

17 février 2009 / n° 7-8

## Numéro thématique - Incinération des ordures ménagères en France : effets sur la santé

### *Special issue - Health effects of solid waste incineration in France*

p.58 **Éditorial : L'incinération sur le grill...**

*Editorial: Incineration in the spotlight*

p.58 **Impact de l'exposition environnementale aux rejets atmosphériques des incinérateurs d'ordures ménagères : problématique de santé publique, réponses et perspectives**

*Impact of environmental exposure to emissions from municipal solid waste incinerators: public health issue, answers and perspectives*

p.60 **Incidence des cancers à proximité des usines d'incinération d'ordures ménagères en France, 1990-1999**

*Incidence of cancers near municipal solid waste incinerators, France, 1990-1999*

p.64 **Étude d'imprégnation par les dioxines des populations résidant à proximité d'usines d'incinération d'ordures ménagères**

*Study of dioxin concentration in residents living in the vicinity of municipal solid waste incinerators*

p.67 **Études sanitaires menées autour de l'incinérateur de Gilly-sur-Isère, France**

*Health studies conducted in the vicinity of a municipal solid waste incinerator, Gilly-sur-Isère, France*

p.70 **Dioxines émises par l'usine d'incinération d'ordures ménagères de Besançon et risque de cancers : une approche éco-épidémiologique en France**

*Dioxins emitted from the municipal solid waste incinerator of Besançon and risk for cancers: an eco-epidemiological approach in France*

p.74 **Effets sur la santé des incinérateurs d'ordures ménagères : résultats d'un groupe de travail d'experts de l'OMS\***

*Health effects on the general population of municipal solid waste incinerators: results from a WHO expert workshop\**

Coordination scientifique du numéro / *Scientific coordination of the issue*: Pascal Fabre, Cellule interrégionale d'épidémiologie Nord, Institut de veille sanitaire, Lille et pour le comité de rédaction : Isabelle Grémy, Observatoire régional de santé d'Ile-de-France, Paris

### Éditorial

## L'incinération sur le grill...

### *Incineration in the spotlight*

Denis Zmirou-Navier

Université de Nancy, Inserm U954 et Ecole des hautes études en santé publique, France

En un peu plus de quinze ans, entre 1990 et 2006, le parc d'incinérateurs d'ordures ménagères (OM) a fondu de 300 à 128 installations, la France gardant encore le plus grand parc d'Europe. Cette évolution s'est produite sans réduction des volumes incinérés ni de la fraction des OM éliminées par traitement thermique, qui reste voisine de 40 % car, pendant cette période, n'ont cessé de s'accumuler les déchets produits par les ménages. Cette fonte est une bonne chose car les installations fermées étaient principalement de petite taille ou (et) ne remplissaient pas les prescriptions de la Directive européenne du 28 décembre 2000<sup>1</sup> fixant les valeurs limites d'émission des polluants actuellement en vigueur. Celles qui demeurent ou qui les ont remplacées sont tenues de se conformer à cette Directive. Ce numéro thématique du BEH nous apprend que nous avons de bonnes raisons d'en être satisfaits car ces anciens incinérateurs, fortement polluants, ont induit des risques pour la santé des populations avoisinantes dont plusieurs articles ici rassemblés rendent compte.

Les études épidémiologiques conduites autour de l'ancienne usine de Besançon, modernisée entre 1998 et 2003, ont servi de modèle et d'aiguillon, en montrant un excès de certaines formes de cancer dans les zones de retombées des fumées emportant fines particules de métaux, suies d'imbrûlés et de dioxines. Ces résultats semblent confirmés par une étude portant sur 16 installations réparties sur le territoire et rassemblant 135 000 cas de cancers survenus entre 1990 et 1999. Ce travail dévoile un excès relatif de risque apparemment plus élevé chez les femmes que chez les hommes, excès qui mériterait d'être exploré pour mieux en percevoir la réalité et les raisons. Pour autant, les études d'imprégnation biologique conduites au voisinage d'installations plus ou moins émettrices sont raisonnablement rassurantes. D'un côté, les mères allaitantes vivant dans la zone affectée par l'installation de Gilly-sur-Isère, trop longtemps tolérée, ne montrent pas des concentrations de dioxines dans leur lait plus élevées que celles mesurées quelques années auparavant sur un échantillon national de mères. D'un autre côté, les résidents proches d'installations répondant aux normes actuelles d'émission n'ont pas des taux élevés de dioxines et de plomb dans le sang, ou de cadmium dans les urines. En revanche, une sur-imprégnation est retrouvée chez les riverains d'installations anciennes fortement polluantes forts consommateurs de produits locaux d'origine animale (œufs, graisses animales et produits laitiers), observation conforme à d'autres données de la littérature scientifique internationale.

Si les incinérateurs modernes semblent ainsi hors de cause, il demeure que le meilleur déchet est encore celui que l'on n'a pas produit. La toute récente Directive du 19 novembre 2008<sup>2</sup> vient à propos confirmer que la gestion des déchets doit dorénavant établir une hiérarchie avec, en priorité, un effort - largement insuffisant - de réduction à la source de leur production. Puis viennent le recyclage - là encore, la France est à la traîne de pays voisins - et les autres formes de valorisation. L'incinération s'inscrit dans ce cadre, lorsqu'est récupérée l'énergie produite. À n'en pas douter, elle continuera à occuper une place importante et devra donc faire l'objet d'une surveillance rigoureuse tant par les administrations compétentes que par les parties locales intéressées (élus et associations).

Codicille : à l'acmé de la crise provoquée par les conditions scandaleuses de dispersion de déchets pétroliers déchargés du tristement célèbre Probo Koala en divers points de la ville d'Abidjan en 2006, le Commissaire européen en charge de l'environnement avouait, impuissant, qu'encore près de la moitié des déchets produits dans l'Union étaient exportés illégalement vers des pays tiers, principalement pauvres. Le Règlement<sup>3</sup> du 14 juin 2006 concernant les transferts des déchets dans et hors de l'Union doit permettre de mettre fin à ces pratiques d'un autre âge. Raison de plus pour disposer au sein de l'Union de gages solides pour une gestion des déchets respectueuse de l'environnement et de la santé.

<sup>1</sup> Texte n° 2000/76/CE du 04/12/2000, paru au Journal Officiel des Communautés européennes le 28/12/2000

<sup>2</sup> Texte n° 2008/99/CE du 19/11/2008, paru au Journal Officiel des Communautés européennes le 6/12/2008

<sup>3</sup> Texte n° 1013/2006 du 14/06/2006, paru au Journal Officiel des Communautés européennes le 12/07/2006

## Impact de l'exposition environnementale aux rejets atmosphériques des incinérateurs d'ordures ménagères : problématique de santé publique, réponses et perspectives

Pascal Empereur-Bissonnet (p.empereur-bissonnet@invs.sante.fr), Martine Ledrans, Nadine Fréry, Joëlle Le Moal

Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice, France

### Résumé / Abstract

Depuis plusieurs décennies, l'incinération occupe une place importante en France parmi les filières de traitement des déchets ménagers. Cette activité a entraîné une pollution particulière et chimique de l'environnement dont les effets toxiques ont été suggérés par quelques études réalisées chez les riverains d'incinérateurs. Un tel contexte, générateur d'inquiétude au sein de la population, a suscité un questionnement de santé publique sur l'impact d'une exposition chronique aux émissions atmosphériques de ces installations industrielles. Deux études épidémiologiques d'envergure nationale ont alors été conduites, l'une sur l'imprégnation biologique aux dioxines et ses déterminants, l'autre sur l'incidence des cancers. Ces observations ont montré une relation entre une exposition ancienne aux rejets atmosphériques des incinérateurs et l'incidence de plusieurs localisations néoplasiques, ainsi qu'un impact faible des émissions actuelles sur les niveaux biologiques de dioxines chez les personnes qui résident près des usines. Elles confirment l'utilité des limites d'émission de polluants qui sont appliquées depuis le début des années 2000, et incitent dans certains cas à proposer des actions de gestion particulières. Avec ces mesures, l'impact sanitaire des incinérateurs d'ordures ménagères pourrait être suffisamment contrôlé pour que se pose la question de faire désormais porter l'effort de recherche sur d'autres sources de pollution industrielles moins réglementées.

### Mots clés / Key words

Incinérateur d'ordures ménagères, exposition environnementale, épidémiologie, étude écologique, cancer, biomarqueur d'exposition, dioxines, santé publique / *Municipal solid waste incinerator, environmental exposure, epidemiology, ecological study, cancer, biomarker of exposure, dioxins, public health*

### Problématique

Depuis 1975, l'incinération reste en France la première filière d'élimination des ordures ménagères, avec une part relativement constante d'environ 40 % des déchets ainsi éliminés. Au début du XXI<sup>e</sup> siècle, bien que le nombre de ses installations soit passé de 300 en 1990 à 128 en 2006, le parc français d'usines d'incinération d'ordures ménagères est le plus grand de l'Union européenne [1].

Une évaluation de risques liés à la pollution atmosphérique engendrée par les incinérateurs d'ordures ménagères, réalisée en 1999 par la Société française de santé publique [2], ne prédisait pas un impact sanitaire alarmant au sein des

groupes de population exposés. Cependant, il apparaissait justifié de mettre en œuvre des études spécifiques autour des usines les plus émettrices, potentiellement responsables de niveaux de risque élevés. Faisant suite à plusieurs travaux épidémiologiques menés à l'étranger, l'équipe de JF Viel a publié en juillet 2000 [3] une étude sur l'incinérateur de Besançon. Les auteurs concluaient à un excès de sarcomes des tissus mous et de lymphomes malins non hodgkiniens, entre 1980 et 1995, chez les riverains de cette usine ayant rejeté dans l'atmosphère des fumées dont la teneur en dioxines allait jusqu'à 16,3 ng I-TEQ/m<sup>3</sup>. Pour autant, un lien de causalité ne pouvait être établi entre l'observation de

cas de cancer en excès et les quantités élevées de polluants émises. Par la suite, d'autres contaminations de l'environnement par les dioxines ont été constatées autour d'incinérateurs anciens et de petite taille (Gilly-sur-Isère, Cluny, etc.) et les plaintes de riverains de ce type d'installation industrielle se sont multipliées.

Parallèlement, la réglementation française relative aux rejets des incinérateurs est devenue de plus en plus drastique. L'arrêt ministériel du 20 septembre 2002, transposant la directive européenne du 4 décembre 2000, a en effet fixé de nouvelles règles applicables avant décembre 2005 à toutes les usines existantes, incluant une valeur limite d'émission de dioxines fixée à 0,1 ng

I-TEQ/m<sup>3</sup>. Dès lors, un vaste programme de fermeture ou de mise en conformité des usines d'incinération a été lancé.

En dépit de ces efforts, des questionnements persistaient au sein de la population et des autorités locales :

- quels étaient les risques sanitaires posés par le fonctionnement d'anciens incinérateurs d'ordures ménagères qui avaient généré des émissions polluantes ? À quels niveaux les populations avoisinantes avaient-elles été exposées aux dioxines ? Quel était le rôle de ces émissions dans la survenue de cancers ?

- quels risques sanitaires les incinérateurs qui fonctionnaient conformément à la nouvelle réglementation faisaient-ils subir aux populations exposées à leur panache ?

En 2002, la Direction générale de la santé a mandaté l'Institut de veille sanitaire (InVS) pour identifier et proposer des études visant à améliorer les connaissances sur l'impact des rejets atmosphériques des incinérateurs d'ordures ménagères sur l'incidence des cancers et sur l'imprégnation biologique humaine par les dioxines.

En regard des questions posées et des connaissances déjà disponibles, il est apparu pertinent d'assigner les objectifs suivants aux études épidémiologiques à mener :

- estimer, chez les populations proches des incinérateurs, la part attribuable à cette source dans l'exposition globale aux dioxines et aux principaux autres polluants émis (métaux lourds et composés volatils notamment) ;

- apprécier la contribution relative des différentes voies d'exposition à ces polluants ; en effet, l'étude menée à Besançon et d'autres travaux épidémiologiques soulevaient la question du rôle de la voie respiratoire alors que l'alimentation était considérée, pour les dioxines, comme la voie d'exposition quasi-exclusive ;

- caractériser les risques de survenue de cancers, et d'autres effets sanitaires potentiels, entraînés par l'exposition passée aux rejets des incinérateurs.

Pour éclairer ces différents points, l'InVS a rendu trois rapports en 2003. Le premier, rédigé avec l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa), faisait une synthèse des connaissances sur l'exposition de la population aux dioxines et proposait le protocole d'une étude nationale d'imprégnation de la population par les dioxines autour des usines d'incinération [4]. Le second, après avoir recensé et analysé les études épidémiologiques menées autour des incinérateurs, recommandait la conduite d'une étude à l'échelle nationale pour évaluer l'impact de l'exposition aux fumées d'incinérateurs sur l'incidence des cancers [5]. Enfin, un guide méthodologique a été élaboré pour informer les acteurs locaux sur les enjeux de santé publique associés aux incinérateurs et les aider à analyser la situation autour de ces installations [6].

Le Plan cancer a permis, à partir de 2004, de financer les deux études préconisées.

## Connaissances apportées par les deux études nationales

L'étude « Incidence des cancers à proximité des usines d'incinération d'ordures ménagères » a mis en évidence une augmentation significative du risque de plusieurs cancers, au cours de la décennie 1990-1999, en rapport avec l'exposition

aux fumées émises par les incinérateurs pendant les années 1970-1980 [7,8]. Il s'agit du cancer du sein et des cancers toutes localisations confondues chez la femme, des lymphomes non hodgkiniens pour les deux sexes analysés ensemble et chez la femme, ainsi que des myélomes multiples chez l'homme. Les résultats suggèrent également, pour les deux sexes confondus, une influence sur le cancer du foie, les sarcomes des tissus mous et les myélomes multiples. Cette étude, de type écologique, n'est pas en mesure de démontrer le caractère causal des relations observées, mais elle en accroît la plausibilité. Un mélange de dioxines a été utilisé comme indicateur pour modéliser la dispersion dans l'atmosphère et les retombées au sol des substances émises par les incinérateurs, et les résultats obtenus ne peuvent pas être attribués à ces seuls polluants ni à une voie d'exposition particulière. Même si l'on estime que l'autoconsommation devait être faible dans la population de l'étude, il est vraisemblable que les riverains s'approvisionnaient en partie, sur les marchés et dans les magasins de proximité, en produits alimentaires locaux possiblement contaminés par un incinérateur : ils ont pu ainsi s'exposer par voie orale. Une contribution de la voie respiratoire à l'exposition globale aux agents dangereux émis par ces usines est toutefois possible. Un résultat remarquable et original de ce travail est le caractère pour l'essentiel féminin des cancers dont l'incidence semble avoir été influencée par l'exposition aux rejets de l'incinération des déchets ménagers. Hormis le fait du hasard, plusieurs explications peuvent être avancées devant cet impact différencié selon le sexe : une exposition des hommes plus intense et fréquente que les femmes à de puissants facteurs de risque de cancers (alcool, tabac, profession) ayant masqué l'effet des incinérateurs, une perturbation du système endocrinien entraînée par l'exposition et/ou une susceptibilité génétique particulière de la femme.

L'étude « Imprégnation par les dioxines des populations vivant à proximité d'usines d'incinération d'ordures ménagères » [9,10] porte sur une exposition plus récente (années 1990-2005) que l'étude sur les cancers. Menée en partenariat avec l'Afssa, cette étude a évalué l'impact de la consommation de produits locaux sur l'imprégnation biologique par les dioxines – mesurée dans le sérum – et a fourni de précieuses informations sur l'exposition. Elle a montré que le fait de résider sous le panache d'un incinérateur d'ordures ménagères n'avait pas de répercussion sensible sur la concentration sérique de dioxines et qu'il n'y avait pas d'élément en faveur d'une exposition par inhalation. Seuls, les consommateurs de produits laitiers et d'œufs provenant d'animaux élevés dans l'aire de retombée au sol des émissions, les agriculteurs notamment, présentaient des concentrations sanguines de dioxines significativement plus élevées que les témoins non exposés à un incinérateur ; cette surexposition était observée principalement dans le cas d'installations anciennes et hors normes. Par ailleurs, l'étude a montré que l'imprégnation par les dioxines de la population française se situe dans la moyenne européenne et que les facteurs individuels – tels que l'âge, la corpulence – et la consommation alimentaire habituelle, en particulier celle des produits de la pêche, en sont les déterminants essentiels. L'étude, qui s'inté-

ressait également à certains métaux, n'a pas montré de différence d'imprégnation par le plomb ou le cadmium entre les personnes exposées et non exposées aux retombées des émissions d'incinérateurs. Néanmoins, la consommation de viande et de produits laitiers d'origine locale est associée à une augmentation modérée des plombémies, essentiellement en zone exposée.

## Conclusions et perspectives

En premier lieu, ces observations en population générale apportent de nouveaux arguments épidémiologiques en faveur de l'influence possible d'une exposition environnementale à des agents chimiques, de faible intensité et prolongée, sur la fréquence des cancers.

Ces travaux confirment l'utilité pour la santé publique des mesures de limitation des émissions de polluants qui ont été prises. En effet, elles montrent rétrospectivement une relation entre l'exposition aux fumées d'incinérateurs d'ordures ménagères et l'incidence de plusieurs cancers – à une époque où les quantités émises étaient élevées – ainsi qu'un impact réduit des rejets atmosphériques actuels sur les niveaux biologiques de dioxines chez les riverains des usines.

La causalité des relations statistiques observées n'est pas établie, aussi ces résultats ne conduisent pas à recommander des mesures particulières de prévention secondaire des cancers pour les populations anciennement exposées aux fumées d'incinérateurs. Au demeurant, cela n'apporterait pas de gain sanitaire supplémentaire aux mesures déjà en place (dépistage du cancer du sein) et il n'y a pas de consensus sur l'opportunité de dépister les lymphomes malins. Enfin, les excès de risque de cancer, qui sont peu élevés, portent sur une fraction restreinte de la population dont les individus ne sont pas identifiés.

L'incertitude sur les temps de latence d'apparition des cancers ne permet pas d'exclure que les expositions ayant débuté dans les années 1970 puissent encore aujourd'hui favoriser la survenue de cancers. Il pourrait donc être intéressant de suivre l'évolution du risque de cancer dans les mêmes populations, de manière à prendre en compte une durée de latence et un suivi plus longs.

Les résultats concernant l'imprégnation humaine aux dioxines ne conduisent pas à préconiser de nouvelles mesures génériques de gestion. Cependant, l'ingestion d'œufs de poules élevées sur des sols qui demeurent contaminés par un ancien incinérateur fortement émetteur peut encore conduire à une exposition forte aux dioxines. C'est en particulier le cas lorsque les œufs sont destinés à la consommation privée et, de ce fait, échappent aux contrôles officiels. De telles situations, qui doivent faire l'objet d'actions de contrôle spécifiques, peuvent amener à recommander de ne pas consommer ces aliments. Le problème ne se pose pas pour le lait de vache car l'herbe de repousse n'est plus contaminée après la mise aux normes ou l'arrêt des installations qui étaient très polluantes.

Ces observations épidémiologiques incitent à promouvoir des travaux de recherche visant à établir la causalité entre la survenue de cancers et l'exposition environnementale aux substances émises par les incinérateurs ou par d'autres sources de pollution. Ainsi, une étude analytique de type cas-témoin, comprenant le recueil d'infor-

mations précises sur l'histoire résidentielle des personnes et le dosage de biomarqueurs d'exposition, pourrait être envisagée. De même, afin de mieux comprendre les résultats obtenus, notamment sur les cancers féminins, il serait intéressant de compléter l'analyse des données par exemple en comparant l'âge au moment du diagnostic de cancer du sein entre les femmes exposées et non exposées. En effet, certaines hypothèses suggèrent que des expositions environnementales prénatales et précoces pourraient avoir un rôle dans la survenue d'un cancer du sein, en particulier avant la ménopause [11]. Il serait également possible d'étudier l'influence de l'exposition aux fumées d'incinérateurs sur l'incidence des tumeurs néoplasiques de l'ovaire et de l'utérus. Enfin, la pertinence de conduire dans quelques années une nouvelle étude chez les populations exposées aux niveaux actuels d'émission de ces installations industrielles peut être discutée. Elle risquerait *a priori* d'être non concluante du fait des expositions désormais très faibles occasionnées par l'incinération des ordures ménagères et donc des bas niveaux de risque de cancer attendus. À cet égard, il pourra s'avérer plus utile d'orienter les travaux de santé environnementale vers l'étude de l'impact d'autres sources de pollution industrielles moins réglementées que ne le sont les incinérateurs de déchets ménagers.

