



- **Procédés, énergie et environnement**
- **Combustibles alternatifs et incinération des déchets**

Sommaire

En couverture : La cimenterie de Rochefort-sur-Nenon (Jura), appartenant au groupe Holcim, dispose d'un four de pyrolyse connecté au four à clinker. Cet équipement lui permet de valoriser intégralement des boues ferreuses, calciques et siliceuses du fait de la séparation des composantes minérale (utilisée comme matière première constitutive du cru*) et organique (utilisée comme combustible pour la cuisson).

Edito	3
Abstracts	5
Avant-propos (P. Valençon)	8

1^{re} partie Procédés, énergie et environnement

Energies au XXI^e siècle (Christophe Baulinet, secrétariat d'Etat à l'industrie)	11
1. Ressources, un monde d'inégalités	11
2. Consommations mondiales : une croissance potentiellement forte.....	12
3. Géopolitique : un contexte évolutif en Europe	13
4. Environnement, une préoccupation croissante de tous les acteurs.....	14
5. Marchés : une ouverture croissante incontournable.....	15
6. Quels choix pour l'avenir	16
7. En guise de conclusion : quelques mots clés.	17
Grandes tendances dans les besoins et l'offre d'énergie durant les prochaines décennies (Maurice Claverie)	19
1. La demande mondiale d'énergie.....	19
2. L'offre d'énergie	20
3. Faire répondre l'offre à la demande : projections et scénarios	21
4. Les projections de demande et d'offre d'énergie en 2020	21
5. Les scénarios énergétiques à l'horizon 2050	23
6. Sauvegarde de l'environnement.....	23
7. Politique énergétique de l'UE	24
8. Politique énergétique de la France	25
Conclusion.....	26
Les défis majeurs de la métallurgie extractive (Pierre Blazy, ancien directeur de l'ENSG) ..	27
1. Introduction.....	27
2. Pyrométallurgie ou hydrométallurgie	28
3. Procédés modernes de la pyrométallurgie du cuivre	29

4. Procédés modernes de l'hydrométallurgie du cuivre	33
5. Les dépenses énergétiques	39
6. La protection de l'environnement.....	40
7. Coûts comparés de la pyro- et de l'hydrométallurgie.....	42
8. Conclusions	44

Elaboration et recyclage du zinc : enjeux énergétiques et environnementaux (J. Lecadet, CRT)

1. Introduction.....	46
2. Filières de production du zinc	46
3. Comparaison et utilisation des différents procédés.....	48
4. Conclusion.....	49

Energie mise en jeu dans la fragmentation des roches : une comparaison entre les procédés mécaniques et les méthodes par explosifs (N. Cheïmanoff, ENSMP, P. Moser, univ. de Leoben)

1. Introduction : cadre général du travail.....	51
2. Concept de capacité intrinsèque de fragmentation.....	51
3. Energie mécanique et énergie explosive	51
4. Conclusions : les applications possibles pour le tir à l'explosif	52

L'énergie dans le transport des granulats (J.-L. Larive, Lafarge granulats)

1. Introduction.....	57
2. Moyens d'action	57
3. Perspectives	58
4. Conclusion.....	58

2^e partie Combustibles alternatifs et incinération des déchets

Législation wallonne en matière de déchets, sources d'approvisionnement et valorisation (A. Anciaux, Office wallon des déchets)

1. Introduction.....	63
2. Production de déchets	63
3. Priorités	63

* Le cru est un mélange de matières premières minérales qui, par cuisson à 1450 °C se transforme en clinker, produit semi-fini de la fabrication du ciment.

