

RAPPORT D'ÉTUDE

15/09/2010

N° DRC-10-115494-09963A

Recherche des meilleures technologies disponibles afin de réduire les rejets en polluants atmosphériques des crématoriums (étude technico-économique)

INERIS

maîtriser le risque |
pour un développement durable |

Recherche des meilleures technologies disponibles afin de réduire les rejets en polluants atmosphériques des crématoriums (étude technico-économique)

Client : Direction Générale de la Santé (DGS)

PRÉAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	COLLET Serge	POULLEAU Jean	ALSAC Nicolas
Qualité	Ingénieur Unité « Sources et émissions »	Responsable de l'Unité « Sources et émissions »	Responsable du pôle « Caractérisation de l'environnement »
Visa			

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	4
2. DISPOSITIFS D'ÉPURATION DES REJETS GAZEUX.....	4
2.1 Éléments techniques.....	5
2.1.1 Dispositifs d'épuration des poussières.....	5
2.1.1.1 Filtre à manches.....	5
2.1.1.2 Electrofiltre	6
2.1.1.3 Venturi et laveur	6
2.1.1.4 Multicyclone et cyclone	6
2.1.2 Dispositifs d'épuration du mercure et des dioxines et furanes.....	7
2.1.2.1 Filtre à lit fixe d'adsorbant.....	7
2.1.2.2 Injection d'adsorbant dans l'effluent gazeux.....	8
2.1.2.3 Procédés catalytiques	8
2.1.3 Dispositifs d'épuration des oxydes d'azote (NO _x)	9
2.1.4 Dispositifs d'épuration mis en œuvre sur les crématoriums.....	10
2.1.4.1 Données étrangères.....	10
2.1.4.2 Données françaises.....	12
2.2 Éléments de coûts.....	13
2.2.1 Données étrangères	13
2.2.2 Données françaises.....	14
3. COMMENTAIRES ET RECOMMANDATIONS	15
4. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	18
5. LISTE DES ANNEXES	18

1. INTRODUCTION

Le présent document a pour objet de présenter les meilleures technologies disponibles (MTD), qui pourraient être adoptées par les crématoriums afin de limiter les rejets atmosphériques polluants. Il a été réalisé à la demande de la Direction générale de la santé suite à la publication de l'arrêté du 28 janvier 2010, remplaçant l'arrêté du 29 décembre 1994, relatif à la hauteur de la cheminée et aux quantités maximales de polluants contenus dans les gaz rejetés à l'atmosphère (Cf. nouvelles valeurs limites d'émission en Annexe 1). Il met à jour le précédent rapport datant de 2007¹ avec la volonté de bénéficier d'un plus grand nombre de retours d'expérience français. Dans le cadre de cette étude, des informations relatives aux systèmes de filtration mis en œuvre par certains exploitants en France et à l'étranger ont été collectées et deux constructeurs de dispositifs d'épuration opérant sur le territoire français ont été interrogés afin de compléter les éléments précédents. Ce recueil de données a été réalisé au moyen d'un questionnaire adressé aux exploitants des crématoriums en début d'année 2010 (Cf. Annexe 2), qui a servi également de trame à l'interview de représentants des deux fournisseurs d'appareils de crémation et de dispositifs d'épuration des rejets atmosphériques. Les questions posées ont porté sur les aspects techniques et économiques liés à la mise en place et à l'exploitation de ces procédés.

2. DISPOSITIFS D'EPURATION DES REJETS GAZEUX

En préalable, nous rappellerons que :

- les matériaux introduits dans l'appareil de crémation (cercueils, vêtements du défunt, etc.) sont susceptibles de contenir des éléments dont la combustion peut être à l'origine d'émissions polluantes ; il convient donc de les éliminer ou de les réduire avant introduction dans l'appareil de crémation. A noter que ce sujet fait actuellement l'objet d'une révision de la réglementation : un projet de décret visant à supprimer l'agrément du ministre chargé de la santé sur les matériaux des cercueils et leur garniture étanche (agrément prévu par l'article R. 2213-25 du code général des collectivités territoriales CGCT) est en cours de publication. Ce projet de texte renverra à un arrêté conjoint des ministres chargé de la santé, de l'environnement et de l'intérieur pour la détermination des caractéristiques des cercueils et de leur garniture étanche ; arrêté qui lui-même renverra ces dispositions à une norme spécifique établie par l'Association française de normalisation (AFNOR) en lui donnant une force réglementaire. Les cercueils, quels que soient les matériaux utilisés pour leur fabrication, devront être

¹ INERIS - CTBA. Recherche des meilleures technologies disponibles afin de réduire les rejets en polluants des crématoriums (étude technico-économique), DRC-07-86027-10911A.

conformes à cette norme AFNOR qui permettra leur emploi dans le cadre d'une crémation.

- Le mode de conduite de l'appareil de crémation peut participer largement à la réduction des émissions de certains polluants (temps de préchauffage suffisant, température atteinte, etc.).
- La chambre de post-combustion est le premier élément du dispositif d'épuration des émissions d'un crématorium. En maintenant dans cette seconde chambre, une température, un temps de résidence des fumées et un excès d'air suffisant (d'après l'article D2223-104 du CGCT : $\geq 850^{\circ}\text{C}$, ≥ 2 secondes, 11% d' O_2), la post-combustion devrait permettre de détruire la matière organique imbrûlée issue de la première chambre de combustion.

