

LA CONDUITE AUTOMATISÉE DE FOURS D'INCINÉRATION D'ORDURES MÉNAGÈRES : UNE SOLUTION À LA RÉDUCTION DES REJETS DE DIOXINES

Patrick Sibille, Hugues Garnier et Marion Gilson
Centre de recherche en automatique de Nancy, CNRS ESA 7039, Vandoeuvre

Le traitement des déchets ménagers est un des enjeux écologiques de cette fin de siècle. Une démarche aboutissant à une conduite automatisée, simple et efficace de fours d'incinération d'ordures ménagères à grilles est proposée dans cet article. La stratégie de commande automatique développée est fondée sur une structure de boucles de régulation non-linéaires. Elle assure une maîtrise de la combustion dans le four, en maintenant d'une part la température du foyer autour d'une valeur de consigne et d'autre part une charge de déchets ménagers adaptée à la capacité du four. Elle garantit également une utilisation rationnelle des airs de combustion et de refroidissement de manière à respecter la législation en terme de pollution. Les résultats exposés démontrent que la régulation de combustion implantée sur site depuis plus d'un an et demi est très satisfaisante : elle a permis de réduire de façon notable les rejets de dioxines, d'améliorer le rendement de l'unité d'incinération et de sécuriser son fonctionnement.

The treatment of household refuse is one of the ecological goals for the end of this century. A methodology is proposed in this article which makes it possible to control efficiently and automatically a household refuse incinerator with grids. The automatic control is based on a structure of cascaded regulation loops. It ensures good combustion in the incinerator by monitoring, on the one hand, the furnace temperature around a given set point, and on the other hand, the household refuse charge adjusted to its inferior calorific value. It also guarantees a rational use of combustion and cooling air flow rates. The experimental results show that the combustion regulation, which has been implemented for more than one year, is totally satisfactory. The proposed regulation strategy brings indeed more safety, improves the efficiency of the incinerator and has made possible a considerable reduction of the rate of dioxins.

INTRODUCTION

Dans les pays fortement industrialisés et urbanisés, le traitement des déchets est incontestablement un problème écologique et économique majeur, auxquels se sont attachés, depuis plusieurs années, les collectivités locales et les industriels. Aujourd'hui, les détritiques ménagers peuvent encore être éliminés par enfouissement, par compostage ou par incinération^[1, 2, 3 et 4]. Ces moyens classiques de traitement présentent indéniablement des avantages et inconvénients sur les plans technique, environnemental et économique. Actuellement, 40 % environ des ordures ménagères (OM) sont incinérées, dont les deux tiers avec des systèmes de récupération d'énergie. Cette solution attrayante, largement adoptée par les collectivités locales, semble la plus adaptée à ce délicat problème, mais les trois quarts des installations actuelles ne répondent pas aux nouvelles normes européennes^[5]. Néanmoins, le respect de ces dernières impose, à court terme, le rééquipement de ces installations vétustes d'un dispositif de purification des gaz brûlés. Dans les années à venir, sous l'influence de la loi du 13 juillet 1992 la quantité d'ordures ménagères brûlées devrait fortement augmenter afin d'endiguer les désagréments et dangers pour l'environnement que constituent les décharges^[6].

L'incinération est appropriée au traitement des déchets organiques, dans la mesure où elle permet de minéraliser totalement leurs constituants. Toutefois sans précaution, ce procédé a un impact potentiel sur l'environnement à cause des polluants émis dans les fumées et des résidus qu'il produit comme les cendres et Refiom (résidus de l'épuration des fumées des incinérateurs d'ordures ménagères)^[7]. Son efficacité est liée aux conditions de combustion, notamment au contrôle de la température et du taux d'oxygène qui doivent être suffisamment élevés pour assurer l'oxydation totale des constituants élémentaires. Si ces conditions ne sont pas respectées, la dégradation est incomplète et les produits de combustion intermédiaires formés peuvent alors se recombinaison pour donner naissance à des produits toxiques comme des hydrocarbures aromatiques polycycliques, des dioxines et des dibenzofuranes^[8]. En revanche, ce procédé d'élimination efficace comporte de nombreux avantages

lorsqu'il est effectué dans de bonnes conditions : pas de risque de pollution directe des nappes phréatiques, réduction des déchets à stocker en décharge de plus de 90 % en volume et de 70 % en poids^[9]. Par ailleurs, l'incinération assure souvent une valorisation du pouvoir calorifique des déchets par la production de vapeur et/ou d'électricité, etc. Ce mode de traitement nécessite des usines d'incinération performantes, puisqu'elles doivent non seulement éliminer les déchets en respectant la législation européenne en vigueur, mais aussi assurer une certaine productivité, de manière à diminuer de 50 % voire plus, les coûts de traitement qui restent sans cela onéreux. Cette technique complexe doit de plus s'accommoder d'une composition des ordures ménagères considérablement variable d'un pays à l'autre, d'une saison à l'autre et même d'un jour à l'autre. Cette diversité dans la composition rend la maîtrise du procédé d'incinération très délicate. En France, une tonne d'ordures ménagères engendre habituellement 5 000 à 6 000 m³ de fumées, 250 à 300 kg de mâchefers et 25 à 40 kg de cendres ou Refiom; d'un point de vue énergétique, elle peut produire classiquement 6 600 MJ de vapeur pour alimenter un réseau de chauffage et fournir une énergie électrique de 1 600 MJ^[6].

En France, en 1989, il existait 300 usines d'incinération dont^[10]:

- 80 avec récupération d'énergie qui traitent 7,4 millions de tonnes d'OM,
- 220 sans récupération d'énergie qui brûlent 2,6 millions de tonnes d'OM.

