

Santé environnement

Étude d'incidence des cancers à proximité des usines d'incinération d'ordures ménagères

Synthèse

Pascal Fabre, Côme Daniau, Sarah Gorla, Perrine de Crouy-Chanel
Pascal Empereur-Bissonnet

Sommaire

Abréviations	2	4. Mise en œuvre de l'étude	11
1. Introduction	3	4.1 Équipe projet	11
1.1 L'incinération des ordures ménagères	3	4.2 Comité scientifique	11
1.2 Justification épidémiologique de l'étude	3	4.3 Comité de communication	11
2. Objectifs de l'étude	4	4.4 Partenariats	11
2.1 Objectif principal	4	4.5 Calendrier	11
2.2 Objectifs spécifiques	4	5. Résultats	12
3. Méthode	5	5.1 Population intercensitaire estimée en 1995	12
3.1 Type d'étude	5	5.2 Cas de cancer observés durant la période d'étude	12
3.2 Unité statistique	5	5.3 Exposition des Iris	13
3.3 Périodes de l'étude	5	5.4 Résultats de l'analyse statistique	14
3.4 Population de l'étude	5	5.5 Risques relatifs	15
3.4.1 Estimation de l'effectif nécessaire	5	6. Discussion	16
3.4.2 Sélection de la zone d'étude	5	6.1 Validité interne des résultats	16
3.5 Types de cancer étudiés	5	6.1.1 Estimation de l'incidence des cancers	16
3.6 Collecte et traitement des données sur les cas de cancer observés	7	6.1.2 Estimation de l'exposition aux rejets atmosphériques des incinérateurs	16
3.7 Estimation de l'exposition aux rejets atmosphériques des incinérateurs	7	6.1.3 Tiers facteurs pris en compte	16
3.7.1 Recensement des sources d'émission dans les quatre départements d'étude	7	6.1.4 Analyse statistique	17
3.7.2 Recueil des caractéristiques techniques des incinérateurs	8	6.1.5 Conclusion sur la validité interne des résultats	17
3.7.3 Estimation rétrospective des flux de polluants en sortie de cheminée	8	6.2 Cohérence avec la littérature et interprétation des relations observées	17
3.7.4 Modélisation de la dispersion atmosphérique et du dépôt surfacique	8	6.3 Portée des résultats de l'étude	18
3.7.5 Choix d'un polluant indicateur des substances émises	8	7. Recommandations	19
3.7.6 Valeur et voie d'exposition	8	7.1 Amélioration des connaissances épidémiologiques	19
3.8 Facteurs de confusion potentiels	9	7.2 Mise en œuvre d'actions de santé publique	19
3.9 Analyse statistique	10	8. Conclusion	20
3.9.1 Les modèles statistiques	10	Références bibliographiques	21
3.9.2 Variables introduites dans les modèles statistiques	10		
3.9.3 Expression des résultats	10		

Étude d'incidence des cancers à proximité des usines d'incinération d'ordures ménagères

Synthèse

Auteurs

Pascal Fabre, Côme Daniau, Sarah Gorla, Perrine de Crouy-Chanel, Pascal Empereur-Bissonnet

Relecteurs

Philippe Germonneau, Georges Salines

Remerciements

L'équipe en charge de l'étude tient à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la faisabilité et à la qualité de ce travail.

Nous remercions en particulier les membres du comité scientifique pour la pertinence de leurs conseils et pour l'importante contribution qu'ils ont apportés au cours des quatre années de réalisation de l'étude.

Nous tenons également à remercier :

- madame Mireille Chiron, de l'Institut national de la recherche sur les transports et leur sécurité (Inrets), pour son expertise sur la pollution liée au trafic automobile ;
- monsieur Nicolas Jeannée, de la société Géovariance, pour sa disponibilité et pour les données transmises sur la pollution liée au trafic automobile ;
- monsieur Yann Martinet, du Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (Citepa), pour son expertise sur la pollution aérienne ;
- madame Danièle Blot, de Météo France, pour la qualité de ses conseils en météorologie ;
- monsieur Frédéric Pradelle, de la société Numtech, pour sa disponibilité dans l'assistance à la réalisation des modélisations de la dispersion atmosphérique ;
- madame Joëlle Le Moal, de l'Institut de veille sanitaire (InVS), pour ses conseils dans le domaine de l'épidémiologie des cancers ;
- les personnels des registres de cancer de l'Isère, du Tarn, du Bas-Rhin et du Haut-Rhin, pour la qualité des données transmises sur les cas de cancer et leur contribution scientifique à l'étude ;
- les personnels des Directions régionales de l'industrie, de la recherche et de l'environnement (Drire) des régions Alsace, Rhône-Alpes et Midi-Pyrénées pour leur appui dans l'acquisition des données concernant le fonctionnement des incinérateurs ;
- les exploitants des incinérateurs d'ordures ménagères qui ont été consultés et ont fourni les données nécessaires à la modélisation de la dispersion des panaches ;
- ainsi que les membres du comité d'experts qui a réalisé l'estimation rétrospective des flux d'émissions des incinérateurs : Patrick Pousseau (Groupe Traitement industriel des résidus urbains- Tiru), Serge Collet (Institut national de l'environnement industriel et des risques- Ineris), Hubert Dechefdebien (Syndicat national des concepteurs et constructeurs des industries du déchet), José de Freitas (Novergie), Emmanuel Fiani (Ademe) et Michel Mori (CGEA Onyx).

Préambule

Le présent document est une synthèse du rapport de l'étude qui présente de manière exhaustive les matériels et méthodes mis en œuvre dans ce travail et l'ensemble des résultats obtenus. Le rapport d'étude complet est disponible en ligne sur le site de l'InVS : www.invs.sante.fr/publications/

Abréviations

Ademe	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
ADMS	Atmospheric Dispersion Modelling System
Afsset	Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail
AhR	Récepteur hydrocarboré aryl
CHU	Centre hospitalier universitaire
CIM-O-2	Seconde version de la classification internationale des maladies pour l'oncologie
DGS	Direction générale de la santé
Drire	Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement
Francim	France-cancer-incidence et mortalité : réseau des registres français des cancers
GAM	Modèles additifs généralisés
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
ICPE	Industries classées pour la protection de l'environnement
Ifen	Institut français de l'environnement
IGN	Institut géographique national
Iris	Îlots regroupés pour l'information statistique
Insee	Institut national de la statistique et des études économiques
Inserm	Institut national de la santé et de la recherche médicale
LMNH	Lymphomes malins non hodgkiniens
PCB	Polychlorobiphényles
PM₁₀	Particules fines d'un diamètre inférieur ou égal à 10 microns
TCDD	Tetrachlorodibenzo-p-dioxine
UIOM	Usine d'incinération d'ordures ménagères

1. Introduction

1.1 L'incinération des ordures ménagères

Depuis 1970, la France a recours à l'incinération pour éliminer les déchets ménagers et assimilés. Selon l'Ademe, en 2003, les ménages français ont produit plus de 26 millions de tonnes de déchets (ménagers et encombrants) dont 35 % ont été incinérés [1]. Le nombre d'usines d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) a diminué depuis ces dernières années - 292 usines en 1985, 213 en 2000 et 130 en 2004 [2].

Toutefois, l'impact des rejets de l'incinération des déchets ménagers sur la santé humaine reste un sujet d'inquiétude pour la population française riveraine de ces installations industrielles.

Les effets néfastes sur la santé de la pollution générée par les UIOM sont associés à la quantité et la qualité des agents chimiques émis par les cheminées. Il s'agit de mélanges complexes qui contiennent, pour l'essentiel, du dioxyde de soufre, des oxydes d'azote, de l'acide chlorhydrique, des métaux lourds, des dioxines, des particules et des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) [3-8]. Ces composés ont, pour la plupart, des propriétés toxiques, et certains d'entre eux ont une action cancérigène démontrée ou suspectée chez l'homme ou chez l'animal [9-17].