2.1 ELEMENTS TECHNIQUES

Plusieurs groupes d'experts internationaux ont recensé les meilleures techniques disponibles à l'heure actuelle pour permettre de réduire les rejets de polluants atmosphériques des crématoriums. Ces travaux^{a,b,c} ont notamment été réalisés pour le compte des Nations Unies dans le cadre de la Convention de Stockholm² en ce qui concerne les polluants organiques persistants et pour le compte de la Commission OSPAR^{3,d} en ce qui concerne les rejets de mercure. Ces éléments sont repris ci-dessous.

2.1.1 DISPOSITIFS D'EPURATION DES POUSSIÈRES

2.1.1.1 FILTRE A MANCHES

De nombreux types de filtres à manches ont été testés avec succès pour récupérer les poussières des effluents gazeux de crématoriums. Des manches en fibres de verre ou PTFE (polytétrafluoroéthylène) sont habituellement utilisés. Ces dispositifs peuvent atteindre une efficacité de 99% (des teneurs de quelques mg/Nm^3 peuvent être obtenues) même sur les particules de faibles diamètres (1 μm ou moins). Ce procédé opère à des températures inférieures à 200°C , ce qui nécessite de refroidir au préalable l'effluent gazeux. Malgré ces contraintes, cette technique est la plus adaptée aux effluents des crématoriums en terme technico-économique et permet de répondre aux exigences réglementaires.

² La Convention de Stockholm a été ouverte à la signature à Stockholm, le 23 mai 2001. Cf. le site Internet : <http://www.pops.int/>

³ La Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est ("Convention OSPAR") a été ouverte à la signature lors de la réunion ministérielle des Commissions d'Oslo et de Paris, le 22 septembre 1992 à Paris. Cf. le site Internet : <http://www.ospar.org/>

2.1.1.2 ELECTROFILTRE

Les électrofiltres sont des dispositifs d'épuration largement utilisés pour récupérer les poussières présentes dans les effluents gazeux. Les particules chargées négativement sous l'effet d'un intense champ électrique sont captées par des électrodes chargées positivement. Il existe un grand nombre de conceptions qui permettent d'atteindre des efficacités de 98% pour les particules de tailles supérieures à 1 μm voire moins (en général des teneurs en particules comprises entre 20 et 50 mg/Nm^3 sont obtenues). Ces dispositifs opèrent habituellement à des températures comprises entre 160 et 260°C. Un fonctionnement à plus hautes températures pouvant conduire à une reformation de polluants tels que les dioxines et furanes. Pour les petites installations, deux configurations peuvent être employées : les électrofiltres « secs » et « humides ». La voie sèche permet d'éviter le traitement de rejets liquides et est donc moins coûteuse en investissement. L'efficacité de ce procédé est plus grande lorsque les gaz entrants sont humidifiés.

Compte tenu de la dimension des appareils de crémation, l'investissement et les coûts d'exploitation associés à la mise en œuvre d'un tel dispositif seraient très élevés, ce qui rend cet équipement inapproprié dans sa configuration actuelle.

2.1.1.3 VENTURI ET LAVEUR

Les coûts d'investissement élevés à supporter restreignent le champ d'application de ces dispositifs d'épuration à des installations de tailles plutôt supérieures à celles des crématoriums (par exemple à des installations de combustion de puissance supérieure à 4 MW). Par ailleurs, la présence de déchets liquides n'encourage pas l'emploi de cette technique pour cette application.

2.1.1.4 MULTICYCLONE ET CYCLONE

Il s'agit de séparateurs mécaniques qui utilisent les différences de vitesse à l'intérieur des cyclones pour séparer les particules. Dans un multicyclone, plusieurs diamètres de cyclones sont utilisés afin d'améliorer l'efficacité de piégeage qui est comprise entre 65 et 95%. Ces dispositifs collectent efficacement les grosses particules mais leur efficacité chute pour les faibles granulométries et les faibles taux d'empoussièrement. Des teneurs en particules supérieures à 100 - 150 mg/Nm^3 sont en général obtenues. Pour atteindre les nouvelles VLE, ces unités ne peuvent donc pas être utilisées seules. Elles sont en général utilisées en amont d'un filtre à manches afin d'éliminer les particules les plus grosses et d'éviter une saturation trop rapide des manches.

2.1.2 DISPOSITIFS D'EPURATION DU MERCURE ET DES DIOXINES ET FURANES

Ces procédés font appel aux procédés de filtration cités ci-dessus et à des procédés d'adsorption ainsi que, dans certains cas, à des réactions catalytiques. Ces procédés agissent sur les émissions de poussières, de mercure et de dioxines et furanes mais également sur les émissions des autres polluants en partie présents sous forme particulaire (métaux) ou adsorbés sur les particules (hydrocarbures aromatiques polycycliques) et dans une moindre mesure sur les composés organiques volatils.

