

RAPPORT D'ÉTUDE
N° DRC-18-169193-07526B

Décembre 2018

**Caractérisation des émissions de dioxines et
furanés bromés des incinérateurs de déchets
non dangereux.**

INERIS

maîtriser le risque |
pour un développement durable |

Caractérisation des émissions de dioxines et furanes bromés des incinérateurs de déchets non dangereux

Rapport réalisé pour le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire

Liste des personnes ayant participé à l'étude : Serge Collet, Sébastien Dieu, Jean Poulleau, Denis Van-Elsuve, Vincent Grammont

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 équivalents 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	S. COLLET	V. GRAMMONT	I. FRABOULET	M. DURIF
Qualité	Ingénieur à l'unité « Caractérisations des EMISSions atmosphériques et aqueuses » Direction des Risques Chroniques	Ingénieur à l'unité « Impact SANitaire et Exposition » Direction des Risques Chroniques	Responsable de l'unité « Caractérisations des EMISSions atmosphériques et aqueuses » Direction des Risques Chroniques	Responsable du Pôle « Caractérisation de l'environnement » Direction des Risques Chroniques
Visa				

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	5
1. RESUME.....	7
2. GLOSSAIRE	8
3. INTRODUCTION.....	9
3.1 Contexte.....	9
3.2 Objectif et programme de l'étude.....	11
4. SELECTION DES INSTALLATIONS D'ESSAIS	11
5. PROGRAMME REALISE.....	12
6. DEROULEMENT DE L'ETUDE.....	13
7. METHODES DE MESURAGE, COMPOSES RECHERCHES, CONTROLES QUALITE ..	13
7.1 Les méthodes retenues	13
7.2 Congénères dosés	14
7.3 Contrôle qualité.....	15
8. EXPLOITATION DES RESULTATS.....	16
8.1 Expression des résultats	16
8.2 Seuils de quantification	16
8.3 Mode de calcul et d'expression des concentrations lorsque celles-ci sont inférieures aux limites de quantification de la méthode et aux blancs de site.....	16
9. RESULTATS	17
9.1 Tableau récapitulatif.....	17
9.2 Dioxines et furanes chlorés.....	19
9.3 PCB DL.....	20
9.4 PBDD-DF	22
9.5 Ratio PCB DL / PCDD-DF	25
9.6 Ratio PBDD-DF / PCDD-DF	25
9.7 Valeurs cumulées (somme des teneurs en PCDD-DF, PCB DL et PBDD-DF)	26
9.8 Etude de la variabilité mensuelle des teneurs en PBDD-DF	27
9.9 Comparaison mesure semi-continue vs contrôle périodique.....	29
9.10 Influence de certains paramètres sur les émissions de polluants	31
9.10.1 Influence du type de traitement des acides	31
9.10.2 Influence du traitement des NOx	32
9.10.3 Influence de la part d'Ordures Ménagères (OM) dans les déchets incinérés	32
10. PRISE EN COMPTE DES EMISSIONS DE PBDD-DF DANS LES EVALUATIONS DE RISQUES SANITAIRES.....	33
11. CONCLUSIONS	34
12. LISTE DES ANNEXES	35

1. RESUME

Les émissions des dioxines et furanes bromés ne sont pas actuellement réglementées (Valeurs Limite d'Emissions) et sont mal connues, en particulier celles provenant des unités de traitement thermique des déchets. Sur ces installations, ces émissions dépendent avant tout des caractéristiques des déchets traités, notamment de leur teneur en retardateurs de flamme bromés (RFB).

L'INERIS, dans le cadre de ses missions d'appui à la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) du Ministère chargé de l'Environnement, a réalisé une campagne de mesurages de dioxines et furanes bromés à l'émission de plusieurs incinérateurs de déchets non dangereux.

Cette campagne de prélèvements et d'analyses a pour objet de faire un état des lieux des éventuels rejets de dioxines et furanes bromés (PBDD-DF) et polychlorobiphényles (PCB) par ce type d'installations en France à partir d'un échantillonnage de quelques installations (14 unités d'incinération d'ordures ménagères, 27 mesurages effectués au total).

Les résultats obtenus mettent en évidence les points suivants :

- Les teneurs brutes en dioxines et furanes bromés (PBDD-DF) sont inférieures à $0,05 \text{ ng/m}_0^3 \text{ sec}$ à 11% d'O₂ à l'exception des valeurs mesurées à l'émission de deux UIOM ;
- Les teneurs en équivalent toxique (en retenant des facteurs équivalents toxiques identiques à ceux des congénères chlorés comme recommandé par les experts consultés par l'OMS) sont toutes inférieures à $0,01 \text{ ng I.TEQ/m}_0^3$ à 11% d'O₂ à l'exception d'une valeur ($0,059 \text{ ng I.TEQ/m}_0^3$ à 11% d'O₂). Les quelques fortes concentrations brutes mesurées sont en général liées à la présence de congénères comprenant 8 atomes de brome faiblement toxiques. L'impact sur les valeurs en équivalent toxique est donc faible ;
- Les teneurs en dioxines et furanes bromés, en équivalent toxique, sont généralement inférieures ou du même ordre de grandeur que les teneurs en dioxines et furanes chlorés (PCDD-DF). Elles correspondent en moyenne à 50% environ de cette dernière ; Quant aux polychlorobiphényles de type dioxines (PCB DL), ils s'ajoutent aux précédents, pour environ 10% en équivalent toxique.
- La prise en compte des émissions de PBDD-DF ne semble pas de nature à changer l'appréciation du risque autour des installations sauf si elle se surajoute dans une situation où les niveaux sont déjà proches des valeurs repères. Dans ces cas, l'influence des émissions de PBDD-DF devra être examinée avec les incertitudes portant sur l'évaluation, en s'appuyant dans la mesure du possible par des mesures sur l'installation.

2. GLOSSAIRE

CP	contrôle périodique
DGPR	Direction Générale de la Prévention des Risques
DAE	déchets d'activités économiques
MSC	mesure semi-continue
m₀³	un mètre cube exprimé dans les conditions normales de température (273 K) et de pression (101,3 kPa)
PBDD-DF	polybromo dibenzodioxines et dibenzofuranes (dioxines et furanes bromés)
PCDD-DF	polychloro dibenzodioxines et dibenzofuranes (dioxines et furanes chlorés)
PCB (ou PCB DL)	polychlorobiphényles (polychlorobiphényles de type dioxines)
PBDE	polybromodiphényléthers
RFB	retardateurs de flamme bromés
SCR	réduction sélective catalytique
SNCR	réduction sélective non catalytique
I.TEF	facteur international d'équivalent toxique
I.TEQ	équivalent toxique international obtenu en multipliant la masse de chaque composé par son facteur d'équivalent toxique
UIOM	unité d'incinération d'ordures ménagères
VLE	valeur limite d'émission

3. INTRODUCTION

3.1 CONTEXTE¹

Les dioxines et les furanes sont des composés organiques halogénés formés essentiellement lors de phénomènes de combustion dont l'efficacité n'est pas maximale ou pour laquelle les technologies (refroidissement et traitements) mises en place ne permettent pas l'élimination efficace de ces composés.

Si de nombreuses études ont été consacrées aux dioxines et furanes chlorés (PCDD-DF), a contrario, peu se sont concentrées sur les dioxines et furanes bromés (PBDD-DF).

La présence de composés organiques bromés dans les produits en fin de vie et plus précisément des retardateurs de flamme bromés (RFB) pourrait être à l'origine d'émissions de dioxines et furanes bromés dans certaines unités d'élimination de déchets par voie thermique.

Les retardateurs de flamme bromés (RFB) sont des mélanges de produits chimiques produits par l'homme, qui sont ajoutés à une grande variété de produits, pour les rendre moins inflammables. Ils sont utilisés couramment dans les plastiques, les textiles et les équipements électriques / électroniques. Les teneurs en brome dans les déchets ont augmenté avec l'utilisation des RFB depuis plusieurs années puis stagné depuis la mise en place des circuits de tri et de collecte de certains équipements.

Il existe cinq catégories principales de RFB, dont la liste figure ci-dessous, avec leurs usages courants :

- Polybromodiphényléthers (PBDE) - plastiques, textiles, moulages électroniques, circuits imprimés ;
- Hexabromocyclododécane (HBCD) - isolation thermique dans l'industrie du bâtiment ;
- Tétrabromobisphénol A (TBBPA) et autres phénols - cartes de circuits imprimés, thermoplastiques (principalement dans les téléviseurs) ;
- Polybromobiphényles (PBB) - appareils ménagers, textiles, mousses plastiques ;
- Autres retardateurs de flamme bromés.

Jusqu'à récemment, les analyses disponibles en sortie d'Usine d'Incinération d'Ordures Ménagères (UIOM) étaient issues majoritairement d'installations d'Asie Orientale (Chine principalement). Ces analyses montrent en moyenne des concentrations en PCDD-DF 10 fois supérieures à celles des PBDD-DF, cela étant dû à une proportion plus forte de déchets chlorés que de déchets bromés. Ce rapport d'émissions peut s'inverser si la proportion en composés bromés augmente dans les déchets (circuits électriques, etc.).

Depuis 1977, des facteurs d'équivalence toxique (TEF) ont été déterminés (et révisés depuis) pour plusieurs congénères chlorés des dioxines-furanes, afin de permettre la quantification des risques sanitaires de l'ensemble de la famille, sur la base de la toxicité de la 2,3,7,8-TCDD (dioxine de Seveso). Les facteurs TEF permettent ainsi de calculer des concentrations en équivalent toxique (TEQ) pour l'ensemble des congénères considérés.

¹ Une majeure partie des éléments retranscrits dans ce paragraphe est issue d'une synthèse bibliographique menée sur l'état des connaissances sur les dioxines et furanes bromés en termes de sources d'émission, d'exposition et de toxicité pour l'homme (Rapport INERIS DRC-19-177734-00120A).

Les études toxicologiques réalisées sur les dioxines-furanes bromés ont montré une réponse biologique comparable à celle de leurs équivalents chlorés (atomes de brome/chlore aux mêmes positions), à des niveaux de dose comparables (Jong et al., 1998)². Toutefois, il n'existe pas de facteurs d'équivalence toxique, ni de valeur toxicologique de référence (VTR), pour les congénères bromés des dioxines-furanes. En 2011, des experts ont été consultés par l'OMS et le « United Nations Environment Programme » (UNEP), sur la question de la possible inclusion dans les facteurs d'équivalence toxique des composés bromés. A l'issue de cette consultation, il a été recommandé d'utiliser les mêmes valeurs pour les congénères bromés et chlorés pour l'évaluation des risques sanitaires, dans l'attente de données complémentaires (Van Den Berg et al., 2013)³.

Les facteurs d'équivalence toxique reconnus dans la réglementation française relative aux émissions industrielles (par exemple : arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux et aux installations incinérant des déchets d'activités de soins à risques infectieux) sont les I-TEF déterminés par l'OTAN en 1988. Les concentrations en équivalent toxique calculées avec les I-TEF sont marquées I-TEQ. Si l'application des TEF aux PCDD-DF est reconnue dans la réglementation française (Tableau 1 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), ce n'est pas le cas des PBDD-DF.

Tableau 1 : Facteurs d'équivalence toxique (I-TEF) pour les PCDD-DF.

Congénères chlorés (PCDD/F)	I-TEF OTAN 1988
2,3,7,8-Tetrachlorodibenzodioxine	1
1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzodioxine	0,5
1,2,3,4,7,8-Hexachlorodibenzodioxine	0,1
1,2,3,6,7,8-Hexachlorodibenzodioxine	0,1
1,2,3,7,8,9-Hexachlorodibenzodioxine	0,1
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzodioxine	0,01
Octachlorodibenzodioxine	0,001
2,3,7,8-Tetrachlorodibenzofurane	0,1
	0,1
1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzofurane	0,05
2,3,4,7,8-Pentachlorodibenzofurane	0,5
1,2,3,4,7,8-Hexachlorodibenzofurane	0,1
1,2,3,6,7,8-Hexachlorodibenzofurane	0,1
1,2,3,7,8,9-Hexachlorodibenzofurane	0,1
2,3,4,6,7,8-Hexachlorodibenzofurane	0,1
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzofurane	0,01
1,2,3,4,7,8,9-Heptachlorodibenzofurane	0,01
Octachlorodibenzofurane	0,001

² Jong, A., Diliberto, J., Feeley, M., Fiedler, H., Jansson, B., Kurokawa, Y., Rappe, C. (1998). Polybrominated Dibenzo-p-Dioxins and Dibenzofurans. ENVIRONMENTAL HEALTH CRITERIA, No 205, 324.

³ Van den Berg, M., Denison, M. S., Birnbaum, L. S., DeVito, M. J., Fiedler, H., Falandysz, J., Peterson, R. E. (2013). Polybrominated Dibenzo-p-Dioxins, Dibenzofurans, and Biphenyls: Inclusion in the Toxicity Equivalency Factor Concept for Dioxin-Like Compounds. Toxicological Sciences, 133(2), 197-208.

3.2 OBJECTIF ET PROGRAMME DE L'ETUDE

Afin d'évaluer les enjeux associés à ces évolutions de contexte, l'INERIS, dans le cadre de ses missions d'appui à la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) du Ministère chargé de l'Environnement, a réalisé une campagne de mesurages de dioxines et furanes bromés à l'émission de plusieurs incinérateurs de déchets non dangereux.

Cette campagne de prélèvements et d'analyses a pour objet de faire un état des lieux des éventuels rejets de dioxines et furanes bromés par ce type d'installations en France à partir d'un échantillonnage de quelques installations.

Cette étude a été réalisée selon le programme ci-dessous :

- Sélection des installations : l'ensemble des informations nécessaires à la réalisation de ce choix a été collecté auprès de la DGPR, de l'ADEME et des DREAL. Il s'agit d'informations générales décrivant les caractéristiques des installations et de renseignements utiles à la bonne compréhension de la marche de ces installations ;
- Pilotage des campagnes de mesurages ;
- Bilan des résultats collectés et obtenus.