1.2 Justification épidémiologique de l'étude

Si les conséquences sanitaires observées après une exposition professionnelle ou accidentelle à l'un des composants rejetés par les incinérateurs commencent à être solidement étayées [18-20], il est difficile de transposer ces résultats aux populations résidant à proximité d'UIOM.

Quelques études écologiques¹, portant sur des populations résidant à proximité d'une UIOM, ont apporté les premiers arguments sur

la possibilité d'un surrisque de certains cancers. Ainsi, A. Biggeri et ses collaborateurs ont montré dans la région de Trieste en Italie une relation positive entre l'incidence du cancer du poumon et l'habitat dans un rayon de moins de 5 km de la cheminée de l'usine [21]. Au Royaume-Uni, une importante étude de cohorte a montré, chez des populations résidant à une distance de moins de 1 km d'un incinérateur, des excès de risque significatifs compris entre 1,05 pour les hémopathies malignes et 1,37 pour les cancers du foie [22,23]. En Italie, P. Comba a montré dans une étude cas-témoins portant sur des cas diagnostiqués entre 1988 et 1998 un odd ratio de 31,4 entre les sarcomes des tissus mous et la proximité d'un incinérateur de déchets industriels dans un rayon de 2 km [24].

C'est en France, à proximité de Besançon, qu'a été réalisée par l'équipe de J.F.Viel la première étude écologique en population générale ayant pu bénéficier d'une quantification de l'exposition aux polluants d'un incinérateur d'ordures ménagères par une modélisation de la dispersion atmosphérique de ses rejets. Cette étude a montré un excès de cas incidents de sarcomes des tissus mous et de lymphomes malins non hodgkiniens (LMNH) dans les cantons exposés [25]. Le risque de cancer était 2,3 fois plus important, pour cette dernière pathologie, dans les zones les plus exposées [26].

Dans ce contexte, un groupe de travail a été créé en 2002 par l'InVS, à la demande de la Direction générale de la santé (DGS), pour identifier les études épidémiologiques qui pourraient permettre d'améliorer les connaissances sur les causes environnementales de cancer, en particulier sur l'influence des rejets atmosphériques des incinérateurs d'ordures ménagères sur la fréquence des cancers dans les populations riveraines. Le groupe a recommandé notamment de conduire une étude d'incidence des cancers multicentrique pour atteindre une puissance statistique importante et augmenter la probabilité d'avoir des expositions contrastées.

C'est l'objet de la présente étude qui a reçu un financement dans le cadre du Plan Cancer 2003-2007.

¹ Le terme écologique ne doit pas être ici considéré dans sa signification communément admise. Il s'agit ici d'un terme technique utilisé en épidémiologie lorsque l'unité statistique d'observation n'est pas l'individu mais un groupe d'individus.

2. Objectifs de l'étude

2.1 Objectif principal

L'objectif principal est d'étudier la relation entre l'incidence des cancers dans la population générale et l'exposition aux émissions atmosphériques des incinérateurs d'ordures ménagères.

2.2 Objectifs spécifiques

- Évaluer l'exposition des populations aux substances émises dans l'atmosphère par les UIOM et aux principaux facteurs pouvant contribuer à la survenue de cancer, au cours des années 1970-1980.
- Estimer dans ces populations les taux d'incidence des cancers entre 1990 et 1999 pour l'ensemble des cancers et pour les localisations ayant un lien établi ou suspecté avec une exposition aux rejets des incinérateurs d'ordures ménagères.
- Quantifier le risque de survenue de cancer en fonction de l'exposition aux émissions atmosphériques des UIOM.

3. Méthode

3.1 Type d'étude

Cette étude épidémiologique est une étude de type écologique géographique. Elle analyse, à un niveau collectif, l'incidence des cancers en fonction de l'exposition passée aux rejets atmosphériques des incinérateurs d'ordures ménagères. On s'attachera à prendre en compte les tiers facteurs pouvant contribuer à la survenue de cancer.

3.2 Unité statistique

L'îlot regroupé pour l'information statistique (Iris) représente l'unité d'observation agrégée. C'est une unité géographique issue du découpage par l'Institut national de la statistique et des études économiques (Insee) des communes de plus de 10 000 habitants. Il regroupe une population homogène d'environ 2 000 personnes pour laquelle de nombreuses informations, en particulier sociodémographiques, sont disponibles. Par simplification de langage, dans la suite de ce document, le terme d'Iris sera utilisé, qu'il s'agisse à proprement parler d'Iris ou des communes de moins de 10 000 habitants qui ne sont pas découpées.

3.3 Périodes de l'étude

L'étude comporte trois périodes successives : une phase d'exposition des populations aux incinérateurs d'ordures ménagères, suivie par une période de latence compatible avec la survenue de cancer et enfin la période d'observation de l'incidence des cancers.

- La période d'exposition des populations a été définie par le temps écoulé entre l'année de démarrage du fonctionnement de chaque incinérateur (1972 pour l'incinérateur le plus ancien) et l'année de début de la période de latence rapportée à l'année de calcul de l'incidence moyenne (1995), soit 1985 pour les cancers solides et 1990 pour les leucémies.
- La période de latence est le temps minimal qui sépare le début de l'exposition et le moment du diagnostic du cancer. Les connaissances dans ce domaine sont encore lacunaires. Cependant, en regard de la bibliographie consultée [27,28], la période de latence qui a été retenue dans cette étude est de cinq ans pour les leucémies et 10 ans pour les autres cancers généraux.
- La période d'incidence des cancers retenue est égale à 10 années, du 01/01/1990 au 31/12/1999 inclus.

3.4 Population de l'étude

L'incidence des cancers a été calculée en population adulte, pour les deux sexes, âgée de plus de 14 ans au moment du diagnostic.

3.4.1 ESTIMATION DE L'EFFECTIF NÉCESSAIRE

Une estimation de l'effectif de la population à suivre a été réalisée à partir des taux d'incidence de cancer observés dans la population française durant la période d'étude et en prenant comme référence les leucémies qui, parmi les localisations cancéreuses étudiées, ont l'une des plus faibles incidences. Ainsi, il a été calculé que le suivi pendant 10 ans de 446 700 personnes exposées conférerait à l'analyse statistique une puissance suffisante de 80 %. Cet effectif pouvait être atteint en incluant deux à trois départements.

En pratique, en fonction de la disponibilité des données et de la volonté de prendre en compte les ajustements sur les différents facteurs de confusion, nous avons décidé d'inclure la population de quatre départements de manière à garantir la meilleure puissance statistique possible.

3.4.2 SÉLECTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

En 1999, on comptait en France 21 registres du cancer qualifiés du Réseau Francim (France-cancer-incidence et mortalité). En particulier, 10 registres généraux enregistrant l'ensemble des localisations tumorales étaient situés en métropole et couvraient 11 départements : Bas-Rhin, Calvados, Doubs, Haut-Rhin, Hérault, Isère, Manche, Somme, Tarn, Loire-Atlantique et Vendée.

Nous avons alors établi une procédure de hiérarchisation des départements, fondée sur l'attribution d'un score pour chacun des cinq critères de faisabilité suivants :

- 1) existence d'un registre général de cancer avec données validées sur la période 1990-1999 ;
- 2) nombre de cas de cancers observés pendant la période d'étude 1990-1999 ;
- 3) disponibilité sur format numérique de l'adresse précise du patient au moment du diagnostic du cancer ;
- 4) nombre de communes découpées à l'Iris ;
- 5) taux de migration minimal au recensement 1990.

Les quatre départements jugés les plus pertinents, selon cette procédure, ont été l'Isère, le Haut-Rhin, le Bas-Rhin et le Tarn.