Le respect et la prise en compte de l'ensemble de ces contraintes induisent nécessairement une conduite automatisée des unités d'incinération. Bon nombre d'installations industrielles de traitement des déchets ménagers ne sont pas équipées de systèmes de contrôle-commande et s'ils existent, la plupart du temps, ils ne satisfont pas l'exploitant. Ainsi, la majorité d'entre eux sont contraints d'exploiter leur unité en fonctionnement manuel.

Dans cet article, une méthodologie simple fondée sur l'analyse phénoménologique permettant d'aboutir à une commande automatique efficace est présentée. La stratégie de commande s'appuie sur une instrumentation « rudimentaire » au sens où cette dernière est standard sur les petites et moyennes installations, ce qui garantit sa « portabilité ». La première partie de ce document décrit succinctement le procédé d'incinération et l'unité de Bénesse Maremne. À la suite de quoi, les conditions de fonctionnement de cette installation et les objectifs de l'étude sont présentés. La stratégie de commande adoptée est détaillée et les résultats obtenus sont exposés dans les deux dernières parties. Enfin, quelques conclusions sont tirées.

DESCRIPTION DE L'UNITÉ D'INCINÉRATION

Le Sitcom Côte Sud des Landes, ci-après dénommé Sitcom, gère deux usines d'incinération d'ordures ménagères : Bénesse Maremne et Messange. L'unité de Bénesse Maremne

Nomenclature

AP	Air primaire (en %)
AP*	Consigne d'air primaire (en %)
AS	Air secondaire (en %)
AS*	Consigne d'air secondaire (en %)
Correcteur O ₂	Correcteur PID de la boucle d'oxygène
Correcteur T _{AS}	Correcteur PID de la boucle de température de post-combustion par l'air secondaire (AS)
Correcteur T _{pause}	Correcteur PID de la boucle du temps de pause des grilles
O ₂	Taux d'oxygène (en %)
O ₂ *	Consigne de taux d'oxygène (en %)
QC	Qualité de combustion
R	Rapport air/charge (en % . s)
R*	Consigne de rapport air/charge (en % . s)
T	Température de post-combustion (en °C)
T*	Consigne de température de post-combustion (en °C)
T _{pause} *	Consigne de temps de pause des grilles (en s)

Abréviations

CRAN	Centre de recherche en automatique de Nancy
DIB	Déchets industriels banalisés
Drire	Direction régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement
NL	Non-linéaire
OM	Ordures ménagères
PCI	Pouvoir calorifique inférieur
PID	Proportionnel, intégral et dérivé
Refiom	Résidu de l'épuration des fumées des incinérateurs d'ordures ménagères
TVI	Tout venant industriels

est constituée de deux lignes de traitement d'ordures ménagères, mélangées avec des déchets industriels banalisés (DIB). Elles fonctionnent aujourd'hui en continu, traitent un tonnage annuel d'environ 60 000 t et n'utilisent aucun combustible d'appoint^[11]. Elles sont pilotées manuellement par les opérateurs à partir d'un système de supervision mis en place dans la salle de contrôle de l'usine.

Les déchets ménagers sont collectés par camions qui les déversent dans une fosse de stockage. Puis, ils sont acheminés par un grappin dans une trémie et descendent dans celle-ci par gravité (cf. figure 1). Enfin, ils sont introduits dans le four grâce à un poussoir. Le four comporte, entre autres, 6 grilles mobiles. Ces grilles sont constituées de gradins divisés en une partie mobile et une fixe. La partie mobile est mue par mouvement horizontal qui assure le cheminement, le renversement et l'aération des déchets en cours de combustion. Sous les grilles, on trouve des caissons qui amènent et distribuent l'air primaire indispensable à la combustion. Ils permettent également la récupération des « fines » sous grilles (cendres fines) pour les évacuer mécaniquement par l'in-