4.	Aspects réglementaires	64			
5.	Valorisation énergétique	64			
6.	Alternatives	65			
7.	Prétraitement	65			
8.	Conclusions	66			
	Combustibles alternatifs : quelques convictions, beaucoup de questions (J. Kievits).....	67			
	Génération non intentionnelle de polluants : le cas des dioxines (J.-F. Focant, univ. de Liège)	69			
1.	Structures générales des dioxines, furanes et PCBs	69			
2.	Toxicité, mécanisme d'action	70			
3.	Toxicité, le principe d'équivalence toxique ...	70			
4.	La formation et les sources	70			
5.	Les normes	71			
6.	Les niveaux dans les denrées et l'exposition humaine	72			
7.	Conclusion	73			
	Les co-combustibles en cimenterie (A. Guigues, Scori).....	75			
1.	Introduction	75			
2.	Préparation des co-combustibles	76			
3.	Conclusions	77			
	Utilisation de gaz pauvres en cuisson de chaux dans un four régénératif (E.D. Cristea, Cimprogetti, Italie)	81			
1.	Introduction	81			
2.	Aspects de base concernant l'utilisation de gaz manufacturés	83			
3.	Four CIM-Twin D@ NS85, d'une capacité nominale de 330 t/j, à l'usine de Jindal Vijayanagar Steel Ltd.	84			
4.	Four CIM-Twin D@ NS55, d'une capacité nominale de 260 t/j, à l'aciérie de Kardémir	85			
5.	Conclusion	87			
	Fonctionnement d'un gazogène en Brabant wallon pour la production d'électricité (F. Bourgois, J. Martin, UCL)	89			
1.	Contexte général	89			
2.	Objectifs du projet TCR-GAZEL	89			
3.	Du taillis au combustible	90			
4.	Le groupe gazo-électrogène	90			
5.	Etat du projet	91			
	Préparation et co-broyage de noyaux d'olives en centrale au charbon (J.-P. Lagneau, Electrabel)	93			
1.	Introduction	93			
2.	Diversification des charbons	93			
3.	Les noyaux d'olives	93			
4.	Essais préliminaires en laboratoire	94			
5.	Essais «Grandeur Nature»	94			
6.	Exploitation industrielle	94			
	Préparation thermique de combustibles alternatifs par biométhanisation, thermolyse et gazéification (A. Fontana, C. Gisèle Jung, univ. libre de Bruxelles)....	95			
1.	Introduction	95			
2.	Nature des déchets	96			
3.	Le comportement des déchets lors de leur traitement	96			
4.	Approches technologiques	98			
5.	Perspectives de production de combustibles de substitution	99			
6.	Conclusions	100			
	La pyrolyse, technique originale de préparation des combustibles alternatifs (P.D. Oudenne, J.-P. Mauchien, NESAs)	101			
1.	Introduction	101			
2.	Caractéristiques propres du procédé de pyrolyse NESAs	101			
3.	Description générale du procédé de pyrolyse multi-étagée	101			
4.	Caractéristiques physico-chimiques des produits à traiter	102			
5.	Exemples de réalisations industrielles	103			
6.	Traitement de résidus de Tetra Pak	105			
7.	Pilotage sur produits de différentes origines	105			
	Manutention de combustibles alternatifs dans les pays nordiques (O. Kinnunen, Sandvik division Roxon Oy).....	107			
1.	Solutions typiques de systèmes de manutention	107			
2.	Exemples d'installations	109			
	Pré-traitement de déchets à haute valeur calorifique (B. Goethals, Indaver)	111			
1.	Critères d'acceptation	111			
2.	Echantillonnage avant et pendant le traitement	111			
3.	Processus de traitement	111			
4.	Utilisation de pellets et l'environnement	112			

Génération non-intentionnelle de polluants : le cas des dioxines

Jean-François Focant, Laboratoires Spectrométrie de masse et Dioxines,
Université de Liège

Lors de tout processus de combustion, en plus de la production de chaleur attendue, l'oxydation du combustible produit également une grande variété de composés (sous produits). Parmi ces résidus de combustion, il est une famille de molécules organiques, qui de part leur toxicité envers l'homme, suscitent bien des questions, on les appelle «dioxines». Ces molécules, composées de carbone, d'hydrogène, de chlore et d'oxygène sont caractérisées par une très grande stabilité thermique (il faut atteindre une température de plus de 850°C pour les détruire). Ce sont des molécules à faible moment dipolaire, à faible tension de vapeur et insolubles dans l'eau. Une fois présentes dans notre environnement, elles sont disponibles à l'homme qui y sera exposé via sa consommation de denrées alimentaires d'origines animales. Tout au long de sa vie, l'homme va ainsi subir des expositions répétées à faibles doses et bio-accumuler ces dioxines.

Cet article tente de brosse succinctement le portrait de ces composés afin de permettre une meilleure approche du problème.

1. STRUCTURES GÉNÉRALES DES DIOXINES, FURANNES ET PCBS

Sous l'appellation «Dioxine», on sous-entend en fait une famille étendue de composés (congénères) de structures chimiques, et par là d'activités biologiques, voisines. Deux grands groupes de composés sont à considérer : les PolyChloro Dibenzo-p-Dioxines (PCDDs) et les PolyChloro Dibenzofurannes (PCDFs). Ce sont des molécules organiques aromatiques qui possèdent une structure spatiale plane. Il existe 75 congénères PCDDs contenant un minimum de quatre atomes de chlore, qui diffèrent par le nombre et/ou la position des atomes de chlore mais qui ont la même structure. Il faut ajouter à cela 135 congénères PCDFs, qui ont une structure similaire aux dioxines à ceci près qu'un des deux atomes d'oxygène est absent, entraînant une perte du plan de symétrie et une augmentation du nombre possible de congénères (figure 1). Parmi ces 210 congénères, seule une petite partie (isomères 2,3,7,8-tetrachlorés et de chloration supérieure) doit être considérée comme à risque et méritant un suivi. Ceci représente 7 dioxines et 10 furannes.