3.5 Types de cancer étudiés

L'étude a porté sur les cancers pris dans leur ensemble ainsi que sur des localisations spécifiques pour lesquelles un lien avec l'exposition aux polluants émis par les incinérateurs a été établi ou suspecté dans la littérature scientifique : cancer du poumon, du foie, du sein, de la vessie, LMNH, leucémies aiguës et leucémies lymphoïdes chroniques, myélomes multiples et sarcomes des tissus mous.

La définition des cas de cancer utilisée dans cette étude est celle qui a été établie dans le rapport de Remontet *et al.* "Évolution de l'incidence et de la mortalité par cancer en France de 1978 à 2000" [29]. Les localisations de cancer ont été classées selon la seconde version de la Classification internationale des maladies pour l'oncologie (CIM-O-2). Seuls, les sarcomes des tissus mous ont été définis suivant un algorithme spécifique, proposé par E. Desandes, du registre des tumeurs solides de l'enfant ².

Les cancers collectés dans cette étude sont uniquement des cancers primitifs et strictement invasifs.

Cancers de toutes localisations ("tous cancers")

L'exposition aux fumées des incinérateurs d'ordures ménagères met en jeu de nombreux agents chimiques dont plusieurs sont déjà identifiés comme carcinogènes pour l'homme (2,3,7,8 TCDD, HAP, métaux lourds...) et susceptibles d'affecter des organes très divers. Parmi eux, le potentiel carcinogène des dioxines commence à être bien documenté mais est aussi sujet à controverses [11,30]. Le mécanisme d'action biologique des dioxines impliquerait le récepteur intranucléaire hydrocarboné aryl (AhR), appelé aussi parfois "récepteur de la dioxine", qui est présent dans de nombreuses cellules de l'organisme, et joue un rôle dans le fonctionnement du système immunitaire et le contrôle de la prolifération cellulaire [31,32].

Myélomes multiples

Les myélomes multiples sont des cancers hématologiques caractérisés par une prolifération maligne d'origine inconnue des plasmocytes ou de leurs précurseurs (de la lignée des cellules B productrices d'immunoglobulines). L'effet promoteur des myélomes multiples par la dioxine a été montré dans plusieurs études [33] et sur la cohorte de Seveso [34].

Lymphomes malins non hodgkiniens (LMNH)

Cette localisation regroupe les LMNH, les lymphomes malins sans précision, les lymphosarcomes, les réticulosarcomes, les microgliomes, le groupe des lymphomes à cellules périphériques, les lymphomes monocytaires à cellule B, les angioendothéliomatoses, les lymphomes angiocentriques à cellule T, les histiocytoses malignes, la maladie de Letter-Siwe et les lymphomes histiocytaires vrais. Des études épidémiologiques réalisées en population générale ont apporté des arguments en faveur d'une relation entre le risque de LMNH et l'exposition aux fumées d'incinérateurs en France [25,26], en Italie [35] et aux USA [36], ainsi qu'après 15-20 ans de suivi de la cohorte des personnes exposées à la 2,3,7,8 TCDD lors de l'accident industriel de Seveso [28].

Sarcomes des tissus mous

On entend par sarcomes des tissus mous l'ensemble des tumeurs rares des tissus de soutien non osseux. Les premières études ayant suggéré une relation entre l'exposition à la dioxine et les sarcomes des tissus mous ont été conduites en milieu professionnel dans les années 90 [37,38]. Puis, deux études réalisées en population générale en Italie, sur un petit nombre de cas et de témoins [24,39], ont soulevé l'hypothèse d'une relation entre l'exposition aux émissions des incinérateurs et l'incidence des sarcomes des tissus mous.

Cancers du foie

Cette localisation comprend uniquement les carcinomes hépatocellulaires et les carcinomes du canal biliaire intra-hépatique. Elle exclut toute autre tumeur hépatique. Le foie est, avec le tissu adipeux, le principal lieu de stockage des composés organochlorés dans l'organisme. La relation entre le rôle du récepteur AhR et les mutations génétiques de la cellule hépatique a été montrée chez l'animal dans plusieurs études expérimentales [40-42]. Au Royaume-Uni, P. Elliott, dans une étude réalisée en population générale, avait évoqué une relation entre la résidence à proximité d'un incinérateur et un surrisque de cancer du foie [22,23].

Cancers du poumon

Cette localisation englobe les tumeurs malignes de la trachée-artère, des bronches et du poumon et les localisations contiguës dont l'extension se fait de proche en proche à partir des bronches ou du tissu pulmonaire. Les études réalisées chez des travailleurs ont apporté des arguments en faveur d'une relation entre l'exposition à la 2,3,7,8 TCDD et le risque de cancer pulmonaire [43-45]. Des études menées en population générale ou après le suivi de la cohorte de Seveso [28] ont aussi apporté des arguments en faveur d'une relation entre l'exposition aux polluants émis par les incinérateurs et le risque de cancer pulmonaire [21,22].

Leucémies aiguës et lymphoïdes chroniques

Le terme "leucémies aiguës" concerne les formes aiguës et subaiguës de leucémies, les formes aleucémiques, les leucémies myéloïdes aiguës et subaiguës, les leucémies lymphoïdes aiguës et leucémies lymphoblastiques aiguës, les leucémies à cellule de Burkitt, les érythroleucémies, les leucémies promyélocytaires aiguës, les leucémies myélomonocytaires, les leucémies monocytaires aiguës et subaiguës, les leucémies à mégacaryocyte et les sarcomes myéloïdes.

L'hypothèse d'une relation entre les hémopathies malignes et l'exposition aux émissions industrielles avait été soulevée par plusieurs études : une étude cas-témoins réalisée en population générale en Amérique du Nord à proximité d'une source de pollution industrielle [46], au Royaume-Uni dans une étude de suivi par Elliott [22], ainsi que 15-20 ans après exposition accidentelle à la 2,3,7,8 TCDD dans la cohorte de Seveso [28].

Cancers de la vessie

Plusieurs études, réalisées tant en milieu professionnel qu'en population générale, ont apporté des arguments en faveur d'un lien entre l'incidence des cancers de la vessie et l'exposition à différents toxiques émis par les cheminées d'incinérateurs, en particulier les HAP [47] et les dioxines [48]. Un lien comparable a aussi été retrouvé lors d'une exposition environnementale aux dioxines [49] ou lors d'un tabagisme passif [50].

Cancers du sein

Cette localisation regroupe les tumeurs du tissu conjonctif du sein, du mamelon, de l'aréole, de la partie centrale et des quatre quadrants, les prolongements axillaires et les localisations contiguës. Dans une revue de la littérature, l'hypothèse d'une relation entre cancer du sein et exposition aux dioxines avait tout d'abord été écartée [6]. Cependant, au cours de l'analyse de la cohorte des femmes de Seveso en automne 2006 [51], une relation statistique forte a été mise en évidence pour la première fois.

² Registre national des tumeurs solides de l'enfant - Université Henri Poincaré Nancy 1, Faculté de Médecine 9, Avenue de la Forêt de Haye BP 184, 54505 Vandœuvre-lès-Nancy cedex, France.

3.6 Collecte et traitement des données sur les cas de cancer observés

Les données sur les cas de cancer diagnostiqués entre le 01/01/1990 et le 31/12/1999, chez les patients des deux sexes âgés de plus de 14 ans, ont été recueillies auprès du registre général du cancer des quatre départements enrôlés dans l'étude. Elles concernent :

- l'année de naissance ;
- l'âge au moment du diagnostic ;
- le sexe ;
- l'année du diagnostic ;
- les trois variables du codage en CIM-0-2 ;
- le code postal de la commune du lieu de résidence au moment du diagnostic ;
- l'adresse précise du domicile au moment du diagnostic (numéro, type et nom de la voie).

Le géocodage de chacun des cas de cancer dans son Iris de résidence a été réalisé à partir de l'adresse postale du patient au moment du diagnostic : plus de 99 % des cas de cancer ont pu être assignés dans leur Iris de résidence.