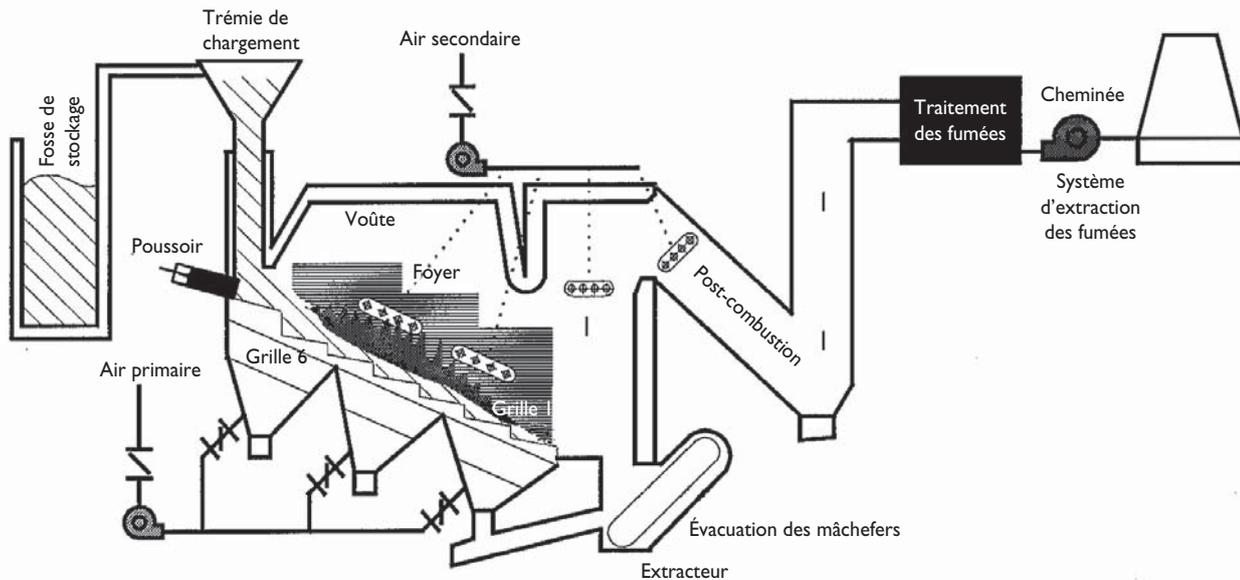


Figure 1 : Synoptique de l'unité d'incinération de Bénése Maremne

termédiaire de l'extracteur. Un ensemble de ventilateurs commande les différents débits d'air primaire et secondaire pour garantir l'oxydation totale des déchets. Si l'air primaire assure le séchage et débute la combustion, l'air secondaire, pulsé à grande vitesse, termine la combustion dans le foyer et permet la dilution des gaz en zone de post combustion. Un ventilateur dit de « tirage » maintient l'ensemble du four en légère dépression et évacue les produits de combustion gazeux. La chambre de combustion est tapissée de briques réfractaires.

Les deux fours à grilles équipant cette unité sont :

- un four Alberti Fonsar (four 1) mis en service en 1972 d'une capacité d'incinération de 3 t/h,
- un four Sogea (four 2) mis en service en 1985 d'une capacité de 4,5 t/h.

Cette unité d'incinération d'ordures ménagères est dotée d'un traitement moderne d'épuration des gaz de combustion : dépoussiérage et filtration. Ce système, de marque Sulzer, mis en service en 1995, est un procédé par voie humide associé à un électrofiltre. Il est composé d'une seule ligne commune aux deux fours comprenant deux tours de lavage (acide et basique), un ventilateur d'extraction et une cheminée.

Le refroidissement des gaz est assuré par des échangeurs gaz/air Fire Power sans récupération d'énergie. Les rejets liquides engendrés par la voie humide sont traités sur le site par un procédé physico-chimique classique. Les eaux traitées sont rejetées dans le milieu naturel.

Dans cet article, seuls les résultats relatifs au four Alberti Fonsar, appelé four 1 sont donnés, ceux du four 2 étant similaires.

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Suite à des analyses effectuées par la Drire Aquitaine (Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement), en février 1998, sur les effluents rejetés par les fours d'incinération d'ordures ménagères de l'unité de Bénése Maremne, l'exploitant a demandé une expertise des conditions de fonctionnement de ceux-ci à la société Bertin Technologies dans le but de diminuer les rejets de polluants.

Cette étude a mis en évidence des conditions anormales de marche, à savoir : des niveaux de température faibles et mal maîtrisés dans la chambre de post-combustion des fours, une mauvaise utilisation des airs primaire et secondaire favorisant ainsi la formation de dioxines et furanes. Ainsi, pour diminuer ces rejets de polluants, la société Bertin Technologies a fait appel au Centre de recherche en automatique de Nancy (Cran) pour mettre en place une conduite automatisée des fours.

Le Cran, fort d'une expérience sur ce type d'unité depuis plus de 10 ans^[12, 13 et 14] propose pour aboutir à cet objectif environnemental primordial de maîtriser et de maintenir la température de post-combustion du four à une valeur supérieure à 850 °C de manière à respecter la législation en vigueur et à éviter la vitrification des cendres dans la chambre de combustion et dans les gaines d'évacuation des gaz, et ceci indépendamment de la nature des déchets ménagers.

STRATÉGIE DE COMMANDE

Pour atteindre cet objectif, une stratégie de commande a été proposée; elle s'appuie, d'une part, sur l'étude phénoménologique approfondie du comportement du four réalisée à partir de campagnes de mesure effectuées en avril et mai 1998, et d'autre part sur l'expérience du Cran.

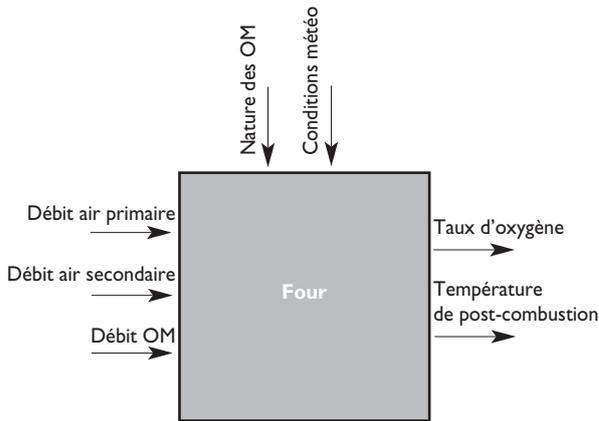


Figure 2 : Schéma des entrées, sorties et perturbations du four

Description des entrées - sorties

Les principales grandeurs fonctionnelles de l'installation sont présentées à la figure 2. Les deux variables à maîtriser sont le taux d'oxygène et la température de post-combustion, représentatives de l'échange thermique. Trois variables de commande ou grandeurs réglantes (qui désignent les entrées de l'installation) sont nécessaires : les débits d'air primaire et secondaire envoyés à l'installation, ainsi que le débit d'ordures ménagères circulant dans le four, représenté par le temps de pause et l'ordre d'activation des grilles (ou recette). La recette, en accord avec l'exploitant, est figée de manière à garantir un temps de transit adapté aux types

d'ordures ménagères et une avancée régulière des déchets ménagers. Néanmoins, l'algorithme de commande est chargé de calculer le temps de pause entre chaque grille (temps séparant l'activation de 2 grilles successives).