#### Références

- [1] Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. Les déchets en chiffres. Collection Données et références. 2007; 14 p. <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=45128&p1=00&p2=05&ref=17>
- [2] Société française de santé publique. L'incinération des déchets et la santé publique : bilan des connaissances récentes et évaluation du risque. Collection santé et société n° 7, 1999; 368 p.
- [3] Viel JF, Arveux P, Baverel J, Cahn JY. Soft-tissue sarcoma and non-Hodgkin's lymphoma clusters around a municipal solid waste incinerator with high dioxin emission levels. *Am J Epidemiol*. 2000; 152(1):13-9.
- [4] Fréry N, Volatier JL, André F, Bard D, N Bonvallot, Collet S, et al. Incinérateurs et santé. Exposition aux dioxines de la population vivant à proximité des incinérateurs. Etat des connaissances et protocole d'une étude d'exposition. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire / Agence française de sécurité sanitaire des aliments, Novembre 2003; 198 p. [http://www.invs.sante.fr/publications/2003/incinerateurs\\_3/index.html](http://www.invs.sante.fr/publications/2003/incinerateurs_3/index.html)
- [5] Ledrans M, Bonvallot N, Colonna M, Chevrier C, Cordier S, Desqueyroux H, et al. Incinérateurs et santé. Recommandations concernant les études épidémiologiques visant à améliorer la connaissance sur les impacts sanitaires des incinérateurs. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire, Juillet 2003; 49 p et annexes. [http://www.invs.sante.fr/publications/2003/incinerateurs\\_2/index.html](http://www.invs.sante.fr/publications/2003/incinerateurs_2/index.html)
- [6] Bonvallot N, Bajeat P, Berthier F, Bonnetain F, Carboneel S, Cassadou S, et al. Incinérateurs et santé. Guide pour la conduite à tenir lors d'une demande locale d'investigations

sanitaires autour d'un incinérateur d'ordures ménagères. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire, Juillet 2003; 104 p.

<http://www.invs.sante.fr/publications/2003/incinerateurs/index.html>

[7] Fabre P, Daniau C, Gorla S, de Crouy-Chanel P, Empereur-Bissonnet P. Etude d'incidence des cancers à proximité des usines d'incinération d'ordures ménagères. Rapport d'étude et synthèse. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire, Mars 2008; 136 p.

[http://www.invs.sante.fr/publications/2008/rapport\\_uiom/index.html](http://www.invs.sante.fr/publications/2008/rapport_uiom/index.html)

[8] Daniau C, Fabre P, de Crouy-Chanel P, Gorla S, Empereur-Bissonnet P. Incidence des cancers à proximité des usines d'incinération d'ordures ménagères en France, 1990-1999. *Bull Epidemiol Hebd*. 2009; 7-8 :60-4.

[9] Institut de veille sanitaire et Agence française de sécurité sanitaire des aliments. Etude d'imprégnation par les dioxines des populations vivant à proximité d'usines d'incinération d'ordures ménagères. Rapport d'étude. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire, février 2009; Disponible sur : [www.invs.sante.fr](http://www.invs.sante.fr)

[10] Fréry N, Volatier JL, Zeghnoun A, Sarter H, Falq G, Thébaud A, et al. Etude d'imprégnation par les dioxines des populations résidant à proximité d'usines d'incinération d'ordures ménagères. *Bull Epidemiol Hebd*. 2009; 7-8; 64-7.

[11] Cohn BA, Wolff MS, Cirillo PM, Sholtz RI. DDT and breast cancer in young women : new data on the significance of age at exposure. *Environ Health Perspect*. 2007 ;115:1406-14.

## Incidence des cancers à proximité des usines d'incinération d'ordures ménagères en France, 1990-1999

Côme Daniau (c.daniau@invs.sante.fr), Pascal Fabre, Perrine de Crouy-Chanel, Sarah Gorla, Pascal Empereur-Bissonnet

Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice, France

### Résumé / Abstract

L'objectif de cette étude est d'analyser la relation entre l'incidence des cancers chez l'adulte et l'exposition aux émissions atmosphériques des usines d'incinération d'ordures ménagères. Elle a porté sur les cancers du foie, du poumon, du sein, les leucémies, les myélomes multiples, les lymphomes malins non hodgkiniens, les sarcomes des tissus mous, tous diagnostiqués dans le Haut-Rhin, le Bas-Rhin, l'Isère et le Tarn entre 1990 et 1999. Près de 135 000 cas de cancer ont été collectés sur environ 25 millions de personnes-années. L'exposition des unités statistiques (îlots regroupés pour l'information statistique- Iris) au cours des années 1970-1980 a été quantifiée par la modélisation du dépôt surfacique accumulé des dioxines émises par 16 incinérateurs. Les risques de survenue de cancer dans les Iris fortement exposés aux incinérateurs sont comparés aux risques observés dans les Iris peu exposés. Une relation statistique significative a été mise en évidence chez la femme entre l'exposition aux incinérateurs et l'incidence des cancers toutes localisations réunies, du cancer du sein et des lymphomes malins non hodgkiniens. Un lien significatif a été également retrouvé pour les lymphomes malins non hodgkiniens chez les deux sexes confondus et pour les myélomes multiples chez l'homme uniquement. Cette étude écologique géographique ne permet pas d'établir la causalité des relations observées, mais elle apporte des éléments convaincants au faisceau d'arguments épidémiologiques qui mettent en évidence un impact des émissions des incinérateurs sur la santé. Portant sur une situation passée, ses résultats ne peuvent pas être transposés à la période actuelle.

### Incidence of cancers near municipal solid waste incinerators, France, 1990-1999

*The aim of this study is to assess the relationship between the incidence of cancers in adults and the exposure to atmospheric emissions from municipal solid waste incinerators. It was based on liver cancer, lung cancer, breast cancer, leukaemia, multiple myeloma, non-Hodgkin's lymphoma, soft tissue sarcoma, all diagnosed in the Haut-Rhin, Bas-Rhin, Isère and Tarn districts between 1990 and 1999. Around 135,000 cancer cases were reported on nearly 25 million person-years. Exposure of each statistical unit to 16 incinerators during the 1970-1980s was quantified by the modelling of accumulation of dioxins surface deposition. The risks of cancer occurrence in statistical units highly exposed to incinerators are compared to the risks in statistical units slightly exposed.*

*A significant statistical relationship was evidenced in women only, between the exposure to incinerators and the incidence, of cancer all sites combined, of breast cancer, and of non-Hodgkin's lymphoma. A significant relationship was also found for non-Hodgkin's lymphoma in both males and females, and for multiple myeloma in males only.*

*Although this spatial ecological study does not establish the causality of the observed relationships, it provides further epidemiological arguments which support the health impact of incinerators emissions. These results cannot be applied to present circumstances, since they concern a past period.*

### Mots clés / Key words

Étude écologique, incinérateur d'ordures ménagères, épidémiologie, exposition environnementale, cancer, analyse spatiale, modélisation de la dispersion atmosphérique / *Ecological study, municipal solid waste incinerator, epidemiology, environmental exposure, cancer, spatial analysis, atmospheric dispersion modelling.*

## Introduction

Bien qu'il n'y ait plus aujourd'hui en France d'usines d'incinération d'ordures ménagères vétustes, nombreuses ont été les installations responsables d'émissions importantes de polluants dans le passé. De par la toxicité des substances émises, dont les effets potentiels sur la santé sont multiples et retardés, la pollution liée aux usines d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) demeure un sujet d'inquiétude dans la société française. Quelques études épidémiologiques réalisées en milieu professionnel et environnemental ont suggéré des associations entre certaines localisations de cancer et l'exposition aux polluants émis par les incinérateurs. En population générale notamment, des relations significativement positives ont été retrouvées pour les hémopathies malignes, les lymphomes malins non hodgkiniens, les sarcomes des tissus mous, le cancer du foie, le cancer du poumon [1-4]. Dans la mise en œuvre du Plan cancer 2003 - 2007, la Direction générale de la santé a adressé une saisine à l'Institut de veille sanitaire (InVS) ayant pour objet d'améliorer les connaissances sur les causes environnementales des cancers. Dans ce cadre, l'InVS a lancé une étude épidémiologique dont l'objectif était d'analyser la relation entre l'incidence des cancers chez l'adulte et l'exposition aux émissions atmosphériques des UIOM. Cette étude a fait l'objet d'un rapport en 2008 intitulé « Incidence des cancers à proximité des usines d'incinération d'ordures ménagères » [5].

Cet article a pour objet, après une présentation des principaux aspects méthodologiques et résultats de cette étude, de proposer une discussion sur la validité des résultats et des méthodes.

## Matériels et méthodes

L'étude a été conçue comme une étude de type écologique géographique : les informations sur l'exposition aux incinérateurs et le risque de cancer sont des indicateurs collectifs estimés à l'échelle de l'Iris (îlots regroupés pour l'information statistique). Les Iris correspondent aux communes lorsqu'ils comptent moins de 10 000 habitants, et aux quartiers d'environ 2 000 habitants pour les communes plus importantes. L'analyse a porté sur les cancers chez l'adulte (plus de 14 ans révolus) diagnostiqués entre le 1<sup>er</sup> janvier 1990 et le 31 décembre 1999, dans quatre départements répartis sur le territoire : l'Isère (38), le Haut-Rhin (68), le Bas-Rhin (67) et le Tarn (81). Les cancers toutes localisations confondues ont été étudiés, ainsi que certaines localisations spécifiques pour lesquelles un lien avec l'exposition aux polluants émis par les UIOM a été établi ou suspecté : les leucémies, les myélomes multiples, les lymphomes malins non hodgkiniens (LMNH), les sarcomes des tissus mous (STM), les cancers du foie, du poumon, de la vessie et du sein.

Les données sur les cancers ont été recueillies auprès du registre général des cancers de chaque département inclus dans l'étude, suivant la classification CIM-O-2. Près de 99 % des cas de cancer ont pu être géolocalisés dans un Iris à partir de l'adresse du domicile du patient le jour du diagnostic. Ce géocodage a permis de calculer un risque pour chaque type de cancer sous la forme d'un taux d'incidence, par sexe et par tranche d'âge, dans chaque unité statistique. Les taux d'incidence de référence sont calculés à

partir des données observées de cancer issues des six registres généraux comptant ceux des quatre départements de l'étude et ceux de l'Hérault (34) et du Doubs (25).

La période de latence (temps minimal séparant le début de l'exposition et le diagnostic de cancer) a été évaluée à cinq ans pour les hémopathies malignes et à 10 ans pour les autres cancers. La période d'exposition s'étend donc depuis la date de démarrage de l'usine jusqu'au début de la période de latence.

Seize incinérateurs dans les départements étudiés étaient en fonctionnement entre 1972 et 1990. L'absence de données de mesures sur l'émission des incinérateurs à cette époque a conduit à quantifier rétrospectivement les flux de polluants de chaque incinérateur par consensus d'experts, en tenant compte des caractéristiques techniques passées des installations et de leur évolution dans le temps. L'exposition de chaque Iris aux fumées d'incinérateur a été quantifiée par un modèle de dispersion atmosphérique ADMS version 3. Ce modèle prend en compte les paramètres des polluants, les caractéristiques techniques de l'installation, les données météorologiques et topographiques ainsi que les informations sur l'occupation du territoire autour de l'incinérateur. Un mélange de dioxines, furanes et PCB exprimé en équivalent toxique (I-TeQ OMS) de 2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-*p*-dioxine (TCDD) a été choisi comme polluant pour élaborer l'indicateur des expositions aux substances cancérigènes présentes dans les rejets des incinérateurs.

Cet indicateur d'exposition correspond à la moyenne des dépôts surfaciques annuels accumulés, tenant compte de l'accumulation au sol du polluant ainsi que d'une demi-vie de 10 ans dans l'environnement. Calculé sur la période d'exposition, il représente une exposition chronique, moyenne sur une longue période, et rend compte d'une exposition par ingestion de produits locaux, principale voie d'exposition humaine aux dioxines.

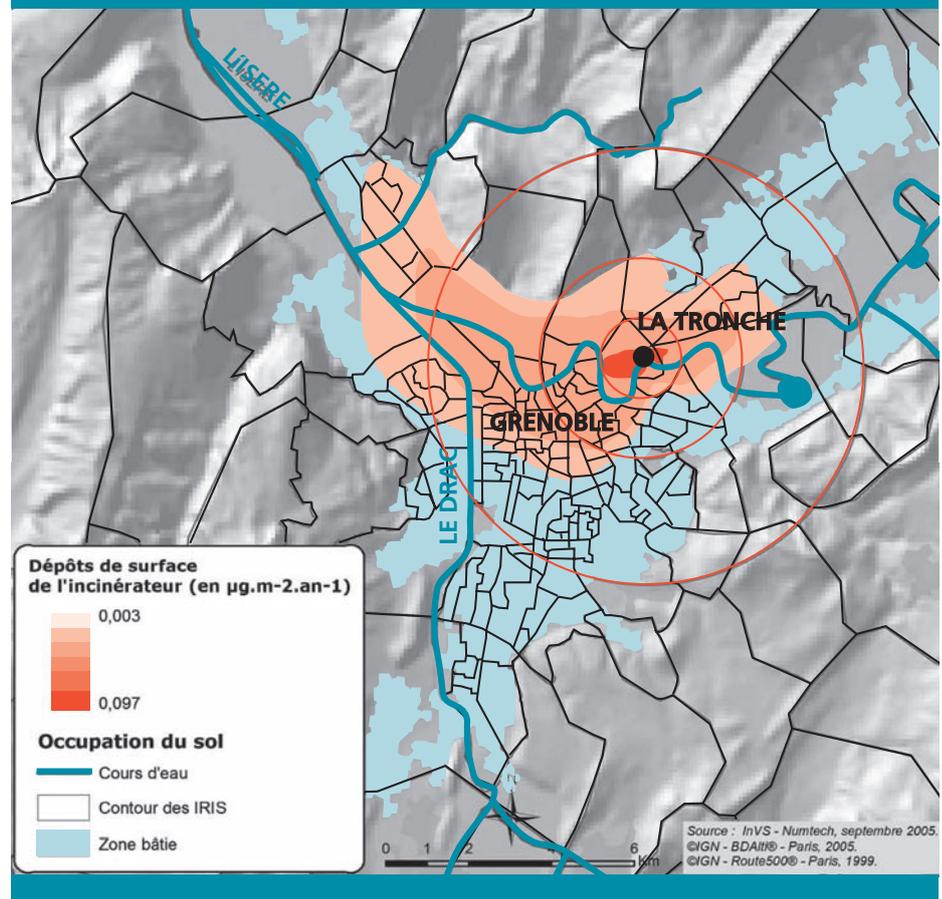
L'exposition des Iris aux polluants cancérigènes émis par d'autres sources, le trafic routier et les industries classées pour la protection de l'environnement (ICPE), ainsi que le niveau socio-économique, le caractère rural ou urbain des Iris et la densité de population, ont été pris en compte dans l'analyse comme facteurs de confusion.

Un système d'information géographique a été développé pour assigner aux Iris les valeurs d'exposition aux incinérateurs issues de la modélisation (figure 1) ainsi que les valeurs de pollution liée au trafic routier.

L'analyse statistique des données a été réalisée par une régression de Poisson, en utilisant un modèle additif généralisé (GAM). En cas de surdispersion poissonnienne, un modèle hiérarchique bayésien a été mis en œuvre.

Les résultats sont exprimés sous forme de RR qui comparent le risque de survenue de cancers dans des Iris fortement exposés (percentile 90 de la distribution des expositions) ou moyennement exposés (percentile 50 de la distribution des

Figure 1 Exemple de modélisation des dépôts surfaciques annuels au sol autour de l'incinérateur de La Tronche (Isère) ; les cercles concentriques à 1, 2,5 et 10 km de la source montrent la précision apportée par la modélisation par rapport à la seule distance à la source d'émission / *Figure 1 Example of modeling of annual surface soil depositions around the incinerator at La Tronche (Isère), the concentric circles at 1, 2.5 and 10 km away from the source show the precision brought by modeling compared to the sole distance versus the emission source*



expositions), par rapport à des Iris faiblement exposés (percentile 2,5 de la distribution des expositions) correspondant à l'exposition de référence.

## Résultats

Entre 1990 et 1999, 135 567 cas de cancers ont été enregistrés dans les quatre départements de l'étude sur environ 25 millions de personnes-années. Cette population se répartit dans 2 270 Iris dont un quart sont des Iris exposés, c'est-à-dire pour lesquels l'exposition a pu être quantifiée par le modèle (tableau 1). Selon que la période d'exposition s'arrête en 1985 ou 1990, cela représente respectivement 35 % et 41 % de la population totale de l'étude estimée à partir des données Insee de 1995. La distribution de l'indicateur d'exposition asymétrique (figure 2) présente un nombre élevé d'Iris peu exposés pour un faible nombre d'Iris fortement exposés. Les Iris peu exposés ( $P_{2,5}$ ), moyennement exposés ( $P_{50}$ ) et fortement exposés ( $P_{90}$ ), correspondent respectivement à des niveaux d'exposition de  $1,25 \cdot 10^{-4} \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{an}$ ,  $4,25 \cdot 10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{an}$  et  $1,78 \cdot 10^{-2} \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{an}$ . Il existe un facteur 100 entre les valeurs d'exposition d'un Iris fortement exposé et celles d'un Iris peu exposé. Quatre pour cent de la population de l'étude est concernée par de fortes expositions ( $P_{90}$ ), alors que 20 % de la population est exposée à des niveaux moyens ( $P_{50}$ ).

L'analyse statistique a mis en évidence plusieurs relations entre le niveau d'exposition des populations aux UIOM dans les années 1970 et 1980 et un excès de risque de développer certains cancers entre 1990 et 1999 (tableau 2).

Des associations positives et significatives ont été retrouvées, chez les femmes, entre l'exposition aux incinérateurs et le risque de cancers « toutes localisations » (RR = 1,06 IC 95 % [1,01-1,12]) correspondant à un excès de risque relatif égal à 6 %, pour le cancer du sein (RR = 1,09 IC 95 % [1,01-1,18]) et pour les LMNH (RR = 1,18 IC 95 % [1,01-1,38]). L'association entre exposition et LMNH reste significative pour les deux sexes confondus (RR = 1,12 IC 95 % [1,00-1,25]).