2.1.2.1 FILTRE A LIT FIXE D'ADSORBANT

L'effluent gazeux préalablement dépoussiéré (filtre à manches) est introduit dans un lit adsorbant (charbon ou coke activé dans une structure inerte) fonctionnant à une température inférieure à 150°C. Il fonctionne à co-courant et à contre-courant de manière à éviter une obturation du lit (perte de charge trop élevée) par les particules résiduelles contenues dans l'effluent gazeux à traiter. Le lit permet de récupérer les particules résiduelles, les aérosols et certains polluants gazeux (composés organiques volatils, mercure, dioxines et furanes). Compte tenu de l'importante surface d'adsorption, cette solution permet de traiter efficacement les émissions de polluants même lors de pics d'émission. Ce procédé permet de réduire les émissions de dioxines et de mercure de 99,9% et d'atteindre respectivement des teneurs inférieures à 0,1 ng I.TEQ/Nm³ et à 0,005 mg/Nm³. Le lit est renouvelé régulièrement par le fournisseur, toutes les 2000 à 4000 crémations environ.

De nouveaux dispositifs d'adsorption des polluants (dioxines, mercure) sur une structure rigide contenant un adsorbant (particule de carbone, charbon actif) ont été développés. Les polluants sont d'abord piégés sur une matrice polymère et diffusent ensuite à la surface de l'adsorbant où ils sont irréversiblement adsorbés. Ce système a été employé jusqu'à présent dans une gamme de débit d'effluent gazeux allant de 5000 à 100000 Nm³/h dans des systèmes de traitement secs ou humides en complément d'un autre système de captation ou comme système principal. Son efficacité dépend de la quantité de matériaux installée. Fonctionnant suivant ce principe, la structure fixe du procédé MerCAP^{TM,e} recouverte de métaux précieux (fine couche d'or ou d'argent) est particulièrement efficace pour piéger le mercure en formant des amalgames.

2.1.2.2 INJECTION D'ADSORBANT DANS L'EFFLUENT GAZEUX

Afin d'augmenter l'efficacité des filtres à manches vis à vis de certains polluants, des adsorbants sont injectés dans l'effluent gazeux. Il s'agit de charbon ou coke activé (pour le piégeage des espèces organiques, des métaux lourds et du SO₂) pouvant être utilisé avec de la chaux hydratée ou du bicarbonate de sodium (pour le piégeage des acides : HCl et HF). Plus la température est basse et plus les polluants sont piégés rapidement (une température inférieure à 150°C est recommandée). La séparation gaz-adsorbant s'effectue au moyen d'un filtre à manches où les particules et l'adsorbant injecté sont récupérés. La température sur le filtre doit être inférieure à 200°C. Les polluants piégés sur l'adsorbant sont évacués en tant que résidus solides. Une efficacité de captation des particules de 99% peut être obtenue. L'efficacité de récupération des dioxines et furanes et du mercure dépend de la qualité de l'adsorbant injecté, de l'efficacité du mélange effluent gazeux-adsorbant (un réacteur peut être utilisé en amont du filtre à manches afin de favoriser ce mélange et d'augmenter le temps de contact polluant-adsorbant) et de la conduite du système (notamment du débit d'injection d'adsorbant et du ratio adsorbant/polluant). 500 g de réactif par crémation sont préconisées par les constructeurs. Cette technique permet d'obtenir des teneurs en dioxines et furanes et en mercure inférieures respectivement à 0,1 ng l. TEQ/Nm³ et à 0,1 mg/Nm³.

A noter qu'un constructeur de ligne de filtration allemand propose un système de recyclage partiel du réactif utilisé (récupération et réintroduction) ce qui permet de réduire les quantités de réactif neuf consommées par crémation à 300 g environ.

La mise en place d'un cyclone en amont du dispositif d'injection d'adsorbant peut permettre d'éliminer les grosses particules et donc d'augmenter la durée de vie des manches mais également de minimiser les risques incendie en éliminant les particules incandescentes.

2.1.2.3 PROCÉDES CATALYTIQUES^F

Deux types de procédés catalytiques sont disponibles sur le marché :

- les structures en nid d'abeilles contenant un catalyseur,
- les filtres catalytiques.

Dans le premier cas, les polluants organiques qui pénètrent dans la structure en nid d'abeilles sont transformés essentiellement en CO₂ et H₂O au contact du catalyseur qui fonctionne à une température allant de 180 à 250°C. Afin de ne pas désactiver rapidement le catalyseur, les poussières sont piégées au préalable.

Dans le second cas, des teneurs en poussières de 1 à 2 mg/Nm³ peuvent être obtenues en sortie de filtre à manches en tissu imprégné d'un catalyseur recouvert d'une membrane PTFE. Le catalyseur est introduit durant la fabrication de la fibre. Les dioxines et furanes sont détruits sur le catalyseur qui agit à une température comprise entre 150 et 250°C tandis que les poussières sont récupérées sur la membrane. Ces dispositifs sont en général utilisés sans injection de charbon actif.