4. SELECTION DES INSTALLATIONS D'ESSAIS

Les rejets à l'atmosphère de dioxines et furanes bromés liés à la présence de retardateurs de flamme bromés (RFB) sont sûrement variables selon la quantité de produits contenant des RFB introduits et donc selon les caractéristiques des déchets traités mais aussi selon la qualité de la combustion, les caractéristiques des systèmes de traitement installés, etc.

Afin de tirer un maximum d'enseignements des mesures, il est nécessaire de disposer d'un échantillon d'UIOM le plus représentatif possible, au sein du parc d'installations en métropole.

Les critères de sélection suivants ont été retenus :

- Dispositifs d'épuration installés (sec, semi-humide, humide, SNCR, SCR) ;
- Niveaux d'émissions en dioxines chlorées (mesures semi-continues et contrôle périodique) ;
- Part de DAE incinérée ;
- Tonnage annuel incinéré ;
- Avis des inspecteurs.

5. PROGRAMME REALISE

Le programme d'intervention a été élaboré conjointement entre l'INERIS et le Bureau de la planification et de la gestion des déchets de la DGPR.

Afin de disposer de données de comparaison avec les dioxines chlorées et d'informations couvrant une période longue de mesurage, il a été décidé de mettre à profit les contrôles réglementaires de dioxines et furanes chlorés réalisés par les exploitants dans le cadre de l'autosurveillance en effectuant, sur les supports de prélèvement mensuel en semi-continu de 15 installations, des analyses supplémentaires de PBDD-DF et PCB ; les prélèvements et analyses restant effectués par les laboratoires de contrôles et d'analyses accrédités, auxquels les exploitants font habituellement appel.

Parmi ces sites, 5 ont été retenus pour réaliser des mesurages supplémentaires durant le contrôle périodique semestriel (prélèvement ponctuel de 6 à 8 heures effectué par un laboratoire accrédité) afin de déterminer dans les deux types courants de mesurage actuels de dioxines les éventuels écarts en termes de limites de quantification et les éventuelles variations des profils des congénères.

Tableau 2 : Mesures prévues initialement sur 15 installations.

Mesure	Mensuelle, semi continue (MSC)	Ponctuelle, périodique (CP)
Nombre d'UIOM	15	5

Outre les polluants précédemment cités, les résultats d'analyses des dioxines et furanes chlorés ont également été transmis à l'INERIS pour exploitation, soit directement par l'exploitant, soit par le laboratoire de contrôle en accord avec chaque exploitant.

Les mesurages devant être effectués sur une ligne de chaque UIOM, 20 mesurages au total (incluant mesures semi-continues et contrôles périodiques) ont été programmés ; cependant certains n'ont pu être réalisés :

- Mesure semi-continue des PCB sur l'UIOM J (oubli du laboratoire de contrôle intervenant) ;
- Mesure semi-continue sur l'UIOM O (perte de la commande par le laboratoire d'analyses) ;
- Contrôle périodique sur l'UIOM K (un contrôle inopiné a été prescrit à l'exploitant en remplacement du contrôle périodique semestriel, la demande adressée au laboratoire effectuant le contrôle périodique n'a pu ainsi être honorée ; les contrôles inopiné et périodique étant effectués par des laboratoires distincts).

En revanche, des mesurages complémentaires de PBDD-DF ont été réalisés sur la seconde ligne de certains UIOM sélectionnés (cas des UIOM B, E, G, L et M). De plus, pour l'UIOM M, des résultats d'analyses sur une période de 3 mois ont été transmis à l'INERIS, ce qui a permis de mieux appréhender l'évolution des émissions mensuelles de polluants sur une même ligne. 27 résultats de mesurages de PBDD-DF effectués sur 14 installations sont ainsi inclus dans la présente étude.

6. DEROULEMENT DE L'ETUDE

L'étude s'est déroulée de la manière suivante :

- Sélection des installations : un accord de participation à l'étude a été demandé par les inspecteurs des installations classées à chaque exploitant ;
- Présentation du déroulement de l'étude auprès de chaque exploitant par l'INERIS ;
- Prise en charge des compléments analytiques (PBDD-DF et PCB DL) par l'INERIS auprès des laboratoires de contrôle ;
- Essais sur site réalisés par les laboratoires de contrôle, sur la ligne et la période définies au préalable avec l'exploitant ;
- Analyse des supports de prélèvements par les laboratoires sous-traitants et transmission des résultats ainsi que des conditions de prélèvement et de fonctionnement de la ligne d'incinération lors des essais par les laboratoires de contrôle à l'INERIS en charge de l'exploitation de l'ensemble des données.

7. METHODES DE MESURAGE, COMPOSES RECHERCHES, CONTROLES QUALITE

7.1 LES METHODES RETENUES

Compte tenu des méthodes présentées dans la littérature ainsi que de la grande similitude chimique entre les PBDD-DF et les PCDD-DF, nous avons retenu, pour les mesures à l'émission, le prélèvement préconisé par la norme française NF EN 1948 (Détermination de la concentration massique en PCDD-PCDF et PCB de type dioxine).

Les mesurages ont été effectués selon les normes suivantes :

- NF EN 1948-1 : prélèvement des PCDD-DF ;
- NF EN1948-2 : extraction et purification de PCDD-DF ;
- NF EN1948-3 : identification et quantification des PCDD-DF ;
- NF EN1948-4 : prélèvement et analyse des PCB de type dioxine ;
- XP CEN/TS 1948-5 : mesure semi-continue (prélèvement à long terme) ;
- GA X43-139 : guide d'application.

La mesure en semi-continu est réalisée au moyen d'un dispositif (en général AMESA) installé en aval du traitement des fumées. Les gaz prélevés de manière isocinétique passent à travers une cartouche de résine Amberlite XAD-2 adsorbant les polluants recherchés. Des marqueurs isotopiques (¹³C¹²) sont ajoutés avant prélèvement pour identifier des anomalies lors du prélèvement (ils ne sont pas utilisés pour la quantification). Durant toute la durée du prélèvement, le volume de fumée prélevé et la concentration en O₂ sont mesurés toutes les 30 minutes et enregistrés. En fin de prélèvement et jusqu'à l'analyse, les échantillons sont conservés à l'abri de la lumière et au frais.

Le dispositif de mesurage permet de déterminer une concentration moyenne en polluants durant la période de prélèvement (1 mois environ).

Compte tenu des similarités entre les PBDD-DF et les PCDD-DF ou PCB, les méthodes d'extraction et d'analyse sont très proches. Etant donné qu'il n'existe pas de norme associée à cette famille chimique, les laboratoires d'analyses ont développé leur propre protocole validé en interne.

Ces protocoles font tous appel aux mêmes techniques :

- D'extraction : extraction au Soxhlet des filtres et adsorbants avec un solvant organique avec ajout de marqueurs ¹³C¹² pour déterminer le rendement d'extraction et extraction liquide/liquide de la phase aqueuse avec un solvant organique ;

- De concentration : rassemblement des extraits et évaporation des solvants organiques ;
- De purification : sur plusieurs colonnes chromatographiques de nature différente afin d'éliminer les interférents.

Les analyses sont effectuées par chromatographie gazeuse qui permet d'identifier les isomères, couplée à la spectrométrie de masse haute résolution qui permet de différencier les congénères en fonction de leur degré de chloration. La quantification est effectuée à l'aide des marqueurs isotopiques injectés (méthode dite de dilution isotopique).

7.2 CONGENERES DOSES

Les laboratoires de contrôle mandatés pour la réalisation des mesurages ont fait appel à leur laboratoire d'analyses habituel pour le dosage des PBDD-DF. Quatre laboratoires d'analyses ont ainsi participé à l'étude.

Certains congénères bromés analogues aux PCDD-DF, parmi les 17 recherchés, ne peuvent être quantifiés du fait de l'absence d'étalons isotopiques.

Par ailleurs, l'identification et la séparation des congénères ayant le même degré de bromation restant délicates, les laboratoires consultés n'ont pas analysé tout à fait les mêmes séries de PBDD-DF.

Tableau 3 : Composés dosés selon les laboratoires.

Laboratoire	I-TEF ⁴	A	B	C	D
2378 -TeBDD	1	x	x	x	x
12378-PeBDD	0,5	x	x	x	x
123478-HxBDD	0,1	x	x (somme des 2 congénères)	x	x (somme des 2 congénères)
123678-HxBDD	0,1			x	
123789-HxBDD	0,1	x	x	x	x
1234678-HpBDD	0,01		x		x
OcBDD	0,001	x	x		x
2378 -TeBDF	0,1	x	x	x	x
12378-PeBDF	0,05	x	x	x	x
23478-PeBDF	0,5	x	x	x	x
123478-HxBDF	0,1	x	x		x
123678-HxBDF	0,1				
234678-HxBDF	0,1				
123789-HxBDF	0,1				
1234678-HpBDF	0,01	x	x		x
1234789-HpBDF	0,01				
OcBDF	0,001	x	x		x

Les huit congénères bromés ayant les facteurs d'équivalents toxiques en PCDD-DF (I-TEF) les plus élevés ont été dosés systématiquement par tous les laboratoires mandatés. Pour les dioxines chlorées, ces 8 congénères représentent plus de 70% de la quantité d'équivalent toxique correspondant aux 17 congénères dosés. Le fait de ne pas doser l'ensemble des 17 congénères conduirait donc à une sous-estimation des résultats inférieure à 30%.

⁴ Facteur international d'équivalent toxique pour les congénères chlorés.

7.3 CONTROLE QUALITE

Différents tests permettent de s'assurer de la fiabilité et de la qualité des essais effectués.

Les contrôles qualité suivants ont été réalisés durant les mesurages :

- Mise en œuvre des méthodes sur site selon les normes en vigueur : aucune non-conformité notable (qui aurait pu conduire à une invalidation des résultats) n'a été relevée lors des mesurages sur site par les laboratoires de contrôle ;
- Tests de fuite réalisés au début et à la fin de chaque essai : concluants, taux de fuite inférieur à 2 % du débit nominal pour les contrôles périodiques et 5% du débit normal pour les mesures semi-continues ;
- Vérification de l'isocinétisme : conforme, valeurs comprises entre -5 et +15% par rapport à l'état isocinétique idéal ;
- Blancs de site : tous les résultats des blancs de site sont conformes, inférieurs à 10 % de la VLE (0,1 ng I.TEQ/m³ à 11% d'O₂) ;
- Taux de récupération de chaque marqueur isotopique (13C12) en PCDD-DF et PCB DL ajouté avant prélèvement pour les contrôles périodiques : conforme, valeurs comprises entre 50 et 130% ;
- Taux de récupération de chaque marqueur isotopique (13C12) en PCDD-DF et PCB DL ajouté avant prélèvement pour les mesures semi-continues : conforme, valeurs supérieures à 50% ;
- Efficacité d'extraction : les taux de réapparition des marqueurs isotopiques (13C12) en PCDD-DF et PCB DL injectés avant extraction sont conformes (valeurs comprises entre 50 et 130%).

8. EXPLOITATION DES RESULTATS

8.1 EXPRESSION DES RESULTATS

Les concentrations massiques en PCDD-DF, PCB DL et PBDD-DF sont exprimées aux conditions normales de température et de pression (273 K et 101,3 kPa) sur gaz sec, et sont corrigées à une concentration d'oxygène de référence de 11%.

Les concentrations sont données en nanogrammes par mètre cube (valeur brute) et en nanogrammes par mètre cube en équivalent toxique international (I.TEQ).

Les facteurs d'équivalents toxiques des PBDD-DF retenus dans le cadre de la présente étude sont mentionnés dans le tableau précédent. Selon les préconisations formulées par des experts consultés par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) et le « United Nations Environment Programme » (UNEP) présentées dans la note de synthèse sur l'état des connaissances sur les dioxines et furanes bromés (INERIS, 2017) (cf. §1), des facteurs équivalents toxiques identiques à ceux des congénères de PCDD-DF correspondants (facteurs internationaux de l'OTAN) ont été retenus pour calculer un équivalent toxique en PBDD-DF.

8.2 SEUILS DE QUANTIFICATION

Les seuils de quantification sont reportés en annexe. Ils diffèrent selon les laboratoires, tout en restant homogènes et suffisamment faibles pour bien rendre compte des teneurs émises et comparer les concentrations mesurées à la valeur de 0,1 ng I.TEQ/m³ à 11% d'O₂.

Compte tenu des volumes de gaz prélevés différents, les seuils de quantification des mesures semi-continues sont environ 80 fois plus faibles que ceux des contrôles périodiques.

8.3 MODE DE CALCUL ET D'EXPRESSION DES CONCENTRATIONS LORSQUE CELLES-CI SONT INFÉRIEURES AUX LIMITES DE QUANTIFICATION DE LA METHODE ET AUX BLANCS DE SITE

Les règles définies dans le document LAB REF 22 pour calculer et exprimer les résultats de mesurage ont été appliquées par tous les laboratoires de contrôle participant à l'étude.

Dans le cas présent (mesurages des PCDD-DF, PCB et PBDD-DF), où la concentration résulte d'une somme de différents composés, la somme est calculée en appliquant la règle suivante pour chaque composé :

si $C > LQ$	Le résultat est égal à la mesure
si $LD < C < LQ$	Composé détecté, le résultat est égal à $LQ/2$
Si $C < LD$	Composé non détecté, le résultat est noté égal à 0

LD : limite de détection

LQ : limite de quantification

Ces règles s'appliquent aux mesures et aux blancs de site, que ceux-ci soient issus d'une somme de résultats ou pas.

Par ailleurs, la mesure est à comparer au blanc de site. Le résultat est égal :

- A la concentration mesurée si la mesure est supérieure au blanc de site ;
- Au blanc de site, si la mesure est inférieure ou égale au blanc de site.

⁵ Valeur limite en PCDD-DF (arrêté du 20/09/2002 relatif aux installations d'incinération de déchets non dangereux

9. RESULTATS

L'ensemble des résultats bruts (ou valeurs réelles) et en équivalent toxique obtenus est présenté dans les paragraphes suivants. Rappelons que seules les valeurs exprimées en équivalent toxique peuvent être comparées à la VLE en PCDD-DF.