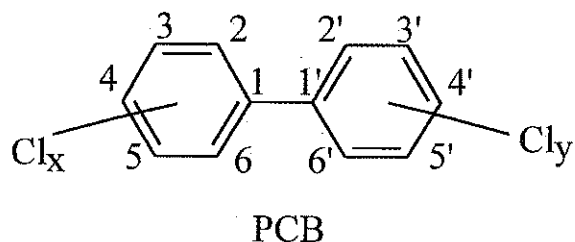
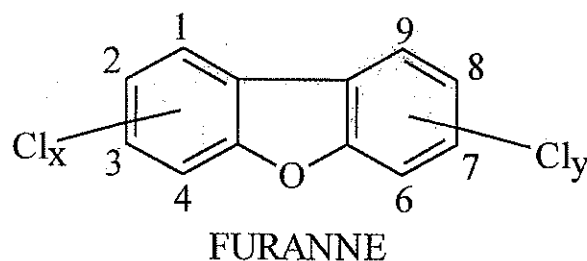
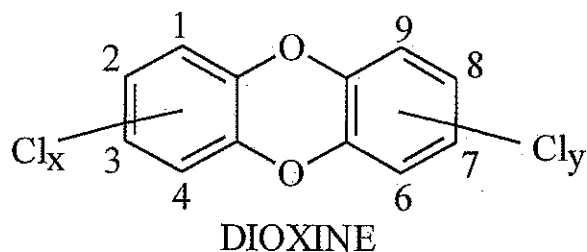
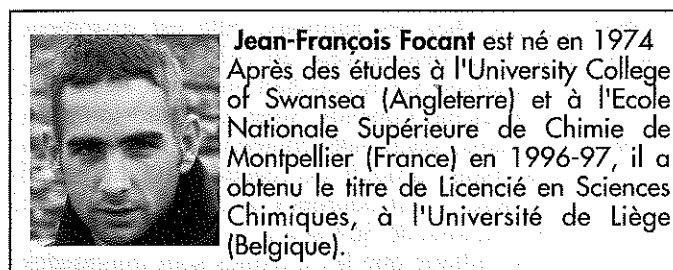


Figure 1 - Structure chimique des dioxines, furannes et PCBs

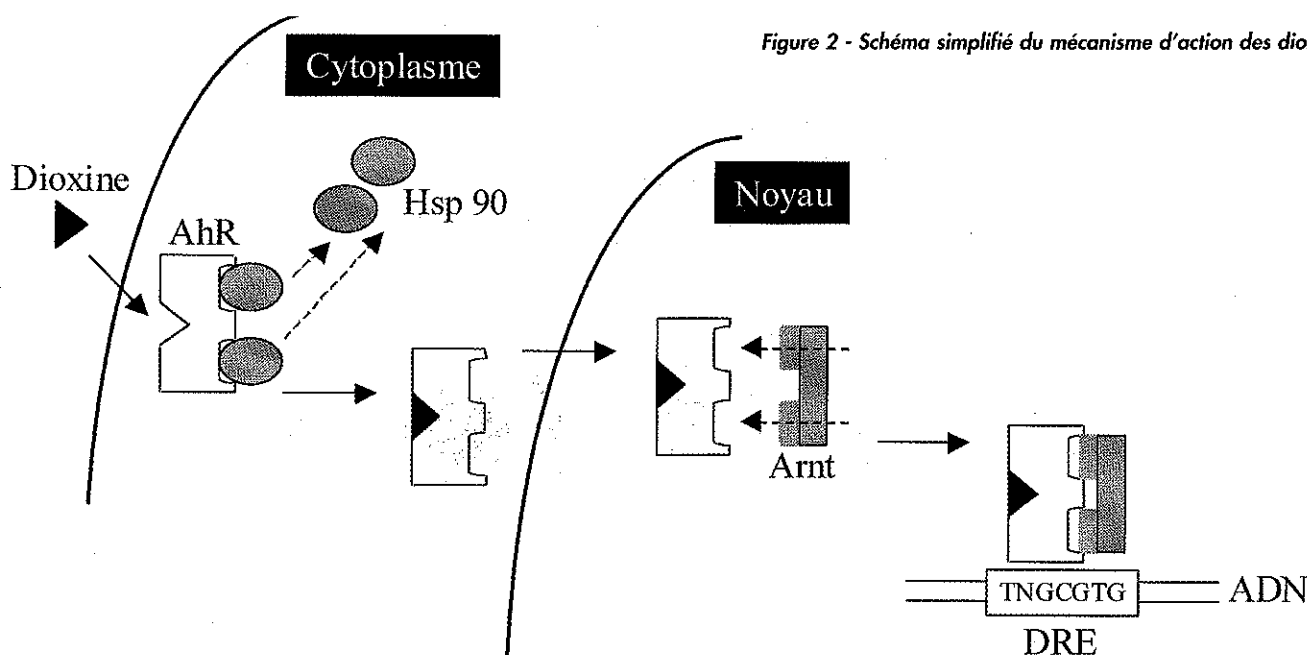
En plus de ces PCDDs et PCDFs, une autre famille de molécules, qui se nomment les polychlorobiphényles (PCBs), présente des similitudes (structures et propriétés) telles que 12 des 209 congénères PCBs envisageables sont appelés «PCBs-type-dioxines». Ces 12 PCBs sont les congénères ne possédant pas, ou ne possédant qu'un seul atome de chlore en position dite ortho, ce qui permet à la molécule d'adopter une géométrie plane semblable à celle des PCDD/Fs. Du point de vue de l'analyse, parmi