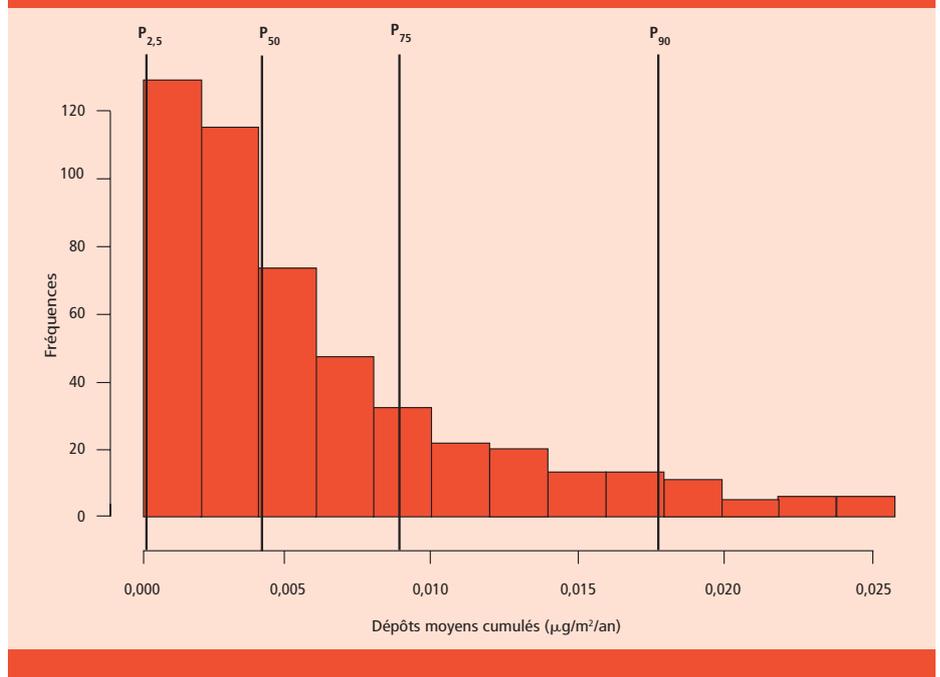
Chez les hommes, une seule association est observée entre l'exposition aux incinérateurs et les myélomes multiples (RR = 1,23 IC 95 % [1,00-1,52]). Ce RR correspondant à un excès de risque relatif égal à 23 % est le plus élevé parmi ceux calculés dans notre étude. Il faut toutefois relativiser cet excès de risque compte tenu de la fréquence des myélomes multiples qui représentent un total de 1 700 cas sur les quatre départements pendant 10 ans. Cette association n'est pas retrouvée chez la femme, mais reste en limite de significativité, pour les deux sexes confondus ( $p = 0,10$ ).

De plus, nous avons observé d'autres relations positives pour d'autres localisations chez les deux sexes confondus qui, sans être strictement significatives, méritent d'être rapportées. Il s'agit des sarcomes des tissus mous ( $p = 0,07$ ), localisation pour laquelle le RR calculé est l'un des plus élevés (RR = 1,22 IC 95 % [0,98-1,51]). Il s'agit également du cancer du foie ( $p = 0,07$ ; RR = 1,16 IC 95 % [0,99-1,37]) pour lequel les RR pour chaque sexe sont proches en terme d'excès de risque et de significativité (RR<sub>femme</sub> = 1,18 IC 95 % [0,92-1,52]; RR<sub>homme</sub> = 1,13 IC 95 % [0,96-1,35]). L'étude n'a pas montré d'association significative, chez l'homme, entre l'exposition aux incinérateurs et le risque de cancers « toutes

Tableau 1 Nombre total d'Iris exposés et effectif de population exposée aux incinérateurs par département pour les deux périodes d'exposition prises en compte pour les cancers (période 1972 à 1985) et les leucémies (période 1972 à 1990) / Table 1 Total number of statistical units and population exposed to incinerators by district for the two exposure periods taken into account for cancers (from 1972 to 1985) and leukemia (from 1972 to 1990).

	Isère	Bas-Rhin	Haut-Rhin	Tarn	Total
Nombre total d'Iris	682	711	488	389	2 270
Nombre d'Iris exposés (%)	255 (37 %)	129 (18 %)	82 (17 %)	54 (14 %)	520 (23 %)
Période 1972 à 1985					
Nombre d'Iris exposés (%)	295 (43 %)	129 (18 %)	141 (29 %)	54 (14 %)	619 (27 %)
Période 1972 à 1990					
Effectif de population en 1995	844 366	802 082	554 373	286 453	2 487 274
Population exposée (%)	413 739 (49 %)	248 645 (31 %)	155 224 (28 %)	60 155 (21 %)	877 763 (35 %)
Période 1972 à 1985					
Population exposée (%)	472 845 (56 %)	248 645 (31 %)	249 468 (45 %)	60 155 (21 %)	1 031 113 (41 %)
Période 1972 à 1990					

Figure 2 Distribution de l'indicateur d'exposition (moyenne sur la période d'exposition des flux de dépôts surfaciques annuels de dioxines accumulées) dans les Iris exposés aux incinérateurs / Figure 2 Distribution of the exposure indicator (average over the exposure period of annual surface flow depositions of accumulated dioxins) in statistical units exposed to incinerators



localisations ». Les résultats n'indiquent pas non plus d'association entre l'exposition aux incinérateurs et les cancers du poumon ou de la vessie, les leucémies aiguës et les leucémies lymphoïdes chroniques, quel que soit le sexe.

Les analyses univariées ont par ailleurs retrouvé des associations déjà connues entre des localisations de cancers et certains facteurs de risque. Par exemple, une relation a été observée entre l'incidence du cancer du poumon et le faible niveau socio-économique des populations, inversement entre le cancer du sein chez la femme et le niveau socio-économique élevé, ou encore entre le cancer du foie et l'habitat en milieu rural. Enfin, l'analyse de sensibilité après exclusion des valeurs extrêmes d'exposition (i.e. toutes les valeurs au-delà du percentile 95) a montré que les relations exposition-risque que nous avons observées étaient stables.

## Discussion

Cette étude écologique géographique portant sur environ 135 000 cas de cancers observés entre 1990-1999 a mis en évidence des relations signifi-

catives entre l'exposition aux émissions atmosphériques UIOM et l'incidence de plusieurs cancers. Elle ne permet cependant pas d'établir un lien de causalité entre les deux. Son intérêt principal est lié au caractère multicentrique de l'étude qui, par l'observation d'environ 25 millions de personnes-années, conduit à une puissance statistique permettant de mettre en évidence des relations significatives pour des risques faibles. De plus, la population des quatre départements de l'étude, sans toutefois refléter les caractéristiques la population française, est favorable à une plus grande hétérogénéité des données.

La relation statistique entre l'exposition aux UIOM et l'incidence des cancers chez la femme est un élément nouveau apporté par cette étude. Si un excès de risque de mortalité général par cancer avait été suggéré par Elliott pour les deux sexes confondus [4], il reste à expliquer pourquoi cette sur-incidence de cancers concerne dans notre étude essentiellement les femmes. Il a déjà été évoqué une hypothèse hormonale [6, 7]. Une hypothèse environnementale ne doit pas être

Tableau 2 Risque relatif pour une augmentation de l'indicateur d'exposition du 2,5<sup>ème</sup> percentile au 50<sup>ème</sup> percentile et au 90<sup>ème</sup> percentile / Table 2 Relative risk for an increased exposure indicator from the 2.5<sup>th</sup> percentile to the 50<sup>th</sup> percentile and to the 90<sup>th</sup> percentile

Localisation du cancer	Relation entre une forte exposition (P <sub>90</sub> ) et une faible exposition (P <sub>2,5</sub> )		Relation entre une exposition moyenne (P <sub>50</sub> ) et une faible exposition (P <sub>2,5</sub> )	
	RR	[IC 95 %]	RR	[IC 95 %]
Cancers toutes localisations, femmes	1,06 <sup>a</sup>	[1,01 - 1,12]	1,03 <sup>a</sup>	[1,00 - 1,05]
Cancers toutes localisations, hommes	1,03	[0,97 - 1,09]	1,01	[0,99 - 1,04]
Cancer du sein, femmes	1,09 <sup>a</sup>	[1,01 - 1,18]	1,04 <sup>a</sup>	[1,00 - 1,07]
Cancer du poumon, femmes	1,11	[0,93 - 1,33]	1,05	[0,97 - 1,13]
Cancer du poumon, hommes	1,05	[0,95 - 1,18]	1,02	[0,98 - 1,07]
LMNH, sexes confondus	1,12 <sup>a</sup>	[1,00 - 1,25]	1,05 <sup>a</sup>	[1,00 - 1,10]
LMNH, femmes	1,18 <sup>a</sup>	[1,01 - 1,38]	1,07 <sup>a</sup>	[1,01 - 1,15]
LMNH, hommes	1,01	[0,87 - 1,18]	1,01	[0,94 - 1,07]
Cancer du foie, sexes confondus	1,16 <sup>b</sup>	[0,99 - 1,37]	1,07 <sup>b</sup>	[0,99 - 1,14]
Cancer du foie, femmes	1,18	[0,92 - 1,52]	1,07	[0,96 - 1,20]
Cancer du foie, hommes	1,13	[0,96 - 1,35]	1,06	[0,98 - 1,14]
STM, sexes confondus	1,22 <sup>b</sup>	[0,98 - 1,51]	1,09 <sup>b</sup>	[0,99 - 1,20]
Myélomes multiples, sexes confondus	1,16 <sup>b</sup>	[0,97 - 1,40]	1,06 <sup>b</sup>	[0,99 - 1,14]
Myélomes multiples, femmes	1,05	[0,81 - 1,35]	1,02	[0,92 - 1,12]
Myélomes multiples, hommes	1,23 <sup>a</sup>	[1,00 - 1,52]	1,08 <sup>a</sup>	[1,00 - 1,18]
Leucémies aiguës, sexes confondus	1,04	[0,86 - 1,25]	1,01	[0,94 - 1,09]
Leucémies aiguës, femmes	1,11	[0,85 - 1,43]	1,04	[0,94 - 1,15]
Leucémies aiguës, hommes	0,96	[0,74 - 1,25]	0,98	[0,89 - 1,09]
Leucémies lymphoïdes chroniques, sexes confondus	1,13	[0,91 - 1,39]	1,05	[0,97 - 1,14]
Leucémies lymphoïdes chroniques, femmes	1,18	[0,87 - 1,61]	1,07	[0,95 - 1,20]
Leucémies lymphoïdes chroniques, hommes	1,08	[0,82 - 1,43]	1,03	[0,92 - 1,15]
Cancer de la vessie, femmes	0,82 <sup>b</sup>	[0,66 - 1,00]	0,92 <sup>b</sup>	[0,84 - 1,00]
Cancer de la vessie, hommes	0,95	[0,84 - 1,06]	0,98	[0,93 - 1,03]

<sup>a</sup> : p<0,05  
<sup>b</sup> : p<0,10  
 LMNH : Lymphome malin non hodgkinien  
 STM : Sarcome des tissus mous

écartée si l'on considère que dans les années 1970 et 1980, les femmes étaient plus sédentaires et surtout moins exposées que les hommes à certains facteurs de risque susceptibles de masquer l'effet de l'exposition aux fumées d'incinérateurs, comme l'exposition professionnelle par exemple. Sur la relation mise en évidence entre l'exposition aux incinérateurs et le cancer du sein, les effets de l'exposition aux dioxines avaient jusqu'à présent fait l'objet de résultats contradictoires. Ainsi, un déficit en cancer du sein a été observé à Seveso après 10 ans de suivi [8], alors que d'autres publications suggéraient qu'un taux élevé de cancer du sein pouvait être associé à une exposition à long terme à la dioxine [9, 10]. Il avait été alors supposé qu'une exposition à court terme serait protectrice, alors qu'à long terme, elle augmenterait le risque de cancer du sein [11].

La relation entre exposition aux incinérateurs et incidence des lymphomes malins non hodgkiniens vont dans le même sens que les résultats obtenus lors d'études de *cluster* et de cas-témoins réalisées en population générale autour de l'incinérateur de Besançon [3, 12]. Cependant, alors que cette relation apparaît uniquement chez les hommes lors d'une exposition accidentelle à la dioxine lors du suivi de la cohorte de Seveso, elle est ici statistiquement significative chez les femmes et les deux sexes confondus mais pas chez l'homme. De la même manière, pour les myélomes multiples, la relation mise en évidence dans notre étude uniquement pour les hommes est cohérente avec les résultats obtenus chez les femmes uniquement dans les zones les plus exposées lors de l'accident de Seveso [13].

L'association positive, bien que non statistiquement significative (p = 0,07), mise en évidence pour les sarcomes des tissus mous est concor-

dante avec les résultats d'études cas-témoins menées en France autour d'une UIOM [3], en Italie autour d'un incinérateur de déchets industriels [2] et autour de sources industrielles de dioxines comprenant des incinérateurs [14].

De même, la relation positive proche de la significativité (p = 0,07) entre le risque de cancer du foie et l'exposition aux fumées d'incinérateurs va dans le sens des résultats obtenus dans l'étude d'incidence conduite à partir de données de registres au Royaume-Uni, dans une population générale résidant à proximité d'incinérateurs [4].

Cette étude ne permet pas de s'extraire des limites inhérentes à toute étude écologique. Malgré la prise en compte de plusieurs facteurs de risque au niveau populationnel, il n'a pas été possible de renseigner les facteurs de risque individuels reconnus comme étant fortement associés à l'incidence de certains cancers : consommation de tabac et d'alcool, exposition professionnelle, exposition liée à l'habitat et aux loisirs, traitements médicaux, habitudes alimentaires, origine des aliments consommés, etc. De plus, la méconnaissance de l'histoire résidentielle peut avoir conduit à des erreurs de classification entre exposés et non exposés. Cependant, d'une part, il n'y a pas lieu de penser que la mobilité résidentielle ait été différente chez les personnes atteintes d'un cancer et chez les autres et d'autre part, une erreur de classification des cas liée à ce biais non différentiel ne pourrait qu'aboutir à un affaiblissement des relations observées dans l'étude.

Nous avons utilisé les concentrations en NO<sub>2</sub> de l'année 2000 à un niveau de précision obtenu par une grille de 4 km de côté, comme traceur de la pollution liée au trafic routier [15]. Cet indicateur, bien qu'adapté à l'échelle de notre étude, implique de faire l'hypothèse que les concentra-

tions atmosphériques en NO<sub>2</sub> n'ont pas changé entre les décennies 1970 et 1980 et l'année 2000. L'indicateur de l'exposition passée à la pollution industrielle, évalué par le nombre des industries présentes dans les Iris chaque année, traduit certainement moins précisément l'exposition réelle d'un Iris que celle que nous avons pu réaliser pour les incinérateurs. Par les paramètres introduits, le score socio-économique est très proche d'autres indicateurs socio-économiques reconnus.

Malgré les limites dans la construction des facteurs de confusion, l'analyse univariée retrouve les associations bien établies entre certaines localisations de cancers et les facteurs de risque. Cette cohérence plaide en faveur d'une bonne qualité des descripteurs des facteurs de confusion introduits dans nos analyses.

Concernant l'indicateur d'exposition, une comparaison des valeurs de flux d'émission estimées par consensus d'expert à des valeurs de flux d'émission mesurées entre 1994 et 2004 indique vraisemblablement une sous-estimation des flux par les experts. On peut toutefois penser que le gradient des niveaux de rejets et des flux de dépôts a été conservé, ce qui ne modifie pas les relations observées.

Rappelons que l'indicateur d'exposition pris en compte dans cette étude correspond à une moyenne des dépôts de dioxines accumulés dans l'environnement. D'autres indicateurs d'exposition ont été également élaborés à partir de la concentration atmosphérique plutôt que du flux de dépôts, à partir d'autres substances cancérigènes que les dioxines, et en prenant en compte ou non la fonction d'accumulation et de décroissance des concentrations dans l'environnement. Enfin, un dernier indicateur d'exposition élémentaire, basé sur la distance des centroïdes des Iris aux incinérateurs, a été utilisé. De la comparaison de ces indicateurs, on peut en conclure que la modélisation des rejets dans l'environnement apporte un niveau de précision essentiel à l'estimation de l'exposition à l'échelle de l'Iris par rapport à l'utilisation de la distance à la source. En revanche, les précisions de l'exposition à partir de calculs sur les concentrations modélisées dans l'environnement ne modifient pas les gradients des niveaux d'expositions des Iris. Par exemple, les résultats des expositions des Iris aux dioxines et aux particules sont fortement corrélés, que ce soit pour les concentrations atmosphériques ou pour les dépôts au sol ( $r_{\text{pearson}} = 0,84$  et  $r_{\text{pearson}} = 0,82$  respectivement). Cela signifie également que si dans cette étude, les dépôts au sol d'un mélange de dioxines, furanes et PCB ont été sélectionnés comme indicateur de l'exposition des Iris aux incinérateurs d'ordures ménagères, les relations observées entre l'incidence des cancers et l'exposition ne peuvent pas être attribuées à ces seules substances, ni à une voie d'exposition particulière.

Enfin, il est possible que les valeurs moyennes des temps de latence que nous avons utilisées – cinq ans pour les leucémies et 10 ans pour les cancers solides – aient été trop courtes [13, 16]. Si cela était le cas, ce biais potentiel n'aurait pu entraîner qu'une sous-estimation des relations observées. Ces arguments, en plus de la stabilité des relations exposition-risque restant significatives après exclusion des valeurs extrêmes, sont autant d'éléments en faveur de la validité des résultats de cette étude.

## Conclusion

L'exposition telle qu'elle a été prise en compte dans cette étude est le reflet des émissions globales des UIOM.

Les relations statistiques positives mises en évidence entre l'exposition passée aux panaches d'incinérateurs et l'incidence au cours de la décennie 1990, notamment chez la femme, pour plusieurs cancers apportent des éléments convaincants au faisceau d'arguments épidémiologiques en faveur d'un impact des rejets d'incinérateurs sur la santé. Sur l'ensemble des localisations de cancers pour lesquelles nous avons retrouvé des liaisons significatives, l'excès de risque relatif de cancer associé à un niveau d'exposition moyen ( $P_{50}/P_{2,5}$ ) est 2 à 3 fois moindre que l'excès de risque relatif associé à un niveau d'exposition élevé ( $P_{90}/P_{2,5}$ ). Toutefois, ce risque plus faible, associé à un niveau d'exposition moyen, concerne une population cinq fois plus importante. Le problème de santé publique se présente alors moins sur l'importance du risque individuel encouru que sur le nombre de personnes potentiellement concernées.

Par ailleurs, ces relations observées pour des expositions associées au fonctionnement passé des incinérateurs, ne peuvent pas être transposées ni en dehors des quatre départements d'étude, ni aux installations en activité actuellement.

## Remerciements

Ce travail a été conduit sous l'égide d'un comité scientifique. Les auteurs remercient tout particulièrement pour leur appui dans cette étude : A Paez-Jimenez, Institut de veille sanitaire (InVS) ; JF Viel, Faculté de médecine de Besançon ; S Richardson, Imperial Collège de Londres ; C Duboudin, Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset) ; M Ledrans, InVS ; M Colonna, Registre du cancer de l'Isère ; M Velten, Registre du cancer du Bas-Rhin ; A Buemi, Registre du cancer du Haut-Rhin et P Grosclaude, Registre du cancer du Tarn.

## Références

- [1] Biggeri A, Barbone F, Lagazio C, Bovenzi M, Stanta G. Air pollution and lung cancer in Trieste, Italy : spatial analysis of risk as a function of distance from sources. *Environ Health Perspect.* 1996; 104(7):750-4.
- [2] Comba P, Ascoli V, Belli S, Benedetti M, Gatti L, Ricci P, et al. Risk of soft tissue sarcomas and residence in the neighbourhood of an incinerator of industrial wastes. *Occup Environ Med.* 2003; 60(9):680-3.
- [3] Viel JF, Arveux P, Baverel J, Cahn JY. Soft-tissue sarcoma and non-Hodgkin's lymphoma clusters around a municipal solid waste incinerator with high dioxin emission levels. *Am J Epidemiol.* 2000; 152(1):13-9.
- [4] Elliott P, Shaddick G, Kleinschmidt I, Jolley D, Walls P, Beresford J, et al. Cancer incidence near municipal solid waste incinerators in Great Britain. *Br J Cancer.* 1996; 73(5):702-10.
- [5] Fabre P, Daniau C, Gorla S, de Crouy-Chanel P, Empereur-Bissonnet. Étude d'incidence des cancers à proximité des usines d'incinération d'ordures ménagères. Rapport d'étude et synthèse. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire, 2008; 136 p.  
[http://www.invs.sante.fr/publications/2008/rapport\\_uiom/index.html](http://www.invs.sante.fr/publications/2008/rapport_uiom/index.html)
- [6] Mandal PK. Dioxin : a review of its environmental effects and its aryl hydrocarbon receptor biology. *J Comp Physiol [B].* 2005; 175(4):221-30.

[7] Schiestl RH, Aubrecht J, Yap WY, Kandikonda S, Sidhom S. Polychlorinated biphenyls and 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin induce intrachromosomal recombination in vitro and in vivo. *Cancer Res.* 1997; 57(19):4378-83.