Pour l'UIOM M, des données sont disponibles sur une période de trois mois. Seuls les résultats du dernier mois de mesure (novembre 2017, correspondant à des teneurs en équivalent toxique intermédiaires en PBDD-DF) sont présentés dans les paragraphes 9.1 à 9.7. A partir de l'ensemble des données de l'UIOM M, une étude de la variabilité mensuelle des teneurs en PBDD-DF est présentée au paragraphe 9.8.

9.1 TABLEAU RECAPITULATIF

Tableau 4 : Teneurs brutes (ng/m³ sec à 11% d'O₂).

Polluants	PCDD-DF	PCB DL	PBDD-DF
Mesure semi-continu (9 UIOM)			
B Ligne 1 MSC	0,160	0,428	0,007
B Ligne 2 MSC	0,116	1,589	0,012
C MSC	0,063	0,018	0,000
F Ligne 1 MSC	0,006	0,012	1,240
G Ligne 1 MSC	0,023	0,012	0,012
G Ligne 2 MSC	0,039	0,042	0,028
I Ligne 3 MSC	0,079	0,054	0,001
J Ligne 1 MSC	0,126	non effectuée	0,001
L Ligne 1 MSC	0,049	0,030	0,021
L Ligne 2 MSC	0,022	0,006	0,008
M Ligne 1 MSC	0,077	0,080	0,468
M Ligne 2 MSC	0,424	0,014	0,172
N Ligne1 MSC	0,040	0,050	0,000
Mesure semi-continu et contrôle périodique (5 UIOM)			
A Ligne 1 MSC	0,050	0,034	0,000
A Ligne 2 CP	0,044	0,034	0,000
D Ligne 1 MSC	0,009	0,009	0,039
D Ligne 1 CP	0,002	0,000	0,008
E Ligne 1 MSC	0,527	non effectuée	0,000
E Ligne 2 MSC	0,256	non effectuée	0,000
E Ligne 1 CP	0,230	0,049	0,000
H Ligne 3 MSC	0,009	0,001	0,000
H Ligne 3 CP	0,033	0,000	0,022
K Ligne 2 MSC	0,274	0,036	0,000
K Ligne 2 CP	campagne non réalisée		

MSC : mesure semi-continue,

CP : contrôle périodique ;

UIOM M : données de novembre 2017

Tableau 5 : Teneurs brutes mesurées sur l'UIOM M sur une période de 3 mois (ng/ m_o³sec à 11% d'O₂).

Polluants	PCDD-DF	PCB DL	PBDD-DF
Mesure semi-continu			
M Ligne 1 MSC (septembre)	0,009	0,003	0,045
M Ligne 2 MSC (septembre)	0,023	0,008	0,026
M Ligne 1 MSC (octobre)	0,009	0,004	0,260
M Ligne 2 MSC (octobre)	0,029	0,008	0,016
M Ligne 1 MSC (novembre)	0,077	0,080	0,468
M Ligne 2 MSC (novembre)	0,424	0,014	0,172

Tableau 6 : Teneurs ramenées en équivalent toxique (ng I.TEQ/ m_o³ sec à 11% d'O₂).

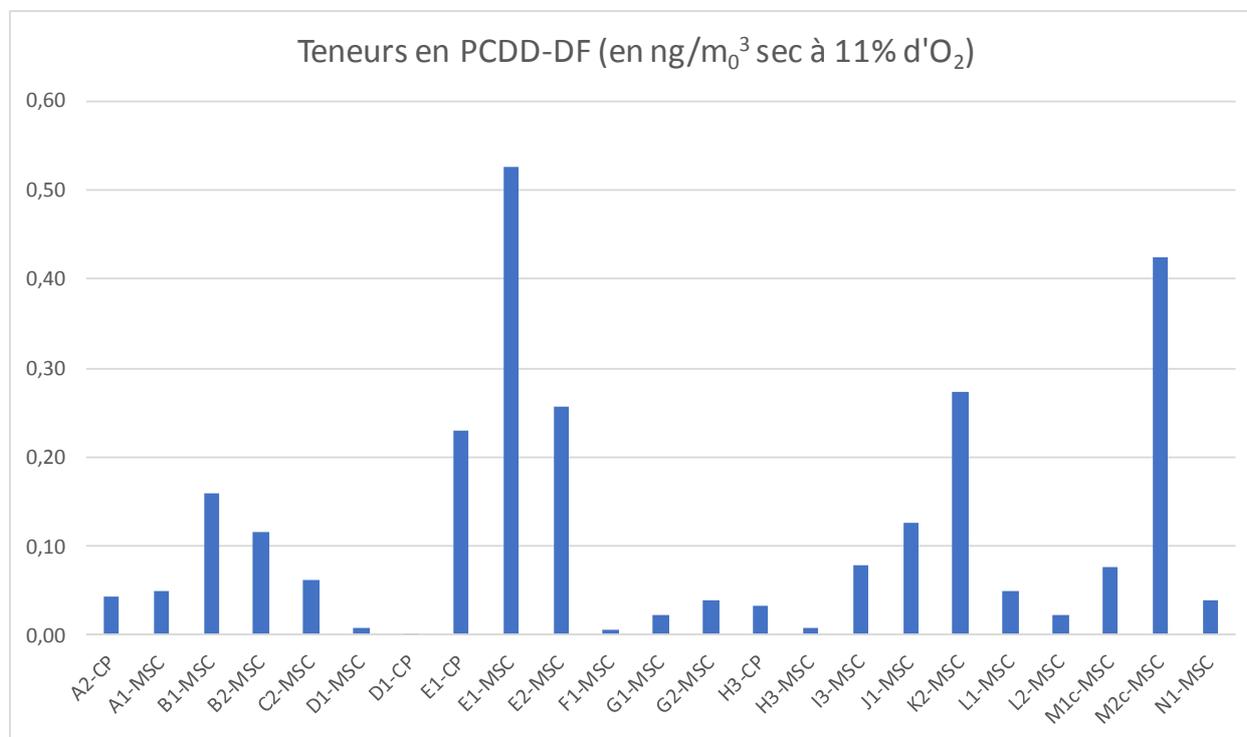
Polluants	PCDD-DF	PCB DL	PBDD-DF
Mesure semi-continu (9 UIOM)			
B Ligne 1 MSC	0,010	0,005	0,001
B Ligne 2 MSC	0,010	0,029	0,000
C MSC	0,002	0,000	0,000
F Ligne 1 MSC	0,000	0,000	0,004
G Ligne 1 MSC	0,001	0,000	0,002
G Ligne 2 MSC	0,003	0,001	0,006
I Ligne 3 MSC	0,006	0,001	0,000
J Ligne 1 MSC	0,008	non effectuée	0,000
L Ligne 1 MSC	0,005	0,001	0,005
L Ligne 2 MSC	0,001	0,000	0,002
M Ligne 1 MSC	0,008	0,001	0,010
M Ligne 2 MSC	0,040	0,000	0,009
N Ligne1 MSC	0,003	0,001	0,000
Mesure semi-continu et contrôle périodique (5 UIOM)			
A Ligne 1 MSC	0,006	0,000	0,000
A Ligne 2 CP	0,008	0,001	0,000
D Ligne 1 MSC	0,000	0,000	0,001
D Ligne 1 CP	0,000	0,000	0,000
E Ligne 1 MSC	0,011	non effectuée	0,000
E Ligne 2 MSC	0,008	non effectuée	0,000
E Ligne 1 CP	0,003	0,000	0,000
H Ligne 3 MSC	0,000	0,000	0,000
H Ligne 3 CP	0,001	0,000	0,000
K Ligne 2 MSC	0,015	0,001	0,000
K Ligne 2 CP	campagne non réalisée		

Tableau 7 : Teneurs ramenées en équivalent toxique mesurées sur l'UIOM M sur une période de 3 mois (ng I.TEQ/m_o³ sec à 11% d'O₂).

Polluants	PCDD-DF	PCB DL	PBDD-DF
Mesure semi-continu			
M Ligne 1 MSC (septembre)	0,001	0,000	0,001
M Ligne 2 MSC (septembre)	0,002	0,000	0,001
M Ligne 1 MSC (octobre)	0,001	0,000	0,059
M Ligne 2 MSC (octobre)	0,001	0,000	0,000
M Ligne 1 MSC (novembre)	0,008	0,001	0,010
M Ligne 2 MSC (novembre)	0,040	0,000	0,009

9.2 DIOXINES ET FURANES CHLORES

En valeur brute, les teneurs sont inférieures à 0,3 ng/m³ sec à 11% d'O₂ à l'exception de deux valeurs un peu supérieures qui s'élèvent à 0,53 et 0,42 ng/m³ sec à 11% d'O₂ qui correspondent respectivement aux lignes d'incinération : E ligne 1 et M ligne 2.



MSC : mesure semi-continue, CP : contrôle périodique

Figure 1 : Teneurs brutes en PCDD-DF.

Plus globalement, les congénères dioxines comprenant 7 et 8 atomes de chlore ayant de faible équivalent toxique étant largement majoritaires, les teneurs en dioxines et furanes chlorés exprimées en équivalent toxique sont faibles et homogènes : toutes inférieures à 15% de la valeur limite à l'émission (VLE) à l'exception de la seconde ligne d'incinération de l'UIOM M dont la valeur s'élève à 40% de la VLE (d'autres données relatives à cet UIOM sont présentées au paragraphe 9.8).

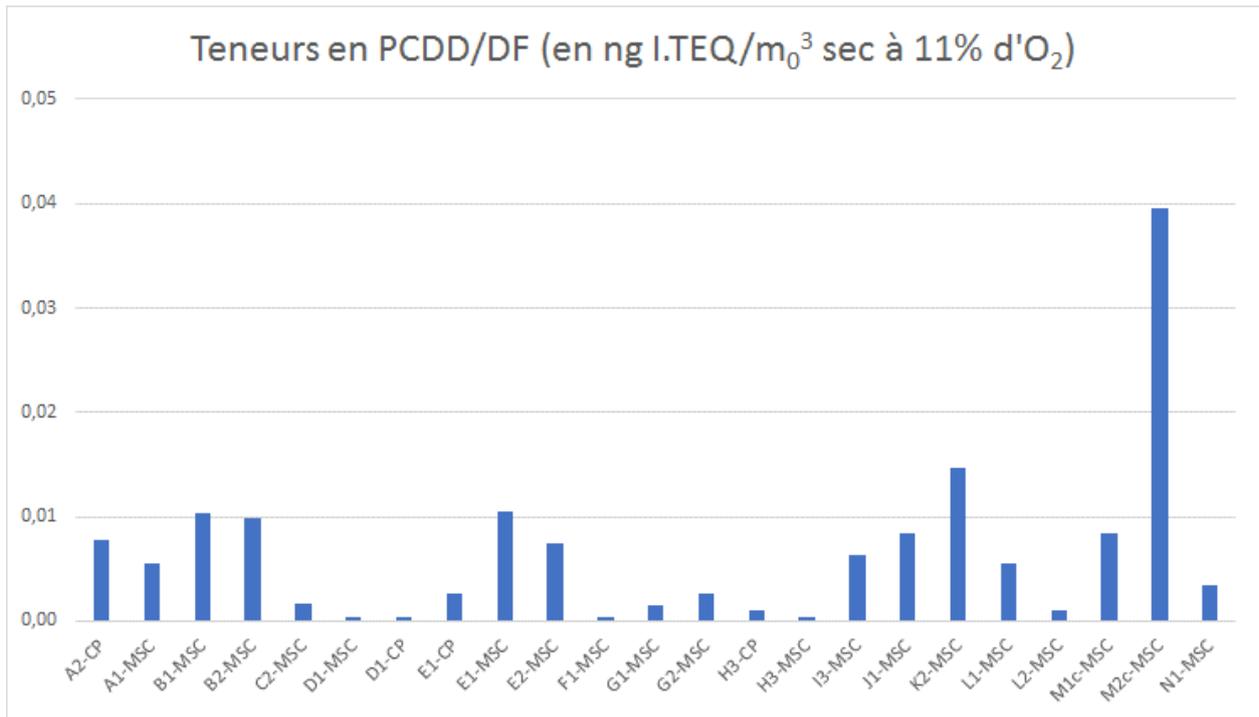


Figure 2 : Teneurs en dioxines et furanes chlorés exprimées en équivalent toxique.

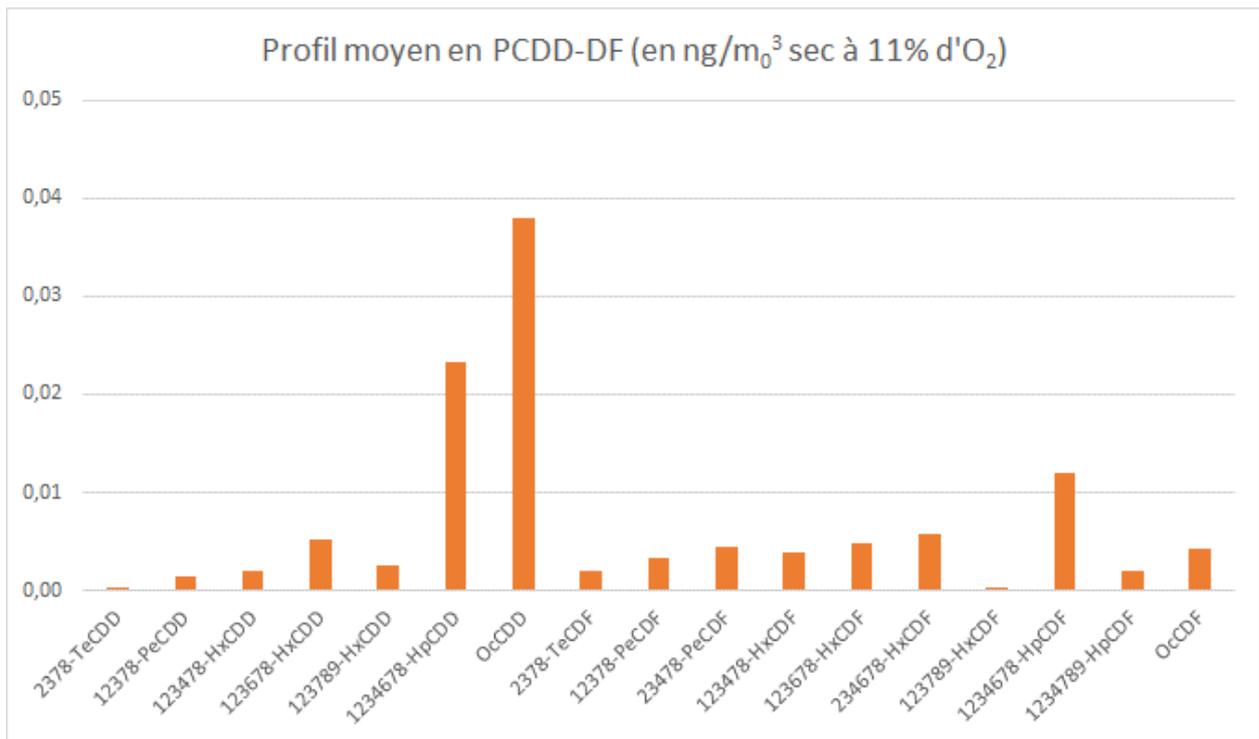


Figure 3 : Profil moyen des 17 congénères PCDD-DF.