les 419 molécules PCDDs, PCDFs et PCBs, 29 d'entre elles sont à extraire, purifier et doser pour chaque échantillon afin de produire les résultats nécessaires à une évaluation correcte de la toxicité «type dioxine».

2. TOXICITÉ, MÉCANISME D'ACTION

L'agence internationale de la recherche sur le cancer (IARC) reconnaît la 2,3,7,8-tetrachloro dibenzo-p-dioxine (2,3,7,8-TCDD) comme agent cancérigène. Cette molécule est aussi décrite comme étant l'agent tératogène le plus puissant chez les animaux. Elle est tristement connue depuis l'incident survenu en 1976 dans une petite ville d'Italie nommée Seveso où était implantée une usine de synthèse de trichlorophénol. Suite à l'explosion d'un réacteur, le mélange réactionnel contenant, entre autres, la 2,3,7,8-TCDD (sous produit de réaction) fut pulvérisé dans l'atmosphère. C'est pourquoi la 2,3,7,8-TCDD est aussi appelée «dioxine de Seveso» [1].

La littérature indique que les dioxines sont impliquées dans la régulation des différenciations cellulaires contrôlant l'homéostasie endocrine, ce qui vaut à ces composés les qualificatifs de «disrupteurs endocriniens» et de «substances génotoxiques». Le mécanisme d'action généralement accepté repose sur le fait que les dioxines sont capables de mimer certaines hormones et de se lier à des récepteurs spécifiques. De manière simplifiée : une fois dans l'organisme, les dioxines atteignent les cellules. Elles sont alors capables de se lier à un récepteur cytoplasmique spécifique appelé récepteur Ah qui, suite à la formation d'un complexe avec une molécule de dioxine, pénètre dans le noyau (figure 2). Une autre protéine est alors complexée (Arnt), permettant de lier des portions spécifiques de la chaîne d'ADN (dioxin response element, DRE) faisant partie des séquences régulant l'activité de certains gènes [2]. La synthèse des protéines correspondantes est ainsi perturbée provoquant divers effets toxiques observés lors d'études sur l'animal au niveau de la reproduction et du développement.



3. TOXICITÉ, LE PRINCIPE D'ÉQUIVALENCE TOXIQUE

Suivant la position et le nombre d'atomes de chlore présents sur la molécule, l'habilité avec laquelle la molécule va se fixer au récepteur Ah va varier. Une condition nécessaire à la formation du complexe dioxine-AhR est la présence d'atomes de chlore en position 2,3,7,8. La 2,3,7,8-TCDD étant la molécule formant le plus aisément ce complexe. Chaque congénère ne présentant pas la même affinité avec le récepteur Ah, une échelle de toxicité a été établie afin de pouvoir évaluer le risque total présenté par l'ensemble des congénères. Ainsi est apparue une échelle exprimée en facteurs équivalents toxiques (TEFs). Elle exprime l'activité de chaque congénère par rapport à la 2,3,7,8-TCDD (valeur arbitraire unitaire) (tableau I) [3]. Cela permet d'évaluer la quantité de 2,3,7,8-TCDD qui serait nécessaire pour produire les mêmes effets toxiques que le mélange considéré. C'est ce que l'on appelle la conversion en équivalents toxiques (TEQs). Elle se calcule en utilisant l'équation suivante :

$$TEQ = \sum_{n1} (PCDD_i \times TEF_i) + \sum_{n2} (PCDF_i \times TEF_i) + \sum_{n3} (PCB_i \times TEF_i)$$

Etant donné que les quantités présentes dans les échantillons généralement analysés sont de l'ordre du nano-gramme (niveau pour les émissions) ou pico-gramme (niveau dans les aliments), la réponse globale résultant d'une analyse sera donnée en nano-gramme TEQ/volume de fumée ou en pico-gramme TEQ/g de matière grasse, par exemple.

