la gestion des déchets, de l'énergie et des réseaux de chaleur
<b>VLE</b>	Valeur limite d'émission
<b>AM</b>	Arrêté ministériel
<b>FAM</b>	Filtre à manches
<b>ESP</b>	Electrostatic precipitator (électrofiltre)
<b>ICPE</b>	Installation classée pour l'environnement
<b>PPA</b>	Plan de protection de l'atmosphère
<b>MW</b>	Mégawatt
<b>P1'</b>	Coût d'exploitation lié à la consommation électrique
<b>P2</b>	Coût d'exploitation lié à la conduite et maintenance
<b>P3</b>	Coût d'exploitation lié au gros entretien et renouvellement
<b>P4</b>	Coût d'exploitation lié au financement des investissements
<b>mg</b>	Milligramme
<b>Nm<sup>3</sup></b>	Normal mètre-cube, mètre-cube aux conditions normales de température (0 °C / 273,15 K) et de pression (101,325 kPa)
<b>% d'O<sub>2</sub></b>	Taux d'oxygène de référence permettant de définition de la concentration de polluants dans les fumées sèches

## L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.



ADEME  
20, avenue du Grésillé  
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

## ABOUT ADEME

The French Environment and Energy Management Agency (ADEME) is a public agency under the joint authority of the Ministry of Ecology, Sustainable Development and Energy, and the Ministry for Higher Education and Research. The agency is active in the implementation of public policy in the areas of the environment, energy and sustainable development.

ADEME provides expertise and advisory services to businesses, local authorities and communities, government bodies and the public at large, to enable them to establish and consolidate their environmental action. As part of this work the agency helps finance projects, from research to implementation, in the areas of waste management, soil conservation, energy efficiency and renewable energy, air quality and noise abatement.

[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr).



ADEME  
20, avenue du Grésillé  
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)