[8] Bertazzi PA, Bernucci I, Brambilla G, Consonni D, Pesatori, AC. The Seveso studies on early and long-term effects of dioxin exposure : a review. *Environ Health Perspect.* 1998 Apr; 106 Suppl 2:625-33.

[9] Flesch-Janys D, Berger J, Gurn P, Manz A, Nagel S, Waltsgott H et al. Exposure to polychlorinated dioxins and furans (PCDD/F) and mortality in a cohort of workers from a herbicide-producing plant in Hamburg, Federal Republic of Germany. *Am J Epidemiol.* 1995; 142(11):1165-75.

[10] Manz A, Berger J, Dwyer JH, Flesch-Janys D, Nagel S, Waltsgott H. Cancer mortality among workers in chemical plant contaminated with dioxin. *Lancet.* 1991; 338(8773):959-64.

[11] Wolff MS, Weston A. Breast cancer risk and environmental exposures. *Environ Health Perspect.* 1997; 105 Suppl 4:891-6.

[12] Floret N, Mauny F, Challier B, Arveux P, Cahn JY, Viel JF. Dioxin emissions from a solid waste incinerator and risk of non-Hodgkin lymphoma. *Epidemiology.* 2003; 14(4):392-8.

[13] Bertazzi PA, Consonni D, Bachetti S, Rubagotti M, Baccarelli A, Zocchetti et al. Health effects of dioxin exposure : a 20-year mortality study. *Am J Epidemiol.* 2001; 153(11):1031-44.

[14] Zambon P, Ricci P, Bovo E, Casula A, Gattolin M, Fiore AR, et al. Sarcoma risk and dioxin emissions from incinerators and industrial plants : a population-based case-control study (Italy). *Environ Health.* 2007; 6:19.

[15] Beckerman B, Jerrett M, Brook J, Verma D, Arain A. Correlation parameters of NO2 to other traffic pollutants near an expressway. Poster presentation, ISEE/ISEA International Conference Tucson:6-9-2006.

[16] Nyberg F, Gustavsson P, Järup L, Bellander T, Berglund N, Jakobsson R, et al. Urban air pollution and lung cancer in Stockholm. *Epidemiology.* 2000; 11(5):487-95.

# Étude d'imprégnation par les dioxines des populations résidant à proximité d'usines d'incinération d'ordures ménagères

Nadine Fréry (n.frey@invs.sante.fr)<sup>1</sup>, Jean-Luc Volatier<sup>2</sup>, Abdelkrim Zeghnoun<sup>1</sup>, Hélène Sarter<sup>1</sup>, Grégoire Falq<sup>1</sup>, Anne Thébaud<sup>2</sup>, Mathilde Pascal<sup>1</sup>, Marielle Schmitt<sup>3</sup>, Yvonnick Guillois-Becel<sup>3</sup>, Ursula Noury<sup>2</sup>, Christophe Heyman<sup>2</sup>, Arnaud Mathieu<sup>2</sup>, Nathalie Lucas<sup>2</sup>, Myriam Blanchard<sup>3</sup>, Jérôme Pouey<sup>3</sup>, Bénédicte Bérat<sup>1</sup>, Georges Salines<sup>1</sup>

1/ Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice, France 2/ Agence française de sécurité sanitaire des aliments, Maisons-Alfort, France 3/ Cellules interrégionales d'épidémiologie, Institut de veille sanitaire, France

## Résumé / Abstract

L'étude « Dioxines et incinérateurs » a été mise en place en 2005 par l'Institut de veille sanitaire en partenariat avec l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments. Son but était de comparer l'imprégnation par les dioxines, mais aussi par le plomb et le cadmium, de personnes exposées et non exposées aux émissions d'incinération d'ordures ménagères et d'évaluer l'impact de la consommation de produits locaux sur ces imprégnations.

L'étude a été réalisée auprès d'environ 1 030 personnes tirées au sort, âgées de 30 à 65 ans, résidant à proximité de huit usines d'incinération d'ordures ménagères. Des analyses de dioxines (PCDD/F), de PCB, de plomb et de cadmium ont été réalisées et des informations sur l'alimentation et l'environnement ont été recueillies à l'aide de questionnaires.

Les concentrations moyennes de dioxines, plomb et cadmium étaient similaires chez les personnes exposées et non exposées aux émissions d'incinérateurs. Il n'a pas été mis en évidence de surimprégnation due à l'exposition par inhalation aux dioxines, PCB, plomb et cadmium, des riverains des incinérateurs. Cependant, la consommation de produits locaux tels que les produits laitiers, les œufs et les graisses animales, augmentait l'imprégnation par les dioxines et par le plomb dans une moindre mesure. Cette relation était retrouvée en particulier chez les agriculteurs. La consommation de fruits et légumes provenant de zones exposées au panache d'UIOM n'influait pas l'imprégnation par les dioxines et les PCB, par le plomb ou le cadmium.

## Study of dioxin concentration in residents living in the vicinity of municipal solid waste incinerators

*The French Dioxin and Incinerators Study was performed in 2005 by the National Institute for Public Health Surveillance in collaboration with the French Food Safety Agency. The goal was to estimate whether concentrations of serum dioxins and PCBs, blood lead and urinary cadmium were higher in residents exposed to municipal solid waste incinerators emissions compared to non-exposed people, and to study the role of intake of local food produced under the plume. The study involved around 1,030 adults randomly selected (30-65 years old), living close to eight municipal solid waste incinerators in France. Analyses of dioxins (PCDD/Fs) and PCBs, lead and cadmium were performed and individual, food and environmental data were collected through questionnaires.*

*The mean concentrations of dioxins, lead and cadmium were similar in people living in the vicinity of incinerators compared to those of non exposed people. Contamination by inhalation seemed negligible. However, consumption of animal food produced under the plume of old incinerators (dairy products, eggs and more generally lipids) increased the serum dioxin concentrations and to a lesser extent the blood lead concentrations. This was particularly true in farmers. Intake of fruits and vegetables produced in areas exposed to the plume did not influence the levels of dioxins, lead, or*

Par ailleurs, les facteurs personnels, tels que l'âge, la corpulence, et la consommation alimentaire habituelle, en particulier celle des produits de la pêche pour les dioxines, jouaient un rôle prépondérant sur l'imprégnation.

*cadmium in residents. Individual characteristics (age or body mass index) and usual dietary intake, in particular fish intake for dioxins, were the most important factors on dioxins or metal levels.*

## Mots clés / Key words

Incinérateurs, incinérateur d'ordures ménagères, biomarqueur d'exposition, dioxines, plomb, cadmium, santé publique / *Incinerators, municipal solid waste incinerator, biomarker of exposure, dioxins, lead, cadmium, public health.*

## Introduction

Au début des années 2000, les usines d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) comptaient parmi les principales sources émettrices de dioxines en France [1]. Les dioxines, terme qui recouvre un mélange de plusieurs substances stables formées lors des processus de combustion (dioxines proprement dites et furanes), s'accumulent dans l'organisme au cours du temps, principalement dans les graisses. Leur dosage dans les milieux biologiques reflète l'exposition des dernières années. Elles peuvent avoir divers effets sur la santé, en particulier sur l'immunité, le développement, le système nerveux, la thyroïde, la reproduction, le métabolisme, et la dioxine dite de Seveso (2,3,7,8-TCDD) est cancérigène [2]. L'exposition aux dioxines de la population générale se fait principalement par l'alimentation (plus de 95 %) essentiellement par l'ingestion de produits d'origine animale [3], mais l'exposition de la population à proximité de sources ponctuelles telles que les incinérateurs est mal connue [4].

Suite à une saisine de la Direction générale de la santé (DGS), en 2005, l'Institut de veille sanitaire (InVS) en collaboration avec l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa) a réalisé une étude nationale d'imprégnation de la population par les dioxines et les PCB ; les PCB, ou polychlorobiphényles, sont des substances persistantes souvent associées aux dioxines et certains PCB sont appelés PCB «dioxin-like» (PCB-DL), car ils ont les mêmes mécanismes d'action biologique que les dioxines. Cette étude a été financée dans le cadre du Plan cancer. L'objectif principal était de préciser si les populations vivant à proximité d'UIOM étaient plus imprégnées que les personnes non soumises à une source identifiée de dioxines et d'évaluer la contribution de l'alimentation produite localement à cette exposition. Un objectif secondaire de l'étude était d'estimer l'imprégnation de ces populations par le plomb et le cadmium, deux métaux susceptibles d'être également rejetés dans l'environnement par les incinérateurs. Le plomb et le cadmium intégrés à nos déchets ménagers en raison d'un large éventail d'utilisation sont des métaux qui s'accumulent également dans l'organisme au cours du temps.

## Méthode

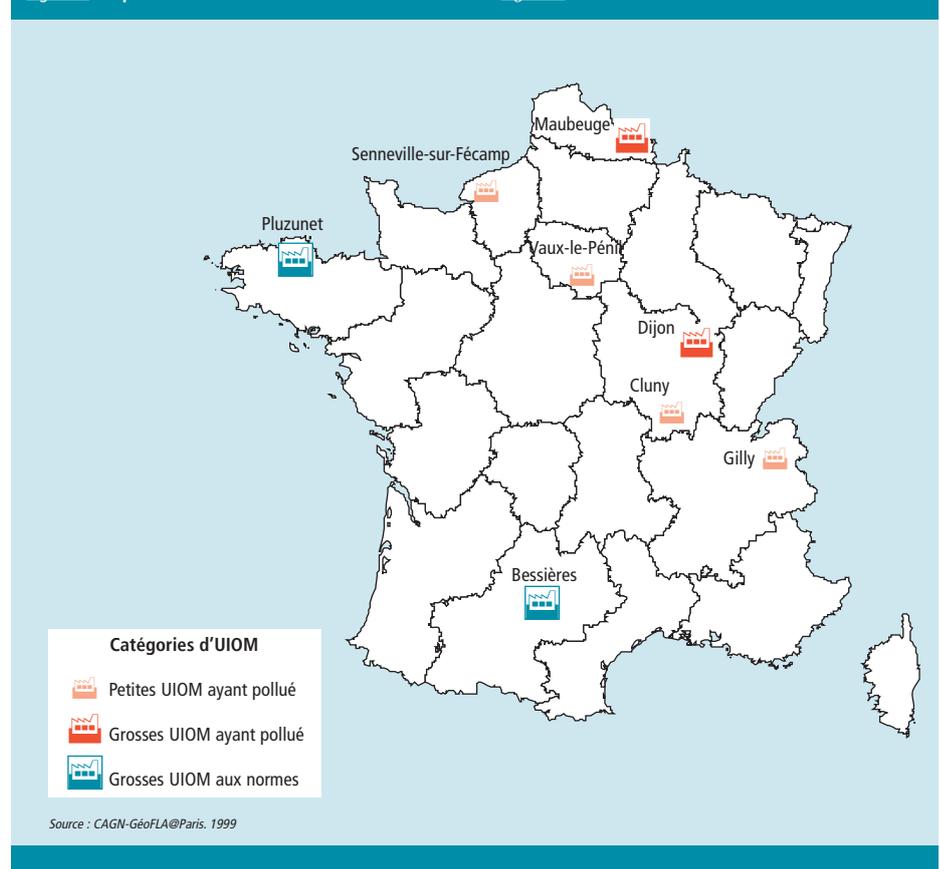
Il s'agit d'une étude multicentrique qui concerne huit sites proches d'UIOM (figure 1) : Bessières (31), Cluny (71), Dijon (21), Senneville-sur-Fécamp (76), Gilly-sur-Isère (73), Maubeuge (59), Pluzunet (22), Vaux-Le-Pénil (77). Ils correspon-

dent à trois catégories d'installations : 1) petites UIOM anciennes (capacité  $\leq 6$  tonnes/h) fortement polluantes par le passé, 2) grosses UIOM anciennes ( $> 6$  tonnes/h) fortement ou moyennement polluantes par le passé et, 3) grosses UIOM récentes ayant respecté les normes d'émission en vigueur. Pour chaque site d'étude, des communes exposées au panache de l'UIOM et des communes témoins, non exposées au panache (éloignées de plus de 20 km d'un incinérateur) et de toutes sources fixes émettrices de dioxines identifiées par la Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement (DRIRE) ou la Cellule interrégionale d'épidémiologie (CIRE), ont été sélectionnées. Les zones exposées au panache des incinérateurs ont été définies à partir de modélisations de la dispersion atmosphérique des émissions de dioxines [5]. La base de sondage a été obtenue à partir de listes électorales des mairies et des données de France Télécom et d'une première vérification téléphonique auprès de la population de critères d'inclusion et d'exclusion. La population de l'étude a été choisie à partir d'un échantillon

aléatoire stratifié et à deux degrés (foyers puis individus) parmi les personnes âgées de 30 à 65 ans non exposées professionnellement aux dioxines, plomb, cadmium et pour les femmes, n'ayant pas ou très peu allaité au cours des 15 dernières années. Les participants devaient avoir vécu au moins 10 ans dans la zone d'étude, soit dans la zone de panache de l'UIOM, soit dans les communes témoins sélectionnées ; pour les zones exposées avec une UIOM récente, une durée minimale de cinq ans a été retenue.

Les participants étaient invités par courrier et par téléphone à se rendre à un entretien individuel, dans un lieu proche de leur domicile. Un questionnaire en face à face leur était administré afin de recueillir des informations sociodémographiques, alimentaires (consommations habituelles et de produits locaux), d'exposition professionnelle, et environnementale (loisirs, chauffage, ancienneté du logement, utilisation d'un barbecue...). Un prélèvement de sang a été effectué par du personnel de l'Établissement français du sang (EFS) afin de doser dans le sérum les 17 dioxines les plus toxiques (PCDD/F), 12 PCB-DL, 4 PCB

Figure 1 Emplacement des incinérateurs sélectionnés / Figure 1 Localisation of selected incinerators



indicateurs (IUPAC 118, 138, 153, 180) et la plombémie. Un prélèvement d'urine était également recueilli pour doser le cadmium. Le dosage des dioxines et PCB a été effectué par chromatographie en phase gazeuse haute résolution et ceux de la plombémie et de la cadmiurie par spectrométrie d'absorption atomique. Les lipides sanguins ont également été mesurés par une méthode enzymatique.

Les concentrations de dioxines et PCB-DL ont été exprimées en picogrammes de TEQ (équivalent toxique) de l'OMS de 1998 par gramme de matière grasse (noté pg TEQ<sub>98</sub>/g MG). Le TEQ est un indice qui résume en une seule valeur la toxicité du mélange de dioxines ; c'est la somme de la concentration de chaque substance du mélange multipliée par son facteur de toxicité (TEF). Un picogramme (pg) représente 10<sup>-12</sup>g.

L'impact de l'incinérateur *via* la consommation de produits locaux a été étudié en fonction de la quantité d'aliments consommée, mais aussi du type de consommateur : agriculteurs autoconsommateurs (consommant des produits provenant de leur propre production), particuliers autoconsommateurs de produits animaux et végétaux, particuliers autoconsommateurs seulement de produits végétaux, particuliers consommant des produits du voisinage issus du panache (sans production personnelle) et particuliers ou agriculteurs non autoconsommateurs.

L'analyse statistique a été réalisée en utilisant des modèles de régression prenant en compte le plan de sondage à l'aide des logiciels SAS, R et Stata.

## Résultats et discussion

### Population

Le taux de participation était de 51 % (parmi les personnes tirées au sort joignables et répondant aux critères d'inclusion), ce qui est un très bon taux par rapport à d'autres études comparables. Au total, 1 053 personnes ont été incluses dans l'étude, mais après une étude plus approfondie des personnes exposées professionnellement et leur exclusion en fonction du polluant étudié, 1 030 personnes ont été retenues pour l'étude des dioxines et PCB, 1 029 pour l'étude de la plombémie et 1 033 pour la cadmiurie.

La population d'étude était âgée en moyenne de 52 ans et était composée de 54,7 % de femmes. Pour les riverains des UIOM, la distance médiane du lieu de résidence à l'UIOM était de 2,2 km. Le nombre d'années de résidence sous les retombées du panache de l'incinérateur était au moins de 18 ans pour plus de 50 % des personnes, variant selon les sites en raison des durées très variables de fonctionnement des incinérateurs. Globalement, les consommations alimentaires concernant les aliments ne provenant pas de la production locale étaient très similaires entre les deux zones d'exposition. Les aliments consommés produits localement étaient principalement des légumes et des fruits (environ 70 % de consommateurs). La quantité consommée de graisses animales d'origine locale, provenant principalement des œufs et des volailles, restait faible par rapport à la quantité totale consommée quotidiennement (en moyenne environ 8 grammes contre environ 100 grammes).

## Imprégnation par les dioxines et PCB

### Concentrations sériques

La concentration sérique moyenne de dioxines et PCB-DL était de 27,7 pg TEQ<sub>98</sub>/g MG (13,7 et 13,6 pg TEQ/g MG respectivement pour les PCDD/F et les PCB-DL). Les valeurs minimales et maximales étaient respectivement de 7,1 et de 178,4 pg TEQ<sub>98</sub>/g MG. Onze personnes (sur 1 030) dépassaient 100 pg TEQ<sub>98</sub>/g MG et parmi elles, sept résidaient sur le site de Senneville-sur-Fécamp. Les valeurs de dioxines observées dans cette étude étaient similaires à celles d'autres pays d'Europe.

### Facteurs influençant les niveaux d'imprégnation par les dioxines et PCB indépendamment des UIOM

Les caractéristiques personnelles des participants avaient un rôle prépondérant sur les concentrations de dioxines et PCB. Les facteurs significatifs étaient l'âge, le sexe, la corpulence, la fluctuation récente du poids, le statut tabagique, la catégorie socioprofessionnelle actuelle et le site (le département de résidence).

D'autres facteurs d'exposition non liés à l'incinérateur avaient également une influence sur les concentrations sériques de dioxines et PCB : la présence d'un foyer ouvert ou d'un poêle à bois dans le logement, la pratique d'un loisir susceptible d'exposer aux dioxines, l'urbanisation (centre ville / périphérie ou banlieue / zone rurale) et certaines consommations d'aliments non produits localement sous le panache de l'incinérateur (abats, produits laitiers, (tendance avec les œufs), porc et charcuterie, produits de la mer pour Senneville-sur-Fécamp et Pluzunet).

### Facteurs associés aux UIOM

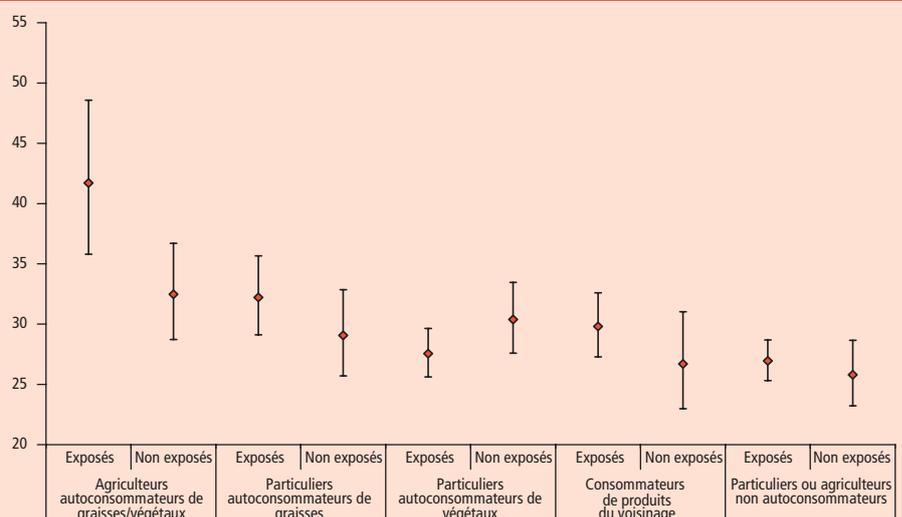
L'analyse des données ne montre pas de différence d'imprégnation par les dioxines et PCB entre les personnes exposées (riverains d'incinérateurs, moyenne<sub>ajustée</sub>=28,9 pg TEQ/g MG [27,4 ; 30,4]) et non exposées (des communes témoins, m=28,4 pg TEQ/g MG [26,5 ; 30,3]). De nombreuses études étrangères réalisées auprès

de populations riveraines d'UIOM ont fait le même constat [6-9], à l'exception de deux d'entre elles, plus récentes, qui ont montré un impact sur les riverains d'UIOM ayant fortement pollué. Celle de Chen, à Taïwan, a montré une imprégnation un peu supérieure des riverains [10]. Fierens et coll. [11] en Belgique ont observé une augmentation de l'imprégnation par les dioxines associée à une consommation de lipides d'origine animale et locale. L'absence de différence d'imprégnation observée entre les deux zones d'exposition résulte vraisemblablement des faibles apports journaliers de graisses animales d'origine locale (8 grammes par jour en moyenne).