4. LA FORMATION ET LES SOURCES

Il existe essentiellement deux voies de formation des dioxines. La première est celle dite «de novo», elle prend place lors de processus de combustion à températures

Figure 2 - Schéma simplifié du mécanisme d'action des dioxines

TABLEAU I
Echelle de toxicité des dioxines et molécules apparentées (WHO, 1998)

Congénère	TEFs	congénère	TEFs
2,3,7,8-TCDD	1	HpCDD/Fs	0,01
PeCDD	1	3,3',4,4',5,5'-HxCB	0,01
2,3,4,7,8-PeCDF	0,5	2,3,3',4,4'-PeCB	0,0005
TCDF	0,1	2,3,3',4,4',5-HxCB	0,0005
HxCDDs	0,1	2,3,3',4,4',5'-HxCB	0,0005
HxCDFs	0,1	OCDD/F	0,0001
3,3',4,4'-TCB	0,1	tout autre inférieur ou égal	0,0001
1,2,3,7,8-PeCDF	0,05		

TABLEAU II
Exemples d'évolution des émissions de dioxines (gTEQ/an) dans certains secteurs en Flandres [5]

	1985	1999
incinérateurs d'ordures ménagères	162	0,53
production de fer et acier	127,4	7,7
incinérateurs de déchets hospitaliers	67,5	0,006
incinération domestique	59,6	59,6
industrie des métaux non ferreux	50,4	-
combustion domestique carburant solide	18	11,4
production de chaleur et électricité	7,1	4,6
transport routier	3,1	0,21
incendies	2,1	1,6
incinérateurs de déchets industriels	1,83	17,5
production de PVC	0,2	0,03
crémation	0,02	0,12

élevées. Elle repose sur une formation à partir de structures carbonées résiduelles, de chlore, d'oxygène et de cuivre (catalyseur des réactions d'halogénéation). La seconde est la synthèse via des précurseurs, elle a lieu par réaction de condensation de molécules aromatiques monocycliques comme le trichlorophénol (Seveso) lors de procédés de synthèse industriels. La voie «de novo» étant jugée comme responsable de la formation de la majeure partie des PCDD/Fs.

L'incinération des ordures ménagères a été présentée comme principale source d'émissions de dioxines ces dernières années [4]. S'il est vrai que les fours d'incinérateurs constituent un endroit de prédilection pour la formation de ces composés dans certaines conditions, il est tout aussi vrai qu'un contrôle rigoureux du processus de combustion et une épuration adéquate des fumées (précipitateurs, injection d'inhibiteurs,...) permettent de réduire les émissions à des seuils très acceptables. C'est généralement le cas et les incinérateurs qui ne peuvent accepter les quelques modifications nécessaires au bon contrôle sont mis prématurément «à la retraite». Le flux annuel de dioxines ces dernières années a ainsi diminué de manière plus que significative dans ce secteur (tableau II).

A côté de ces médiatiques incinérateurs, l'industrie sidérurgique a récemment été montrée du doigt comme source importante de dioxines. Dans ce domaine, des procédés d'épuration sont également disponibles et déjà installés dans certaines usines. Cependant, les normes concernant les émissions du secteur sidérurgique sont un peu à la traîne par rapport au domaine de l'incinération, certaines émissions excessives sont toujours observées. C'est notamment le cas dans la région de Liège et de

Charleroi (Wallonie) où le secteur sidérurgique va devoir très rapidement aligner ses émissions avec les normes qui entreront bientôt en vigueur. A côté de ces deux sources principales existent différentes sources plus diffuses (tableau II). Il apparaît cependant que suite aux réductions spectaculaires observées dans les domaines de l'incinération des ordures ménagères et dans la sidérurgie, ces sources souvent considérées comme négligeables deviennent relativement plus importantes (l'incinération domestique en tête) et devront sans doute, elles aussi, faire l'objet de mesures de réduction.

Enfin, certains «réservoirs» de dioxines existent. C'est le cas notamment des transformateurs électriques contenant des huiles de PCBs, ces PCBs étant des précurseurs dioxines de choix. On se souvient encore de l'impact économique, si ce n'est sur la santé publique, de la «crise de la dioxine» qui eut lieu en Belgique durant l'année 1999. Certaines huiles contenant des PCBs avait en effet, de manière fortuite sans doute, pénétré la filière de recyclage des huiles destinées à l'alimentation du bétail.

5. LES NORMES

Les secteurs de l'incinération et de la sidérurgie ayant été pendant longtemps les principales sources, ils ont été les premiers à s'être vu attribuer des normes à l'émission. On peut citer par exemple les valeurs de 0,1 et 0,5 ng TEQ/Nm³ pour, respectivement, les incinérateurs d'ordures ménagères et la sidérurgie. En Belgique, la mise en place (date d'entrée effective) et l'application (type et

nombre d'échantillonnages) de ces normes peuvent varier d'une région à l'autre mais la tendance est à l'harmonisation suivant les directives européennes. D'autres secteurs tels que le raffinage pétrolier, la crème, l'incinération des déchets dangereux, ... sont également concernés par des normes à l'émission afin de garder un contrôle global de nos sources.