9.3 PCB DL

En valeur brute, toutes les teneurs en PCB DL sont faibles, inférieures à 0,1 ng/m³ sec à 11% d'O₂ à l'exception de deux valeurs très supérieures qui s'élèvent à 0,43 et 1,59 ng/m³ sec à 11% d'O₂ qui correspondent aux deux lignes de l'incinérateur B.

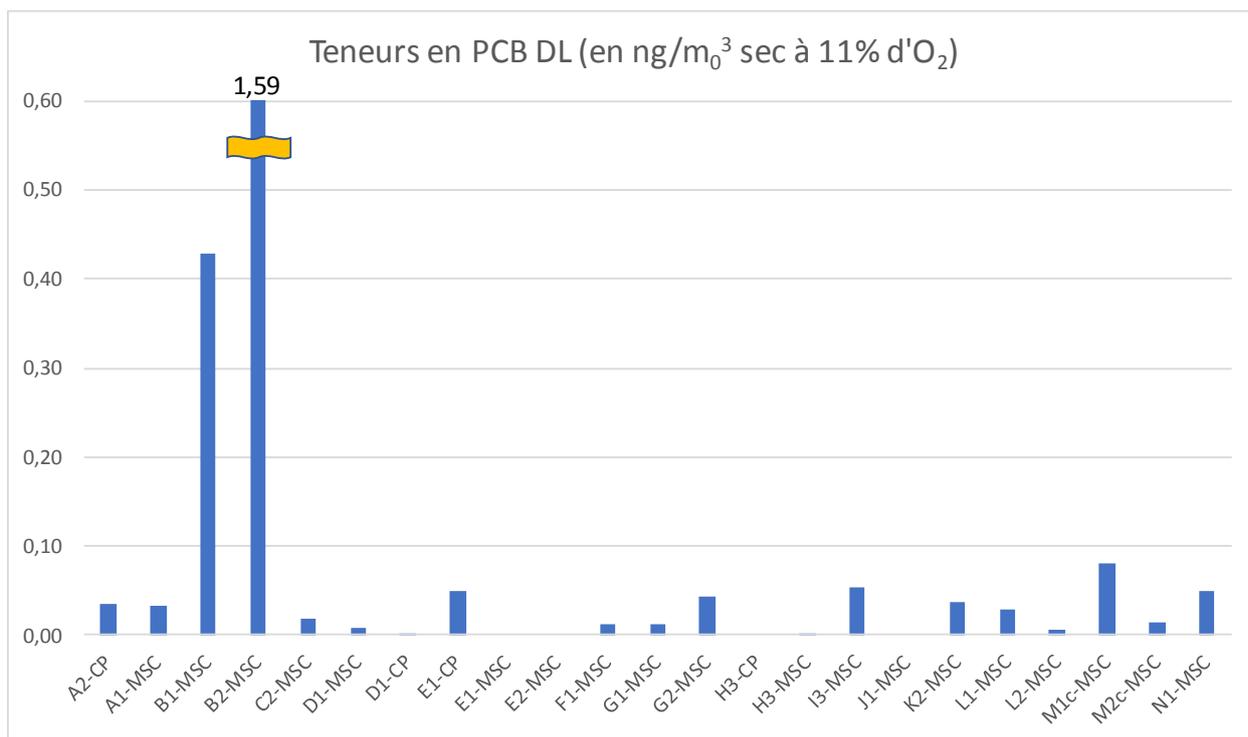


Figure 4 : Teneurs brutes en PCB DL.

Compte tenu des faibles facteurs d'équivalent toxique de ces molécules, toutes les valeurs exprimées en équivalent toxique sont très faibles à l'exception de celles de l'UIOM B dont la valeur s'élève à un peu moins de 30% de la VLE en PCDD-DF pour la ligne n°2. Cette valeur relativement élevée est liée à la présence du PCB 126 qui dispose du facteur d'équivalent toxique (0,1) le plus élevé de cette famille chimique. Aucun dysfonctionnement de l'installation ou non-conformité analytique permettant d'expliquer cette valeur n'ont été déclarés par l'exploitant et le laboratoire de contrôle. Notons que cette teneur relativement élevée en PCB DL ne s'accompagne pas d'une augmentation des teneurs en dioxines et furanes chlorés et bromés qui restent très faibles ce qui laisse supposer l'absence d'un dysfonctionnement de l'installation (four et dispositif de traitement). Le phénomène étant observé sur les deux lignes de l'UIOM, elle pourrait s'expliquer par une spécificité locale : configuration de l'installation ou introduction d'entrants particuliers.

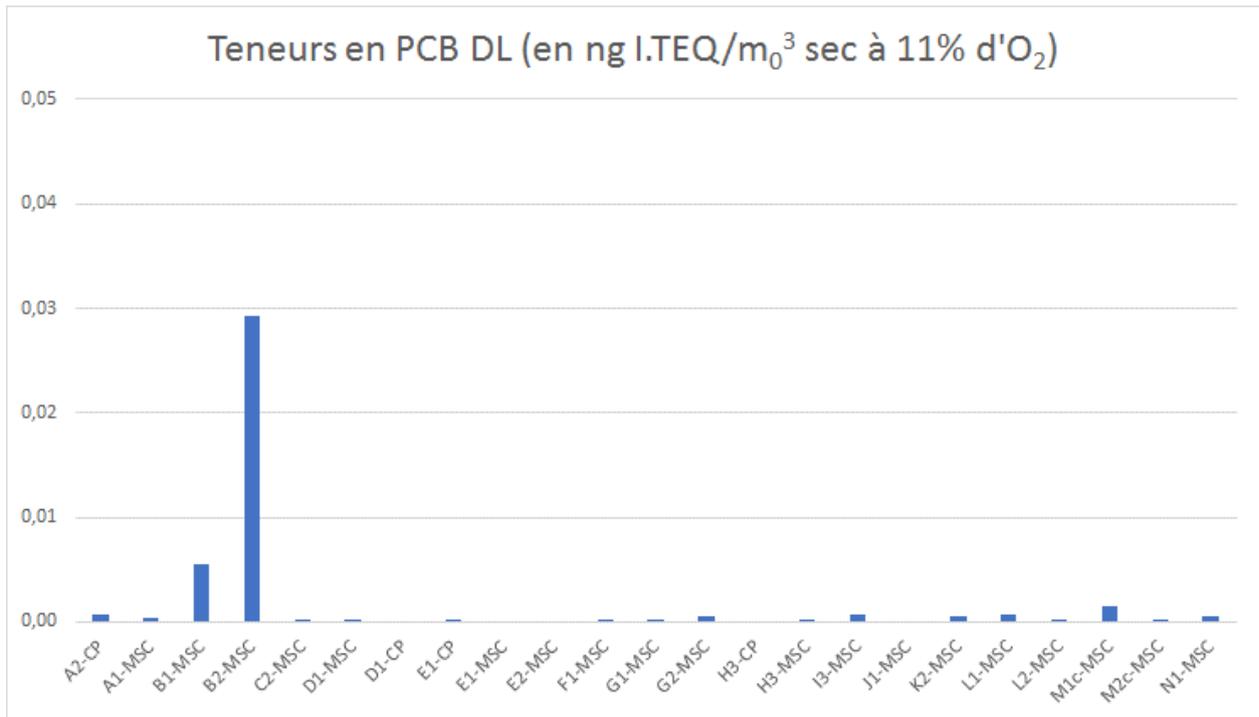


Figure 5 : Teneurs en PCB DL exprimées en équivalent toxique.

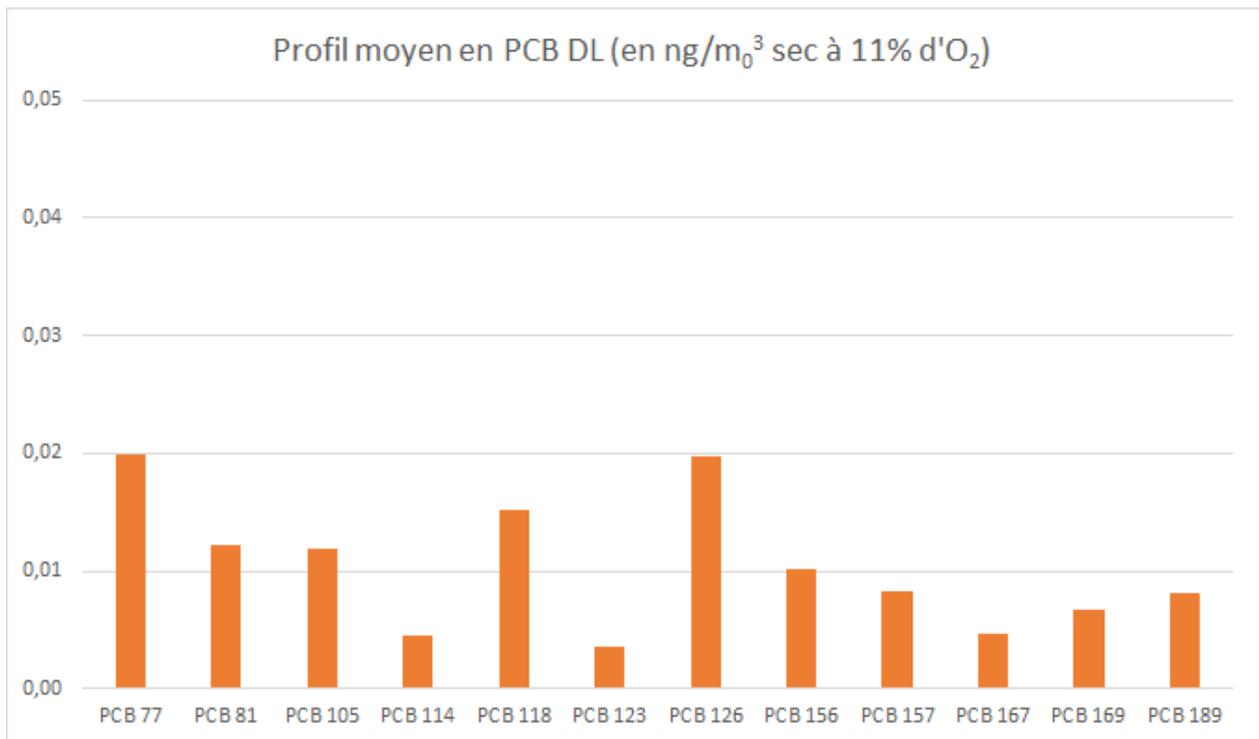


Figure 6 : Profil moyen en PCB DL.

9.4 PBDD-DF

En valeur brute, les teneurs sont inférieures à 0,05 ng/m₀³ sec à 11% d'O₂ à l'exception des valeurs mesurées à l'émission des deux UIOM F et M.

La valeur la plus élevée est obtenue sur l'UIOM F ligne 1 : 1,24 ng/m₀³ sec à 11% d'O₂. Cette valeur élevée est liée essentiellement à la présence d'un congénère furane à 8 atomes de chlore (OcBDF ; valeur mesurée 1,18 ng/m₀³ sec à 11% d'O₂) qui dispose d'un facteur équivalent toxique très faible (0,001) et qui n'a donc pas d'influence sur la teneur ramenée en équivalent toxique. Aucun dysfonctionnement de la chaîne analytique ou de l'installation n'a été constaté par le laboratoire et l'exploitant durant la période de prélèvement retenue.

Les autres teneurs les plus élevées sont observées sur les lignes 1 et 2 de l'UIOM M, respectivement 0,47 et 0,17 ng/m₀³ sec à 11% d'O₂.

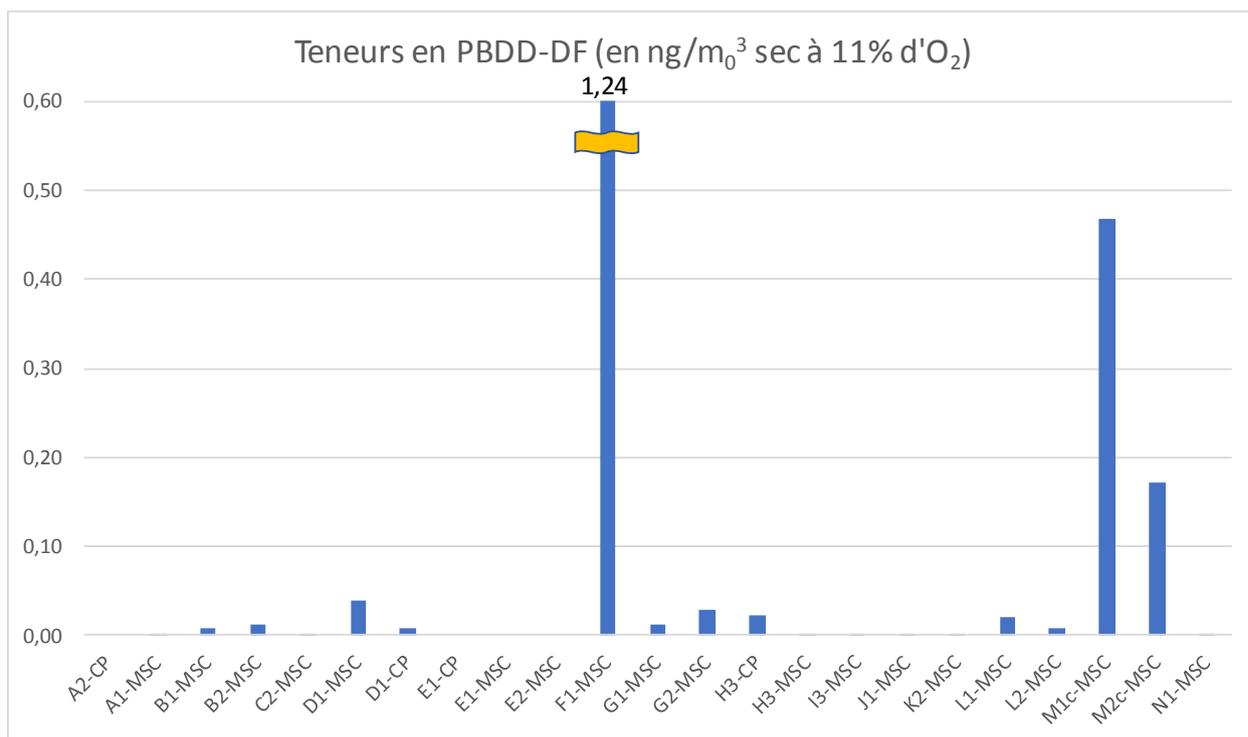


Figure 7 : Teneurs brutes en dioxines et furanes bromés.