Les perturbations non maîtrisables sont la nature des ordures ménagères (journaux, végétaux, plastiques,...) et les conditions météorologiques (saison, hygrométrie, température,...).

Description de la commande

Bien que les principaux organes de commande influencent l'ensemble des variables du four, nous avons choisi de commander indépendamment chacune des grandeurs principales à l'aide de régulateurs mono-variables dont la simplicité facilite les réglages et la maintenance de la commande. De plus, la structure de commande doit intégrer des régulateurs du type PID, couramment répandus dans le milieu industriel.

En outre, des actions trop importantes ou trop fréquentes sont néfastes pour le bon fonctionnement de l'installation. Afin d'éviter des sollicitations intempestives des actionneurs, des régulateurs de type PID associés à des éléments non-linéaires (NL) de type bande morte ont été mis en place (Cf. figure 3).

Régulation de la température de post-combustion

Le maintien de la température de post-combustion autour de la consigne désirée est réalisé par deux organes de com-

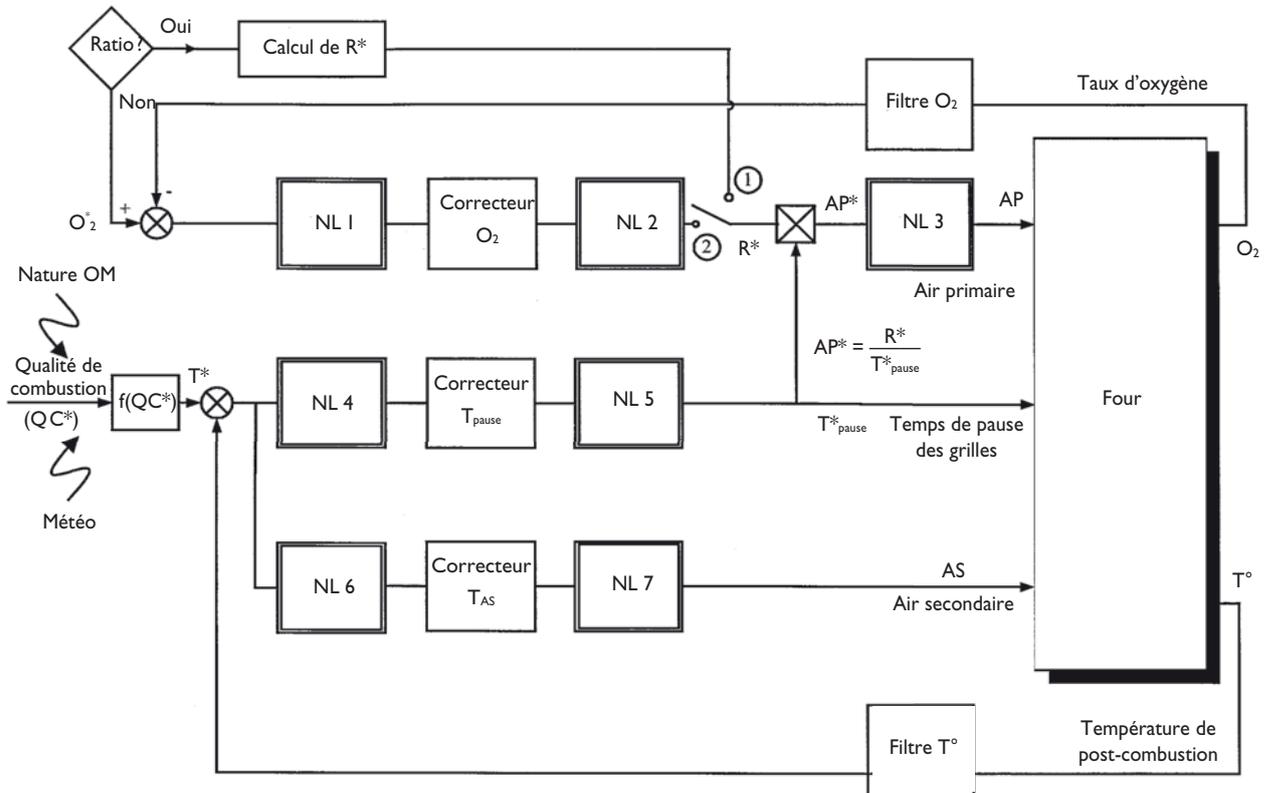


Figure 3 : Stratégie de commande implantée

mande : l'organe de commande principal du four (temps de pause des grilles) assure un débit d'ordures ménagères adéquat alors que les fluctuations de température sont réduites par la commande du moteur du ventilateur d'air secondaire dont l'influence est rapide.

De même, la température de post-combustion est liée au débit d'ordures ménagères, et donc au temps de pause des grilles lorsque les conditions de combustion sont « correctes ». Aussi, est-il essentiel de commander le moteur du ventilateur engendrant l'air primaire (image du débit d'air primaire) afin d'adapter le rapport air/charge, noté $R^{(1)}$.

La quantité d'air primaire soufflée dans le foyer doit être contrôlée avec la plus grande vigilance. L'hétérogénéité du combustible impose d'apporter la quantité d'air suffisante pour obtenir une combustion complète. En effet, une quantité d'air insuffisante engendre des imbrûlés alors que de l'air en quantité trop importante diminue la température de la chambre de combustion.

L'air secondaire assure non seulement l'oxydation des imbrûlés gazeux mais aussi le refroidissement de la température du foyer. Cependant, son action est limitée car il ne peut pas compenser à lui seul une hausse de température importante (par exemple, un écart supérieur à 50 °C). C'est pourquoi le temps de pause des grilles est sollicité parallèlement à la commande du ventilateur d'air secondaire.