En fait, une analyse plus détaillée selon le type de consommateurs montre une différence d'imprégnation dans la sous-population des agriculteurs consommateurs de produits locaux et dans une moindre mesure des particuliers autoconsommateurs de graisses animales (figure 2). L'étude révèle l'influence de la consommation de produits locaux tels que les produits laitiers, les œufs et les graisses animales sur l'imprégnation. En particulier, les agriculteurs autoconsommateurs, vivant sur des exploitations situées en zone exposée au panache des UIOM, présentaient en moyenne un niveau d'imprégnation de dioxines et PCB-DL de 42 pg TEQ/g MG, alors qu'il était de 32 pg TEQ/g MG chez les agriculteurs non-exposés (1<sup>ère</sup> classe de la figure 2) et de 27 pg TEQ/g MG chez les non autoconsommateurs exposés (dernière classe).

Quant aux particuliers exposés aux émissions des incinérateurs, les consommateurs d'aliments d'origine animale et végétale produits localement (2<sup>e</sup> classe de la figure 2) avaient en moyenne une imprégnation supérieure aux auto-consommateurs uniquement de fruits et de légumes (3<sup>e</sup> classe), et l'imprégnation de ces derniers était similaire à celle des personnes ne consommant pas de produits locaux (dernière classe). Ainsi, l'apport en dioxines par les fruits et légumes issus du potager ou du verger exposés aux retombées du panache de l'UIOM ne contribue pas de façon

Figure 2. Moyennes géométriques [IC 95%] ajustées des PCDD/F + PCB-DL en pg TEQ<sub>98</sub>/g MG selon le type de consommateur et la zone d'exposition / Figure 2. Adjusted geometric means [95% CI] for PCDD/F + PCB-DL in pg TEQ<sub>98</sub>/g MG by type of consumer and exposure area



sensible à l'imprégnation de la population ; en effet, les végétaux très peu gras sont moins contaminés par les dioxines que les produits d'origine animale gras et en bout de chaîne alimentaire. La surimprégnation associée à la consommation locale de produits laitiers ou d'œufs n'était observée que dans le cas d'incinérateurs anciens et hors normes (résultats non présentés).

Par ailleurs, l'imprégnation moyenne la plus élevée a été observée pour un site situé en zone littorale, celui de Senneville-sur-Fécamp, en zone exposée (36,9 pg TEQ/g MG [33,6 ; 40,5]), mais aussi non exposée (33,5 pg TEQ/g MG [29,6 ; 37,9]). Ce site est celui où la consommation habituelle de produits de la mer était la plus importante et où leur contamination par les dioxines et PCB dans cette partie de la Manche-Est est connue pour être un peu supérieure à celle rencontrée sur d'autres parties du littoral [12]. Ce résultat, ainsi que celui sur les valeurs d'imprégnation les plus élevées, montrent que l'impact de la consommation de produits de la mer sur l'imprégnation par les dioxines et PCB est particulièrement important.

Par ailleurs, les résultats de l'étude n'étaient pas en faveur du rôle de l'exposition par inhalation, question fortement soulevée initialement : les niveaux d'imprégnation de dioxines et PCB des personnes n'ayant pas consommé d'aliments produits localement étaient similaires dans les deux zones d'exposition (27,2 pg TEQ/g MG [exposés] versus 25,7 [non-exposés], ns).

## Imprégnation par le plomb et le cadmium

### Concentrations

Dans la population d'étude, les concentrations moyennes de plomb sanguin et de cadmium urinaire étaient égales respectivement à 28,7 µg/L et 0,27 µg/g de créatinine. Elles se situent dans des valeurs habituelles pour la population générale. Pour le plomb, elles étaient plus faibles que celles mesurées chez les jeunes adultes en France il y a 10 ans, vraisemblablement en raison de la réduction des émissions de plomb en France [13, 14].

### Facteurs influençant les niveaux d'imprégnation en plomb et cadmium indépendamment des UIOM

Les facteurs personnels et la consommation alimentaire habituelle étaient les déterminants essentiels de l'imprégnation par le plomb et le cadmium, notamment :

- pour le plomb : l'âge, le sexe, le niveau d'étude, les consommations de tabac et d'alcool, la pratique d'un loisir exposant au plomb, la résidence dans un habitat ancien, la consommation d'eau du robinet et la consommation habituelle de produits laitiers, légumes aériens, crustacés, porc et charcuterie ;

- pour le cadmium : l'âge, le sexe, la consommation tabagique, la catégorie socioprofessionnelle actuelle et la consommation habituelle de légumes aériens.

Des informations plus détaillées sont présentées dans le rapport complet de l'étude [5]. Ces

mêmes facteurs ont été retrouvés en partie dans l'étude de Fierens qui a aussi étudié l'imprégnation par le plomb et le cadmium de populations belges résidant autour d'UIOM [11].

### Facteurs associés aux UIOM

Les niveaux de plomb et cadmium ne sont pas significativement plus élevés en zone exposée, sauf pour un site où les niveaux d'imprégnation de la population de la zone témoin étaient particulièrement faibles. L'exposition aux émissions de l'incinérateur par simple inhalation (chez les riverains non consommateurs de produits locaux) ne semblait pas avoir de répercussion sur les niveaux de plombémie ou de cadmiurie.

La consommation d'aliments produits sous les panaches d'incinérateurs n'influait pas la cadmiurie des résidents. En revanche, la consommation de viande (bœuf, veau ou agneau), d'abats et de produits laitiers augmentait la plombémie, de façon modérée, essentiellement en zone exposée, suggérant alors un possible rôle de l'incinérateur. Cependant, cette alimentation locale jouait un rôle moins important que les facteurs personnels.

## Conclusion

Cette étude a montré que le fait de résider longtemps à proximité d'un incinérateur d'ordures ménagères n'avait pas de répercussion sensible sur les niveaux de dioxines sériques, de plomb sanguin ou de cadmium urinaire. Il n'a pas été mis en évidence de surimprégnation due à l'exposition par inhalation aux dioxines, PCB, plomb et cadmium, des riverains des incinérateurs. Cependant, la consommation de produits locaux, tels que les produits laitiers, les œufs et les graisses animales avait pour effet d'augmenter l'imprégnation par les dioxines et par le plomb dans une moindre mesure. Cette observation, qui était plus marquée chez les agriculteurs, concernait en fait les riverains d'incinérateurs anciens et hors normes. La consommation de fruits et légumes provenant de zones exposées au panache d'UIOM n'influait pas l'imprégnation par les dioxines et les PCB.

Les facteurs personnels et la consommation alimentaire habituelle étaient les déterminants essentiels des imprégnations, qui par ailleurs restaient dans des valeurs habituelles pour la population générale et se situaient dans la moyenne européenne. Cette étude souligne le rôle important de la consommation des produits de la pêche sur l'imprégnation par les dioxines indépendamment des incinérateurs. Par ailleurs, elle fournit les premières données sur les niveaux de dioxines sériques dans la population française.

## Recommandations

Ces résultats ne conduisent pas à préconiser de nouvelles mesures de gestion car la réduction des émissions polluantes des incinérateurs et leur mise aux normes a déjà fait l'objet de mesures et des contrôles des produits animaux commerciaux élevés sous le panache des incinérateurs sont effectués par la Direction générale de l'alimentation. Il faut cependant inciter les gestionnaires locaux à rester vigilants (contrôles *ad hoc*,

conseils de non consommation le cas échéant) quant à la consommation des œufs de poules élevées sur des sols qui demeurent contaminés par une ancienne UIOM hors norme ; en particulier ces œufs, non commercialisés et destinés à la consommation personnelle et qui échappent aux contrôles officiels, peuvent contenir des niveaux de dioxines qui excèdent les valeurs seuils appliquées aux denrées alimentaires commercialisées. Le problème ne se pose pas pour le lait de vache, car l'herbe de repousse n'est plus contaminée après la mise aux normes ou l'arrêt des installations polluantes (*cf. données de contrôle*).

## Références

- [1] <http://www.ecologie.gouv.fr/L-evolution-des-emissions-de.html>
- [2] Inserm. Dioxines dans l'environnement – Quels risques pour la santé ? Expertise collective. Ed. Inserm, 2000. 406 p.
- [3] Afssa. Dioxines, furanes et PCB de type dioxine, évaluation de l'exposition de la population française. Rapport, Ed. Afssa, 2005.
- [4] InVS - Afssa. Incinérateurs et santé. Exposition aux dioxines de la population vivant à proximité des UIOM. Etat des connaissances et protocole d'une étude d'exposition. Ed. InVS, Novembre 2003, 198 p.
- [5] InVS - Afssa. Etude d'imprégnation par les dioxines des populations vivant à proximité d'usines d'incinération d'ordures ménagères. Rapport InVS-Afssa. [www.invs.sante.fr](http://www.invs.sante.fr)
- [6] Gonzalez CA, Kogevinas M., Gadea E., Pera G., Päpke O. Increase of dioxin blood levels over the last 4 years in the general population in Spain. *Epidemiology*. 2001; 12:365.
- [7] Evans RG, Shadel BN, Roberts DW, Clardy S, Jordan-Izaguirre D, Patterson DG, Needham L.L. Dioxin incinerator emission exposure study Times Beach. *Missouri. Chemosphere*. 2000; 40:1063-74.
- [8] Schuhmacher M, Domingo JL, Llobet JM, Lindstrom G, Wingfors H. Dioxin and dibenzofuran concentrations in adipose tissue of a general population from Tarragona, Spain. *Chemosphere*. 1999; 38(11):2475-87.
- [9] Deml E., Mangelsdorf I., Greim H. Chlorinated dibenzodioxins and dibenzofurans (PCDD/F) in blood and human milk of non-occupationally exposed persons living in the vicinity of a municipal waste incinerator. *Chemosphere*. 1996; 33:1941-50.
- [10] Chen HL, Su HJ, Lee CC. Patterns of serum PCDD/Fs affected by vegetarian regime and consumption of local foods for residents living near municipal waste incinerators from Taiwan. *Environ Research*. 2006; 32:650-55.
- [11] Fierens S, Mairesse H, Heilier JF, Focant JF, Eppe G, De PE *et al.* Impact of iron and steel industry and waste incinerators on human exposure to dioxins, PCBs, and heavy metals : results of a cross-sectional study in Belgium. *J Toxicol Environ Health.* 2007; 70(3-4):222-6.
- [12] Leblanc JC, Sirot V, Volatier JL, Bemrah-Aouachria N. Etude des consommations alimentaires de produits de la mer et imprégnation aux éléments traces, polluants et oméga3. Afssa, 2006, 160 p.
- [13] RNSP, Réseau national de santé publique – Inserm, Institut national de la santé et de la recherche médicale. (Huel G, Jouan M, Fréry N, Huet M.). Surveillance de la population française vis-à-vis du risque saturnin. Ed. Inserm, Déc 1997 ; 90 p
- [14] Inserm. Plomb dans l'environnement – Quels risques pour la santé ? Expertise collective. Ed. Inserm. 1999; 461 p.

# Études sanitaires menées autour de l'incinérateur de Gilly-sur-Isère, France

Marielle Schmitt (marielle.schmitt@sante.gouv.fr)

Cellule interrégionale d'épidémiologie Rhône-Alpes, Institut de veille sanitaire, Lyon, France

## Résumé / Abstract

L'usine d'incinération d'ordures ménagères de Gilly-sur-Isère a été fermée en octobre 2001 suite à des mesures de concentrations en dioxines très élevées à l'émission, alors que la population s'inquiétait du nombre de cancers autour de l'installation. Dans ce contexte, quatre études sanitaires ont été lancées en 2002 : une évaluation des risques sanitaires, une étude d'imprégnation en dioxines dans le lait maternel, une étude de mortalité par cancer et une étude d'incidence des cancers. Les résultats de ces études étaient cohérents et n'ont pas montré d'effet observable de l'incinérateur sur la santé de la population riveraine.

## Health studies conducted in the vicinity of a municipal solid waste incinerator, Gilly-sur-Isère, France

The municipal solid waste incinerator of Gilly-sur-Isère was closed in October 2001 after very high levels of dioxins had been measured. These measurements had been carried out because the population worried about the number of cancers around the plant. In this context, four health studies were launched in 2002: a health risk assessment, a study about dioxin concentration in breast milk, a cancer mortality study, and a cancer incidence study. The results of those studies were consistent. They showed no observable effect of the incinerator on the health of the local population.

## Mots clés / Key words

Usine d'incinération d'ordures ménagères, dioxines, cancers / Municipal solid waste incinerator, dioxins, cancers

## Introduction

L'usine d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) de Gilly-sur-Isère, située près d'Albertville en Savoie, a démarré en 1971. En 2001, des élus et un médecin de Grignon, le village le plus proche de l'incinérateur, ont interpellé les pouvoirs publics sur un nombre élevé de cancers dans la rue principale du village. Sous la pression, l'exploitant a fait réaliser des mesures de dioxines à l'émission. Les concentrations mesurées, très élevées, ont entraîné la fermeture de l'incinérateur en octobre 2001, puis l'abattage massif du bétail et le retrait des produits alimentaires et du foin contaminés par les dioxines. Ces mesures spectaculaires et très médiatisées ont renforcé les inquiétudes de la population.

Dans ce contexte de crise, et pour répondre aux questions de la population relatives aux effets de l'incinérateur sur sa santé, quatre études sanitaires ont été lancées en 2002 :

- une évaluation des risques sanitaires menée par le Centre Rhône-Alpes d'épidémiologie et de prévention sanitaire (Careps) ;
- une étude sur les concentrations en dioxines dans le lait maternel également menée par le Careps ;
- une étude sur la mortalité par cancer menée par le registre des cancers de l'Isère ;
- une étude sur l'incidence des cancers menée par la Cellule interrégionale d'épidémiologie (Cire) de Rhône-Alpes.

Les quatre études ont considéré une zone d'étude, exposée aux rejets de l'incinérateur, de 30 communes (48 000 habitants) déterminée par modélisation de la dispersion atmosphérique des émissions de l'UIOM (figure 1). Les 30 communes correspondaient à celles sur lesquelles les concentrations en dioxines modélisées dans l'air ambiant dépassaient, en un point au moins, 50 fg/m<sup>3</sup>, correspondant à la borne supérieure de l'étendue des concentrations couramment mesurées en milieu rural (20-50 fg/m<sup>3</sup>).

Les principaux résultats de ces quatre études sont présentés dans cet article.

## Évaluation des risques sanitaires [1,2]

### Objectifs

L'objectif était d'évaluer les risques sanitaires potentiels, associés aux émissions de l'UIOM, pendant son fonctionnement (risques passés) et après sa fermeture (risques résiduels).

### Méthode

La démarche d'évaluation des risques sanitaires (ERS) a été appliquée [3].

Lorsque l'UIOM était en fonctionnement (de 1971 à 2001), deux voies d'exposition ont été retenues : l'ingestion (de sols et d'aliments produits localement) et l'inhalation. Après sa fermeture, seule l'ingestion a été prise en compte. Les calculs ont été réalisés pour des adultes et des enfants, forts ou faibles autoconsommateurs (i.e. consommateurs d'aliments produits localement). Les concentrations d'exposition par inhalation ont été estimées à partir d'une modélisation de la dispersion atmosphérique des émissions de l'UIOM. Les doses d'exposition par ingestion ont été estimées, d'une part à l'aide de modélisations en partant des émissions de l'UIOM (modélisation de la dispersion atmosphérique puis des transferts des polluants dans l'environnement) et, d'autre part, à partir de mesures réalisées dans l'environnement (mesures de dioxines dans les aliments réalisées au moment de la fermeture de l'incinérateur et mesures de métaux lourds dans les sols réalisées en 2004).

### Résultats

Les polluants retenus pour l'évaluation des risques étaient les suivants :

- pour l'inhalation : poussières, dioxyde d'azote, dioxyde de soufre, monoxyde de carbone, acide chlorhydrique, arsenic, cadmium, chrome, manganèse, mercure, nickel et plomb ;
- pour l'ingestion : arsenic, cadmium, manganèse, nickel, plomb et dioxines.

Pendant le fonctionnement de l'incinérateur, les calculs ont conduit à estimer que les émissions de cadmium, plomb et dioxines pouvaient potentiellement générer des risques sanitaires :

- de 1971 à 1985 (un four, dépoussiérage par cyclone), les concentrations en cadmium dans l'air attribuables à l'installation (modélisées) dépassaient la valeur guide (5 ng/m<sup>3</sup>) de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) sur une zone de 4 km<sup>2</sup> autour de l'UIOM ;

- sur la même période, les apports en plomb par ingestion attribuables à l'installation étaient supérieurs à la dose tolérable de l'OMS (3,5 µg par kg de poids corporel et par jour) pour les enfants vivant à proximité immédiate de l'UIOM et consommant beaucoup d'aliments produits localement ;

- de 1985 à 2001 (deux fours, dépoussiérage par électrofiltre), les apports en dioxines par ingestion attribuables à l'installation étaient supérieurs à la dose tolérable recommandée par l'OMS (2,3 pg TEQ par kg de poids corporel et par jour) à proximité immédiate de l'incinérateur pour les faibles autoconsommateurs et sur toute la zone d'étude pour les forts autoconsommateurs.

Après fermeture de l'incinérateur, les calculs ont permis d'estimer que la contamination résiduelle de l'environnement associée aux rejets de l'ancien incinérateur n'était pas susceptible de générer des risques sanitaires.

## Discussion

Les principaux facteurs d'incertitude de l'ERS concernaient :

- les niveaux d'émissions de l'incinérateur lors de son fonctionnement, notamment pour les dioxines avec seulement deux mesures à l'émission sur la dernière année de fonctionnement, très différentes l'une de l'autre ;
- les facteurs de transfert des polluants des sols et de l'air vers les végétaux et les animaux.

Cependant, pour les dioxines, l'estimation des risques a également été réalisée à partir des mesures réalisées au moment de la fermeture de l'incinérateur par la Direction des services vétérinaires dans le lait, le fromage, les œufs, la viande et les légumes.

Figure 1 Zone d'étude / Figure 1 Study area



## Dioxines dans le lait maternel [4]

### Objectif

L'objectif était d'estimer si l'imprégnation par les dioxines des mères allaitantes résidant sur la zone d'étude était supérieure ou non à l'imprégnation des mères allaitantes incluses dans l'étude nationale réalisée en 1998-1999 [5].

### Méthode

La méthodologie de l'étude nationale a été appliquée afin de pouvoir comparer les résultats : inclusion de mères primipares de moins de 35 ans souhaitant allaiter plus d'un mois, recueil des échantillons de lait entre la 4<sup>e</sup> et la 8<sup>e</sup> semaine après l'accouchement, dosage des 17 dioxines et furanes les plus toxiques, recueil de données indi-

viduelles par questionnaire (âge, taille, poids, tabagisme, habitudes alimentaires, historique des lieux de résidence, durée de la grossesse, taille, poids et état de santé de l'enfant à la naissance). Les mères ont été recrutées par la maternité d'Albertville et devaient avoir habité au moins cinq ans dans la zone d'étude au cours des 20 dernières années.

L'analyse a consisté à comparer l'imprégnation moyenne obtenue à celle de l'étude nationale, tester la corrélation entre l'imprégnation et les facteurs de confusion potentiels (identifiés dans l'étude nationale), tester la corrélation entre l'imprégnation et les facteurs d'exposition en ajustant sur les facteurs de confusion.