En équivalent toxique, toutes les valeurs déterminées sont faibles, inférieures à 10% de la valeur limite à l'émission (VLE) pour les dioxines chlorées. Les valeurs les plus élevées sont obtenues sur l'UIOM M qui disposent également de la teneur en PCDD-DF la plus élevée (ligne n°2).

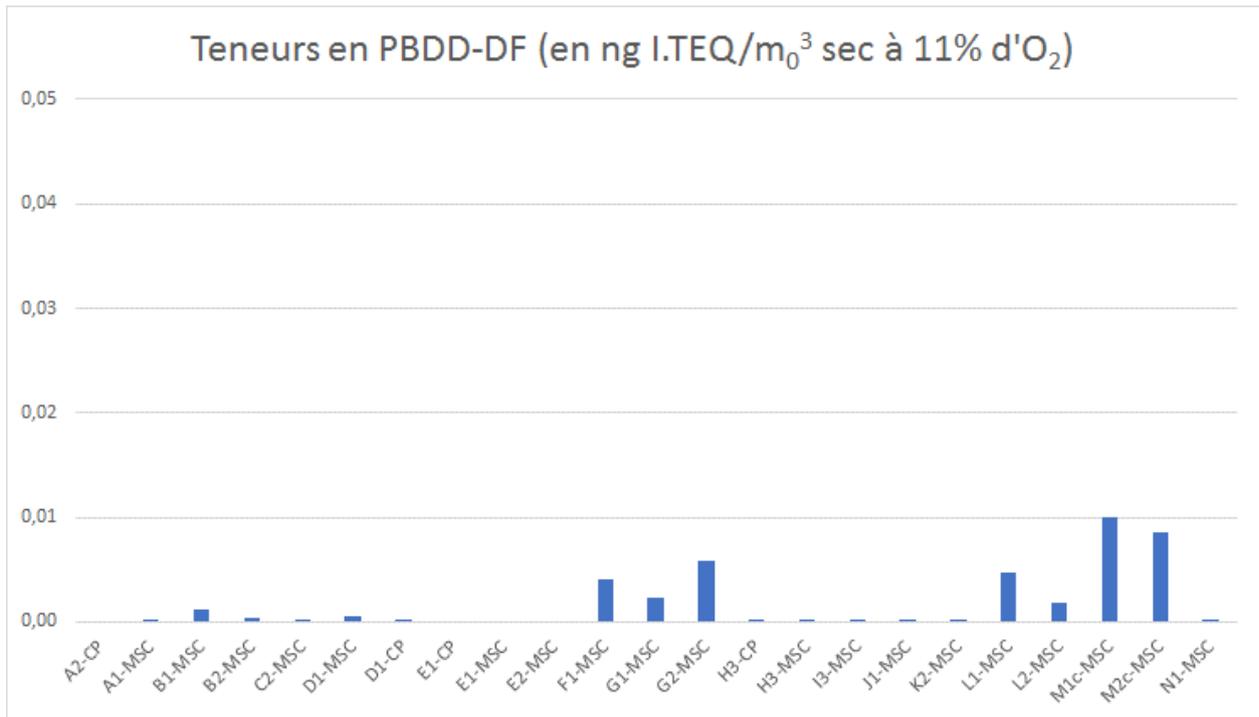


Figure 8 : Teneurs en dioxines et furanes bromés exprimées en équivalent toxique.

Le profil moyen en PBDD-DF est très influencé par les résultats obtenus sur les UIOM F et M où les teneurs en OcBDF et OcBDD respectivement sont très élevées par rapport à celles mesurées sur les autres UIOM.

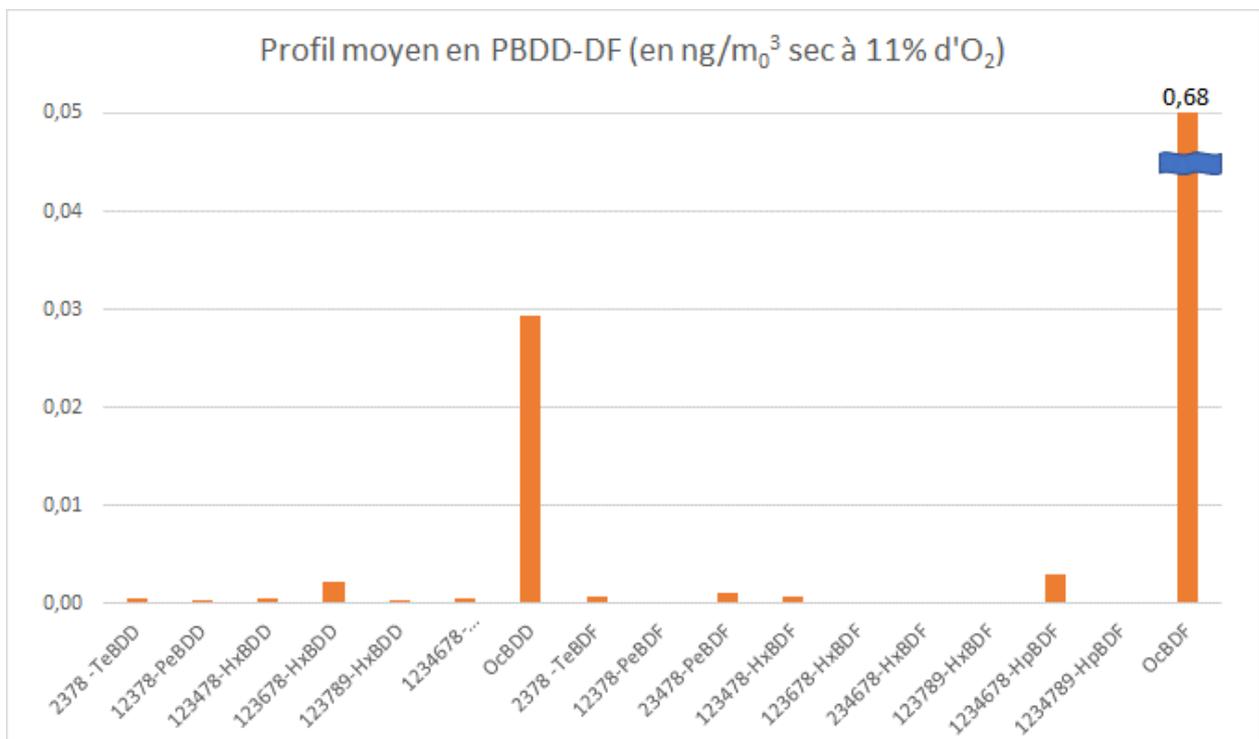


Figure 9 : Profil moyen en dioxines et furanes bromés.

9.5 RATIO PCB DL / PCDD-DF

En équivalent toxique, la teneur moyenne en PCB DL représente 9,2% de la teneur en PCDD-DF correspondante (fourchette de valeurs comprises entre 0 et 23% - hors UIOM B atypique). Les PCB DL représentent donc une faible part de l'équivalent toxique global.

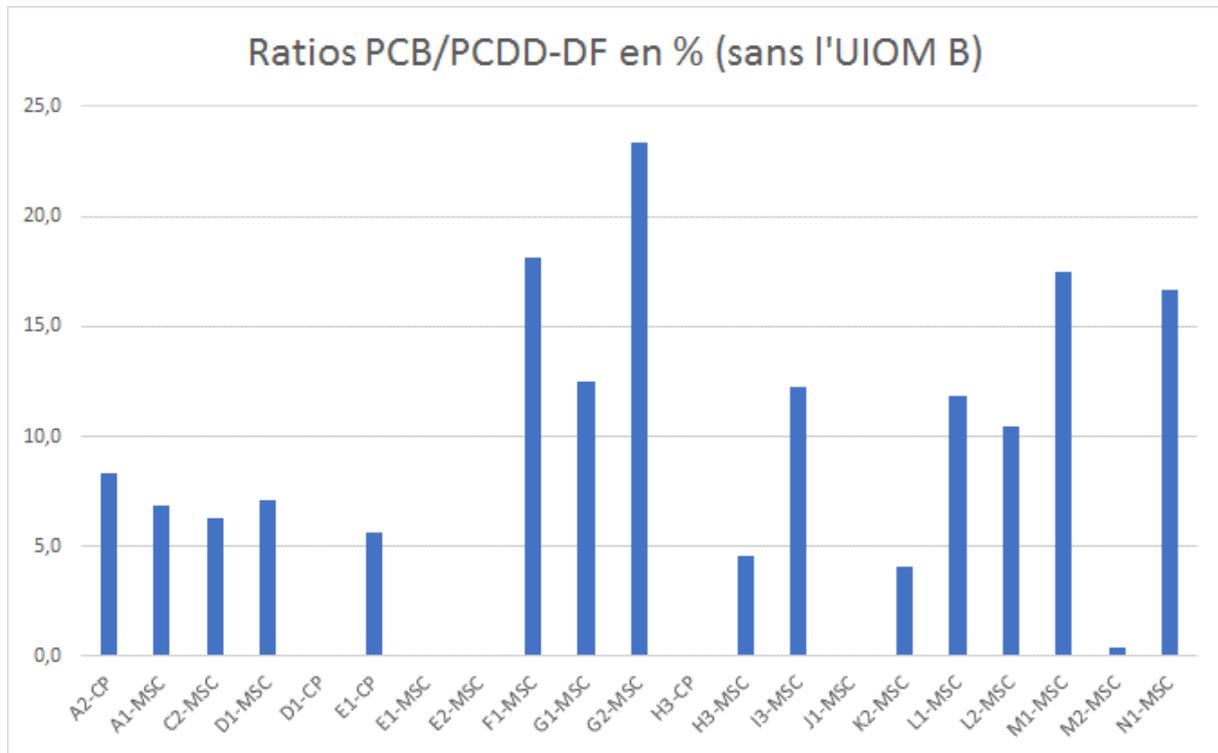


Figure 10 : Ratios PCB DL / PCDD-DF (en I.TEQ).

9.6 RATIO PBDD-DF / PCDD-DF

En équivalent toxique, 6 lignes d'UIOM ont des teneurs en PBDD-DF supérieures à celles des PCDD-DF, en général une à deux fois supérieures à l'exception de l'UIOM F ligne 1 dont la teneur en PBDD-DF est 10 fois supérieure à la teneur en PCDD-DF. Comme déjà évoqué, cette dernière UIOM a la particularité de disposer d'une teneur brute en PBDD-DF élevée.

La teneur moyenne en équivalent toxique en PBDD-DF représente 46% de la teneur en PCDD-DF correspondante, mais les valeurs sont très dispersées (fourchette de valeurs comprise entre 0 et 230% - hors UIOM F atypique).

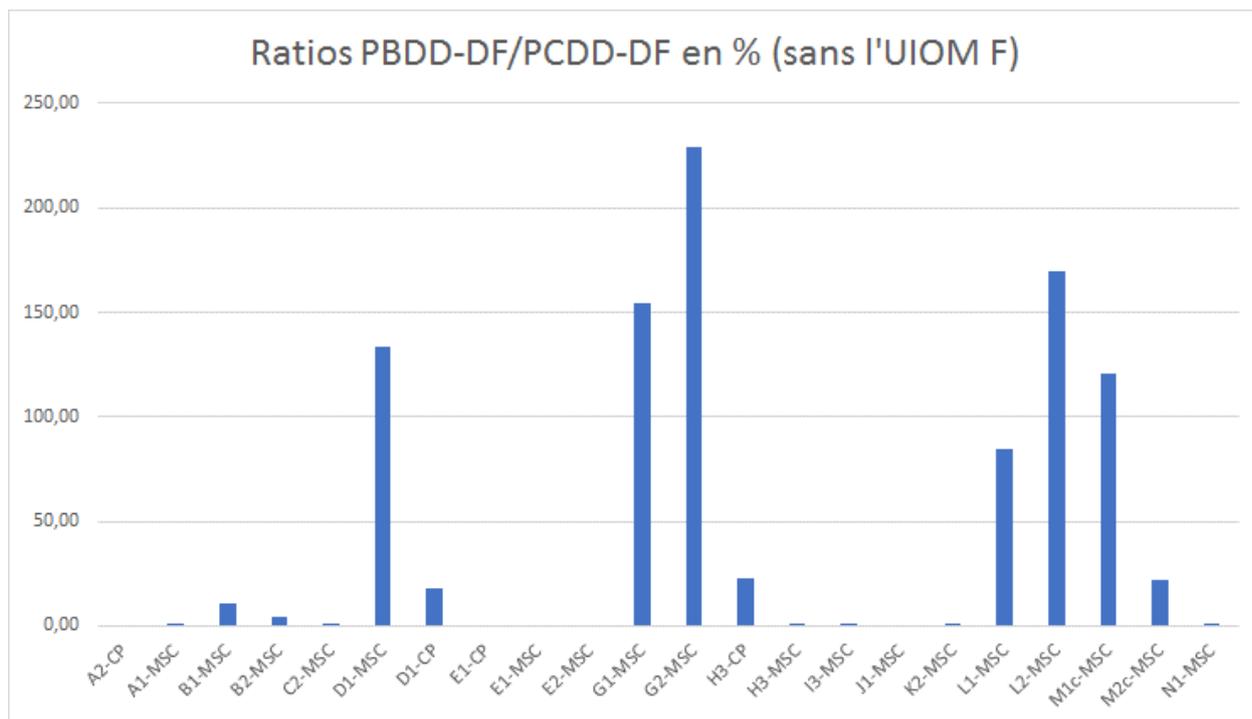


Figure 11 : Ratios PBDD-DF / PCDD-DF (en I.TEQ).