La vigilance, non seulement au niveau environnemental, mais aussi en terme de santé publique est nécessaire afin de réduire notre exposition à ces composés. Il est reconnu que plus de 90 % de l'exposition humaine aux dioxines proviennent des denrées alimentaires, essentiellement celles d'origines animales. En effet, les dioxines sont 1) persistantes dans l'environnement (polluants organiques persistants, POPs), 2) bio-accumulables tout au long de la chaîne alimentaire, 3) liposolubles et se concentrent dans les graisses et, 4) caractérisées par un long temps de demi vie chez l'animal (10-20 ans). Afin de réduire l'exposition aux dioxines par voie alimentaire, des normes relatives aux niveaux acceptables dans nos denrées (et dans celles de nos animaux d'élevage) ont également été établies afin d'assurer la sécurité de la filière de consommation. Le but principal est de permettre la prise de mesures adéquates en cas d'exposition jugée inacceptable mais aussi d'établir des tendances temporelles quant aux niveaux observés.

Le tableau III reprend certaines valeurs concernant les teneurs maximales tolérées dans nos denrées alimentaires au niveau européen [6]. Ces teneurs ont été établies en fonction 1) des niveaux de contamination de fonds actuels, qui diffèrent d'une denrée à l'autre, 2) des habitudes alimentaires, et 3) de la dose hebdomadaire tolérable (DHT) fixée (voir paragraphe suivant). Cette approche dite «en teneurs maximales» (qui empêche qu'une trop grande partie de nos denrées ne soit déclarée impropre à la consommation) est complétée par une approche plus active, alliant des seuils d'intervention et des teneurs cibles. Ces teneurs cibles sont les valeurs à atteindre afin de réduire l'exposition à des niveaux sous la DHT.

6. LES NIVEAUX DANS LES DENRÉES ET L'EXPOSITION HUMAINE

Sur base des doses minimales entraînant un effet observé (DMEO) chez l'animal (singes et rats), en considérant les différences de toxicocinétique et en appliquant un facteur de sécurité de 10, l'organisation mondiale de la santé (OMS) a établi une dose journalière admissible (DJA) de 1 à 4 pg TEQ/kg de poids corporel, basée sur une vie entière [7]. Plus récemment, le comité scientifique sur l'alimentation (SCF) a avancé une dose hebdomadaire tolérable (DHT) de 7 pg TEQ/kg de poids corporel comme étant plus adaptée (et rigoureuse) que la DJA [8]. Afin d'évaluer l'exposition d'une population donnée et de la situer par rapport à ces valeurs, des mesures de niveaux ont lieu dans nos denrées. Le tableau IV présente des résultats obtenus en Belgique [9]. Toutes les denrées analysées présentent des valeurs inférieures aux teneurs maximales tolérées et répondent aux critères de commercialisation. Si on s'attarde un instant sur le cas du lait de vache, on peut mentionner que cette matrice possède cer-

taines propriétés particulières qui font qu'elle peut être utilisée comme indicateur de pollution. En effet, il est relativement aisé de faire pâturer des vaches laitières à proximité d'une source potentielle et d'échantillonner régulièrement le lait afin de suivre l'évolution de la distribution des divers congénères dioxines et furannes. La figure 3 donne un exemple de distribution (aussi appelé «pattern») de congénères que l'on peut observer dans un lait présentant une contamination de fond classique. En cas d'exposition, le rapport entre les divers congénères varie et une étude de ces variations permet même de tracer la source impliquée.

L'estimation de l'exposition humaine via la consommation de nourriture peut se faire en combinant les valeurs des niveaux dans les denrées et les habitudes alimentaires d'une population donnée. Sur une base journalière (tableau V), en considérant un adulte de 65 kg, la valeur obtenue est comprise dans l'intervalle DJA de 1 à 4 pg TEQ/kg de poids corporel. Sur une base hebdomadaire cependant, la DHT est dépassée. Cela signifie que même

TABLEAU III
Teneurs maximales en dioxines tolérées dans nos denrées alimentaires

produits	teneurs maximales pg TEQ/g de graisse
ruminants	3
volaille	2
porcs	1
poissons	4
lait et sous-produits	3
œufs	3

^aCommunauté européenne, applicable dès juillet 2002

^bSeules les PCDD et PCDFs sont concernées pour le moment suite à un manque de données quant aux valeurs de fond des «PCBs-type-dioxines»

^cSauf pour le poisson, valeur exprimée en poids frais

TABLEAU IV
Niveaux en dioxines observés (pg TEQ/g graisse) dans certaines denrées alimentaires en Belgique durant la période 2000-2001

matrices	n	teneurs en PCDD/Fs	teneurs en PCDD/Fs + PCBs
mouton	2	0,83	1,55
bœuf	25	0,98	1,56
porc	34	0,1	0,17
poulet	48	0,19	0,35
œufs	5	1,72	2,76
crème	4	0,29	0,42
beurre	8	0,25	0,36
lait	35	0,59	1,08
lait en poudre	13	0,87	1,32
fromage	3	1,04	1,67
crevette ^a	3	0,65	0,95
truite ^a	4	0,04	0,05