Tous les cas de cancer ont ensuite été identifiés en accord avec la seconde version de la CIM-0-2 basée sur trois variables : topographie, morphologie et comportement. Les cas de cancer ont été agrégés au niveau de l'Iris en fonction de leur type et du sexe.

3.7 Estimation de l'exposition aux rejets atmosphériques des incinérateurs

Plusieurs étapes ont été nécessaires pour estimer rétrospectivement les niveaux d'exposition des populations aux rejets des incinérateurs.

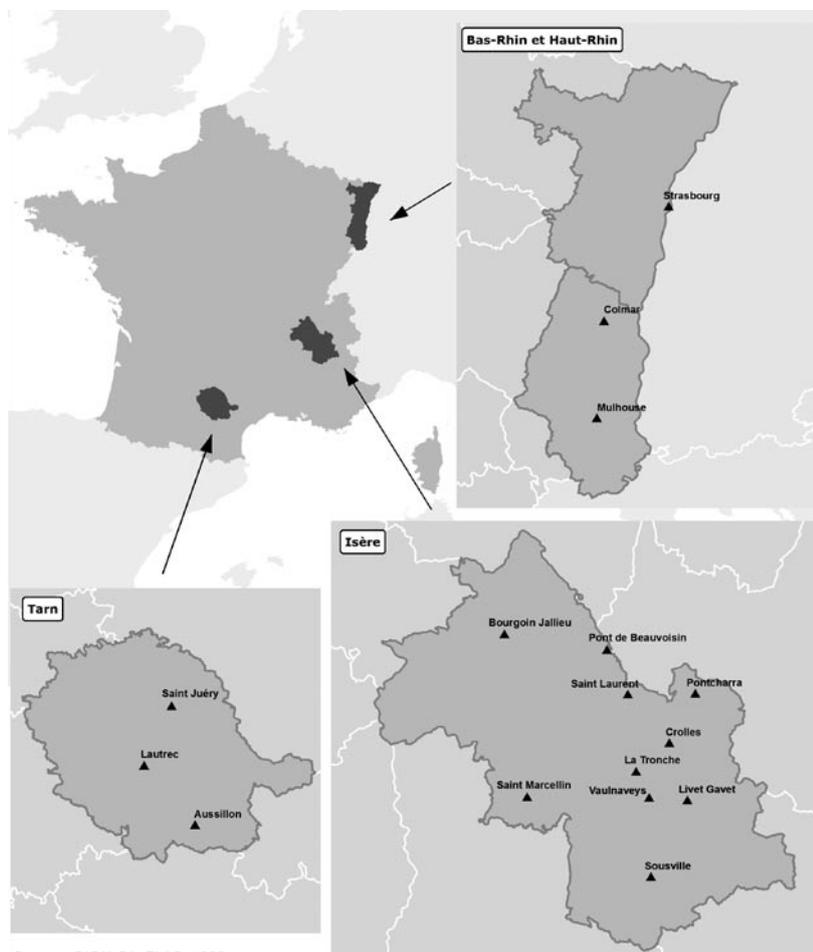
3.7.1 RECENSEMENT DES SOURCES D'ÉMISSION DANS LES QUATRE DÉPARTEMENTS D'ÉTUDE

Tous les incinérateurs ayant fonctionné dans les quatre départements sélectionnés entre 1972 et 1990 ont été pris en compte. Au final, 16 incinérateurs en fonctionnement au cours de la période d'étude ont été inclus dans l'étude (figure 1) :

- **10 incinérateurs en Isère** : les UIOM de La Tronche, Pontcharra, Bourgoin-Jallieu, Sousville, Livet-Gavet, Saint-Marcelin, Pont-de-Beauvoisin, Saint-Laurent, Crolles et Vaulnaveys ;
- **un incinérateur dans le Bas-Rhin** : l'UIOM de Strasbourg ;
- **deux incinérateurs dans le Haut-Rhin** : les UIOM de Mulhouse et Colmar ;
- **trois dans le Tarn** : les UIOM de Saint-Juéry, Lautrec et Aussillon (également dénommé Mazamet).

FIGURE 1

LES QUATRE DÉPARTEMENTS RETENUS POUR L'ÉTUDE ET LEURS USINES D'INCINÉRATION D'ORDURES MÉNAGÈRES (UIOM)



Source : ©IGN-GéoFLA®, 1999.

3.7.2 RECUEIL DES CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES INCINÉRATEURS

Tous les incinérateurs recensés ont été visités. Nous avons collecté, auprès des exploitants des usines et des directions régionales de l'industrie, de la recherche et de l'environnement (Drire), les informations techniques et l'historique de chacune des usines depuis leur mise en service jusqu'à la fin des années 90. Les principales informations collectées sont les données administratives de l'usine, les données de fonctionnement, les données sur les caractéristiques de l'environnement et les éventuelles données disponibles sur les mesures à l'émission.

3.7.3 ESTIMATION RÉTROSPECTIVE DES FLUX DE POLLUANTS EN SORTIE DE CHEMINÉE

En l'absence de mesures directes d'émissions de polluants réalisées pendant la période d'exposition de l'étude, il a été nécessaire de quantifier rétrospectivement, par une méthode alternative, les flux d'émission de chaque incinérateur pour trois groupes de polluants : particules, métaux lourds et dioxines.

L'estimation rétrospective de l'émission en sortie de cheminée a été réalisée par consensus d'experts, suivant une méthode inspirée de la méthode Delphi [52]. Six spécialistes de l'incinération, issus d'institutions gouvernementales et de l'industrie de l'incinération, ont participé à ce travail mené en trois étapes :

- 1) classification des incinérateurs en huit groupes en fonction de leurs caractéristiques techniques, notamment la capacité nominale de l'usine, le volume de déchets incinérés, le mode de fonctionnement continu ou discontinu, la récupération d'énergie, l'existence de systèmes de traitement des fumées ainsi que l'ancienneté de l'installation ;
- 2) estimation des concentrations (en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)³ de polluants émis à la cheminée pour chacun des huit groupes d'UIOM ;
- 3) conversion des concentrations de polluants estimées en flux d'émission (en $\mu\text{g}/\text{s}$) par incinérateur.

Les estimations de flux ainsi proposées pour les trois groupes de polluants ont servi de données d'entrée dans le modèle de dispersion atmosphérique ADMS version 3 (Numtech®).

3.7.4 MODÉLISATION DE LA DISPERSION ATMOSPHÉRIQUE ET DU DÉPÔT SURFACIQUE

La dispersion atmosphérique des rejets émis par les incinérateurs et les dépôts à la surface du sol ont été simulés à l'aide du logiciel ADMS3. Ce modèle gaussien de deuxième génération, spécifiquement développé pour la dispersion atmosphérique à partir d'une source fixe, prend en compte les paramètres météorologiques et topographiques du site (occupation des sols et altimétrie), les caractéristiques de l'émission des polluants par l'incinérateur (hauteur et diamètre de la cheminée, vitesse et température d'émission) et les caractéristiques du polluant considéré (répartition gaz/particules, taille particulaire, coefficient de lessivage, vitesse de déposition). Pour chaque incinérateur, les résultats de la modélisation ont été calculés selon une grille de points d'un

maillage de 200 mètres. L'aire de modélisation du panache a été étendue, selon l'incinérateur, jusqu'à une quinzaine de kilomètres autour de la cheminée. Une représentation cartographique d'une modélisation des dépôts surfaciques est présentée en figure 2.

3.7.5 CHOIX D'UN POLLUANT INDICATEUR DES SUBSTANCES ÉMISES

Trois types de polluants ont été identifiés initialement comme indicateurs des émissions des incinérateurs à caractère cancérigène : un mélange de métaux lourds, un mélange de dioxines, furanes et polychlorobiphényles (PCB), et un mélange de particules (PM_{10}).