9.7 VALEURS CUMULEES (SOMME DES TENEURS EN PCDD-DF, PCB DL ET PBDD-DF)

Toutes les teneurs cumulées par ligne d'incinération sont inférieures à 15% de la VLE en PCDD-DF de 0,1 ng I.TEQ/m³ sec à 11% d'O₂, à l'exception des valeurs de deux UIOM. Il s'agit :

- De l'UIOM M, du fait de la présence de teneurs plus élevées en PCDD-DF sur cette installation (teneurs cumulées de 20% pour la ligne n°1 et 48% pour la ligne n°2 par rapport à la VLE) ;
- Et de l'UIOM B, du fait de la présence de teneurs plus élevées en PCB DL sur cette installation (teneurs cumulées de 17% pour la ligne n°1 et 39% pour la ligne n°2 par rapport à la VLE).

Malgré des valeurs brutes en PBDD-DF les plus élevées, les émissions cumulées de l'UIOM F ligne 1 restent faibles.

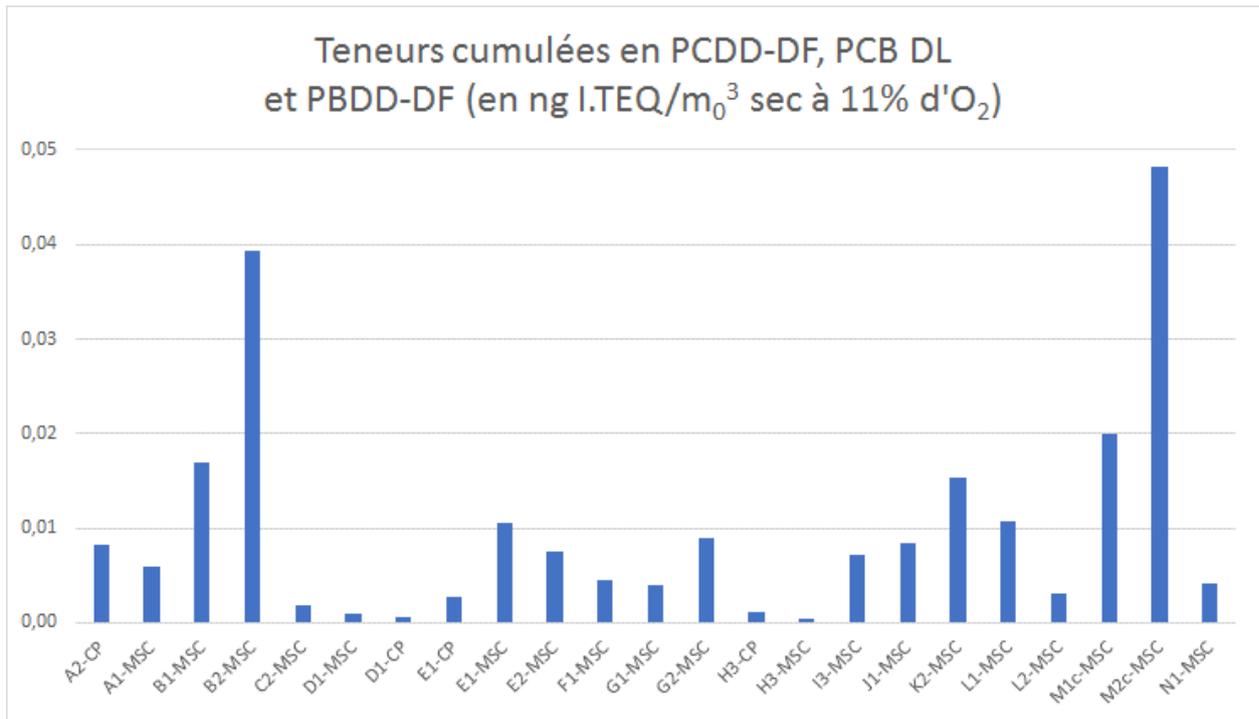


Figure 12 : Teneurs cumulées en PCDD-DF, PCB DL et PBDD-DF.

9.8 ETUDE DE LA VARIABILITE MENSUELLE DES TENEURS EN PBDD-DF

Sur l'UIOM M qui dispose de teneurs relativement élevées en PCDD-DF et en PBDD-DF sur ses deux lignes, les mesures semi-continues ont été effectuées sur une période de 3 mois. Les résultats sont présentés en valeur brute et en équivalent toxique dans les graphes ci-après. Seules les données du dernier mois de mesure (novembre 2017, correspondant à des teneurs en équivalent toxique intermédiaires en PBDD-DF) ont été présentées dans les graphes précédents.

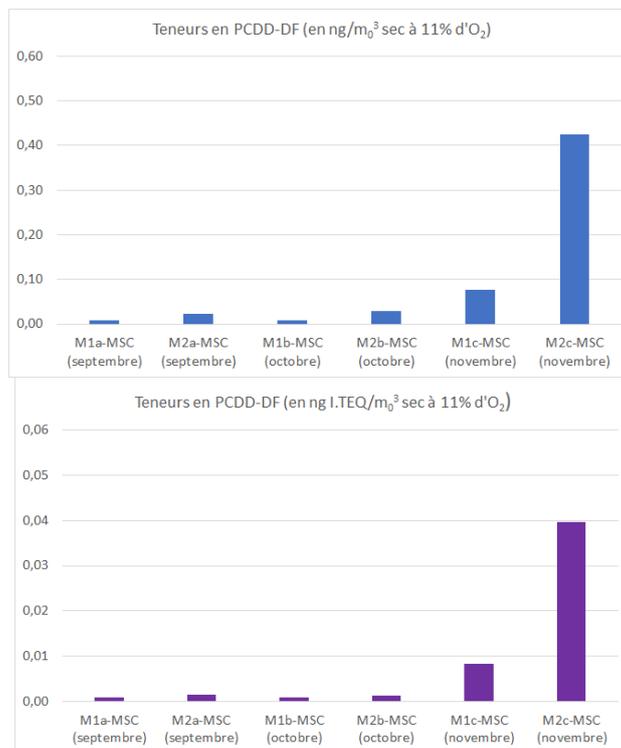


Figure 13 : Teneurs en PCDD-DF - valeurs brutes (bleu) et en équivalent toxique (violet).

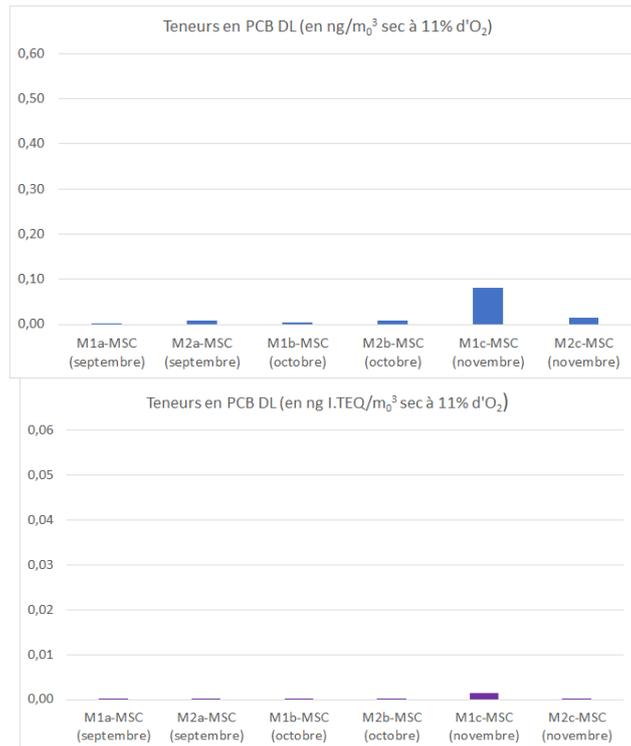


Figure 14 : Teneurs en PCB DL - valeurs brutes (bleu) et en équivalent toxique (violet).

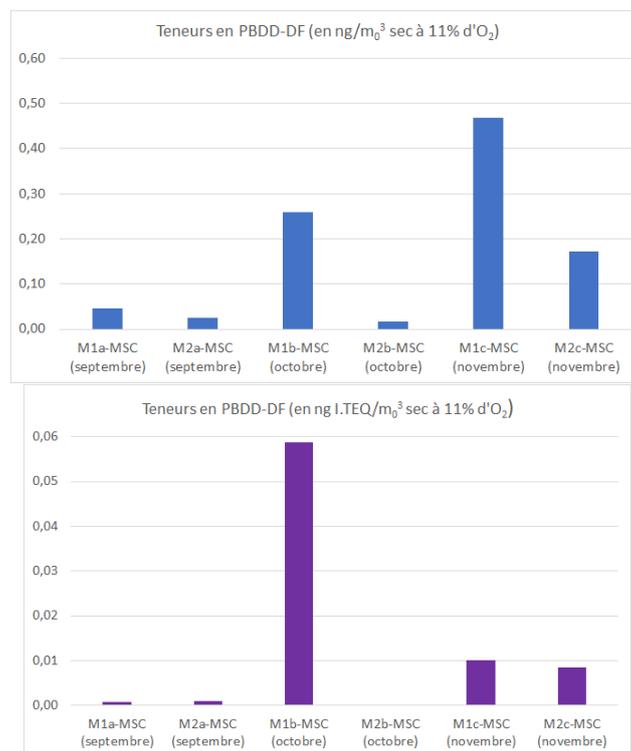


Figure 15 : Teneurs en PBDD-DF - valeurs brutes (bleu) et en équivalent toxique (violet).

La valeur la plus élevée en PBDD-DF en équivalent toxique (0,059 ng I.TEQ/m³ sec à 11% d'O₂) est mesurée sur la ligne 1 durant le mois d'octobre 2017. Durant cette période de mesure, aucun dysfonctionnement du dispositif de prélèvement ou de la ligne d'incinération ne sont à signaler. Les très faibles teneurs en PCDD-DF et en PCB DL mesurées durant cette période corroborent ce constat.

Des teneurs plus élevées concomitantes en PCDD-DF et PBDD-DF, voire PCB DL sont observées en novembre 2017 sur les deux lignes d'incinération, un dysfonctionnement mineur difficilement décelable n'est donc pas à exclure.

Toutes les teneurs en polluants mesurées en septembre 2017 sont très faibles.

Ces résultats permettent d'appréhender l'évolution des émissions mensuelles de ces polluants sur une même ligne. Ils mettent par ailleurs en évidence les points suivants :

- Une valeur brute élevée en PBDD-DF n'est pas forcément à l'origine d'une valeur élevée en équivalent toxique (cas du mois de novembre 2017, du fait de la présence en quantité d'OcBDF, congénère à 8 atomes de brome disposant d'un très faible facteur équivalent toxique : 0,001 - valeur retenue dans la présente étude) ;
- En valeur brute et en équivalent toxique, une teneur élevée en PBDD-DF n'est pas forcément en lien avec une teneur élevée en PCDD-DF ou PCB DL (ligne 1 – octobre 2017).

9.9 COMPARAISON MESURE SEMI-CONTINUE VS CONTROLE PERIODIQUE

Pour les trois familles chimiques (PCDD-DF, PCB DL et PBDD-DF), les teneurs brutes mesurées sont en général très faibles ($< 0,1 \text{ ng/m}_0^3 \text{ sec à } 11\% \text{ d'O}_2$) et ne permettent donc pas de mettre en évidence d'écarts significatifs entre les deux types de mesurage (contrôle périodique (CP) et mesure semi-continue (MSC)). Seules des teneurs en PCDD-DF un peu supérieures sont mesurées à l'émission de l'UIOM E ligne 1, les niveaux de concentration sont alors assez proches sur les deux types de prélèvement.

Toutes les teneurs mesurées en équivalent toxique, pour les trois familles chimiques (PCDD-DF, PCB DL et PBDD-DF), sont très faibles ($< 0,01 \text{ ng I.TEQ/m}_0^3 \text{ sec à } 11\% \text{ d'O}_2$). Aucun écart significatif entre les deux types de mesurage (contrôle périodique et mesure semi-continue) n'est observé.

Les seuils de quantification sont essentiellement influencés par le volume d'échantillon prélevé. Les seuils de quantification des mesures semi-continues sont environ 80 fois plus faibles que ceux des contrôles périodiques.

Les profils moyens en PCDD-DF et PCB DL des deux types de mesure sont assez similaires. Ceci est moins vrai pour les PBDD-DF mais les teneurs mesurées sont très faibles et a priori moins significatives pour cette dernière famille chimique.