^avaleurs exprimées en poids frais

quant à la réduction des émissions doivent continuer afin d'atteindre des niveaux d'exposition les plus bas possible. Le cas particulier des enfants nourris au sein indique également la nécessité de réduire notre exposition. En effet, même si le lait maternel reste la nourriture de premier choix pour le nouveau né, la période d'allaitement constitue une période critique d'exposition aux dioxines. Sur base des niveaux observés récemment dans une région industrielle de Belgique, l'estimation de l'exposition durant les premiers mois d'allaitement est d'environ 700 pg TEQ/kg de poids corporel et par semaine [10]. Cette valeur étant deux ordres de grandeur plus élevée que la DHT. Cependant, la DHT est calculée sur l'entièreté de la vie de l'individu et il est clair que l'exposition de l'enfant diminue très rapidement suite au gain de poids et au passage à une nourriture mixte. Une étude épidémiologique de grande échelle est actuellement en cours en Wallonie afin de comparer les niveaux de dioxines dans le sérum humain de diverses cohortes sélectionnées selon leur situation géographique. Les résultats préliminaires [11] indiquent que les populations vivant à proximité d'incinérateurs ne sont pas forcément plus exposées que celles vivant dans des zones plus rurales.

7. CONCLUSION

Dans l'état actuel des choses, tous les efforts doivent être mis en œuvre afin d'assurer la continuité de la diminution de nos émissions. L'évolution des méthodes d'analyse permet de réaliser un plus grand nombre d'essais pour des coûts similaires, ce qui permet de collecter un plus grand nombre de données afin d'assurer un meilleur suivi et d'identifier les sources. Même si les niveaux observés chez l'humain sont en constante diminution, les quantités de dioxines toujours présentes dans le lait maternel restent trop élevées. La surveillance vigilante de nos denrées alimentaires et l'application stricte des normes devraient permettre de réduire à moyen terme l'exposition humaine aux dioxines.

BIBLIOGRAPHIE

M. Ramondetta et A. Repposi, Seveso 20 years after, From dioxin to the oak wood. Fondazione Lombardia per l'Ambiente, 1998, dossier Nr 33, disponible sur www.flanet.org

- J.-F. Focant et E. De Pauw**, Les dioxines. La Recherche, 323, 1999, 84-87.
- M. Van den Berg, L. Birnbaum, A.T.C. Bosveld, B. Brunström, P. Cook, M. Feeley, J.P. Giesy, A. Hanberg, R. Hasegawa, S.W. Kennedy, T. Kubiak, J.C. Larsen, F.X.R. van Leeuwen, A.K.D. Liem, C. Nolt, R.E. Peterson, L. Poellinger, S.H. Safe, D. Schrenk, D. Tillitt, M. Tysklind, M. Younes, F. Waern et T. Zacharewski**, Toxic equivalency factor (TEFs) for PCBs, PCDDs, PCDFs for humans and wildlife, *Environ. Health Perspect.*, 106 (12), 1998, 775-792.
- UNEP**, Dioxin and furan inventories, National and regional emissions of PCDD/PCDF, 1999, disponible sur www.chem.unep.ch/pops
- B. Nieuwejaers**, Emissions and general policy options for dioxin abatement in Flanders. Communication orale lors du séminaire «Dioxin in the air», Bruges, 2001, disponible sur www.vmm.be/dioxineseminar/start.html
- Journal officiel des Communautés européennes**, règlement (CE) Nr 2375/2001 du conseil du 29 novembre 2001.
- F.X.R Van Leeuwen, M. Feeley, D. Schrenk, J.C. Larsen, W. Farland et M. Younes**, Dioxins: WHO's tolerable daily intake (TDI) revisited, *Chemosphere*, 40, 2000, 1095-1101.
- Commission européenne, comité scientifique pour l'alimentation, 2000**, disponible sur europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scf/index_en.html
- J.-F. Focant, G. Eppe, C. Pirard, A.-C. Massart, J.-E. André et E. De Pauw**, Levels and Congener distributions of PCDD/Fs and cPCBs in Belgian foodstuffs. Assessment of dietary intake, *Chemosphere*, 2001, sous presse.
- J.-F. Focant, C. Pirard, C. Thielen et E. De Pauw**, Levels and profiles of PCDDs, PCDFs and cPCBs in Belgian breast milk. Estimation of infant intake., *Chemosphere*, 2001, sous presse.
- S. Fierens, H. Mairesse, J.-F. Focant, J.-E. André, G. Eppe, E. De Pauw and A. Bernard**, Dioxin body burden of populations living in the vicinity of two municipal solid waste incinerators (MSWI) in Belgium, *Organohalogen Compounds*, 52, 2001, 334-336.