La comparaison des flux d'émission a montré une forte corrélation statistique entre les flux d'émission de particules et de métaux lourds. De plus, lors de la phase de modélisation de la dispersion atmosphérique, il est apparu une forte corrélation entre les dépôts au sol de particules et ceux de dioxines, ainsi qu'entre les concentrations atmosphériques de dioxines et les dépôts de dioxines.

En conséquence, nous avons retenu comme indicateur d'exposition aux rejets de l'incinération le dépôt surfacique du mélange de dioxines, furanes et PCB, exprimé en mélange I-TEQ (OMS) et dénommé "dioxines" dans le reste de ce document.

3.7.6 VALEUR ET VOIE D'EXPOSITION

Afin d'obtenir une valeur d'exposition unique pour chaque Iris, nous avons calculé, pour tous les Iris comptant plus d'une valeur issue de la grille de modélisation, la médiane de toutes les valeurs retrouvées à l'intérieur des contours de l'Iris. Quand la superficie d'un Iris était trop réduite pour qu'un point de la modélisation s'y trouve, nous avons attribué à cet Iris la valeur du point de la grille modélisée le plus proche de l'Iris.

À cette valeur médiane calculée pour chaque Iris a ensuite été appliquée une fonction qui intègre à la fois :

- le cumul des dépôts pendant la période d'exposition ;
- la dégradation des dioxines dans les sols en fonction de leur demi-vie (10 ans).

Exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{an}$, la variable d'exposition utilisée dans l'analyse statistique correspond ainsi à la moyenne, sur la période d'exposition, des dépôts annuels accumulés de dioxines.

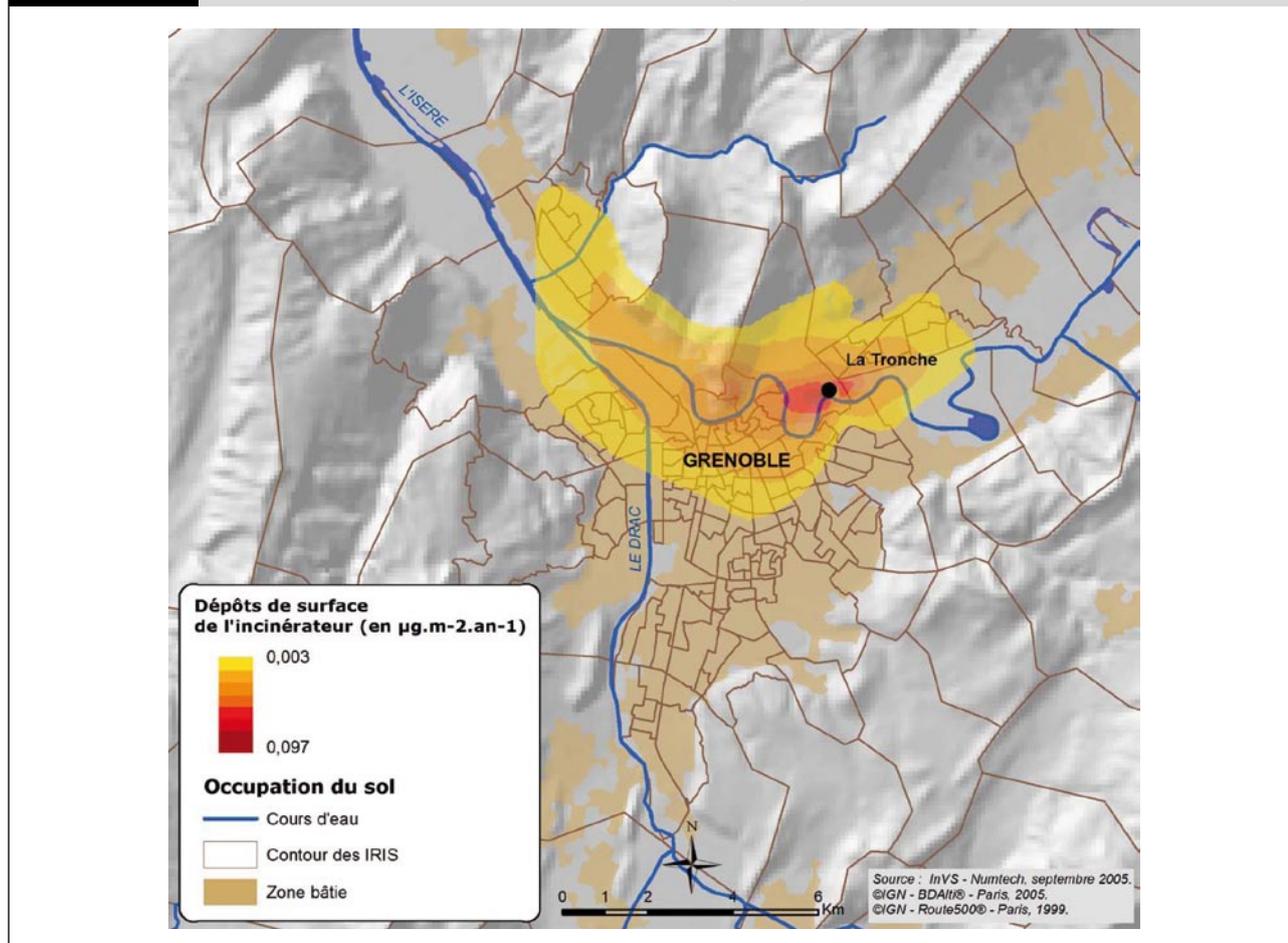
Cette variable d'exposition permet de prendre en compte le caractère cumulatif de ces polluants dans l'environnement. Elle a été jugée adaptée pour représenter une exposition de longue durée et rendre compte d'une exposition par ingestion de produits locaux (produits d'élevages, végétaux), qui représente la principale voie d'exposition humaine pour les dioxines [53-55].

L'exposition des Iris en dehors des aires de modélisation a été définie par défaut comme égale à la plus petite valeur des médianes de l'ensemble des Iris situées dans les aires de modélisation des quatre départements. Cette valeur, égale à $1,85 \cdot 10^{-5} \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{an}$, correspond à la médiane d'un Iris localisé en Isère.

³ Nm^3 : Normomètre cube, correspondant à un volume de gaz dans les conditions normales de température et de pression.

FIGURE 2

EXEMPLE DE MODÉLISATION DES DÉPÔTS SURFACIQUES DE DIOXINES ENTRE 1972 ET 1984 AUTOUR DE L'INCINÉRATEUR DE LA TRONCHE (ISÈRE)



3.8 Facteurs de confusion potentiels

L'analyse a pris en compte cinq facteurs ayant un impact connu sur l'incidence des cancers et pouvant être décrits à l'échelle de l'Iris.

Le niveau socio-économique

Le niveau socio-économique des individus est un facteur de confusion reconnu dans l'étude de l'influence d'une exposition environnementale à un polluant [56,57]. Les variables utilisées pour construire un indicateur socio-économique spécifique à l'étude proviennent du recensement de 1990 (Insee), de la base de données Iris PROFILS® (Insee) et de la base Revenu fiscal 2001®. La sélection de ces variables est fondée sur plusieurs indices déjà construits [57-59] et l'indice composite de pauvreté défini pour le département du Doubs [60,61]. L'indicateur lui-même a été construit par analyse en composantes principales à partir des éléments suivants : proportion de chômeurs (proportion d'actifs de 15-64 ans au chômage), proportion de ménages sans voiture, nombre moyen de personnes par pièce, proportion de ménages avec personne de référence "ouvrier", proportion de ménages non-propriétaires et proportion de logements HLM.

La densité de population

Ce facteur a été suspecté par plusieurs auteurs comme pouvant avoir un lien avec les taux d'incidence de certaines localisations tumorales [62-64]. Le nombre d'habitants par Iris rapporté à sa surface a permis de calculer la densité de population (habitants/km²).