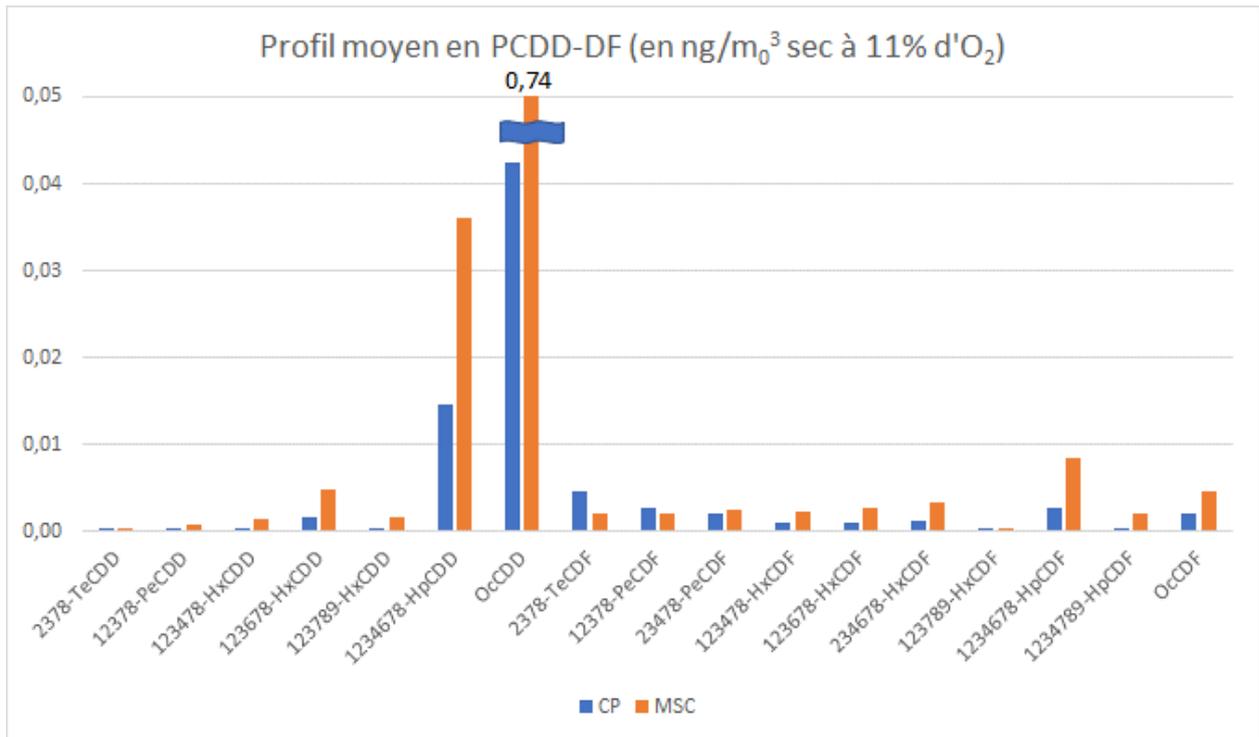


Figure 16 : Comparaison des profils moyens en dioxines et furanes chlorés.

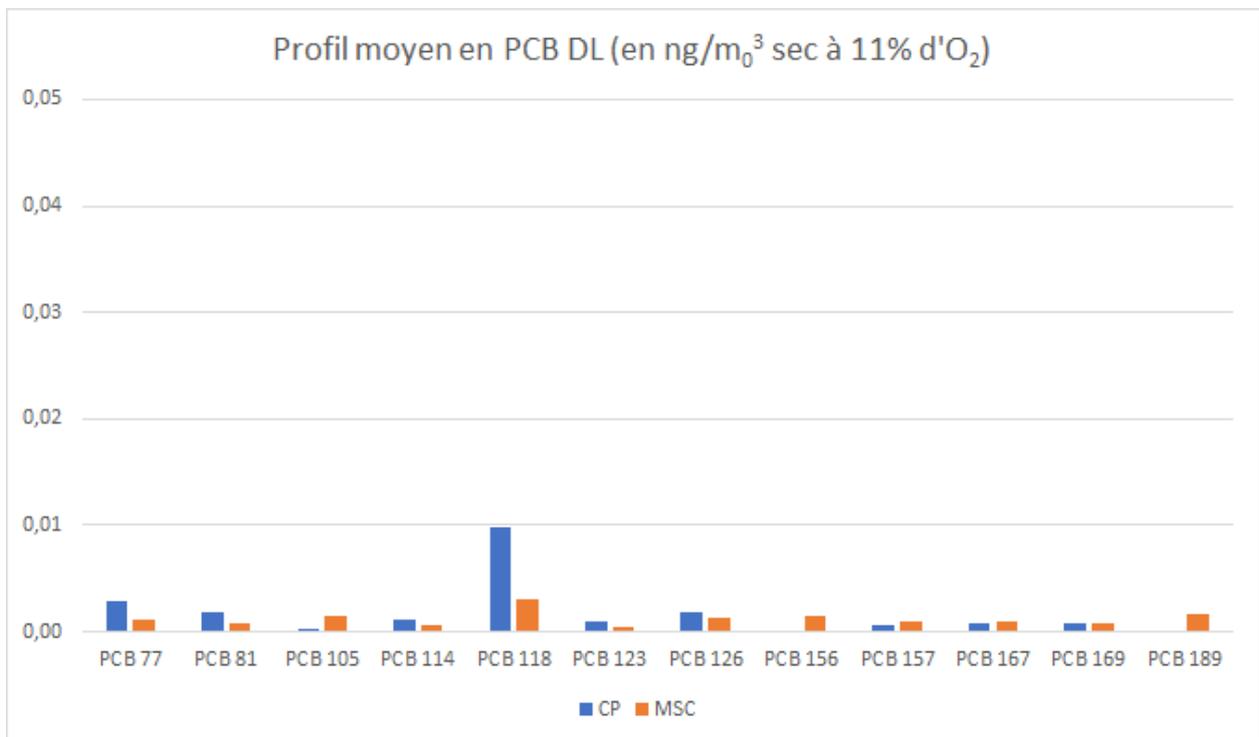


Figure 17 : Comparaison des profils moyens en PCB DL.

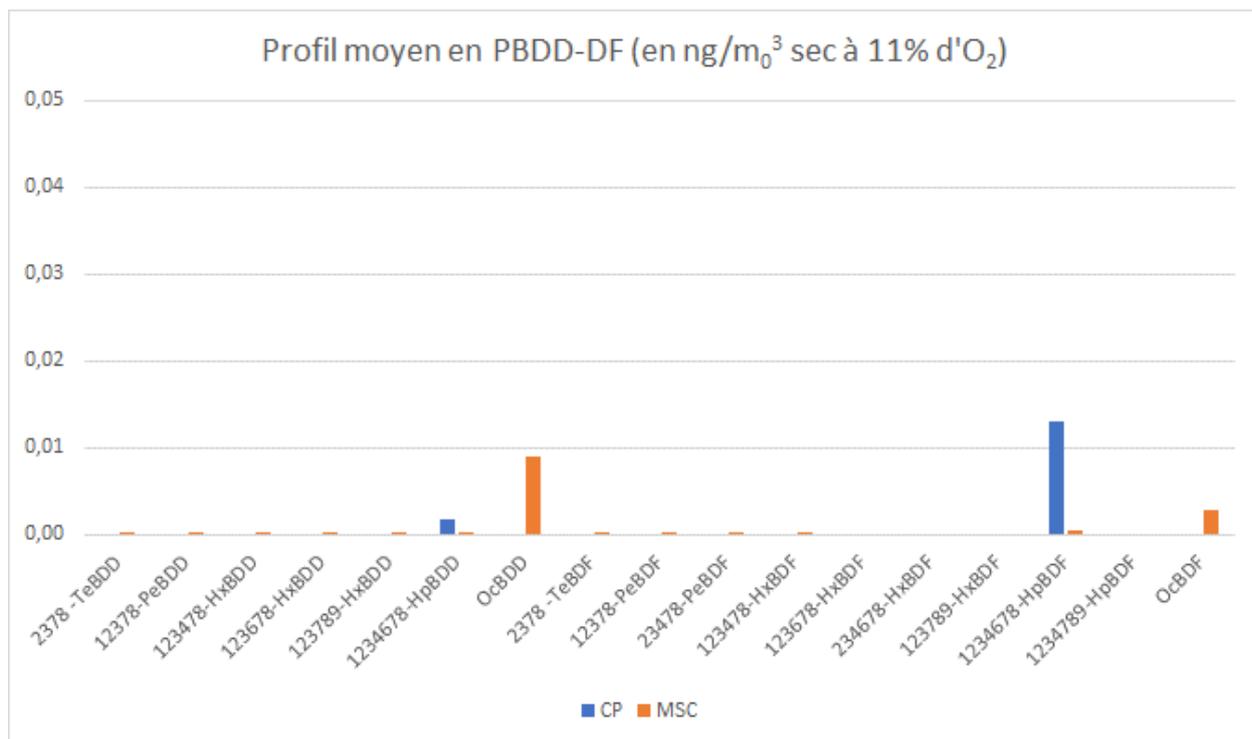


Figure 18 : Comparaison des profils moyens en dioxines et furanes bromés.

9.10 INFLUENCE DE CERTAINS PARAMETRES SUR LES EMISSIONS DE POLLUANTS

L'influence de certains paramètres tels que le type de traitement des fumées (humide, semi-humide, sec), le traitement des NOx (SCR, SNCR) ou la part d'OM dans les déchets incinérés, sur les teneurs en polluants émises a été étudiée.

9.10.1 Influence du type de traitement des acides

Tableau 8 : Teneurs moyennes (minimum – maximum) en polluants en fonction des dispositifs d'épuration installés sur les installations sélectionnées.

Traitement des fumées	Humide	Semi-humide	Sec
Nombre de lignes	7	6	10
Teneurs en PCDD-DF en ng/m ³ à 11% d'O ₂	0,040 (0,009 – 0,079)	0,236 (0,116 – 0,527)	0,097 (0,002 – 0,424)
Teneurs en PCB DL en ng/m ³ à 11% d'O ₂	0,025 (0,000 – 0,054)	0,689 (0,008 sans l'UIOM B) (0,049 – 1,589)	0,026 (0,000 – 0,080)
Teneurs en PBDD-DF en ng/m ³ à 11% d'O ₂	0,009 (0,000 – 0,028)	0,003 (0,000 – 0,012)	0,196 (0,080 sans l'UIOM M) (0,000 – 1,240)
Teneurs en PCDD-DF en ng I.TEQ/m ³ à 11% d'O ₂	0,004 (0,000 – 0,008)	0,008 (0,003 – 0,011)	0,008 (0,000 – 0,040)
Teneurs en PCB DL en ng I.TEQ/m ³ à 11% d'O ₂	0,000 (0,000 – 0,001)	0,012 (0,000 – 0,029)	0,000 (0,000 – 0,001)
Teneurs en PBDD-DF en ng I.TEQ/m ³ à 11% d'O ₂	0,001 (0,000 – 0,006)	0,000 (0,000 – 0,001)	0,003 (0,000 – 0,010)

Etant donné les teneurs brutes élevées en PCB DL de l'UIOM B et en PBDD-DF de l'UIOM M, il est proposé dans le tableau ci-dessus deux valeurs moyennes, avec et sans prise en compte de ces valeurs élevées. Compte tenu de la dispersion des résultats, des faibles teneurs mesurées et du faible nombre d'analyses, l'influence du type de système de traitement des acides sur les émissions de polluants paraît peu significative.

9.10.2 Influence du traitement des NOx

Toutes les installations disposent d'un système de traitement des dioxines et furanes :

- Par adsorption avec utilisation de charbon actif, coke de lignite ou Dioxorb ;
- Ou par oxydation catalytique seule (SCR, 1 seule UIOM dans l'échantillon retenu).

Certaines installations sont également équipées d'un système d'oxydation catalytique des oxydes d'azote qui est susceptible également de participer à la destruction des dioxines et furanes.

Tableau 9 : Teneurs moyennes (minimum - maximum) en polluants en fonction du système de traitement DeNOx installé.

Traitement des fumées	SCR	SNCR
Nombre de lignes	11	12
Teneurs en PCDD-DF en ng/m ³ à 11% d'O ₂	0,078 (0,002 – 0,424)	0,150 (0,009 – 0,527)
Teneurs en PCB DL en ng/m ³ à 11% d'O ₂	0,026 (0,000 – 0,080)	0,226 (0,030 sans l'UIOM B) (0,000 – 1,589)
Teneurs en PBDD-DF en ng/m ³ à 11% d'O ₂	0,179 (0,066 sans l'UIOM M) (0,000 – 1,240)	0,007 (0,000 – 0,022)
Teneurs en PCDD-DF en ng I.TEQ/m ³ à 11% d'O ₂	0,007 (0,000 – 0,040)	0,006 (0,000 – 0,015)
Teneurs en PCB DL en ng I.TEQ/m ³ à 11% d'O ₂	0,000 (0 000 – 0,001)	0,004 (0,000 – 0,029)
Teneurs en PBDD-DF en ng I.TEQ/m ³ à 11% d'O ₂	0,003 (0,000 – 0,010)	0,001 (0,000 – 0,005)

Etant donné les teneurs brutes élevées en PCB DL de l'UIOM B et en PBDD-DF de l'UIOM M, il est proposé dans le tableau ci-dessus deux valeurs moyennes, avec et sans prise en compte de ces valeurs élevées. Compte tenu de la dispersion des résultats, des faibles teneurs mesurées et du faible nombre d'analyses, le type de système de traitement (DeNOx - DeDiox), catalytique ou non, paraît ne pas avoir une influence significative sur les émissions de polluants.

9.10.3 Influence de la part d'Ordures Ménagères (OM) dans les déchets incinérés

Parmi les 3 UIOM dont le pourcentage d'OM dans les déchets incinérés est le plus élevé, deux ont les teneurs brutes en PBDD-DF les plus élevées. Ces valeurs brutes élevées sont liées essentiellement à la présence d'OcBDD et d'OcBDF qui disposent d'un facteur équivalent toxique très faible (0,001).

10. PRISE EN COMPTE DES EMISSIONS DE PBDD-DF DANS LES EVALUATIONS DE RISQUES SANITAIRES

Il n'existe pas actuellement de VTR ni d'équivalents toxiques spécifiques pour les dioxines et furanes bromés.

Habituellement, les évaluations de risques sanitaires (ERS) relatives aux émissions des UIOM (dans le cadre de dossiers de demande d'autorisation d'exploiter ou pour des installations existantes) considèrent les PCDD-DF sans prendre en compte ni les PBDD-DF ni les PCB-DL. En effet, seuls les PCDD-DF sont réglementés (VLE et surveillance)⁶.

En termes d'hypothèses d'émission, c'est généralement, soit la VLE (0,1 ng l. TEQ/m³), soit la moyenne des concentrations mesurées (pour les installations existantes) qui est retenue.