Régulation du taux d'oxygène

La mesure du taux d'oxygène renseigne sur la qualité de la combustion et permet de calculer l'excès d'air. Le point de fonctionnement habituel sur ce four donne une valeur moyenne du taux d'oxygène de 13 % à 16 %, ce qui correspond approximativement à un excès d'air compris entre 160 % et 320 %. Ces valeurs sont très élevées, à cause d'entrées d'air parasites qui subsistent et de l'emplacement éloigné de l'analyseur par rapport à la chambre de combustion. Malheureusement, ces valeurs peuvent provoquer des envolées de cendres et d'imbrûlés. Dans ces conditions, notre objectif est seulement de réduire les variations du taux d'oxygène, sachant que dans tous les cas, la limite inférieure de la réglementation (taux d'oxygène supérieur à 6 %) sera toujours respectée. Si le contrôle de ce taux est nécessaire, son maintien à une valeur fixe semble compromis dans l'état actuel de l'installation. Néanmoins, il est régulé par l'air primaire et le temps de pause des grilles. Deux possibilités sont proposées pour cette régulation, suivant la position de l'interrupteur (Cf. figure 3). Si celui-ci est en position 2, une consigne d'oxygène est spécifiée. En revanche, si l'interrupteur est en position 1, la valeur de la consigne de rapport air/charge (R) est directement calculée.

Légende du schéma de commande du four I

Les correcteurs utilisés sont symbolisés dans la figure 3 par :

- correcteur O_2 : correcteur PID de la boucle d'oxygène,
- correcteur T_{pause} : correcteur PID de la boucle du temps de pause des grilles,
- correcteur T_{AS} : correcteur PID de la boucle de température de post-combustion par l'air secondaire (AS).

Des éléments non-linéaires (NLI à NL6) de type : saturation, bande morte, sont utilisés dans le schéma de commande pour éviter des sollicitations inopportunes des actionneurs. Afin d'éliminer le bruit et les perturbations hautes fréquences des filtres numériques sont introduits sur les mesures. La mesure de rapport air/charge (R) est utilisée dans la régulation de ratio, elle correspond au rapport entre le débit de comburant (AP) et le débit de carburant. Ici, l'image du débit d'ordures ménagères est l'inverse du temps de pause des grilles, c'est-à-dire que le débit augmente quand le temps de pause diminue et *vice versa*.

Principe de choix automatique de la consigne de température de post-combustion

La nature hétérogène des ordures ménagères ne permet pas toujours de maintenir une consigne de température fixe. Cette adaptation n'étant pas toujours évidente pour les opérateurs, nous avons proposé et mis en place, en accord avec l'exploitant, une stratégie automatique de changement de consigne de température de post-combustion. Ainsi, l'opérateur ne spécifie qu'une qualité de combustion (QC) qui sera associée automatiquement à une valeur de consigne de température (T).

RÉSULTATS DE LA COMMANDE AUTOMATIQUE

Nous abordons, dans cette section, l'analyse et l'évaluation des performances de la stratégie de la commande du four I. Les mesures statistiques effectuées sur différentes campagnes de mesure et présentées ci-après permettent d'apprécier les performances de la commande implantée.

Les résultats présentés (cf. tableau 1) correspondent à une conduite manuelle du four effectuée par les opérateurs avant la mise en service de la conduite automatisée. Ces résultats sont comparés à ceux obtenus par la stratégie de commande proposée mise en service durant le mois d'août 98 (cf. tableau 2). Ces deux enregistrements correspondent à des fonctionnements dans le même type de conditions c'est-à-dire : même saison, encrassement identique, ordures ménagères comparables, etc.

Les figures 4 et 7 présentent respectivement la répartition des deux principales variables, à savoir : la tempé-

Tableau 1 : Statistiques sur le fonctionnement du four en manuel - Campagnes 1 et 2

Moyenne	Température post-combustion (°C)			Moyenne	Taux d'oxygène (%)		
	Écart-type	Minimum	Maximum		Écart-type	Minimum	Maximum
996	85	746	1200	15.5	1.0	12	18.7
934	89	690	1169	15.6	1.3	9.9	18.9

Tableau 2 : Statistiques sur le fonctionnement du four en automatique - Campagnes 3 et 4

T*	Température post-combustion (°C)				O ₂ *	Taux d'oxygène (%)			
	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum		Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum
940	938	43	823	1087	16	16.2	0.7	13.3	17.7
1000	1002	37	845	1084	15	15.6	0.7	13.3	18.0

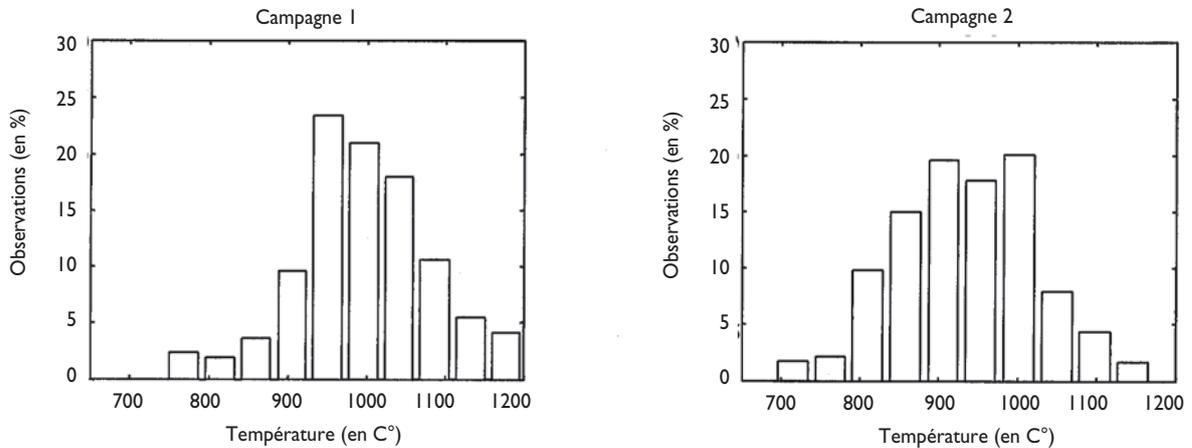


Figure 4 : Histogrammes de la température de post-combustion en fonctionnement manuel

