

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
- [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
- [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

[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

[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^{er} 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.

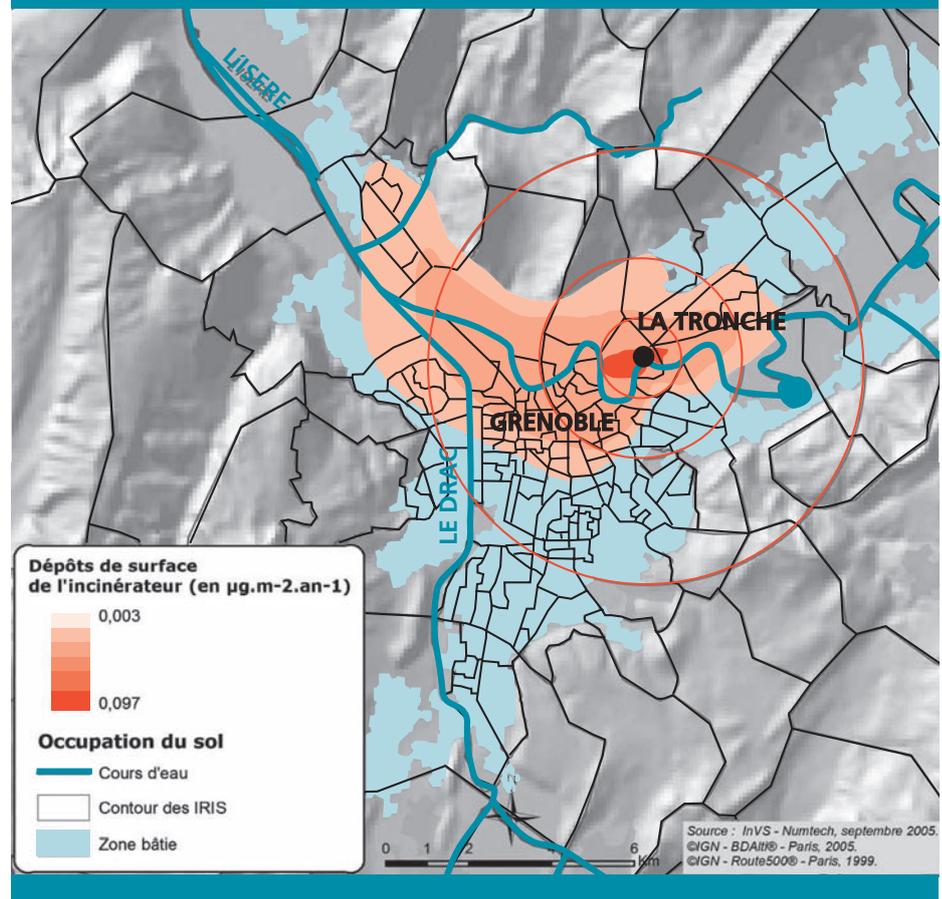
L'exposition des Iris aux polluants cancérigènes émis par d'autres sources, le trafic routier et les industries classées pour la protection de l'environnement (ICPE), ainsi que le niveau socio-économique, le caractère rural ou urbain des Iris et la densité de population, ont été pris en compte dans l'analyse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