### Résultats

Entre mars 2003 et mars 2006, 93 mères répondant aux critères d'inclusion ont été sollicitées mais seulement 48 (52 %) ont pu participer à l'étude, les autres ayant arrêté d'allaiter trop tôt. La concentration moyenne en dioxines et furanes dans le lait maternel des 48 participantes, égale à 11,4 pg TEQ<sub>OMS</sub>/g MG, était inférieure, de manière statistiquement significative, à la concentration moyenne égale à 19,6 pg TEQ<sub>OMS</sub>/g MG obtenue chez les 244 mères incluses dans l'étude nationale.

Les facteurs influençant le niveau d'imprégnation étaient : l'âge, le tabagisme, le taux de matière grasse du lait, la consommation de lait et de produits laitiers et, pour quelques congénères uniquement, la consommation de porc, jambon, volaille et œufs.

La durée de résidence sur la zone d'étude variait de 6 à 32 ans (75 % y avait habité plus de 20 ans) ; elle n'était pas associée à l'imprégnation. La plus faible imprégnation des mères participantes ne pouvait pas être expliquée par leurs caractéristiques individuelles (âge, tabagisme, taux de matière grasse du lait), proches de celles des mères incluses dans l'étude nationale (tableau 1). Les habitudes alimentaires étaient également très similaires, les quelques spécificités (consommation de fromage inférieure mais plus souvent produit localement, consommation de charcuterie supérieure et plus souvent auto-produite) ne pouvant pas expliquer la différence d'imprégnation observée.

Cette étude ne montrait donc pas d'influence de l'incinérateur sur la concentration en dioxines dans le lait maternel des mères vivant à proximité.

Tableau 1 Comparaison des caractéristiques individuelles et des habitudes alimentaires des 48 mères participantes à l'étude avec les 244 mères incluses dans l'étude nationale / Table 1 Comparison of individual characteristics and eating habits of 48 mothers participating in the study with the 244 mothers included in the national study

		Moyennes étude locale (n=48)	Moyennes étude nationale (n=244)	Test de comparaison
Caractéristiques individuelles	Âge moyen	27 ans	27 ans	NS*
	% de fumeuses ou anciennes fumeuses	44 %	42 %	NS
	Indice de masse corporel moyen (poids en kg / taille en m au carré)	22,1	22,4	NS
	% de matière grasse dans le lait	3,6 %	3,0 %	NS
Habitudes alimentaires (quantités consommées avant la grossesse en g/j)	Produits de la pêche	22	23	NS
	Viande (bœuf, porc, volaille)	85	82	NS
	Charcuterie	23	12	p<0,05
	Œufs	26	21	NS
	Lait	235	210	NS
	Laitages	146	143	NS
	Fromages	24	30	p<0,05

\*NS = non significatif.

## Discussion

La probable diminution générale de l'imprégnation par les dioxines de la population française entre 1998-1999 et 2003-2006 pouvait sans doute expliquer, en partie, la différence observée entre les mères participant à l'étude et celles incluses dans l'étude nationale.

## Mortalité par cancer [6]

### Objectif

L'objectif était d'étudier s'il existait ou non une surmortalité par cancer dans la zone d'étude.

### Méthode

Les données de mortalité ont été fournies par le Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès (Cépi-DC) par cause, sexe, classe d'âge de 5 ans, année et commune de décès.

Les localisations cancéreuses retenues étaient :  
 - tous cancers, lymphomes malins non hodgkiniens (LMNH), leucémies (cancers les plus souvent associés aux incinérateurs ou aux dioxines dans les études) ;  
 - foie, poumon, larynx (associés aux incinérateurs dans quelques études) ;  
 - vessie, lèvre-bouche-pharynx (LBP) (localisations témoins présentant des facteurs de risques communs, tabac et/ou alcool, avec les cancers bronchiques et du larynx).

Deux périodes d'étude ont été retenues, 1968-1982 et 1983-1999, pouvant approximativement être considérées comme un « avant » et un « après » effet potentiel de l'UIOM, en tenant compte de l'année de démarrage de l'incinérateur (1971), du temps de latence des cancers et de la durée de survie.

La mortalité par cancer sur la zone d'étude a été comparée à celle sur le reste du département de la Savoie par la méthode de standardisation indirecte : calcul de ratios standardisés de mortalité (SMR).

D'autre part, l'homogénéité ou non de la répartition des décès par cancer sur le département de la Savoie sur la période 1983-1999 a été testée (tests d'hétérogénéité et d'autocorrélation spatiale appliqués à l'échelon cantonal) et les éventuels agrégats de surmortalité ont été recherchés par fenêtrage spatial systématique du département.

## Résultats

Sur la période 1983-1999, une surmortalité significative tous cancers chez les hommes était trouvée sur la zone d'étude par rapport au reste du département (SMR=1,1), majoritairement attribuable à des surmortalités significatives pour les cancers bronchiques (SMR=1,16), le larynx (SMR=1,57) et la vessie (SMR=1,38). Pour le poumon et le larynx, des excès non significatifs étaient déjà observés sur la période 1968-1983. Pour les cancers les plus souvent associés aux incinérateurs ou aux dioxines (LMNH et leucémies), il n'existait pas d'excès de mortalité, quelle que soit la période.

Sur la période 1983-1999, des agrégats de surmortalité étaient mis en évidence sur le département de la Savoie pour les cancers bronchiques et du larynx chez les hommes mais ces agrégats ne concernaient pas uniquement les cantons appartenant à la zone exposée à l'incinérateur (figure 2). Sur la période 1968-1983, il était déjà observé des zones de dominante de surmortalité au centre du département pour les cancers bronchiques et à l'Est pour les cancers du larynx.

Ainsi, les surmortalités observées n'apparaissent pas, géographiquement et temporellement,

en lien avec l'exposition aux rejets de l'incinérateur.

## Incidence des cancers [7]

### Objectif

L'objectif était d'étudier s'il existait ou non un excès de cancers dans la zone d'étude.

### Méthode

Les cancers survenus entre 1994 et 2002 dans la zone d'étude ont été recensés de la manière la plus exhaustive possible afin de comparer les incidences observées à celles établies par les registres des cancers français par le calcul de ratios standardisés d'incidence (SIR) pour tous cancers et chaque localisation cancéreuse.

Le recueil des données médicales a été réalisé auprès de multiples sources d'information : laboratoires d'anatomo-cyto-pathologie et d'hématologie, départements d'information médicale et services spécialisés des hôpitaux et cliniques, caisses primaires d'assurance maladie, médecins libéraux, registres des cancers spécialisés. Des données administratives ont également été recueillies auprès des bureaux des entrées des

établissements de soin et de la Caisse nationale d'assurance maladie des travailleurs salariés. La majorité des cancers identifiés via ces sources d'information ont dû être validés par consultation du dossier médical. D'importants moyens ont été déployés pour le recueil et la validation des données : 2,5 équivalents temps plein pendant 3 ans [8].

## Résultats

Un total de 2 055 cas de cancers a été recensé. Les indicateurs d'exhaustivité et de validité calculés [9] montraient que la qualité du recensement s'apparentait à celle des registres. Les taux d'incidence des cancers sur la zone d'étude entre 1994 et 2001 ont pu être comparés aux taux d'incidence moyens sur sept départements couverts par un registre général des cancers et disposant de données jusqu'en 2001.

Il n'était pas observé d'excès de cas significatif ni pour l'ensemble des cancers, ni pour les localisations les plus souvent associées aux incinérateurs ou aux dioxines : LMNH, sarcomes des tissus mous (STM), leucémies aiguës chez l'adulte

Figure 2 Agrégats de surmortalité pour les cancers du poumon et du larynx chez les hommes sur la période 1983-1999 en Savoie, France / Figure 2 Clusters of excess mortality for lung and larynx cancers in men over the period 1983-1999 in Savoie, France

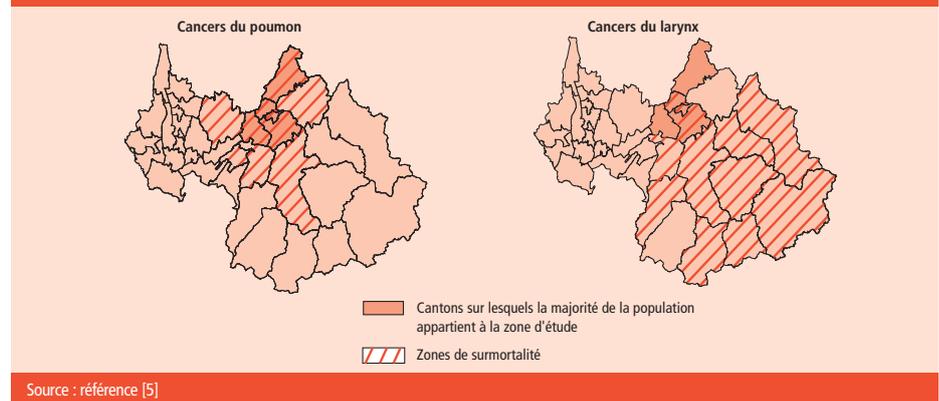


Tableau 2 Ratios standardisés d'incidence 1994-2001 / Table 2 Standardized incidence ratios 1994-2001

Localisation	Hommes				Femmes			
	NO <sup>1</sup>	NA <sup>2</sup>	SIR	p	NO	NA	SIR	p
LBP-Larynx	112	99,4	1,13	0,23	9	15,8	0,57	0,11
Œsophage	30	27,5	1,09	0,7	3	4,4	0,68	0,75
Estomac	33	34,2	0,96	0,9	14	19,6	0,71	0,25
Côlon-Rectum	108	133,1	0,81	<b>0,03</b>	80	108,3	0,74	<b>0,007</b>
Foie	31	29,3	1,06	0,82	9	6,8	1,32	0,5
Pancréas	27	19,2	1,41	0,1	16	16,5	0,97	0,99
Poumon	166	154	1,08	0,35	21	28,4	0,74	0,2
Mésotéliome de la plèvre	7	3,4	2,05	0,12	0	0,6	0	1
Mélanome de la peau	34	20,8	1,64	<b>0,005</b>	42	25,6	1,64	<b>0,002</b>
Sein	-	-	-	-	287	256,3	1,12	0,06
Col de l'utérus	-	-	-	-	16	23,4	0,68	0,16
Corps de l'utérus	-	-	-	-	39	38,1	1,02	0,95
Ovaire	-	-	-	-	36	31,4	1,15	0,47
Prostate	195	222,2	0,88	0,07	-	-	-	-
Vessie	47	55,2	0,85	0,3	13	12,1	1,08	0,9
Rein	46	34,2	1,34	<b>0,05</b>	27	18,5	1,46	0,06
Système nerveux central <sup>3</sup>	29	26,6	1,09	0,71	25	28,2	0,89	0,61
Thyroïde	9	6,2	1,44	0,36	21	19,4	1,08	0,81
LMNH	29	32,2	0,9	0,64	21	26,8	0,78	0,31
Maladie de Hodgkin	8	5,5	1,45	0,39	6	4,1	1,46	0,47
MMMH	7	13,8	0,51	0,09	14	12	1,17	0,66
Toutes leucémies	34	27,9	1,22	0,29	24	20,6	1,16	0,53
<b>Leucémies aiguës chez l'adulte</b>	8	9,1	0,88	0,9	8	7,7	1,03	0,98
<b>STM</b>	6	5,4	1,1	0,92	0	4,3	0	-
Tous cancers	1 033	1 008	1,02	0,44	779	757,9	1,03	0,45

<sup>1</sup> NO : nombre de cas observés

<sup>2</sup> NA : nombre de cas attendus

<sup>3</sup> Référence : Registre des cancers de l'Isère

En gras : Localisations les plus souvent associées aux incinérateurs ou aux dioxines ; p < 0,05.

(correspondant majoritairement à des leucémies myéloïdes aiguës) (tableau 2). Ce résultat n'étayait pas l'hypothèse d'un effet de l'incinérateur sur l'incidence des cancers dans cette zone. L'analyse des données sur une sous-zone plus exposée renforçait cette conclusion.

## Discussion - Conclusion

Globalement, les résultats des quatre études locales étaient cohérents. Elles n'ont pas montré d'effet observable de l'incinérateur sur la santé de la population résidant sur la zone d'étude, malgré la contamination avérée en 2001 de productions alimentaires locales (lait, fromages, œufs, viande) par les dioxines, ayant nécessité la fermeture de l'incinérateur. Compte-tenu des résultats des études sanitaires, il n'était pas justifié d'entreprendre de nouvelles études, ni de recommander aux autorités la mise en œuvre de mesures complémentaires de réduction des expositions de la population ou de suivi sanitaire des personnes exposées.

Les résultats des études locales étaient également cohérents avec ceux de l'étude nationale sur l'imprégnation par les dioxines menée autour de huit incinérateurs en France, qui donnaient une imprégnation moyenne pour la population exposée à l'incinérateur de Gilly-sur-Isère inférieure à celles obtenues pour les populations exposées aux cinq autres incinérateurs anciens et du même niveau que celles obtenues pour les deux incinérateurs récents.

En revanche, l'absence d'excès significatif de cancers sur la zone exposée à l'incinérateur de Gilly-sur-Isère pouvait sembler contradictoire avec les résultats de l'étude nationale d'incidence des cancers autour des UIOM, laquelle montrait un excès significatif de certains cancers dans les populations exposées dans les années 1970-1980 aux panaches de 16 incinérateurs. En fait, plusieurs interprétations sont possibles :

- il n'y avait pas d'effet perceptible à Gilly-sur-Isère ; ceci pourrait être le fait d'une particularité de l'incinérateur (on ne peut pas exclure totalement, en effet, l'existence de différences entre les incinérateurs) ou lié à d'autres facteurs locaux ;
- l'étude nationale disposait d'une puissance statistique plus grande, laquelle a permis de mettre en évidence des excès de risque avec une significativité que ne pouvait atteindre l'étude locale.

Une restitution publique des résultats des études locales et nationales (journée porte-ouverte avec présentation de posters sur les études) a été organisée à Albertville le 2 décembre 2006. Elle a été l'occasion pour les personnes intéressées :

- de s'informer directement auprès des personnes ayant réalisé les études ;
- de poser leurs questions afin que des éléments de réponse adaptés à leurs niveaux de préoccupation puissent leur être apportés.

## Références

- [1] Rouhan A. Évaluation quantitative des risques sanitaires liés aux émissions atmosphériques de l'usine d'incinération de l'usine d'incinération d'ordures ménagères à Gilly-sur-Isère en Savoie (73). Rapport du Careps n° 385-2 réalisé pour la préfecture de Savoie. Mai 2004.
- [2] Rouhan A. Évaluation quantitative des risques sanitaires autour de l'usine d'incinération d'ordures ménagères de Gilly-sur-Isère en Savoie (73), à partir de mesures environnementales. Rapport du Careps n° 385-3 réalisé pour la préfecture de Savoie. Mars 2005.
- [3] Ineris. Évaluation des risques sanitaires dans les études d'impact des installations classées. Guide méthodologique. 2003
- [4] Hedreville L. Étude d'imprégnation en dioxines et furanes du lait maternel chez des mères allaitantes résidant autour de l'usine d'incinération d'ordures ménagères de Gilly-sur-Isère (73). Rapport du Careps n° 375 réalisé pour la Ddass de la Savoie. Septembre 2006.
- [5] Fréry N, Deloraine A. Étude sur les dioxines et les furanes dans le lait maternel en France. InVS, Careps, Ademe. Mai 2000.
- [6] Colonna M. Répartition spatio-temporelle des cas de cancers dans la région de Gilly-sur-Isère (Savoie). Analyse de la mortalité. Registre des cancers de l'Isère. Février 2004.
- [7] Thabuis A, Schmitt M. Usine d'incinération d'ordures ménagères de Gilly-sur-Isère (Savoie) : étude rétrospective d'incidence des cancers. Cire Rhône-Alpes. Novembre 2006.
- [8] Thabuis A, Schmitt M, Mégas F, Fabres B. Recensement rétrospectif des cas de cancers de 1994 à 2002 autour de l'usine d'incinération d'ordures ménagères de Gilly-sur-Isère. Rev Epidemiol Santé Publique. 2007; 55:426-32.
- [9] Parkin DM, Chen VW, Ferlay J, Galceran J, Stm JJ, Whelan SL. Comparability and quality control in cancer registration. Lyon : IARC; 1994 (Technical Report 19).

# Dioxines émises par l'usine d'incinération d'ordures ménagères de Besançon et risque de cancers : une approche éco-épidémiologique en France

Jean-François Viel (jean-francois.viel@univ-fcomte.fr), Nathalie Floret

UMR CNRS n° 6249 « Chrono-environnement », Faculté de médecine, Besançon, France

## Résumé / Abstract

Des incertitudes demeurent quand au risque que représente une exposition environnementale aux dioxines pour la population générale. Notre équipe a donc conduit un programme de recherche autour de l'usine d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) de Besançon, ayant émis des concentrations élevées de dioxines.

Dans une première étude menée de 1998 à 1999, un agrégat spatial très significatif et identique (contenant l'UIOM) a été identifié pour les lymphomes non hodgkiniens (LNH) et les sarcomes des tissus mous (STM), diagnostiqués entre 1980 et 1995. Les ratios standardisés d'incidence étaient respectivement de 1,27 ( $p < 10^{-4}$ ) et 1,44 ( $p < 0,01$ ).

La deuxième étape a comporté deux enquêtes cas-témoins (menées de 2000 à 2002), comparant les cas incidents de LNH et STM à des témoins tirés au sort à partir du recensement de la population. L'exposition aux dioxines était dérivée d'un modèle gaussien de diffusion atmosphérique de première génération. Le risque de développer un LNH s'est révélé 2,3 fois plus élevé pour les individus résidant dans la zone la plus exposée aux retombées de dioxines (intervalle de confiance 95 % 1,4-3,8), tandis qu'aucun risque significatif n'était mis en évidence pour les STM.

Le troisième volet (2002-2004) a porté sur la validation de l'exposition par la mesure de dioxines dans le sol. Une relation croissante entre les quatre classes d'exposition modélisée à partir de la diffusion atmosphérique et les concentrations de dioxines est retrouvée, mais uniquement en topographie simple (au Nord-Est de l'UIOM).

## *Dioxins emitted from the municipal solid waste incinerator of Besançon and risk for cancers: an eco-epidemiological approach in France*

*It is not clear whether environmental doses of dioxin affect the general population. Our team has therefore conducted a research program around a municipal solid waste incinerator (MSWI) with high emission levels of dioxin (Besançon, France).*

*In a first study conducted in 1998-1999, a highly significant and identical cluster (containing the MSWI) was found for non-Hodgkin's lymphomas (NHL) and soft-tissue sarcomas (STS), diagnosed between 1980 and 1995. Standardized incidence ratios were 1.27 ( $p$  value  $< 10^{-4}$ ), 1.44 ( $p$  value  $< 0.01$ ), respectively.*

*The second step consisted of two case-control studies (carried out in 2000-2002), comparing incident cases of NHL and STS to controls randomly selected from the population census. Dioxin exposure was derived from a first generation Gaussian-type atmospheric dispersion model. The risk of developing NHL revealed 2.3 times higher (95% confidence interval 1.4-3.8) among individuals living in the area with the highest dioxin concentration, while no significant risk was highlighted for STS.*

*In the third step (2002-2004), exposure was assessed through dioxin measurements from soil samples. In simple terrain (i.e. northeast of the MSWI), an upward trend is highlighted for measured dioxin soil concentrations across geographic-based exposure categories.*

Bien que les UIOM ne soient pas considérées comme une source importante d'exposition aux dioxines, la cohérence des différents résultats renforce l'hypothèse d'une association entre l'exposition environnementale à la dioxine et la survenue de LNH dans les populations ayant résidé à proximité d'une UIOM.