Dans les deux cas, ces procédés permettent d'atteindre des teneurs en dioxines et furanes bien inférieures à 0,1 ng I. TEQ/Nm³. Ils agissent également sur les composés organiques volatils et semi-volatils tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) en fonction de leur volatilité et de leur capacité à s'oxyder. Aucune publication ne fournit d'élément sur l'efficacité de ces dispositifs vis à vis du mercure, ni sur l'effet du catalyseur sur cet élément (oxydation possible ?). A priori, seul le mercure adsorbé sur les particules peut être retenu, ce qui limite l'intérêt de ce dispositif. Dans le cas des filtres catalytiques, si l'efficacité vis à vis du mercure n'est pas suffisante, une injection d'adsorbant en amont du filtre peut permettre de récupérer cet élément.

Le filtre catalytique Remedia^{TM,g} fonctionnant suivant ce principe est particulièrement efficace sur les émissions de dioxines (teneurs allant de 0,01 à 0,09 ng I.TEQ/Nm³ mesurées à l'émission de ces installations). Il a été utilisé sur une vingtaine de crématoriums en Allemagne sur des installations déjà équipées de laveur pouvant abattre les rejets de mercure. Ce filtre s'est avéré particulièrement intéressant (en remplacement des filtres classiques) pour atteindre les exigences réglementaires sans injection d'adsorbant et donc sans les coûts d'exploitation associés (achat d'adsorbant, récupération et élimination des résidus). Il n'est toutefois pas efficace pour abattre les émissions de mercure.

2.1.3 DISPOSITIFS D'EPURATION DES OXYDES D'AZOTE (NO_x)

Les deux procédés employés pour réduire les émissions de NO_x : la réduction catalytique sélective (SCR) et la réduction non catalytique sélective (SNCR), ne sont pas utilisés dans la gamme de débit de fumées des crématoriums en raison des coûts d'investissement nécessaires.

Toutefois, un fabricant néerlandais d'appareils de crémation a conçu un système de traitement complet des émissions de poussières, NO_x, dioxines et mercure des crématoriums. Ce système consiste :

- à abaisser à 170°C la température en sortie de post-combustion,
- à injecter de l'ammoniac afin de traiter les rejets de NO_x,
- à récupérer les particules les plus grosses (PM10) au niveau d'un cyclone ; celui-ci servant également de chambre de mélange permettant d'augmenter l'efficacité de captation des NO_x,
- à récupérer les particules les plus fines sur un filtre à manches (teneur garantie en sortie inférieure à 5 mg/Nm³),
- avant d'introduire l'effluent gazeux dans un lit d'adsorbant contenant un catalyseur permettant d'éliminer le mercure et les dioxines et furanes.

Ce système est utilisé depuis 1999. Au moins 6 crématoriums aux Pays-Bas et 2 en Allemagne sont équipés de ce système de traitement.

2.1.4 DISPOSITIFS D'EPURATION MIS EN ŒUVRE SUR LES CREMATORIUMS

2.1.4.1 DONNEES ETRANGERES

Des informations sur les dispositifs d'épuration installés sur les crématoriums en Allemagne, Autriche, Suède et Suisse sont mentionnées dans un document^d de la Commission OSPAR (Tableau 1).

Dispositif de traitement	Procédé	Adsorbant	Teneur en mercure (mg/Nm ³)	Crématorium
Filtre à lit fixe	Après FM	CA	0,05	Zurich (Suisse)
Adsorbeur fixe	Après FM	réaction catalytique	0,005 - 0,013	Bâle (Suisse)
Injection d'adsorbant		Chaux et CA	0,022	Hohenems (Autriche)
Injection d'adsorbant		Chaux et CA	0,008	Innsbruck (Autriche)
Injection d'adsorbant	Multicyclone + réacteur + FM	90% HC + 10% CA	0,001 - 0,088	Plusieurs en Allemagne
Injection d'adsorbant	cyclone + réacteur + FM	65% HC + 35% CA	0,003 - 0,004	Hameln (Allemagne))
Injection d'adsorbant	cyclone + réacteur + FM	65% HC + 35% CA - 0.8 kg/h/four	< 0,001	Forst (Allemagne)
Injection d'adsorbant	cyclone + réacteur + FM	Na ₂ CO ₃ + CA 100 à 200 g CA/crémation	0,0036 - 0,11 réduction : 96 à 99,9%	Uppsala (Suède)
Injection d'adsorbant	cyclone + réacteur + FM	70% HC + 30% Coke A - 0,5 kg/crémation/four	0,00067-0,00084	Hanovre (Allemagne)
Injection d'adsorbant	Injection + FM	HC + coke A	< 0,005	Lindau (Allemagne)

CA : charbon actif, HC : hydroxyde de calcium, FM : filtre à manches

Tableau 1 : exemples de dispositifs d'épuration mis en œuvre sur les crématoriums dans divers pays européens (source : Commission OSPAR^d)

2.1.4.2 DONNEES FRANÇAISES

L'enquête menée auprès des gestionnaires de crématoriums français équipés de lignes de filtration à la date de publication de l'arrêté du 28 janvier 2010, met en évidence que l'ensemble des systèmes d'épuration des émissions utilisés en France (8 crématoriums ayant répondu) fonctionnent par injection d'adsorbant dans l'effluent gazeux.