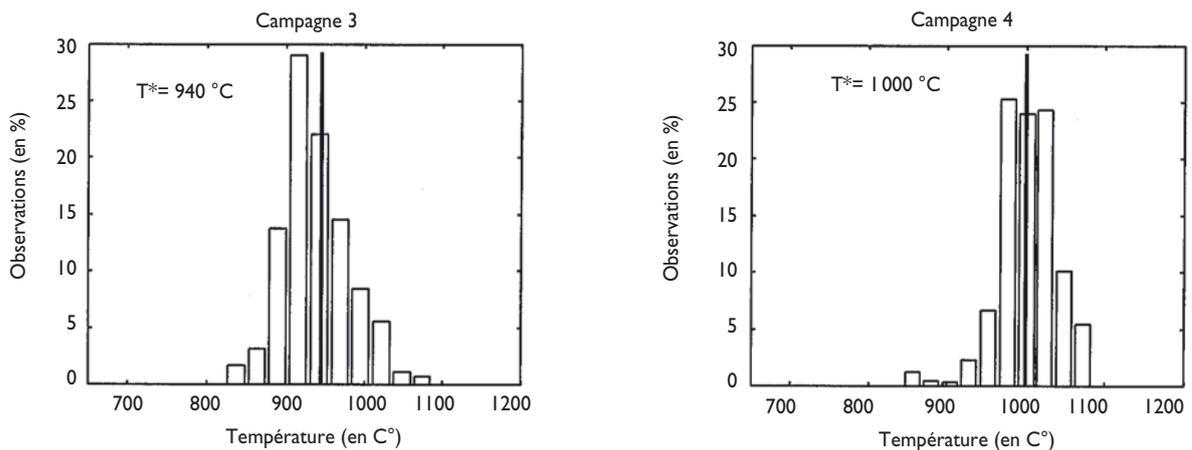


Figure 5 : Histogrammes de la température de post-combustion en fonctionnement automatique

rature de post-combustion et le taux d'oxygène pour les deux types de fonctionnement automatique et manuel. On relève notamment que l'écart-type de la température pour une conduite automatique est réduit de moitié par rapport à celui obtenu pour un fonctionnement manuel (cf. tableaux 1, 2 et figures 4, 5). De ce fait, on relève, bien évidemment, des valeurs minimales et maximales beaucoup moins éloignées de la température moyenne en fonctionnement automatique ainsi qu'une diminution significative de l'écart-type pour le taux d'oxygène. Les moyennes obtenues sont proches des consignes fixées.

L'analyse des histogrammes de la mesure du taux d'oxygène (figures 6 et 7) mène aux mêmes conclusions que précédemment même si, comme nous l'avons précisé, la

régulation du taux d'oxygène est plus difficile car elle résulte de la combustion.

L'étude de ces relevés valide les réglages des paramètres de la stratégie élaborée qui conviennent donc à des ordures ménagères relativement hétérogènes, à savoir : PCI élevé (déchets industriels de type tout venant industriels, TVI) et faible taux d'humidité, ou des ordures ménagères dites « fraîches » et fermentées. Les mesures relevées montrent de bonnes performances. Les observations recueillies sur la température montrent une nette amélioration par rapport à une conduite manuelle.

Enfin, le dernier élément fondamental est le point de vue environnemental. Pour éviter la formation de produits toxiques, la stratégie de commande mise en place assure la maîtrise des conditions de fonctionnement du