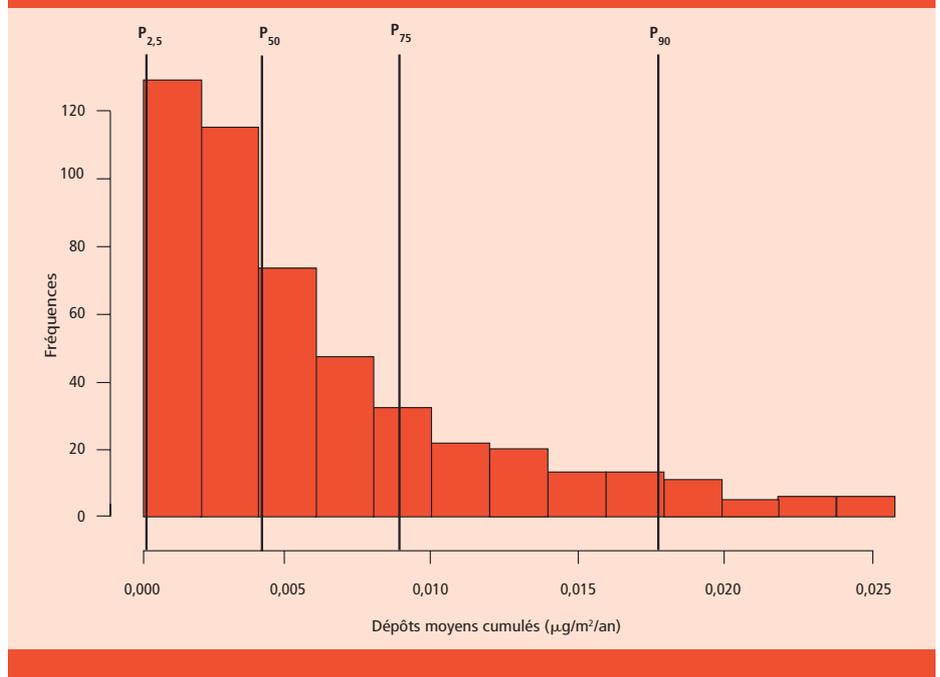
Chez les hommes, une seule association est observée entre l'exposition aux incinérateurs et les myélomes multiples (RR = 1,23 IC 95 % [1,00-1,52]). Ce RR correspondant à un excès de risque relatif égal à 23 % est le plus élevé parmi ceux calculés dans notre étude. Il faut toutefois relativiser cet excès 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_{femme} = 1,18 IC 95 % [0,92-1,52]; RR_{homme} = 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^{ème} percentile au 50^{ème} percentile et au 90^{ème} percentile / Table 2 Relative risk for an increased exposure indicator from the 2.5th percentile to the 50th percentile and to the 90th percentile

Localisation du cancer	Relation entre une forte exposition (P ₉₀) et une faible exposition (P _{2,5})		Relation entre une exposition moyenne (P ₅₀) et une faible exposition (P _{2,5})	
	RR	[IC 95 %]	RR	[IC 95 %]
Cancers toutes localisations, femmes	1,06 ^a	[1,01 - 1,12]	1,03 ^a	[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 ^a	[1,01 - 1,18]	1,04 ^a	[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 ^a	[1,00 - 1,25]	1,05 ^a	[1,00 - 1,10]
LMNH, femmes	1,18 ^a	[1,01 - 1,38]	1,07 ^a	[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 ^b	[0,99 - 1,37]	1,07 ^b	[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 ^b	[0,98 - 1,51]	1,09 ^b	[0,99 - 1,20]
Myélomes multiples, sexes confondus	1,16 ^b	[0,97 - 1,40]	1,06 ^b	[0,99 - 1,14]
Myélomes multiples, femmes	1,05	[0,81 - 1,35]	1,02	[0,92 - 1,12]
Myélomes multiples, hommes	1,23 ^a	[1,00 - 1,52]	1,08 ^a	[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 ^b	[0,66 - 1,00]	0,92 ^b	[0,84 - 1,00]
Cancer de la vessie, hommes	0,95	[0,84 - 1,06]	0,98	[0,93 - 1,03]

^a: p<0,05

^b: 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 NO₂ 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 NO₂ 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
- [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)¹, Jean-Luc Volatier², Abdelkrim Zeghnoun¹, Hélène Sarter¹, Grégoire Falq¹, Anne Thébault², Mathilde Pascal¹, Marielle Schmitt³, Yvonnick Guillois-Becel³, Ursula Noury², Christophe Heyman², Arnaud Mathieu², Nathalie Lucas², Myriam Blanchard³, Jérôme Pouey³, Bénédicte Bérat¹, Georges Salines¹

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