Les lignes de filtration proposées par les constructeurs opérant sur le territoire français comprennent un refroidissement des fumées à 120-150°C (échangeur), un dispositif d'injection de réactif (nécessaire au piégeage des acides, des COV, du mercure et des dioxines) associé à un réacteur de mélange (afin d'optimiser le mélange et d'augmenter le temps de contact entre polluant et réactif) et un dispositif de filtration des poussières performant (filtre à manches) qui sert à récupérer les particules et le réactif injecté. Le gâteau constitué par le réactif déposé sur les filtres servant également d'étape d'adsorption secondaire. Les manches sont régulièrement décolmatées et les poussières sont collectées par gravité dans des fûts mis en place sous le filtre.

Contrairement à d'autres installations étrangères, la mise en place de cyclone pour la récupération des plus grosses particules et la protection des manches (récupération des particules incandescentes) n'est pas une option retenue à l'heure actuelle en France. La protection des manches sur les lignes installées est obtenue par une surconsommation de réactif, notamment par l'utilisation d'une première charge de réactif avant crémation afin de constituer un gâteau de protection des filtres.

Environ 500 g d'adsorbant par crémation sont nécessaires pour atteindre les nouvelles exigences réglementaires. Chaque crémation génère un peu moins de 600 g de déchets (récupération du réactif introduit et des polluants captés).

Une ligne de traitement des émissions consomme de 20 à 30 kWh électrique par crémation (extraction des rejets atmosphériques, décolmatage des manches).

Une maintenance préventive de cet équipement est nécessaire. Des contrats de maintenance sont proposés par tous les constructeurs. Ils comprennent deux nettoyages manuels par an du dispositif de refroidissement des rejets atmosphériques (nécessaire même pour un dispositif autonettoyant), le remplacement de certains capteurs et le remplacement des manches (optionnel). La durée de vie des manches est estimée à 10 ans.

Enfin, l'implantation d'une ligne de filtration nécessite un espace important : 40 à 50 m² pour une ligne simple, 60 à 70 m² pour une ligne double et une hauteur inférieure à 5 m sous plafond.

2.2 ELEMENTS DE COUTS

2.2.1 DONNEES ETRANGERES⁴

Aux Pays-Bas, le coût à l'achat d'un dispositif d'épuration des rejets atmosphériques est évalué entre 45 500 et 74 500 euros par an pour un crématorium ne comprenant qu'un appareil de crémation. Le coût d'installation du dispositif incluant le transport, l'assemblage et le génie civil est de 18 200 euros par appareil de crémation et par an. Pour 850 crémations par an, le coût supplémentaire incluant l'achat et l'installation d'un dispositif d'épuration est compris entre 75 et 110 euros par crémation.

Au Royaume-Uni, AEA Technology^h estime le coût d'investissement d'un dispositif d'épuration à 395 000⁵ euros et le coût d'exploitation par crémation à 13,1 euros pour un crématorium qui effectue 978 crémations par an. Ces montants sont basés sur des coûts réels établis en 2001. Les coûts d'investissement comprennent l'équipement, la construction et la mise en service du système. Ils se décomposent de la façon suivante : 268 000 euros pour le dispositif d'épuration, 15 000 euros pour la mise en service et 112 000 euros pour le génie civil. Les coûts d'exploitation incluent l'énergie, la maintenance supplémentaire, l'entretien et l'achat / destruction de l'adsorbant.

Le coût moyen, par crémation, d'installation d'un dispositif d'épuration des rejets atmosphériques est présenté dans le tableau 2.

Nombre de crémations par an	Coût moyen par crémation (euros)
> 978	70 à 100
700 - 978	70 à 94
500 - 700	70 à 94
< 500	> 94

Tableau 2 : coût moyen d'installation d'un dispositif d'épuration des rejets atmosphériques par crémation

Pour des crématoriums qui possèdent deux appareils de crémation et qui effectuent moins de 978 crémations par an, le coût d'investissement est similaire à condition de mettre en place un dispositif d'épuration adapté à chaque configuration.

⁴ NB : il n'est pas précisé dans les documents de la littérature étrangère si les intérêts d'emprunts sont ou pas pris en compte dans les montants financiers indiqués.

⁵ en 2005, montant non réactualisé de l'inflation.

Pour les crématoriums effectuant de 700 à 978 crémations par an, un dispositif d'épuration adapté à une marche simultanée des deux appareils de crémation peut être mis en place. Cette solution permet d'économiser 30% du prix par rapport à la mise en place de deux systèmes d'épuration.

Pour les crématoriums qui effectuent de 500 à 700 crémations par an, le dispositif d'épuration peut être partagé entre les deux appareils de crémation ce qui implique de faire fonctionner les deux appareils séparément. Ces solutions conduisent à un minimum de perte de capacité de traitement et de flexibilité.

Pour les sites où il n'est pas possible de partager un dispositif d'épuration et où les contraintes en termes de place sont importantes, les coûts sont plus élevés que ceux indiqués dans le tableau ci-dessus.