Le caractère urbain/rural du lieu d'habitation

Chaque commune a été caractérisée selon l'appartenance à l'une des catégories d'un indicateur complexe, établi par l'Insee, qui se décline en quatre modalités :

- pôle urbain ;
- commune périurbaine monopolarisée ;
- commune multipolarisée ;
- espace à dominante rurale.

La pollution d'origine automobile

De nombreuses études se sont intéressées à l'effet cancérigène de l'exposition aux polluants atmosphériques d'origine automobile [65-69], ce qui justifiait la prise en compte de cette source de pollution comme facteur de confusion potentiel. Toutefois, l'absence de mesures précises et exhaustives sur la pollution d'origine routière au cours des années 70 à 80, l'hétérogénéité des données de comptage routier et la disparité des informations sur l'évolution spatiale du réseau routier dans chaque département n'ont pas permis une quantification rétrospective de la pollution atmosphérique d'origine automobile à l'échelle des Iris.

Le NO₂ est identifié comme un bon traceur de la pollution atmosphérique liée au trafic routier et de ses rejets de substances cancérigènes [70]. À partir d'une modélisation nationale des concentrations aérienne de NO₂ pour l'année 2000 (exprimé en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) fournie par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe), nous avons pu interpoler ces données suivant une grille de 4 km de côté.

La pollution industrielle

L'exposition aux agents cancérigènes émis dans l'atmosphère par certaines industries classées pour la protection de l'environnement (ICPE) a été prise en compte, selon les localisations de cancer, pour la période 1972-1985 ou pour la période 1972-1990. Un indice d'exposition à la pollution industrielle, exprimé par un nombre d'industries-années, a été défini comme le nombre d'industries présentes dans la commune chaque année. Pour les communes découpées en Iris, nous avons rapporté le nombre d'industries-années proportionnellement à la surface de chaque Iris.

3.9 Analyse statistique

Toutes les localisations de cancer ont été analysées les deux sexes confondus et pour chacun des sexes séparément. Cependant, les localisations pour lesquelles une différence d'incidence entre sexes était attendue (toutes localisations, cancer du poumon, cancer de la vessie) ont fait l'objet uniquement d'une analyse par sexe. Les localisations rares (sarcomes des tissus mous) ont été analysées pour les deux sexes confondus uniquement.

3.9.1 LES MODÈLES STATISTIQUES

L'association entre le nombre de cas de cancer par Iris et l'indicateur d'exposition aux rejets des incinérateurs a été estimée par une régression de Poisson prenant en compte les facteurs de confusion potentiels. Les modèles additifs généralisés (GAM) sont utilisés. Ces modèles permettent de tester si la relation entre l'indicateur sanitaire et l'indicateur d'exposition ou les covariables est significativement différente d'une relation linéaire, et de visualiser graphiquement la forme de cette relation. Les GAM pénalisés (fonctions de lissage par régression spline cubique pénalisée) ont été utilisés [71,72].

Initialement, la surdispersion résiduelle a été prise en compte en adoptant un modèle de régression de Poisson surdispersé de variance supérieure à la moyenne. Un modèle bayésien hiérarchique a ensuite été mis en œuvre [73-75]. En particulier, le modèle suggéré par Besag [76] a été appliqué. Ce modèle "divise" la variation extra-poissonnienne en deux composantes : une première composante tenant compte de la surdispersion non structurée spatialement et l'hétérogénéité, et une composante prenant en compte la surdispersion structurée spatialement.

Le seuil de significativité a été fixé à 5 %.

Ces modèles ont été estimés en utilisant le package "mgcv" du logiciel R® (<http://cran.r-project.org/>) et le logiciel WinBUGS [77].

3.9.2 VARIABLES INTRODUITES DANS LES MODÈLES STATISTIQUES

- Nombre de cas observés par Iris
- Nombre de cas attendus par Iris (offset)
- Effet département inclus dans tous les modèles (le département de référence étant l'Isère)

- Indicateur d'exposition aux incinérateurs : racine carrée de la moyenne des dépôts annuels accumulés ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{an}$), estimé à l'échelle de l'Iris
- Densité de population, calculée à l'échelle de l'Iris (nombre d'habitants par km^2)
- Indicateur socio-économique, estimé à l'échelle de l'Iris
- Indicateur urbain/rural, disponible à l'échelle de la commune (quatre classes)
- Indicateur d'exposition au trafic routier estimé à l'échelle de la commune : concentration atmosphérique de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Indicateur d'exposition aux autres industries polluantes, calculé à l'échelle de la commune (nombre d'industries-années)

Le nombre de cas attendus par Iris a été calculé en plusieurs étapes :

- 1) tout d'abord, les effectifs de population par Iris, par sexe et par tranche d'âge de cinq ans, pour l'année 1995, ont été estimés à partir des données de recensements de 1990 et 1999 fournies par l'Insee, en utilisant la méthode "diagonale simple" par tranche d'âge ;
- 2) les taux d'incidence de référence par tranche d'âge de cinq ans et par sexe ont ensuite été calculés à partir des cas de cancer collectés entre le 01/01/1990 et le 31/12/1999 par les quatre registres de cancers de l'étude (Isère, Bas-Rhin, Haut-Rhin, Tarn), et par les cas collectés par les registres du Doubs et de l'Hérault dont les données validées pour cette période étaient disponibles lors de la mise en place de l'étude. Les estimations Insee de la population par département, par tranche d'âge de cinq ans et par sexe pour les années 1990 à 1999, ont été utilisées pour le dénominateur ;
- 3) enfin, le nombre de cas attendus par Iris a été calculé à partir de ces taux d'incidence de référence et des effectifs de population par Iris de l'année 1995.

3.9.3 EXPRESSION DES RÉSULTATS

Les résultats de l'étude sont exprimés sous la forme de risques relatifs qui comparent le risque de survenue d'un cancer dans des zones fortement exposées au risque observé dans des zones faiblement exposées.

On entend par exposition forte la valeur au 90^e percentile (P90) de la distribution des 520 Iris situés à l'intérieur des zones de modélisation : seuls 4 % de la population totale des quatre départements ont une exposition supérieure ou égale à ce niveau.

Une exposition faible correspondant ici au 2,5^e percentile (P2,5) de la distribution des Iris situés à l'intérieur des zones de modélisation : 35 % de la population totale de l'étude sont exposés à un niveau supérieur ou égal à la valeur du P2,5.

Pour chaque localisation de cancer, le coefficient de régression de l'indicateur d'exposition aux UIOM issu du modèle a permis de calculer le risque relatif associé à une augmentation de l'indicateur d'exposition du 2,5^e au 90^e percentile de la distribution des 520 Iris situés à l'intérieur des zones de modélisation.

4. Mise en œuvre de l'étude

4.1 Équipe projet

Cette étude a été réalisée par une équipe interdisciplinaire qui réunissait, notamment, des épidémiologistes et des évaluateurs de risque, une biostatisticienne spécialisée en analyse spatiale, et des ingénieurs en modélisation et en géomatique.

- Coordination scientifique : Pascal Empereur-Bissonnet
- Conduite du projet : Adela Paez-Jimenez puis Pascal Fabre
- Analyse statistique : Sarah Gorla
- Estimation rétrospective de l'exposition : Côme Daniau
- Développement du SIG et cartographie : Perrine de Crouy-Chanel et Liliias Louvet
- Recueil des données : Jamel Daoudi et Béatrice Declercq
- Administration financière : Karine de Proft
- Secrétariat : Frédérique Suzanne puis Béatrice Jaillant

4.2 Comité scientifique

L'étude a bénéficié du soutien d'un comité scientifique dont les principales missions étaient de valider le protocole d'étude, de contribuer à résoudre les difficultés méthodologiques rencontrées par l'équipe projet au cours de la réalisation de l'étude et de valider les résultats obtenus. Il était composé des personnes suivantes :

- Nathalie Bonvallet puis Sabrina Pontet puis Cédric Duboudin, Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset)
- Pascal Brula, Polden-Insavalor
- Marc Colonna, registre des cancers de l'Isère
- Sylvaine Cordier, U625/Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm)
- Hélène Desqueyroux, Ademe
- Pascal Empereur-Bissonnet, Département santé environnement/InVS
- Pascal Fabre, Département santé environnement/InVS
- Guy Launoy, réseau Francim des registres de cancers
- Martine Ledrans, Département santé environnement/InVS
- Sylvia Richardson, Imperial College of London (Royaume-Uni)

- Florence Suzan, Département des maladies chroniques et des traumatismes/InVS
- Jean-François Viel, CHU de Besançon

4.3 Comité de communication

Un comité a été réuni à deux reprises pour conseiller l'équipe projet sur les aspects de communication des résultats de l'étude à la communauté scientifique et à la population.