TABLEAU V
Dose journalière de dioxines absorbées via consommation de denrées alimentaires d'origine animale en Belgique durant la période 2000-2001

matrices	teneurs en PCDD/Fs + PCBs (pg TEQ/g graisse)	habitudes alimentaires (g graisse/jour) (pg TEQ/jour)	dose journalière (pg TEQ/jour)	dose journalière (pg TEQ/kg p.c./jour)
mouton	3,13	0,68	2,13	0,03
bœuf	4,90	4,80	23,52	0,36
porc	0,19	11,41	2,17	0,03
poulet	0,78	1,55	1,21	0,02
œufs	4,11	2,66	10,93	0,17
lait et dérivés	1,75	20,56	35,98	0,55
poissons et crevettes	73,94	0,71	52,50	0,81
Total	88,8	42,37	128,44	1,98

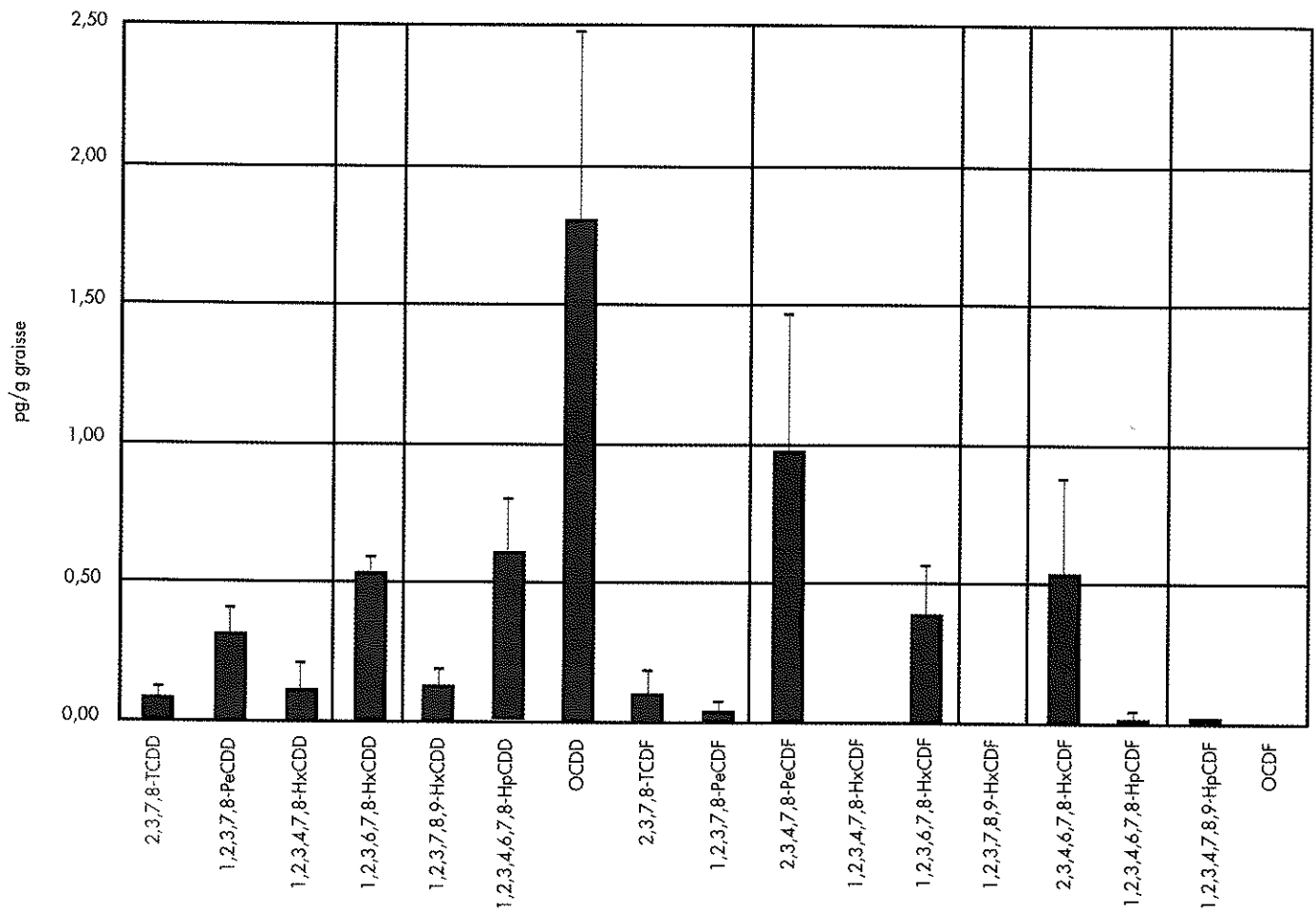


Figure 3 - Distribution caractéristique des différents congénères dioxines et furannes dans le lait de vache