2.2.2 DONNEES FRANÇAISES

L'enquête menée auprès des crématoriums français équipés d'un dispositif d'épuration des émissions fonctionnant par injection d'adsorbant fait ressortir un coût moyen d'investissement, hors génie civil, de 315 000 euros H.T. (290 000 à 340 000) pour un crématorium équipé d'une ligne de filtration simple, de 375 000 euros H.T. (350 000 à 400 000) pour une ligne de filtration double (un dispositif d'épuration relié à deux appareils de crémation) et de 450 000 à 480 000 euros H.T. pour une ligne de filtration triple.

L'implantation d'une ligne de filtration dans un crématorium existant oblige également à étudier l'intérêt de remplacer ou non simultanément le ou les appareils de crémation existants sachant que leur mise à niveau afin d'être connecté à une ligne de filtration nécessite environ 40 000 euros H.T.

Le coût du génie civil nécessaire à l'implantation d'une ligne de filtration - réhabilitation d'un bâtiment existant ou construction d'un bâtiment neuf- est en général compris dans une fourchette allant de 50 000 à 80 000 euros H.T. Ce coût correspond à un prix de base. Il ne prend pas en compte notamment l'achat du terrain, la réalisation d'éventuelles fondations particulières, etc. Ces coûts de génie civil sont susceptibles de varier de façon très importante jusqu'à atteindre des montants très élevés pour certaines configurations de site.

Les frais financiers (intérêts d'emprunt) s'élèvent à 100 000 euros environ pour un montant emprunté de 380 000 euros sur 12 ans à 4% d'intérêt.

Le coût du réactif est d'environ 4,2 euros H.T. le kg, soit 2,1 euros par crémation. Les quantités annuelles de déchets dangereux générés sont faibles et intéressent parfois peu les sociétés d'élimination. Les coûts d'élimination de ces déchets sont donc très variables en fonction de l'existence ou non d'une filière d'élimination à proximité géographique du crématorium. Le coût moyen d'élimination est de 2 euros par crémation.

Le coût d'un contrat de maintenance préventive pour une ligne simple prenant en compte la main d'œuvre correspondant à deux visites par an (nettoyage de la chaudière et remplacement de capteurs) et les pièces de rechange, évolue entre 4 000 et 8 000 euros H.T. par an en fonction des pièces de rechange prises en compte dans le contrat (remplacement des manches par exemple) et des frais de déplacement et de transport. Ce coût évolue peu pour une ligne double. Le coût du remplacement des manches est d'environ 5 000 euros H.T. pour une ligne simple, 8 000 euros H.T. pour une ligne double.

Le coût lié à la consommation électrique de la ligne de filtration est évalué à 2 euros environ par crémation.

Le coût supplémentaire d'exploitation (comprenant l'achat de consommables : réactif, électricité, l'évacuation des déchets et le contrat de maintenance préventive) est compris entre 10 et 14 euros H.T. par crémation pour un crématorium qui effectue 1000 crémations par an et de 7 à 11 euros H.T. par crémation pour un crématorium qui effectue 2000 crémations par an.

L'utilisation d'un échangeur pour refroidir les rejets atmosphériques peut également permettre une récupération de la chaleur contenue dans les rejets atmosphériques. Le coût lié à l'installation d'un système de récupération de chaleur est d'environ 20 000 euros H.T. (ballon d'eau chaude, régulation, etc.). Chaque appareil de crémation peut être relié à un ballon d'eau chaude de 3 m³ environ ce qui peut représenter une substantielle économie d'énergie (énergie utilisable pour le chauffage des locaux).

Le surcoût total par crémation est estimé entre 60 et 80 euros HT par crémation par les gestionnaires de crématorium ayant répondu à notre questionnaire. A titre d'information, le coût de funérailles par crémation est de 3 000 à 3 500 euros TTC en France.

3. COMMENTAIRES ET RECOMMANDATIONS

Les données provenant de la littérature étrangère et de l'expérience de certains pays dans ce domaine permettent d'identifier clairement les meilleures techniques disponibles pour traiter les rejets de polluants des crématoriums.

Le système le plus simple (l'injection d'adsorbant dans l'effluent gazeux) peut être recommandé pour atteindre les nouvelles VLE françaises. Il comprend :

- un dispositif de refroidissement des fumées (échangeur),
- une injection de réactif,
- un cyclone (option),
- un réacteur de mélange,
- un filtre performant (filtre à manches),

- une récupération du réactif et des poussières en fût.

Ce système fonctionnant entièrement par voie sèche paraît le plus approprié en termes de fiabilité, d'entretien, de simplicité de conduite, de gestion et de coûts tout en réduisant fortement les émissions des polluants à l'exception des oxydes d'azote.

Les filtres devront être équipés de manches en tissu performant ayant une durée de vie longue et nécessitant un minimum de maintenance. Les tissus de type Remedia™ qui ont l'avantage de détruire les dioxines et furanes et autres composés organiques lourds pourrait être intéressant afin d'améliorer pour ces polluants, si nécessaire, les performances du système d'épuration.