*Although emissions from incinerators are usually not regarded as an important source of exposure to dioxins, the consistency of these findings support the hypothesis of an association between environmental dioxins and the risk for NHL among the population having lived in the vicinity of a MSWI.*

## Mots clés / Key words

Incinérateur d'ordures ménagères, exposition environnementale, étude éco-épidémiologique, cancer, dioxines / Municipal solid waste incinerator, environmental exposure, eco-epidemiological study, cancer, dioxins

## Introduction

Des incertitudes demeurent quand au risque que représente une exposition environnementale aux dioxines pour la population générale. Une des principales sources de rejets de dioxines dans l'environnement étant constituée de la combustion et de l'incinération, notre équipe a engagé dès la fin des années 1990 un programme de recherche multi-étape et transdisciplinaire autour de l'usine d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) de Besançon.

Cette dernière est située à 4 km au sud-ouest du centre ville. Les fours n° 1 et 2, chacun d'une capacité de deux tonnes/heure, ont été mis en service en 1971, puis l'installation a été complétée par l'ouverture en 1976 d'un troisième four, d'une capacité de 3 tonnes/heure. En 1998, le volume traité par l'UIOM était environ 67 000 tonnes de déchets. Le four n° 1, le plus polluant, a été définitivement fermé le 31 décembre 1998. Un four n° 4 a été construit, en remplacement du four n° 2 et a commencé à fonctionner fin 2003. En 1998, un rapport du ministère de l'Environnement révélait que parmi les 71 UIOM françaises d'une capacité de traitement supérieure à six tonnes par heure, 15 émettaient en 1997 un taux de dioxines supérieur à 10 ng équivalents toxiques internationaux (I-TEQ)/m<sup>3</sup> de fumée rejetée. Parmi ces 15, l'UIOM de Besançon présentait une concentration de 16 ng I-TEQ/m<sup>3</sup>, valeur nettement supérieure au seuil de 0,1 ng I-TEQ/m<sup>3</sup> fixé par une circulaire européenne du 16 décembre 1994 [1]. Outre un taux élevé de dioxines, cet UIOM se caractérisait aussi en 1997 par des rejets de poussières, d'acide chlorhydrique, et un temps de chauffage supérieur à 850°, ne respectant pas les normes réglementaires.

## Première étape : détection d'agrégat

L'approche éco-épidémiologique a débuté par une étude qualifiée de « macro-spatiale » (menée de 1998 à 1999), à la recherche d'un accroissement du risque de lymphome non hodgkinien (LNH) et de sarcome des tissus mous (STM), sous la forme d'un agrégat spatial (*cluster*) à proximité de l'UIOM de Besançon [2]. Le choix de ces localisations cancéreuses (LNH, classification internationale des maladies pour l'oncologie CIM-O-2, codes morphologie 9590/3–9595/3, 9670/3–9723/3, et 9761/3 ; STM, code topologie C49 et code morphologie 8800/3) était guidé par la littérature.

## Population et méthodes

L'étude a porté sur les cas incidents enregistrés de façon prospective par le registre des tumeurs du Doubs, diagnostiqués entre 1980 à 1995 et

résidant dans le département du Doubs. Une technique statistique de balayage spatio-temporel (SaTScan), a été appliquée. Pour chacune des unités spatiales (dans cette étude, les 26 cantons du Doubs), des cercles concentriques de rayon croissant sont définis, et une statistique du maximum de vraisemblance calculée. Le cercle correspondant à la statistique la plus élevée (incluant une ou plusieurs unités spatiales) constitue l'agrégat spatial le plus vraisemblable, dont la signification est testée par un rapport de vraisemblance. Des variantes permettent de concentrer l'analyse sur un point source de pollution potentiel, ou d'intégrer une dimension temporelle. Il faut garder à l'esprit que le contour des agrégats mis en évidence n'est qu'indicatif, puisque fortement contraint par la forme circulaire de la fenêtre de balayage.

## Résultats

L'analyse a mis en évidence un agrégat spatial autour de l'UIOM, incluant les cantons de Besançon (114 000 habitants) et d'Audeux (contigu à l'ouest, 29 000 habitants) à la fois pour les LNH (286 cas observés, SIR = 1,27, p = 0,00003) et pour les STM (45 cas observés, SIR = 1,44, p = 0,004). Les résultats étaient similaires pour les hommes et les femmes étudiés séparément. Une dimension temporelle significative était aussi retrouvée pour cet agrégat spatial (1991-1994 pour les LNH et 1994-1995 pour les STM).

## Conclusions

Les résultats similaires chez les hommes et les femmes sont plutôt en faveur d'une exposition environnementale que professionnelle (des résultats significatifs chez les seuls hommes auraient plutôt favorisé cette dernière hypothèse). Enfin,

Figure 1. Modélisation des retombées atmosphériques de dioxines et localisation des prélèvements de sol, autour de l'usine d'incinération d'ordures ménagères de Besançon, France / Figure 1. Modelled ground-level dioxin concentrations and soil sample locations around the municipal solid waste incinerator of Besançon, France



Tableau 1 Exposition aux dioxines et risque de lymphome non hodgkinien (1980-1995, Besançon, France) / Table 1 Dioxin exposure and risk for non-Hodgkin's lymphoma (1980-1995, Besançon, France)

Exposition aux dioxines	Cas de LNH	Témoins	OR [IC 95 %]
Très faible	42	441	1
Faible	91	952	1,0 [0,7 - 1,5]
Intermédiaire	58	681	0,9 [0,6 - 1,4]
Élevée	31	146	2,3 [1,4 - 3,8]

\* Intervalles de confiance à 95 %

Tableau 2 Exposition aux dioxines et risque de sarcome des tissus mous (1980-1995, Besançon, France) / Table 2 Dioxin exposure and risk for soft tissue sarcoma (1980-1995, Besançon, France)

Exposition aux dioxines	Cas de STM	Témoins	OR [IC 95 %]
Très faible	5	61	1
Faible	15	156	1,2 [0,4 - 3,4]
Intermédiaire	15	126	1,4 [0,5 - 4,1]
Élevée	2	27	0,9 [0,2 - 5,1]

\* Intervalles de confiance à 95 %

la dimension temporelle significative sur la fin de la période d'étude est compatible avec un délai de latence entre exposition et survenue du cancer. Elle doit cependant être tempérée, car l'augmentation de l'incidence des STM et LNH est un phénomène observé dans l'ensemble des pays occidentaux. Le niveau socio-économique, une exposition importante aux pesticides (facteur de risque connu), ou l'urbanisation ne semblent pas en mesure d'expliquer ces résultats.

Les résultats de ce premier travail macro-spatial ont donc conduit à une nouvelle hypothèse : outre la source de contamination alimentaire bien documentée pour la population générale, n'y aurait-il pas un risque pour la population résidant à proximité d'une usine d'incinération via une exposition aérienne directe (par inhalation ou contact cutané) ou indirecte (par la consommation de denrées alimentaires produites localement) ?

## Deuxième étape : études cas-témoins de type mixte (individuel/écologique)

L'objectif de cette deuxième phase, qualifiée de « micro-spatiale » et menée de 2000 à 2002, était de comparer la répartition des lieux de résidence des patients atteints de LNH ou STM et de témoins de population, en fonction des rejets aériens de dioxines émis par l'UIOM bisontine [3,4].

## Population et méthodes

L'étude a porté sur la seule ville de Besançon dont les données de recensement nécessaires pour tirer au sort les témoins présentaient le degré de précision requis (à l'îlot, contenant en moyenne à Besançon 161 habitants).

La mairie de Besançon a mis à disposition un modèle de diffusion atmosphérique gaussien de première génération (APC3), établi en 1999 pour prédire les retombées du futur four n° 4. Prenant en compte la topographie de la zone, la météorologie du site (rose des vents de 1993 à 1997) et les caractéristiques de l'incinérateur (hauteur et géométrie de la cheminée, flux et concentration de polluants), cette modélisation des retombées de dioxines au sol, avec un aspect en « ailes de libellule », montre clairement que l'exposition aérienne aux dioxines n'est, ni identique en tout endroit de l'agglomération bisontine, ni concen-

trique (figure 1). Quatre zones d'exposition croissante ont ainsi été définies.

Tous les cas de LNH et STM enregistrés de manière prospective et exhaustive sur la période 1980-1995 par le registre des tumeurs du Doubs, et résidant au moment de leur diagnostic dans la commune de Besançon, ont été inclus. Pour chaque cas, 10 témoins, de même sexe et d'âge similaire, ont été tirés au sort anonymement à partir du recensement de population 1990 (base îlot 15 de l'Insee). La possibilité (certes rare) qu'un « témoin » se révèle être un cas, existe mais conduirait à une erreur de classification non différentielle.

Sur la période étudiée, 225 cas de LNH ont été diagnostiqués, et pour 222 d'entre eux, l'adresse a été retrouvée. Les 37 cas incidents de STM ont pu tous être géo-référencés. Un système d'information géographique a ensuite permis d'attribuer, aux cas et aux témoins, un niveau d'exposition à la dioxine en fonction de leur lieu de résidence.

## Résultats pour le LNH

Le risque de développer un LNH est 2,3 fois plus élevé pour les individus résidant dans la zone la plus exposée aux retombées de dioxines que pour ceux habitant la zone la moins exposée (intervalle de confiance [IC 95 % : 1,4-3,8] (tableau 1), alors qu'aucun risque n'est mis en évidence pour les deux zones d'exposition intermédiaire [3]. La prise en compte de différentes variables socio-économiques (disponibles au niveau de l'Iris : pourcentages d'ouvriers, de chômeurs, de femmes dans la population active, de familles mono-parentales, de propriétaires, etc.) dans des analyses multi-niveau ne modifiait pas les résultats.

## Résultats pour les STM

Les individus résidant dans les zones les plus exposées aux dioxines n'ont pas plus de risque de développer un STM que ceux résidant dans la zone la moins exposée (odds ratios [OR] tous non statistiquement différents de 1) (tableau 2) [4].

## Conclusions

Cette deuxième étape a permis de préciser que l'excès de cas de LNH observé au niveau des cantons de Besançon et Audeux (par rapport à l'ensemble du département du Doubs) est préfé-

rentiellement localisé dans la zone géographique la plus exposée aux retombées du panache de l'UIOM.

Par contre, l'absence de lien entre survenue de STM et exposition aux dioxines signifie que l'excès de cas (bien réel) observé dans l'étude macro-spatiale est spatialement homogène sur la zone d'étude, indépendamment des retombées de dioxines émises par l'UIOM de Besançon. Mais la rareté de la pathologie étudiée entraîne une certaine imprécision des estimateurs. Avant de conclure plus fermement à l'absence d'hétérogénéité spatiale en fonction des rejets d'une UIOM, une étude multicentrique tirant parti des données recueillies par d'autres registres apparaissait nécessaire.

## Troisième étape : validation de l'exposition aux dioxines

Une des limites des études cas-témoins mixtes est représentée par le modèle de diffusion atmosphérique lui-même, bien qu'il tienne compte de nombreux paramètres. Sa validation (par des dosages de dioxines dans les sols) n'avait pu être menée avant son utilisation dans les études cas-témoins, faute de moyens. La pertinence des quatre classes d'exposition et l'existence d'un seul point source de dioxines (l'UIOM) restaient donc à confirmer, ce qui a été fait par deux études menées de 2002 à 2004.

## Matériel et méthodes

Soixante-quinze prélèvements de sols ont été effectués en juillet 2002, selon un plan d'échantillonnage prenant en compte les caractéristiques géologiques et topographiques de la zone considérée, ainsi que le modèle de diffusion atmosphérique (figure 1) [5]. La concentration en dioxines, le pH, la concentration en carbone organique, la capacité d'échange cationique, et les caractéristiques du sols ont été déterminés pour chaque échantillon.

## Résultats

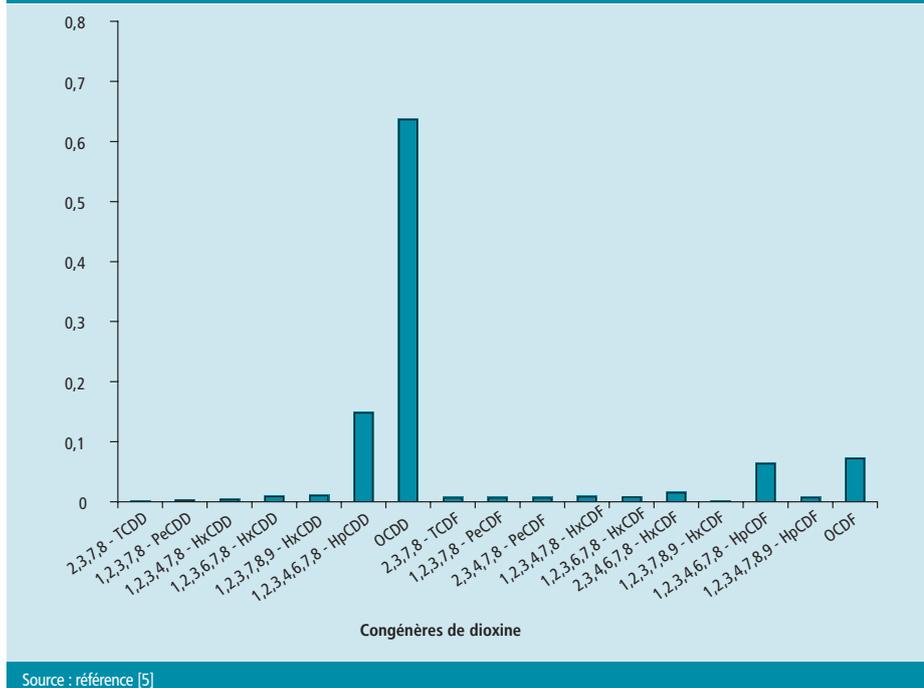
Les concentrations en dioxines sont comprises entre 0,25 et 28,06 pg I-TEQ/g de matière sèche. Une interaction inattendue entre les concentrations en dioxines et la topographie est mise en évidence (tableau 3). La topographie se révèle en effet assez contrastée à Besançon, simple (pentes modérées et régulières) au nord-est et complexe (pentes plus tourmentées) au sud-ouest de l'UIOM.

On note une relation croissante entre les quatre classes d'exposition modélisée à partir de la diffusion atmosphérique et la concentration dans les sols, en topographie simple. En revanche, en topographie complexe, cette relation n'est pas observée, le modèle de diffusion atmosphérique surestimant les concentrations, particulièrement dans la zone considérée comme la plus exposée. Ces résultats sont confirmés par des modèles

Tableau 3 Moyennes (écart-types) des concentrations de dioxines dans le sol (I-TEQ/g matière sèche) par catégories d'exposition et de complexité topographique / Table 3 Mean (standard deviations) dioxin soil concentrations (I-TEQ/g dry matter) per exposure and topography complexity categories

Topographie	Classes d'exposition définies par le modèle de diffusion			
	Très faible	Faible	Intermédiaire	Élevée
Simple (Nord-Est)	1,81 (1,14)	1,99 (1,37)	3,53 (2,30)	11,25 (12,39)
Complexe (Sud-Ouest)	1,09 (1,76)	2,44 (3,53)	1,91 (1,12)	1,37 (0,21)

Figure 2 Profil moyen des 17 congénères de dioxine (%) considérés comme toxiques, mesurés dans 75 échantillons de sols prélevés autour de l'usine d'incinération des ordures ménagères de Besançon, France (2002) / Figure 2 Average dioxin profiles (17 toxic congeners) (%) in 75 soil samples collected in the vicinity of the municipal solid waste incinerator of Besançon, France (2002)



Source : référence [5]

multivariés, intégrant la concentration en carbone organique et l'altitude.

La pertinence des quatre classes d'exposition est donc validée uniquement au nord-est de l'UIOM. Il se trouve que l'enquête cas-témoins sur les LNH portait très majoritairement sur cette zone (90 % des cas et 91 % des témoins), et qu'une nouvelle analyse sur ces seules données conduit à un risque de LNH légèrement augmenté [OR = 2,5, IC 95 % 1,4 - 4,5].

Par ailleurs, la répartition des 17 congénères toxiques au sein d'un même prélèvement constitue la « signature » d'une source d'exposition aux dioxines. Les données détaillées recueillies permettent de rechercher des profils différents, pouvant caractériser chacun une origine distincte de dioxines. À la suite d'analyses statistiques complexes (réseau neuronal de Kohonen et algorithme de classification non-supervisée floue

fuzzy *k-means*), le même *cluster* principal (composé de 73 prélèvements) est identifié [6]. Les deux autres prélèvements constituent soit un, soit deux autre(s) *clusters*. Quelque soit le *cluster* ou le contraste (topographie simple/complexe, intérieur/extérieur des limites de la ville, zones plus exposées/moins exposées) considérés, le profil des congénères est identique (figure 2). Cette empreinte commune montre sans ambiguïté l'existence d'une unique source d'exposition sur la zone d'étude (l'UIOM). Toute autre source, ponctuelle ou diffuse (circulation automobile...), ne peut donc pas expliquer les résultats épidémiologiques obtenus.

### Conclusion

Une partie de ces résultats ont conduit la Direction générale de la santé à saisir l'Institut national de veille sanitaire (InVS) dans le cadre

du plan national cancer 2003-2007, pour améliorer les connaissances sur le rôle des rejets atmosphériques des UIOM dans l'incidence des cancers parmi les populations riveraines.

La situation de Besançon apparaît quasi-expérimentale car aucune autre source émettant ce type d'effluent n'est localement individualisable (en particulier, il n'existe pas d'industrie sidérurgique ou métallurgique). Bien que les UIOM ne soient pas considérées comme une source importante d'exposition aux dioxines (la voie alimentaire serait à l'origine, dans la population générale, de 90 % de la quantité de dioxines présente dans l'organisme), la cohérence des différents volets de cette approche éco-épidémiologique renforce l'hypothèse d'une association entre l'exposition environnementale à la dioxine et la survenue de LNH dans les populations ayant résidé à proximité d'un UIOM. L'enquête nationale est venue très récemment confirmer ce lien, en particulier chez les femmes [7].

### Références

- [1] Commission européenne. Directive 94/67/CE du Conseil du 16 décembre 1994, concernant l'incinération des déchets dangereux. Journal officiel n° L365 du 31/12/1994: p. 0034-0045.
- [2] Viel JF, Arveux P, Baverel J, Cahn JY. Soft-tissue sarcoma and non-Hodgkin's lymphoma clusters around a municipal solid waste incinerator with high dioxin emission levels. *Am J Epidemiol*. 2000; 152:13-9.
- [3] Floret N, Mauny F, Challier B, Arveux P, Cahn JY, Viel JF. Dioxin emissions from a solid waste incinerator and risk of non-Hodgkin lymphoma. *Epidemiology*. 2003; 14:392-8.
- [4] Floret N, Mauny F, Challier B, Cahn JY, Tourneux F, Viel JF. Dioxin emissions and soft-tissue sarcoma: results of a population-based case-control study. *Rev Epidemiol Sante Publique*. 2004; 52:213-20.
- [5] Floret N, Viel JF, Lucot E, Dudermeil PM, Cahn JY, Badot PM, et al. Dispersion modeling as a dioxin exposure indicator in the vicinity of a municipal solid waste incinerator: a validation study. *Environ Sci Technol*. 2006; 40:2149-55.
- [6] Floret N, Lucot E, Badot PM, Mauny F, Viel JF. A municipal solid waste incinerator as the single dominant point source of PCDD/Fs in an area of increased non-Hodgkin's lymphoma incidence. *Chemosphere*. 2007; 68:1419-26.
- [7] Viel JF, Daniau C, Gorla S, Fabre P, de Crouy-Chanel P, Sauleau EA, et al. Risk for non Hodgkin's lymphoma in the vicinity of French municipal solid waste incinerators. *Environ Health*. 2008; 7:51.

## Effets sur la santé des incinérateurs d'ordures ménagères : résultats d'un groupe de travail d'experts de l'OMS\* / Health effects on the general population of municipal solid waste incinerators: results from a WHO expert workshop\*

Francesco Mitis (mit@ecr.euro.who.int), Marco Martuzzi

Organisation mondiale de la santé, Centre européen de l'environnement et de la santé

### Mots clés / Key words

Incinération d'ordures, effets nocifs, traitement des déchets / Waste incineration, adverse health effects, waste management

\* Cet article s'appuie sur le texte d'une publication de l'OMS rédigée par un groupe de travail sur les effets sur la santé du traitement des déchets [1]. Traduit de l'anglais.