Outre les personnes en charge de l'étude, ce comité réunissait des membres du service de communication de l'InVS, un représentant de la DGS et de l'Ademe, ainsi que des membres du comité scientifique.

4.4 Partenariats

Des contrats de collaboration scientifique ou de prestation ont été établis entre l'InVS et :

- le CHU de Besançon ;
- les registres de cancers du Bas-Rhin, du Haut-Rhin, du Tarn et de l'Isère ;
- Météo France ;
- l'Institut français de l'environnement (Ifen) ;
- l'Insee ;
- l'Institut géographique national (IGN) ;
- la société Géocible ;
- la société Numtech ;
- le groupe Polden-Insavalor.

4.5 Calendrier

L'étude a été réalisée sur quatre années, de décembre 2003 à décembre 2007.

5. Résultats

5.1 Population intercensitaire estimée en 1995

La population totale âgée de plus de 14 ans dans les quatre départements de l'étude a été estimée à 2 487 274 personnes pour l'année 1995. Cette population suivie pendant 10 ans représente donc environ 25 000 000 personnes-années.

Le tableau 1 présente la population estimée en 1995 par département. Les quatre départements de l'étude regroupent au total 2 270 Iris. Les panaches de fumées des 13 incinérateurs enrôlés pour l'étude des cancers solides entre 1972 et 1984 couvrent 23 % de ces Iris, soit 520 Iris, ce qui représente 35 % de la population totale de l'étude estimée en 1995.

TABLEAU 1	NOMBRE TOTAL D'IRIS, D'IRIS EXPOSÉS ENTRE 1972 ET 1984 ET POPULATION ESTIMÉE PAR DÉPARTEMENT EN 1995				
	Isère	Bas-Rhin	Haut-Rhin	Tarn	Total
Nombre total d'Iris	682	711	488	389	2 270
Nombre d'Iris exposé (%)	255(37)	129(18)	82(17)	54(14)	520(23)
Population	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)

5.2 Cas de cancer observés durant la période d'étude

Au total, un peu plus de 135 000 cas de cancer de l'adulte ont été recensés dans les quatre départements entre le 01/01/1990 et le 31/12/1999.

Le tableau 2 présente le nombre de cas de cancer observé pour chaque localisation étudiée pour les deux sexes confondus, à l'exception du cancer du sein qui ne concerne que les femmes.

TABLEAU 2	NOMBRE DE CANCERS OBSERVÉS (DEUX SEXES CONFONDUS À L'EXCEPTION DU SEIN), PÉRIODE 1990-1999				
	Isère	Bas-Rhin	Haut-Rhin	Tarn	Total
Tous cancers	41 809	45 343	30 868	17 103	135 123
Cancer du sein (femmes)	6 187	6 267	4 293	2 077	18 824
Cancer du poumon	4 169	4 694	2 918	1 565	13 346
LMNH	1 324	1 333	871	446	3 974
Cancer du foie	975	929	700	180	2 784
Sarcomes des tissus mous	221	208	132	94	655
Leucémies aiguës	443	350	309	136	1 238
Leucémies lymphoïdes chroniques	376	356	369	161	1 262
Myélomes multiples	578	454	435	233	1 700
Cancer de la vessie	1 456	1 744	1 141	770	5 111

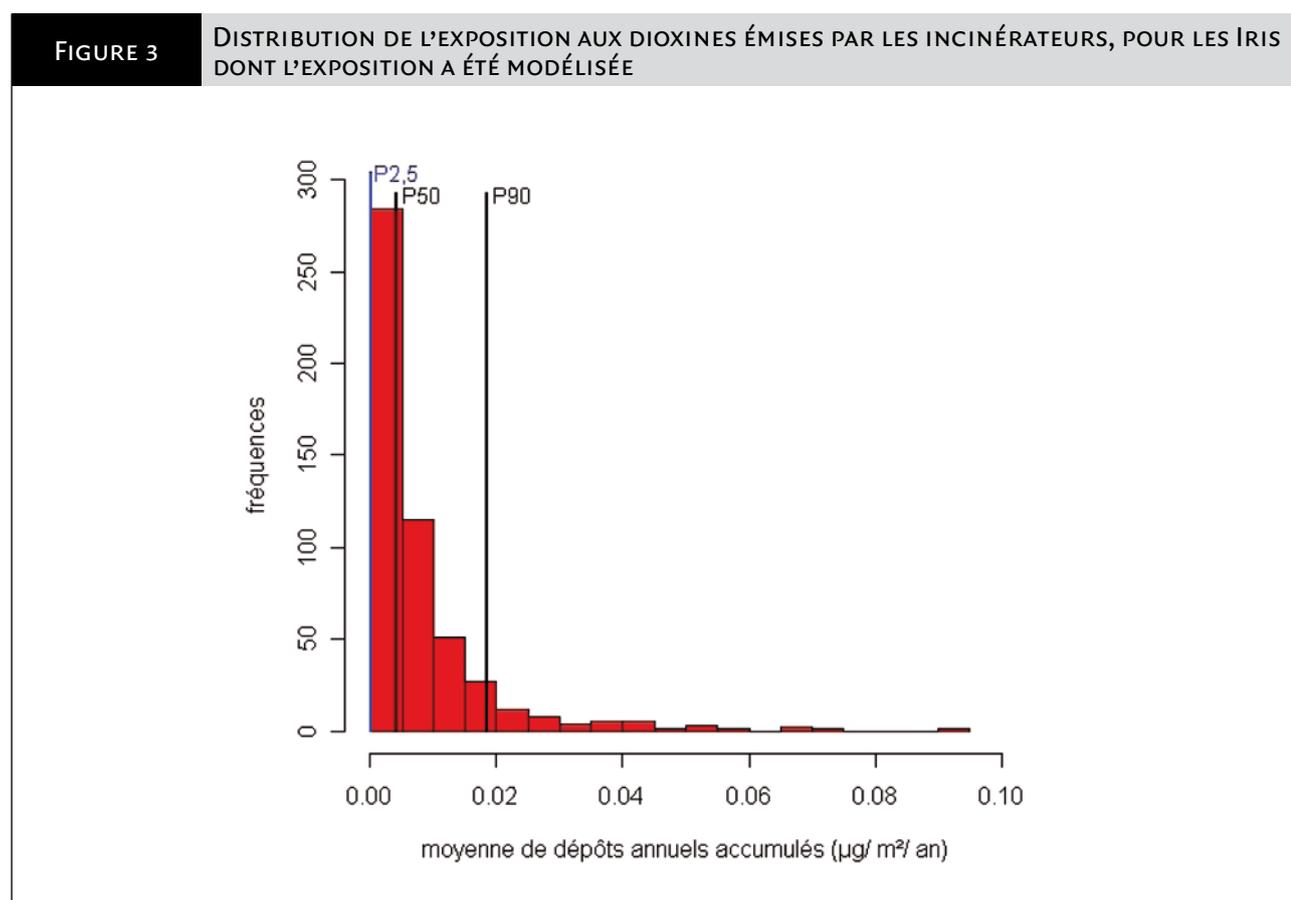
5.3 Exposition des Iris

Le tableau 3 présente la distribution de l'indicateur d'exposition "moyenne des dépôts annuels accumulés" de dioxines ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{an}$) pour la période 1972-1984 sur l'ensemble des zones de modélisation.