D'autres dispositifs d'épuration sont également opérationnels à l'étranger :

- les lits fixes d'adsorbant en particulier nécessitant au préalable une filtration sur filtre à manches. Il s'agit également d'un procédé intéressant (l'absence d'injection de réactif simplifiant la conduite de l'installation),
- quant aux dispositifs catalytiques, si l'intérêt de tels systèmes est démontré pour les dioxines, les performances de ces systèmes sur le mercure sont mal connues. Une injection d'adsorbant en amont semble alors indispensable, ce qui doit rendre ce type d'installation a priori plus onéreux que le système décrit précédemment.

Les procédés humides ne rencontrent pas de succès à l'étranger sur les nouveaux crématoriums. Ces systèmes présentent des désavantages avérés tels que la récupération des rejets liquides qui semble rédhibitoire compte tenu de la faible taille de l'installation et de la gestion associée.

Les techniques de traitement proposées par les constructeurs (l'injection d'adsorbant dans l'effluent gazeux) intervenant sur le territoire français sont robustes et permettent d'atteindre les performances requises par l'arrêté du 28 janvier 2010 (Cf. Annexe 1).

Les résultats des mesures à l'émission effectuées en France et à l'étranger sur des installations équipées d'un dispositif d'épuration confirment ces performances.

L'atteinte de ces performances nécessite toutefois une conduite adéquate de l'unité d'épuration obtenue par une formation préalable des opérateurs et une mise à niveau régulière si nécessaire ainsi qu'une maintenance appropriée. Nous conseillerons pour cela de souscrire au contrat de maintenance proposé par le constructeur de l'unité.

En termes de coût, les données obtenues à l'étranger (Pays-Bas, Royaume-Uni) et en France sont cohérentes. Le coût d'investissement pour un système d'épuration se situe dans la fourchette de 290 000 à 340 000 euros H.T. pour un crématorium équipé d'un appareil de crémation. L'achat d'une ligne de filtration double pour l'équipement de deux appareils de crémation permet une économie de 40% par rapport à l'achat de deux lignes de filtration simples. Le coût d'investissement pour l'équipement de trois appareils de crémation avec une ligne de filtration triple correspond à environ 50% du prix de trois lignes de filtration simples. Le coût du génie civil est beaucoup plus difficile à chiffrer. En effet, ce coût est étroitement lié à l'espace disponible pour implanter le dispositif d'épuration. Sur un crématorium existant tous les cas sont donc rencontrés y compris le changement d'emplacement de l'appareil de crémation s'il n'est pas possible de mettre en place un dispositif d'épuration par manque de place sur le site existant. Le coût du génie civil de base, nécessaire à l'implantation d'une ligne de filtration, comprenant la réhabilitation d'un bâtiment existant ou la construction d'un bâtiment neuf, est en général compris dans une fourchette allant de 50 000 à 80 000 euros H.T.

Afin de minimiser l'investissement à réaliser, les configurations suivantes devront être privilégiées :

- une ligne de filtration simple associée à deux appareils de crémation (cette configuration ne permet pas de faire fonctionner les deux appareils de crémation simultanément),
- une ligne de filtration double qui permet une économie de 40% par rapport à l'achat de deux lignes de filtration simples,
- ou encore une ligne de filtration triple (correspondant à 50% du prix des trois lignes de filtration simples).

En termes de coût d'exploitation, un montant d'environ 10 à 14 euros par crémation (pour un crématorium effectuant environ 1000 crémation par an) qui comprend l'achat du réactif, la gestion des déchets, les consommables (énergie et eau) et les provisions pour maintenance ressort des informations fournis par les gestionnaires de crématorium déjà équipés de ligne de filtration, les constructeurs et par l'étude menée par AEA Technology.

Enfin, le retour sur investissement sur la base d'un surcoût lié à l'emploi d'un dispositif d'épuration de 100 euros TTC par crémation (ce montant mentionné par les constructeurs de système d'épuration est tout à fait cohérent avec les données obtenues aux Pays-Bas, au Royaume-Uni et auprès des gestionnaires de crématoriums français équipés) est d'environ 10 à 12 ans pour un crématorium existant qui effectue 1000 crémations par an et de 6 à 8 ans pour un crématorium qui effectue 2000 crémations par an avec deux appareils de crémation équipés d'une ligne de filtration double. En deçà de 700 à 800 crémations par an le retour sur investissement est plus hypothétique.

Enfin, il serait souhaitable que les futurs équipements intègrent un dispositif de récupération de chaleur contenue dans les rejets atmosphériques afin de réaliser une substantielle économie d'énergie (énergie utilisable pour le chauffage des locaux).

4. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

^a Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutant, Guidelines on best available techniques and provisional guidance on best environmental practices, téléchargeable sur :

<http://chm.pops.int/ProgrammesUnintentionalPOPs/Implementation/tabid/218/language/fr-CH/Default.aspx>

^b Review : mercury in waste incineration, D. Van Velzen, H. Langenkamp, G. Herb, Waste Management & Research 2002; 20; 556-68

^c Mercury emissions from crematoria DEFRA; téléchargeable sur :

www.defra.gov.uk/environment/qualitypollution/ppc/old-consultations/crematoria/consultation.pdf

^d OSPAR Commission 2003 Mercury emissions from crematoria and their control in the OSPAR Convention Area, téléchargeable sur :

http://www.ospar.org/documents/dbase/publications/p00179_Mercury%20emissions%20from%20crematoria.pdf

^e Development and Demonstration of Mercury Control by Adsorption Process (MercapTM), S. Sjostrom and al. ADA environmental solutions

^f A review of catalytic processes for the destruction of PCDD and PCDF from waste gases, E. Finocchio, G. Busca and M. Notaro, Applied Catalysis B : Environmental, Vol 62 issues 1-2, p 12-20

^g Removal and destruction of PCDD/F from crematories by RemediaTM catalytic filter system, Xu Z., Wedman, R. Bucher, O. Petzoldt T. Sasamoto and M. Wilken 2003 Organohalogen compounds 63, 216-219

^h Review of emissions from crematoria in the UK, AEA Technology report, Edwards P., 2001

5. LISTE DES ANNEXES

Annexe	Désignation	Nombre de pages
1	Valeurs limites réglementaires	1
2	Questionnaire	2

Annexe 1 (valeurs limites réglementaires)

Polluants	Valeurs limites exprimées en mg/Nm ³ (sauf dioxines) sur gaz sec à 11% d'O ₂ ou 9% de CO ₂
COVT (en équivalent C)	20
NO _x (en équivalent NO ₂)	500
CO	50
Poussières	10
HCl	30
SO ₂	120
Dioxines et furanes (en I-TEQ)	0,1 ng/Nm ³
Mercure	0,2

Tableau 1 : nouvelles valeurs limites (arrêté du 28 janvier 2010)

Polluants	CO	HCl	SO ₂	NO _x (éq. NO ₂)	Poussières	Dioxines	Mercure
Allemagne	50	40			10	0,1	
Belgique	100	200	300	400	30	0,1	0,2
Italie	100	10	50	200	30		0,1
Pays-Bas		30		bas taux	10	0,1	0,2
Royaume Uni	100	200			80		0,2
Suède	100				20	0,1	110 kg/an/ crématorium
Suisse	50	30		200	50	0,1	0,1

Tableau 2 : valeurs limites réglementaires dans les principaux pays européens (exprimées en mg/Nm³ et pour les dioxines en ng I.TEQ/Nm³ dans les conditions normales)

Annexe 2 (questionnaire)

Etude technico-économique relative à la mise en place de dispositifs de filtration des émissions sur les appareils de crémation des crématoriums français

Etude réalisée par l'INERIS pour le compte de la Direction Générale de la Santé (DGS).

En vue de la publication du projet d'arrêté modifiant l'arrêté du 29 décembre 1994 relatif à la hauteur de la cheminée des crématoriums et aux quantités maximales de polluants contenus dans les gaz rejetés à l'atmosphère, la DGS souhaite disposer d'informations sur les dispositifs d'épuration des rejets des crématoriums français. L'objectif est de communiquer, aux crématoriums non encore équipés de tels procédés, des données techniques et économiques utiles à leur démarche de mise aux normes. Dans ce cadre, nous vous remercions de bien vouloir compléter le questionnaire ci-dessous. Nous vous garantissons la totale confidentialité des éléments que vous nous communiquerez.

Adresse du crématorium :

Description du crématorium						
Nombre de crémations réalisées par an (trois dernières années)	2007 :					
	2008 :					
	2009 :					
Nombre d'appareils de crémation						
Nombre de lignes de filtration	simple		double		triple	
Description de la ligne de filtration des rejets à l'atmosphère						
Fournisseur						
Description du dispositif (rayer la ou les mentions inutiles ou compléter)						
Date de mise en service de la ligne de filtration						
Réactif utilisé (nom commercial)						
La ligne a-t-elle été implantée dans les bâtiments existants ?						
Exploitation de la ligne de filtration des rejets à l'atmosphère						
Quantité de réactif utilisée (g/crémation ou kg par an)						
Quantité de déchets éliminée (g/crémation ou kg par an)						
Problèmes d'exploitation et dysfonctionnements rencontrés						

Efficacité de la ligne de filtration des rejets à l'atmosphère						
Valeurs limites associés à l'installation	Mercuré					mg/Nm ³
	Dioxines					ng ITEQ Nm ³
Valeurs mesurées (dernière campagne de mesures)	Ligne	1	2	3		
	Poussières				mg/Nm ³	
	COVT				mg C/Nm ³	
	Mercuré				mg/Nm ³	
	Dioxines				ng ITEQ Nm ³	
Données économiques liés à la ligne de filtration uniquement						
Coût d'investissement						€ H.T.
Dont : Frais d'étude et d'ingénierie Equipement et mise en service Génie civil						
Frais financier (montant des intérêts d'emprunt ou capital emprunté, taux et durée du prêt)						€ H.T.
Coût du réactif						€ H.T./tonne
Coût de gestion des déchets produits						€ H.T.
Coût d'entretien/maintenance (mentionner les coûts et l'année des importantes opérations de maintenance éventuellement effectuées)						€ H.T.
Répercussion sur le coût de la crémation (surcoût global par crémation)						€ H.T./crémation

Remarques éventuelles sur la ligne de filtration choisie, ou autre ?