Le traitement des déchets constitue une problématique de plus en plus complexe dans de nombreux pays européens. Les effets sur la santé

et le bien-être de l'exposition aux déchets et aux produits issus de leur traitement sont un sujet majeur d'inquiétude en Europe. Il est possible

qu'il y ait des conséquences sur la santé aussi bien des populations vivant à proximité des installations de traitement que des travailleurs

exposés professionnellement. Si ces deux problématiques de santé publique sont importantes, nous ne traiterons ici que de la première.

Les difficultés rencontrées lors de l'adoption de politiques de traitement des déchets économes et peu nocives pour la santé sont dues à plusieurs raisons parmi lesquelles : l'abondance de données suggérant, mais sans conclure, qu'il existe un éventuel effet nocif chez les populations vivant à proximité des usines de traitement, d'incinération et d'enfouissement ; la confusion entre les problèmes différents que sont la gestion des ordures ménagères et des autres types de déchets (par exemple les déchets toxiques industriels et les déchets hospitaliers) ; le manque de confiance envers les autorités publiques et la communauté scientifique ; le syndrome du « pas chez moi » (syndrome *Nimby, Not in my backyard*), peut-être lié à des problèmes de perception des risques et de communication.

Les motifs d'inquiétude sur d'éventuels effets nocifs de l'incinération des ordures, qui est une des solutions recommandées pour le traitement des ordures ménagères par l'autorité en charge du traitement des ordures de l'Union européenne (UE), sont l'inhalation d'air contenant des polluants issus de la combustion et de la combustion incomplète, la consommation d'aliments et d'eau pollués, ou le contact avec le sol contaminé.

En comparaison avec d'autres sujets d'épidémiologie environnementale, un nombre limité d'études épidémiologiques ont été réalisées afin d'évaluer les effets sur la santé de l'incinération d'ordures sur les travailleurs professionnellement exposés ou la population vivant à proximité [2-6]. Rushton [3] a analysé six études : quatre d'entre elles font état d'excès de cas de cancers spécifiques (cancers du système digestif, du foie, des reins, du pancréas et lymphomes non-hodgkiniens (LNH)). Quelques excès de risque ont été constatés pour des cancers de l'estomac et des voies respiratoires dans des études réalisées sur des travailleurs exposés professionnellement, de même qu'il existe vraisemblablement une association forte avec un faible poids de naissance. Cependant, les données concernant l'exposition ont été considérées comme insuffisantes pour conclure de manière fiable sur ces associations.

Franchini et coll. [2] ont analysé 45 articles publiés entre 1987 et 2003 : 32 concernaient les effets sur la santé dans des populations vivant à proximité des incinérateurs, 11 se rapportaient à l'exposition professionnelle et deux traitaient aussi bien de l'exposition environnementale que professionnelle. Les auteurs ont souligné le fait que, dans la plupart de ces études, l'exposition était mal définie du fait d'un manque de données concernant les émissions, le type de déchets incinérés et les modes de dispersion à l'extérieur du site de l'usine d'incinération. La majorité de ces études se rapportaient à des incinérateurs de première génération, caractérisés par des technologies limitées de réduction d'émissions et des températures de combustion basses, ce qui conduit à de fortes émissions. Les émissions produites par les incinérateurs plus récents compris dans l'analyse étaient moindres et de nature différente. Pour cette raison, les résultats de toutes ces études ne sont pas facilement

comparables et une cohérence entre elles ne devrait pas être attendue. Néanmoins, les conclusions des deux tiers de ces études portant sur le cancer suggèrent l'existence d'un effet. Dans ces études, des résultats positifs significatifs ont été rapportés dans le cas de cancers spécifiques (LNH, sarcomes des tissus mous (STM), cancer du poumon et cancers de l'enfant) ; les résultats concernant le cancer du larynx et du foie n'étaient pas cohérents. Les résultats concernant des paramètres d'évaluation non associés au cancer, tels que les conditions respiratoires chroniques ou aiguës chez l'enfant et chez l'adulte, n'étaient pas concluants. En conclusion de la revue, les auteurs suggèrent que d'autres études fondées sur le développement de marqueurs biologiques spécifiques et le relevé systématique de mesures environnementales sont nécessaires afin de mieux caractériser l'exposition.

Dans la revue réalisée par le DEFRA [5], dans laquelle les résultats de 23 études et 4 revues de la littérature ont été analysés, les auteurs ont conclu qu'il n'existait pas de preuves convaincantes démontrant une association entre les incinérateurs et le cancer, et qu'il n'existait que peu de preuves suggérant un accroissement de la prévalence de symptômes respiratoires dans les populations vivant à proximité des usines. Cependant, ils ont souligné que dans la plupart des cas les émissions des incinérateurs contribuent faiblement à la pollution locale de l'air.

Une publication récente en italien [4] a analysé 32 articles identifiés dans la base de données Medline et publiés entre 2003 et mars 2006. La plupart des études sélectionnées avaient évalué l'exposition individuelle au moyen de biomarqueurs ; les études épidémiologiques « classiques », basées sur des marqueurs de substitution de l'exposition, ont diminué en nombre. Les résultats d'études en population générale étaient moins cohérents que ceux d'études portant sur l'exposition professionnelle : quelques associations ont été rapportées avec le LNH et les STM, mais le nombre d'études était réduit et l'exposition mal caractérisée.

D'autres études européennes ont été analysées dans une revue récente [6]. Cette analyse a surtout porté sur les émissions fines et ultrafines rejetées par les incinérateurs et a souligné le besoin d'adopter une approche prudente du fait du nombre limité d'études et de l'insuffisance actuelle des connaissances de leurs effets sur la santé. Les auteurs ont décrit une méta-analyse italienne [7] démontrant qu'il existait un excès de mortalité masculine par LNH dans une population de 25 petites communes équipées d'incinérateurs d'ordures ménagères (UIOM), ainsi que deux études françaises [8, 9]. La première de ces deux études se rapportait à la relation entre l'incidence de cancers dans une population vivant à proximité de 16 incinérateurs en France et l'exposition à la dioxine, définie par modélisation de la dispersion atmosphérique et de l'accumulation de dépôts de dioxine en surface. La comparaison des incidences de cancers entre les zones d'exposition élevée et les zones d'exposition faible a mis en évidence un sur-risque significatif pour tous types de cancer, LNH et cancer du sein chez la femme, ainsi que myélomes multiples chez l'homme et LNH dans les deux sexes. La deuxième étude a analysé les taux de dioxine dans le sang de popu-

lations vivant à proximité de huit incinérateurs. L'exposition était caractérisée en modélisant la dispersion atmosphérique et l'accumulation de dépôts de dioxine en surface, et en fonction de la consommation de produits locaux : des associations positives ont été établies avec la consommation de produits locaux, bien qu'il n'y ait pas de différence significative dans les taux de dioxine dans le sang entre sujets exposés et non exposés.

Dans une étude récente réalisée dans la Province de Venise [10], une association significative entre exposition à la dioxine modélisée et risque de STM a été mise en évidence. Le risque de développement de sarcome était plus élevé chez les sujets ayant été exposés le plus longtemps et au niveau le plus intense.

Un groupe de travail d'experts internationaux sur les effets du traitement des déchets sur la santé a été organisé en 2007 par le Centre européen de l'environnement et de la santé de l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Les études épidémiologiques existantes sur les effets des émissions d'incinérateurs d'ordures ménagères sur la santé ont été examinées par l'un des experts [11]. Il est parvenu à la conclusion que ces études se sont concentrées sur les effets sur la santé locale dans trois champs d'investigation : les symptômes respiratoires, le système reproductif (y compris les anomalies congénitales) et le cancer. Peu d'études ont porté sur les symptômes respiratoires, mais leurs résultats suggèrent une association avec l'incinération de déchets. Les données concernant les conséquences sur le système reproductif ont été considérées comme étant insuffisantes [11]. La majorité des études portaient sur le cancer et leurs résultats n'étaient pas tous cohérents [11]. Cependant, il a été souligné que certaines études, surtout celles réalisées en Italie [10,12] et en France [13], ont relevé une augmentation du nombre de cas de STM et de LNH dans la population vivant à proximité des incinérateurs de déchets, et donnent des arguments en faveur d'un rôle étiologique possible de la 2,3,7,8-tétrachlorodibenzodioxine (2,3,7,8-T<sub>4</sub>CDD).

Les 26 experts du groupe de travail de l'OMS travaillant tous dans des domaines de recherche pertinents dont l'épidémiologie environnementale, l'évaluation d'impact sanitaire, l'analyse économique, les risques chimiques et la santé publique, ont pu se mettre d'accord sur une position commune. Les données disponibles concernant les effets sur la santé et l'exposition à l'enfouissement et à l'incinération d'ordures ont été passées en revue, les principales études européennes ont été analysées et la discussion a porté sur le soutien à donner aux différents niveaux des autorités européennes impliquées dans l'élaboration de la politique des déchets, par une prise en compte de la problématique sanitaire. Il a été démontré que : (i) même si certaines études ont rapporté une association entre le fait d'être domicilié près d'un incinérateur et des effets nocifs, les données ne sont pas, en général, assez concluantes pour identifier l'existence d'un sur-risque et quantifier son ampleur et (ii) il n'existe pas assez de preuves indiscutables permettant de définir de manière univoque une politique en matière d'incinération : ceci est principalement attribuable au fait que relativement peu d'études

de bonne qualité ont été réalisées et qu'elles portent, pour la plupart, sur des usines d'incinération d'ancienne génération [1].

Il a été souligné que, généralement, les facteurs de confusion rendent difficile la réalisation et l'interprétation d'études épidémiologiques. L'accroissement des risques relatifs est difficile à détecter pour plusieurs raisons. En premier lieu, les informations relatives à la présence d'agents nocifs à proximité d'un incinérateur ne sont pas facilement traduites en mesures d'exposition exploitables : il est rarement possible de conclure qu'un contaminant spécifique, détecté dans l'environnement où dans une population, provient d'un incinérateur et non d'une autre source. En fait, dans la plupart des études où un excès de risque a été mis en évidence, d'autres explications, comme l'exposition à une source autre qu'un incinérateur ou la présence de facteurs de confusion résiduels liés à des conditions socio-économiques défavorables, ont été avancées. Une exception notable est la série d'études réalisées sur l'incinérateur de Besançon [13]. En plus des difficultés d'évaluation de l'exposition, les effets sur la santé, le cas échéant, sont difficiles à détecter car ils sont en général dus à une exposition prolongée à de faibles concentrations. Néanmoins, la constitution d'un échantillon de population suffisamment grand pourrait éventuellement permettre de surmonter cette limite.

Il est important de remarquer que les émissions atmosphériques des incinérateurs modernes sont largement réduites en comparaison avec celles des usines de l'ancienne génération. Il est difficile de comparer le peu d'études réalisées sur les incinérateurs de dernière génération avec celles portant sur l'ancienne génération à cause de plusieurs différences technologiques entre ces types d'usine. L'adoption des meilleures technologies disponibles, mise en application par l'UE, conduit au fait que la survenue d'effets mesurables sur la santé des populations vivant à proximité immédiate des incinérateurs de nouvelle génération devient moins probable. Toutefois, l'impact global sur l'environnement et sur la santé humaine par des mécanismes d'action indirects n'a pas encore été évalué. L'incinération des ordures ménagères, en particulier, est actuellement en augmentation dans de nombreux pays européens, et pourrait contribuer de façon non négligeable à la production de gaz à effet de serre et de polluants persistants dans l'environnement. De plus, l'émission de particules ultrafines et de nanoparticules devrait être étudiée et leurs effets nocifs potentiels, sujet de préoccupation majeure pour le grand public, examinés. En

réalité, si les incinérateurs de déchets ne sont responsables que d'une petite partie de l'ensemble de la pollution particulaire de l'air en comparaison avec d'autres sources (par exemple les émissions des automobiles), cette petite fraction pourrait être d'une nature différente et probablement plus nocive.

La modélisation de l'exposition utilisée dans nombre des premières études – dans laquelle l'exposition était directement fonction de la distance depuis la cheminée – est insuffisante pour diverses raisons : (i) l'exposition devrait être caractérisée par des modèles de dispersion de la pollution dans l'air au lieu d'être fonction de la distance à la source ; (ii) jusqu'à présent, les études épidémiologiques, toxicologiques et d'évaluation de l'exposition n'ont pas intégré de manière suffisante les données de surveillance biologique dans l'évaluation des risques sanitaires encourus au niveau de chaque individu, des communautés et de la population. Il est désormais nécessaire de concevoir et réaliser des programmes de surveillance et de *biomonitoring*, notamment pour investiguer les effets sur la santé liés à une exposition faible à des produits chimiques environnementaux et qui pourraient être détectés sur une longue période, comme cela a été le cas dans une série d'études réalisées à proximité de deux incinérateurs portugais [14]. La mise en évidence d'effets nocifs associés aux incinérateurs, bien que non concluants, s'ajoute à d'autres problématiques environnementales à intégrer dans la prise de décisions stratégiques concernant le traitement des déchets, allant dans le sens d'une réduction de la production de déchets, leur réutilisation et leur recyclage, comme préconisé par les Directives de l'UE. Les autorités au niveau national et local devraient interdire et éliminer les mauvaises pratiques, dépassées et illégales encore employées à certains endroits, soutenir la réglementation et sa mise en application, et investir dans les technologies conformes à l'état de l'art pour réduire les émissions.

Le processus de prise de décision relatif à la localisation et au fonctionnement des usines de traitement des déchets devrait être transparent et juste, et viser au remplacement des mauvaises pratiques, voire illégales, par des pratiques légales et plus sûres dans les plus brefs délais, même si dans certains cas les périodes de transition peuvent être longues.

#### Références

[1] Mitis F, Martuzzi M, eds. Population health and waste management: scientific data and available options. Report of a WHO workshop, Rome, Italy, 29-30 March 2007. Copenhagen: OMS, Bureau régional de l'Europe, 2007.

[2] Franchini M, Rial M, Buiatti E, Bianchi F. Health effects of exposure to waste incinerator emissions: a review of epidemiological studies. *Ann Ist Super Sanita*. 2004; 40(1):101-15.

[3] Rushton L. Health hazards and waste management. *Br Med Bull*. 2003; 68:183-97.

[4] Bianchi F, Franchini M, Linzalone N. Salute in cenere ? [Incineration and health: where from here ?]. *SNOP* 2006; 67(21):20-4 (in Italian).

[5] Review of the environmental and health effects of waste management: municipal solid waste and similar wastes. London: Department for Environment Food and Rural Affairs; 2004. <http://www.defra.gov.uk/ENVIRONMENT/waste/research/health/index.htm>

[6] Linzalone N, Bianchi F. Inceneritori: non solo diossine e metalli pesanti, anche polveri fini e ultrafini [Incinerators: not only dioxins and heavy metals, also fine and ultrafine particles]. *Epidemiol Prev*. 2007; 31(1):62-6 (in Italian).

[7] Bianchi F, Minichilli F. Mortalità per linfomi non Hodgkin nel periodo 1981-2001 in 25 comuni italiani con inceneritori di rifiuti solidi urbani [Mortality for non-Hodgkin lymphoma in the period 1981-2001 in 25 Italian municipalities with urban solid waste incinerators]. *Epidemiol Prev*. 2006; 30(2):80-1 (in Italian).

[8] Étude d'incidence des cancers à proximité des usines d'incinération d'ordures ménagères. Exposition aux incinérateurs pendant les années 1970-1980. Résultats définitifs. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire, 2008 [http://www.invs.sante.fr/publications/2008/plaquette\\_resultats\\_uiom/index.html](http://www.invs.sante.fr/publications/2008/plaquette_resultats_uiom/index.html)

[9] Étude d'imprégnation par les dioxines des populations vivant à proximité d'usines d'incinération d'ordures ménagères. Synthèse des résultats. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire. 2006. [http://www.invs.sante.fr/publications/2006/etude\\_impregnation\\_dioxine/index.html](http://www.invs.sante.fr/publications/2006/etude_impregnation_dioxine/index.html)

[10] Zambon P, Ricci P, Bovo E, Casula A, Gattolin M, Fiore AR, et al. Sarcoma risk and dioxin emissions from incinerators and industrial plants: a population-based case-control study (Italy). *Environ Health*. 2007; 16:6-19.

[11] Staines A. Overview of health effects - incinerators. In: Mitis F, Martuzzi M, eds. Population health and waste management: scientific data and available options. Report of a WHO workshop, Rome, Italy, 29-30 March 2007. Copenhagen: OMS, Bureau régional de l'Europe, 2007; pp. 22-7.

[12] Comba P, Ascoli V, Belli S, Benedetti M, Gatti L, Ricci P, et al. Risk of soft tissue sarcomas and residence in the neighbourhood of an incinerator of industrial wastes. *Occup Environ Med*. 2003; 60:680-3.

[13] Viel JF, Floret N. Incinerators, case study (France): dioxins emitted from a municipal solid waste incinerator and risk for non Hodgkin's lymphoma and soft tissue sarcomas. An ecoepidemiology study in Besançon, France. In: Mitis F, Martuzzi M, eds. Population health and waste management: scientific data and available options. Report of a WHO workshop, Rome, Italy, 29-30 March 2007. Copenhagen: OMS, Bureau régional de l'Europe, 2007; pp. 62-4.

[14] Reis FM, Segurado S, Pereira Miguel J. Incinerators, case study (Portugal): environmental health surveillance related to waste incineration. In: Mitis F, Martuzzi M, eds. Population health and waste management: scientific data and available options. Report of a WHO workshop, Rome, Italy, 29-30 March 2007. Copenhagen: OMS, Bureau régional de l'Europe, 2007; pp. 65-7.

La publication d'un article dans le BEH n'empêche pas sa publication ailleurs. Les articles sont publiés sous la seule responsabilité de leur(s) auteur(s) et peuvent être reproduits sans copyright avec citation exacte de la source.

Retrouvez ce numéro ainsi que les archives du Bulletin épidémiologique hebdomadaire sur <http://www.invs.sante.fr/BEH>

**Directrice de la publication** : Dr Françoise Weber, directrice générale de l'InVS  
**Rédactrice en chef** : Judith Benrekassa, InVS, [redactionBEH@invs.sante.fr](mailto:redactionBEH@invs.sante.fr)  
**Rédactrice en chef adjointe** : Valérie Henry, InVS, [redactionBEH@invs.sante.fr](mailto:redactionBEH@invs.sante.fr)  
**Secrétaire de rédaction** : Farida Mihoub, InVS, [redactionBEH@invs.sante.fr](mailto:redactionBEH@invs.sante.fr)  
**Comité de rédaction** : Dr Sabine Abitbol, médecin généraliste ; Dr Thierry Ancelle, Faculté de médecine Paris V ; Dr Pierre-Yves Bello, InVS ; Catherine Buisson, InVS ; Dr Christine Chan-Chee, InVS ; Dr Sandrine Danet, Drees ; Dr Isabelle Gremy, ORS Ile-de-France ; Dr Nathalie Jourdan-Da Silva, InVS ; Dr Rachel Haus-Cheymol, Service de santé des Armées ; Dr Christine Jestin, Inpes ; Éric Jouglu, Inserm CépiDc ; Dr Bruno Morel, InVS ; Josiane Pillonel, InVS ; Dr Sandra Sinno-Tellier, InVS ; Hélène Therre, InVS.  
N° CPP : 0206 B 02015 - N° INPI : 00 300 1836 - ISSN 0245-7466

**Diffusion / Abonnements** : Alternatives Économiques  
12, rue du Cap Vert - 21800 Quétigny  
Tél. : 03 80 48 95 36  
Fax : 03 80 48 10 34  
Courriel (provisoire) : [ddorey@alternatives-economiques.fr](mailto:ddorey@alternatives-economiques.fr)  
Tarif 2009 : France et international 62 € TTC  
**Institut de veille sanitaire - Site Internet** : [www.invs.sante.fr](http://www.invs.sante.fr)  
**Imprimerie** : Maulde et Renou Sambre - Maubeuge  
146, rue de la Liberté - 59600 Maubeuge