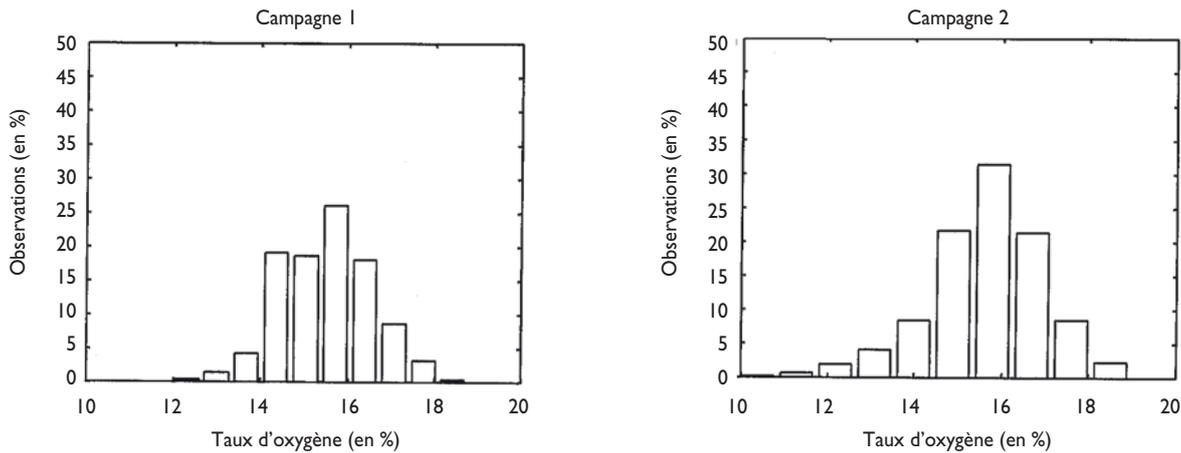


Figure 6 : Histogrammes du taux d'oxygène en fonctionnement manuel

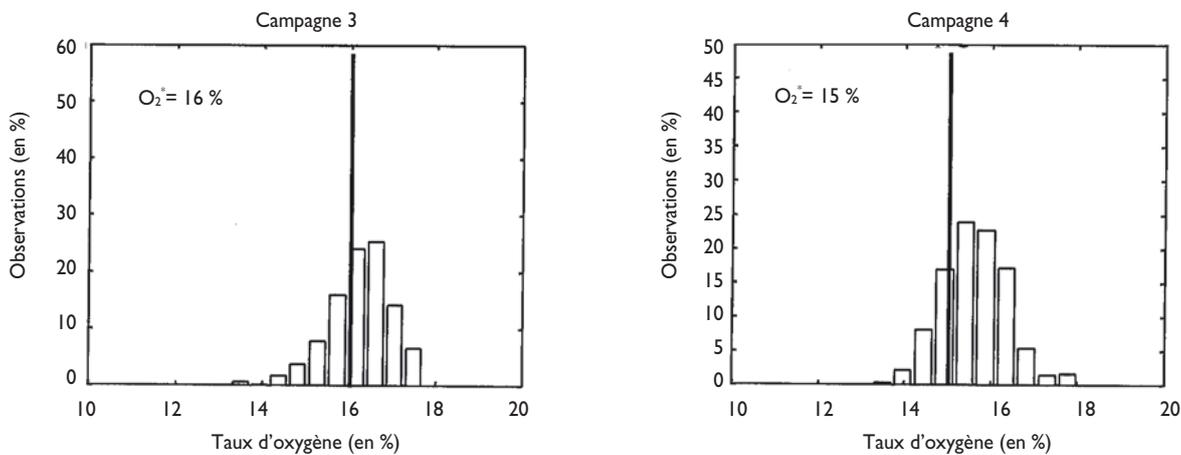


Figure 7 : Histogrammes du taux d'oxygène en fonctionnement automatique

Tableau 3 : Statistiques sur les rejets de dioxines avant et après mise en place de la commande

Mode de conduite	Manuelle				Automatique	
	13/02/96	14/02/96	15/02/96	02/98	23/10/98	04/99
Taux Dioxines (ng/Nm ³)	27.4	63.5	30.9	170	4.15	2.7

four d'incinération garantissant ainsi une oxydation complète des produits. En effet, d'après les derniers relevés réalisés par la Drire, cette stratégie de commande a conduit à une très forte diminution du taux de dioxines et furanes, celui-ci a été divisé en moyenne par un facteur 20 (Cf. tableau 3). Pour atteindre le seuil de 0,1 ng/Nm³, le Sitcom Côte Sud des Landes envisage l'addition d'un système d'épuration des fumées complémentaire.

CONCLUSIONS

La stratégie de commande développée donne des résultats très satisfaisants pour la conduite des fours d'incinérations de l'unité de Bénesse Maremne. Elle assu-

re le maintien de la température de post-combustion de manière à respecter la législation en vigueur et permet une réduction des variations du taux d'oxygène. L'analyse des performances montre une diminution de 50 % des variations

sur la température et de 30 % sur celle du taux d'oxygène. Enfin, elle a surtout permis une atténuation conséquente du taux de dioxines qu'elle a réduit d'un facteur 20.

De plus, la maîtrise de la température de post-combustion évite le collage et la vitrification des cendres, ainsi la périodicité et la durée des arrêts pour nettoyage sont diminuées, ce qui induit un gain de productivité d'environ 10 %. En outre, cette maîtrise devrait accroître la longévité des réfractaires du foyer, apportant aussi un gain financier appréciable. Enfin, la commande assure une conduite sécuritaire et une disponibilité accrue du conducteur dans la salle de contrôle. Cette commande simple, fondée sur des régulateurs



NOTE AUX AUTEURS

Déchets Sciences & Techniques publie des travaux relatifs au domaine des déchets industriels et des sols pollués, qui peuvent être répertoriés dans les thématiques suivantes :

1. Approche bio-physico-chimique du déchet;
2. Procédés de traitement des déchets;
3. Caractérisation et traitement des sols et sites pollués;
4. Évaluation environnementale et management des systèmes et des procédés;
5. Ecotoxicologie, Toxicologie et Santé;
6. Économie, droit, sociologie, évaluation des politiques publiques;
7. Communication.

CONDITIONS GÉNÉRALES DE PUBLICATION

Nous acceptons les articles en langue française et en langue anglaise

- Les articles en langue française doivent être accompagnés d'un résumé en français de 100 mots environ, et d'une synthèse en anglais plus conséquente (200 mots environ).
- Les articles en anglais doivent être accompagnés d'un résumé en anglais de 100 mots environ et d'une synthèse en français plus conséquente (200 mots environ).

Présentation des articles

- L'article type comportera environ 5 pages imprimées incluant textes, figures et références soit l'équivalent de 15 000 signes au maximum;
- Les textes originaux doivent être expédiés sur disquette 3,5 pouces (Mac Intosh ou PC) en mentionnant les logiciels utilisés.