Les résultats présentés apportent un éclairage sur l'influence que pourrait avoir la prise en compte des émissions de PBDD-DF en plus des PCDD-DF dans les ERS relatives aux UIOM⁷ :

- Si l'ERS est basée sur la VLE, la prise en compte des émissions de PBDD-DF en plus des PCDD-DF n'aura pas d'influence notable sur les résultats de l'ERS (moins de 10%). En effet, toutes les teneurs en équivalent toxique mesurées en PBDD-DF sont inférieures à 10 % de la VLE et les sommes des concentrations mesurées en PCDD-DF, PBDD-DF et PCB-DL sont toujours inférieures à la VLE (cf. §9.4 et 9.7). L'hypothèse d'émissions au niveau de la VLE apparaît donc majorante pour les PCDD-DF mais aussi pour l'ensemble PCDD-DF+PBDD-DF+PCB-DL ;
- Si l'ERS est basée sur la moyenne des concentrations mesurées en PCDD-DF, la prise en compte des émissions de PBDD-DF en plus des PCDD-DF peut avoir une influence modérée sur les résultats de l'ERS, d'un facteur 1 à 3 environ en règle générale. En effet, la teneur en équivalent toxique en PBDD-DF (cf. § 9.6) représente entre 0 et 230% (46% en moyenne, sauf un cas atypique) de la teneur en PCDD-DF correspondante.
- Cette influence ne semble pas susceptible de remettre en cause les conclusions des ERS, à moins que les quotients de danger⁸ (QD) soient relativement proches de la valeur de référence de 1. Dans ce cas (QD supérieurs à 0,3 à titre indicatif), une discussion sur cette influence serait utile, appuyée dans la mesure du possible sur des mesures sur l'installation.

⁶ Arrêté du 20/09/2002 relatif aux installations d'incinération de déchets non dangereux

⁷ En considérant la même VTR et les mêmes TEF pour les PCDD-DF et les PBDD-DF. En 1^{ère} approche, à défaut de données spécifiques, on suppose que la dispersion et le transfert sont identiques pour les PBDD-DF et les PCDD-DF.

Dans la limite de représentativité de la campagne de mesures, portant sur le parc français des UIOM (cf. § 4). Ces conclusions ne sont donc pas valables pour les installations exclues de la campagne : installations d'outre-mer, installations non pérennes ou en travaux et installations dont la part d'ordures ménagères dans les entrants est faible ; ainsi que pour les incinérateurs de déchets dangereux et les autres installations de combustion.

⁸ Le risque pour les effets à seuil est exprimé par un indicateur de risque, le quotient de danger (QD). Pour une exposition par inhalation, le QD se définit comme le rapport entre la concentration inhalée et la valeur toxicologique de référence à seuil.

11. CONCLUSIONS

L'objectif de cette étude était de fournir d'une part les premières données nationales sur les émissions de PBDD-DF et d'autre part des données d'émission représentatives de sites français de valorisation énergétique de déchets. Pour cela, une campagne de mesures à l'émission de 14 UIOM a été réalisée de juin à décembre 2017.

Ces mesures ont été effectuées, à l'occasion des contrôles habituels menés dans le cadre de l'autosurveillance, sur les supports de prélèvement mensuel, mesures en semi-continu déjà utilisées pour l'analyse des dioxines et furanes chlorés. Sur 4 sites, des mesurages complémentaires ont également été réalisés sur le prélèvement ponctuel effectué dans le cadre du contrôle périodique par un organisme de contrôle afin de déterminer pour ces deux types de mesurage les éventuels écarts. Au total, 27 mesurages ont été effectués. Sur certaines UIOM, plusieurs lignes d'incinération ont fait l'objet de mesure.

Les PCB DL ont également été mesurés et les résultats des analyses de PCDD-DF effectuées par les exploitants recueillis.

Les demi-intervalles de confiance (à 95% de niveau de confiance) associés aux teneurs en PCDD-DF mesurées dans le cadre de cette étude sont élevés (de l'ordre de 140% pour une teneur de 0,035 ng I.TEQ/m³ selon NF EN 1948⁹). Dans le cas des PBDD-DF, ces demi-intervalles de confiance ne sont pas connus. Ils devraient être du même ordre de grandeur, voire supérieurs à ceux des PCDD-DF.

En l'absence de facteurs d'équivalence toxique spécifiques aux PBDD-DF, les valeurs relatives aux congénères homologues chlorés ont été retenues.

Certains congénères de PBDD-DF ne sont pas dosés par manque d'étalon. Cependant, tous les laboratoires dosent a minima systématiquement les huit congénères qui disposent des équivalents toxiques les plus élevés. Pour les dioxines chlorées, ces 8 congénères représentent plus de 70% de la quantité d'équivalent toxique correspondant aux 17 congénères dosés.

Les teneurs brutes en PBDD-DF sont toutes inférieures à 0,05 ng/m³ sec à 11% d'O₂ à l'exception des valeurs mesurées à l'émission de deux UIOM (F et M). Toutes les valeurs en équivalent toxique sont également très faibles : inférieures à 0,01 ng I.TEQ/m³ à 11% d'O₂ à l'exception d'une valeur déterminée sur l'UIOM M (0,059 ng I.TEQ/m³ à 11% d'O₂). En général, les fortes concentrations brutes mesurées sont liées à la présence de congénères comprenant 8 atomes de brome faiblement toxiques (facteur équivalent toxique : 0,001).

Les très faibles teneurs mesurées laissent subodorer une grande efficacité des systèmes de traitement installés.

En équivalent toxique, les teneurs en PBDD-DF sont en général inférieures ou du même ordre de grandeur que les teneurs en PCDD-DF. La teneur moyenne en équivalent toxique en PBDD-DF représente 46% de la teneur en PCDD-DF correspondante (fourchette de valeurs comprise entre 0 et 230% - 22 mesurages - 1 valeur atypique très élevée UIOM M non comptabilisée).

Toujours en équivalent toxique, la teneur moyenne en PCB DL représente 9% de la teneur en PCDD-DF correspondante (fourchette de valeurs comprise entre 0 et 23% - 22 mesurages 2 valeurs atypiques correspondant aux 2 lignes d'incinération de l'UIOM B non comptabilisées). Les PCB DL représentent donc une faible part de l'équivalent toxique global.

La comparaison des deux types de mesurage (mesure semi-continue vs contrôle périodique) ne fait pas apparaître d'écarts significatifs.

⁹ NF EN 1948 Emissions de sources fixes - Détermination de la concentration massique en PCDD-DF et PCB de type dioxine

L'influence sur les émissions de polluants de certains paramètres tels que le type de traitement acide, le type de traitement des NOx et la part d'OM incinérée, a été étudiée.

Les émissions de dioxines et furanes bromés les plus élevées, en valeur brute notamment, ont été observées sur deux UIOM de type urbain (F et M) où la part d'OM incinérée était très importante (> 98%). Cela pourrait être liée à cette proportion d'OM plus importante ainsi qu'à une part plus élevée en RFB dans ces OM.

Sur l'UIOM M où des teneurs plus élevées sont observées en PBDD-DF mais également en PCDD-DF, un dysfonctionnement mineur difficilement décelable n'est cependant pas à exclure.

Enfin, la présence d'entrants particuliers (spécificité locale) pourrait être à l'origine des teneurs plus élevées en PCB DL (0,029 ng I. TEQ/m³ sec à 11% d'O₂ notamment) déterminées sur l'UIOM B, les teneurs très faibles en PCDD-DF et PBDD-DF permettant d'écarter a priori tout dysfonctionnement de l'installation.

Evaluation de la pertinence du suivi systématique des PBDD-DF émis par les UIOM :

Comme déjà évoqué, les teneurs en équivalent toxique (27 mesurages) sont faibles : toutes inférieures à 0,01 ng I. TEQ/m³ à 11% d'O₂ à l'exception d'une valeur qui se rapproche de la VLE relative aux dioxines chlorées (0,059 ng I. TEQ/m³ à 11% d'O₂). Cette dernière valeur plus élevée ne s'accompagne pas d'une augmentation concomitante en dioxines et furanes chlorés ce qui laisse supposer l'absence d'un dysfonctionnement de l'installation. Cette augmentation des émissions en dioxines et furanes bromés est donc probablement liée à l'introduction de matériaux chargés en RFB. Un suivi systématique des PBDD-DF pourrait donc être intéressant.

Prise en compte des émissions de PBDD-DF dans les évaluations de risques sanitaires :

Habituellement, les évaluations de risques sanitaires (ERS) relatives aux émissions des UIOM (dans le cadre de dossiers de demande d' autorisation d' exploiter ou pour des installations existantes) ne considèrent pas les PBDD-DF qui ne sont pas actuellement réglementés (ni VLE, ni surveillance).

La prise en compte des émissions de PBDD-DF dans les évaluations de risques sanitaires basées soit sur les VLE soit sur la moyenne des concentrations mesurées en PCDD-DF, ne semble pas susceptible de remettre en cause les conclusions des ERS, à moins que les quotients de danger (QD) soient relativement proches de la valeur de référence de 1. Dans ce cas (QD supérieurs à 0,3 à titre indicatif), l'influence des émissions de PBDD-DF devra être discutée avec les incertitudes portant sur l'évaluation, appuyée dans la mesure du possible par des mesures sur l'installation.

12. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nb pages
1	Limites de quantification	3

ANNEXE 1

Limites de quantification

Les limites de quantification analytiques pour les dioxines et furanes bromés des quatre laboratoires qui sont intervenus dans le cadre de la présente étude sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Laboratoire	A	B	C	D
2378 -TeBDD	0,007	0,02	0,05	0,002
12378-PeBDD	0,008	0,02	0,05	0,004
123478-HxBDD	0,007	0,02 (somme des 2 congénères)	0,25	0,012 (somme des 2 congé- nères)
123678-HxBDD	nd		0,25	
123789-HxBDD	0,008	0,02	0,25	0,012
1234678-HpBDD	nd	0,02	nd	0,015
OcBDD	0,011	0,10	nd	0,400
2378 -TeBDF	0,008	0,02	0,05	0,004
12378-PeBDF	0,009	0,02	0,05	0,008
23478-PeBDF	0,008	0,02	0,05	0,008
123478-HxBDF	0,009	0,02	nd	0,012
123678-HxBDF	nd	nd	nd	nd
234678-HxBDF	nd	nd	nd	nd
123789-HxBDF	nd	nd	nd	nd
1234678-HpBDF	0,008	0,10	nd	0,015
1234789-HpBDF	nd	nd	nd	nd
OcBDF	0,011	1,0	nd	2,0

nd : non dosé

Tableau 1 : Limites de quantification analytique en ng/échantillon.

Ces valeurs sont relativement homogènes d'un laboratoire à l'autre à l'exception du laboratoire C dont les valeurs limites sont environ 10 fois supérieures. Ces seuils sont généralement plus élevés pour les congénères les plus chlorés, notamment les OcBDD et OcBDF comprenant 8 atomes de chlore.

Le seuil de détection analytique est influencé par le volume de gaz prélevé et la teneur en O₂ mesurée. Les valeurs de ce paramètre évoluent donc d'un prélèvement à l'autre ce qui explique la différence des seuils de quantification analytique mentionnés ci-après pour les deux types de mesurage : contrôle périodique et mesure semi-continue.

Seuils de quantification moyens lors du contrôle périodique :

Teneur moyenne en O₂ : 10,8%.

Volume moyen prélevé : 5,23 m₀³.

Laboratoire	A	B	C	D
2378 -TeBDD	0,00131	0,00375	0,00937	0,00037
12378-PeBDD	0,00150	0,00375	0,00937	0,00075
123478-HxBDD	0,00131	0,00375 (somme des 2 congé- nères)	0,04684	0,00225 (somme des 2 congé- nères)
123678-HxBDD	nd		0,04684	
123789-HxBDD	0,00150	0,00375	0,04684	0,00225
1234678-HpBDD	nd	0,00375	nd	0,00281
OcBDD	0,00206	0,01874	nd	0,07495
2378 -TeBDF	0,00150	0,00375	0,00937	0,00075
12378-PeBDF	0,00169	0,00375	0,00937	0,00150
23478-PeBDF	0,00150	0,00375	0,00937	0,00150
123478-HxBDF	0,00169	0,00375	nd	0,00225
123678-HxBDF	nd	nd	nd	nd
234678-HxBDF	nd	nd	nd	nd
123789-HxBDF	nd	nd	nd	nd
1234678-HpBDF	0,00150	0,01874	nd	0,00281
1234789-HpBDF	nd	nd	nd	nd
OcBDF	0,00206	0,18737	nd	0,37475

nd : non dosé

Tableau 2 : Limites de quantification moyennes lors des contrôles périodiques en ng/m₀³ sec à 11% d'O₂.

Seuils de quantification moyens lors des mesures semi-continues :

Teneur moyenne en O₂ : 10,4%.

Volume moyen prélevé : 423,7 m₀³.

Laboratoire	A	B	C	D
2378 -TeBDD	0,00002	0,00004	0,00011	0,00000
12378-PeBDD	0,00002	0,00004	0,00011	0,00001
123478-HxBDD	0,00002	0,00004 (somme des 2 congénères)	0,00056	0,00003 (somme des 2 congénères)
123678-HxBDD	nd		0,00056	
123789-HxBDD	0,00002	0,00004	0,00056	0,00003
1234678-HpBDD	nd	0,00004	nd	0,00003
OcBDD	0,00002	0,00022	nd	0,00089
2378 -TeBDF	0,00002	0,00004	0,00011	0,00001
12378-PeBDF	0,00002	0,00004	0,00011	0,00002
23478-PeBDF	0,00002	0,00004	0,00011	0,00002
123478-HxBDF	0,00002	0,00004	nd	0,00003
123678-HxBDF	nd	nd	nd	nd
234678-HxBDF	nd	nd	nd	nd
123789-HxBDF	nd	nd	nd	nd
1234678-HpBDF	0,00002	0,00022	nd	0,00003
1234789-HpBDF	nd	nd	nd	nd
OcBDF	0,00002	0,00222	nd	0,00444

nd : non dosé

Tableau 3 : Limites de quantification moyennes lors des mesures semi-continues en ng/m₀³ sec à 11% d'O₂.