L'auteur doit adresser une version papier en 3 exemplaires pour le comité de rédaction comportant tableaux, figures, ou photographies éventuels. Les fichiers de tableaux ou de figures existants doivent être joints sur la disquette avec originaux papier

- L'article doit impérativement comporter les éléments suivants, dans cet ordre :
 - Titre, en français et en anglais;
 - Nom, qualité et coordonnées de l'auteur ou des auteurs;
 - Résumé et synthèse en français et anglais;
 - Mots clés;
 - Introduction;
 - Matériels et méthodes;
 - Résultats;
 - Discussion;
 - Conclusion;
 - Références;
 - Nomenclatures (symboles et unités).

L'article doit être accompagné d'une note précisant, la ou les thématique (s) souhaitée (s) par l'auteur, selon la répartition de la revue (de 1 à 7).

Les mises au point et revues bibliographiques sont acceptées dans les mêmes conditions que les articles

La revue est également ouverte aux résumés de thèses, aux résumés de mémoires de DEA et DESS, aux rapports de stage de Mastère, aux informations sur les colloques et séminaires relatifs aux thématiques de la revue.

ENVOI DES ARTICLES

Norma Renard, INSA de Lyon, Mastère MDE, Bât 404 - GEN, 20 avenue Albert Einstein, 69621 Villeurbanne cedex France. Tél : (33) 472 43 87 72 Fax : (33) 472 43 80 84 Mél : mastenv@insa-lyon.fr

La rédaction : M. Pierre Moszkowicz, Rédacteur en Chef,

M. Gérard Bertolini, M. Jacques Bourgois, M. Rémy Gourdon, M. Gérard Keck, M. Michel Otterbein, M. Yves Perrodin, M. Alain Navarro, M. Patrick Rousseaux.

largement diffusés dans le monde industriel, garantissant également une maintenance et une adaptation aisées. Il est incontestable qu'avec des informations complémentaires notamment des capteurs de débits de gaz, la synthèse d'une loi de commande plus performante pourrait être envisagée.

Patrick Sibille, Hugues Garnier et Marion Gilson,

Centre de recherche en automatique de Nancy, CNRS ESA 7039 - Université Henri Poincaré, Nancy I - Faculté des sciences - BP 239 - 54506 Vandoeuvre cedex

Remerciements :

Nous remercions l'ensemble du personnel du Sitcom de l'usine d'incinération de Bénesse Marenne pour son aide et sa coopération.

Nous souhaitons remercier ici notre collègue Alain Richard, du Cran, pour les discussions constructives et ses remarques avisées durant l'étude.

Enfin, nous remercions également Y. Bonnot et D. Clementz, de la société Bertin Technologies, qui ont participé à la phase d'expertise de l'installation.

Bibliographie

[1] Maes M. - *Déchets industriels*. Éditions Technique et documentation, Paris, 1986.

[2] Calvin R., Brunner P.E. - *Handbook of hazardous waste incineration*. Éditions Technique et documentation, Lavoisier, Paris, 1989.

[3] Le Goux J.Y., Le Douce C. - *L'incinération des déchets ménagers*. Éditions Economica, Paris, 1995.

[4] Bertolini G., Fouly B. - *Le tri des ordures ménagères dans les pays en développement : étude de cas au Brésil*. *Déchets, Sciences & Techniques*, n° 14, p. 30-38, 1999.

[5] Person A., Le Moullec Y., Gilibert E. - *Évaluation et surveillance de l'impact d'une usine d'incinération d'ordures ménagères en région parisienne*. *Pollution atmosphérique*, Vol : 36, p. 69-81, 1995.

[6] Joigneault J.C. - *Usine d'incinération d'ordures ménagères et gaz naturel*. *Gaz d'aujourd'hui*, n° 5, 1995.

[7] Mahé-Le Carlier C., Ploquin A., Royer J. - *Caractérisation minéralogique et chimique des vitrifiés de Refiom : importance de la localisation des éléments polluants*. *Déchets, Sciences & Techniques*, n° 14, p. 5-9, 1999.

[8] Foster P., Laffond M., Dor F., Gombert P., Benoit-Guyod J. L., Steiman R., Sage L., Kadri M., Ferrari C., Gonze M.A., Sestier-Carlin R., Dumont B., Collot D., Maître A., Boudet C., Balducci F., Nahon T. - *Éva-*

luation des nuisances et impacts liés à l'incinération d'ordures ménagères et assimilés. Rapport de l'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 1996.

[9] Lemout B. - *Prototype de logiciel de simulation du fonctionnement d'une usine d'incinération d'ordures ménagères utilisant la cogénération*. Rapport de l'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 1993.

[10] Beture - *Combustion mixte ordures ménagères et déchets divers ou combustibles dans les fours d'incinération de déchets urbains*. Rapport de l'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie - Beture-Setame, 1989.

[11] Sibille P., Garnier H., Gilson M. - *Commande du four d'incinération d'ordures ménagères Alberti Fonsar de l'usine de Bénesse Marenne*. Rapport de fin de contrat - Centre de recherche en automatique de Nancy, septembre 1998.

[12] Chateau A. - *Régulation du débit vapeur produit par les incinérateurs de la RIMMA*. Mémoire d'ingénieur CNAM, 1990.

[13] Chateaux P., Sibille P., Vomscheid C. - *Étude phénoménologique. Contrôle de combustion d'un incinérateur d'ordures ménagères*. Rapport de fin de contrat OUEST OM, 1991.

[14] Sibille P., Vomscheid C., Nus P., Cecchin T. - *Automatisation de la conduite d'un four d'incinération d'ordures ménagères*. *Revue Générale de Thermique*, n° 389, mai 1994.