TABLEAU 3 INDICATEUR D'EXPOSITION DES IRIS, PÉRIODE 1972-1984			
	Indicateur d'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{an}$)	Nbre d'Iris (%) dont la valeur d'exposition est supérieure ou égale au percentile	% de population dont la valeur d'exposition est supérieure ou égale au percentile
Minimum	$2,04\text{e}^{-05}$	520 (22,9)	35,5
Percentile 2,5	$1,25\text{e}^{-04}$	507 (22,3)	35,0
Percentile 50	$4,25\text{e}^{-03}$	260 (11,4)	19,8
Percentile 75	$8,93\text{e}^{-03}$	130 (5,7)	9,8
Percentile 90	$1,78\text{e}^{-02}$	52 (2,3)	3,9
Maximum	$9,18\text{e}^{-02}$	1 (0,04)	0,1
Moyenne (écart-type)	$7,86\text{e}^{-03}$ ($1,09\text{e}^{-02}$)	-	-

La figure 3 présente la distribution de la moyenne des dépôts annuels accumulés de dioxines, pour les 520 Iris dont l'exposition a été modélisée pendant la période 1972-1984. Cette distribution, très asymétrique, montre qu'une grande proportion d'Iris a été soumise

à de faibles valeurs d'exposition. À l'inverse, seuls quelques Iris ont été fortement exposés. Pour éviter de donner trop de poids à ces expositions élevées lors de l'analyse statistique, nous avons transformé la variable d'exposition à la racine carrée.



5.4 Résultats de l'analyse statistique

Le tableau 4 présente les résultats pour toutes les localisations de cancer étudiées, le coefficient de l'indicateur d'exposition du modèle de régression et son écart-type, la significativité statistique (p-value) et le nombre de cas de cancer observé par localisation et par sexe.

Chez les femmes, une association positive et significative est mise en évidence pour "tous cancers" (p=0,01), le cancer du sein (p=0,03) et les LMNH (p=0,03).

Chez les hommes, seule une association positive et statistiquement significative est observée avec les myélomes multiples (p=0,05).

Pour les deux sexes confondus, nous observons une relation positive significative pour les LMNH (p=0,04), ainsi que des relations positives non statistiquement significatives au risque 5 %, mais qui sont proches de ce seuil de significativité, pour trois autres localisations : les sarcomes des tissus mous (p=0,07), le cancer du foie (p=0,07) et les myélomes multiples (p=0,10).

TABLEAU 4		RÉSULTATS DU MODÈLE DE RÉGRESSION PAR LOCALISATION ET PAR SEXE			
	Coefficient de régression	Écart-type	p-value	Nombre de cas observés	
TOUS CANCERS femmes	0,502	0,223	0,01	59 076	
TOUS CANCERS hommes	0,237	0,224	0,30	76 047	
SEIN femmes	0,680	0,320	0,03	18 824	
POUMON femmes	0,867	0,736	0,24	1 983	
POUMON hommes	0,430	0,445	0,34	11 363	
LMNH femmes+hommes	0,925	0,459	0,04	3 974	
LMNH femmes	1,340	0,628	0,03	1 827	
LMNH hommes	0,106	0,625	0,86	2 147	
FOIE femmes+hommes	1,204	0,662	0,07	2 784	
FOIE femmes	1,342	1,022	0,19	511	
FOIE hommes	1,020	0,700	0,14	2 273	
SARCOMES DES TISSUS MOUS femmes+hommes	1,594	0,887	0,07	655	
MYÉLOMES MULTIPLES femmes+hommes	1,161	0,709	0,10	1 700	
MYÉLOMES MULTIPLES femmes	0,347	0,984	0,72	811	
MYÉLOMES MULTIPLES hommes	1,597	0,823	0,05	889	
LEUCÉMIES AIGUËS femmes+hommes	0,269	0,731	0,71	1 238	
LEUCÉMIES AIGUËS femmes	0,767	1,007	0,45	592	
LEUCÉMIES AIGUËS hommes	-0,324	1,023	0,75	646	
LEUCÉMIES LYMPHOÏDES CHRONIQUES femmes+hommes	0,928	0,817	0,26	1 262	
LEUCÉMIES LYMPHOÏDES CHRONIQUES femmes	1,275	1,192	0,28	541	
LEUCÉMIES LYMPHOÏDES CHRONIQUES hommes	0,597	1,097	0,59	721	
VESSIE femmes	-1,631	0,854	0,06	997	
VESSIE hommes	-0,446	0,477	0,35	4 114	

Les chiffres inscrits en gras correspondent aux relations statistiquement significatives à $p \leq 0,05$.

5.5 Risques relatifs

L'association entre le risque de cancer et l'exposition aux incinérateurs est présentée dans le tableau 5 par les risques relatifs de cancer pour une augmentation de l'indicateur d'exposition du 2,5^e percentile au 90^e percentile de la distribution des Iris exposés.

Pour les relations statistiquement significatives, ces résultats correspondent à des excès de risque relatif compris entre 6 % pour les cancers "toutes localisations" chez les femmes et 23 % pour les myélomes multiples chez les hommes.

RISQUES RELATIFS (RR) DE CANCER (ET INTERVALLES DE CONFIANCE À 95 % [IC 95 %]) ENTRE LE RISQUE LIÉ À UNE EXPOSITION AU 90 ^E PERCENTILE ET LE RISQUE LIÉ À UNE EXPOSITION AU 2,5 ^E PERCENTILE, PAR LOCALISATION DE CANCER ET PAR SEXE		
	RR	[IC 95 %]
TOUS CANCERS femmes	1,06	[1,01-1,12]
TOUS CANCERS hommes	1,03	[0,97-1,09]
SEIN femmes	1,09	[1,01-1,18]
POUMON femmes	1,11	[0,93-1,33]
POUMON hommes	1,05	[0,95-1,18]
LMNH femmes+hommes	1,12	[1,00-1,25]
LMNH femmes	1,18	[1,01-1,38]
LMNH hommes	1,01	[0,87-1,18]
FOIE femmes+hommes	1,16	[0,99-1,37]
FOIE femmes	1,18	[0,92-1,52]
FOIE hommes	1,13	[0,96-1,35]
SARCOMES DES TISSUS MOUS femmes+hommes	1,22	[0,98-1,51]
MYÉLOMES MULTIPLES femmes+hommes	1,16	[0,97-1,40]
MYÉLOMES MULTIPLES femmes	1,05	[0,81-1,35]
MYÉLOMES MULTIPLES hommes	1,23	[1,00-1,52]
LEUCÉMIES AIGUËS femmes+hommes	1,04	[0,86-1,25]
LEUCÉMIES AIGUËS femmes	1,11	[0,85-1,43]
LEUCÉMIES AIGUËS hommes	0,96	[0,74-1,25]
LEUCÉMIES LYMPHOÏDES CHRONIQUES femmes+hommes	1,13	[0,91-1,39]
LEUCÉMIES LYMPHOÏDES CHRONIQUES femmes	1,18	[0,87-1,61]
LEUCÉMIES LYMPHOÏDES CHRONIQUES hommes	1,08	[0,82-1,43]
VESSIE femmes	0,82	[0,66-1,00]
VESSIE hommes	0,95	[0,84-1,06]

Les chiffres inscrits en gras correspondent aux relations statistiquement significatives à $p \leq 0,05$.

6. Discussion

Cette étude écologique géographique porte sur environ 135 000 cas de cancer observés dans quatre départements métropolitains au cours de la décennie 1990-1999. Elle a mis en évidence une relation positive significative entre l'exposition aux émissions atmosphériques d'incinérateurs d'ordures ménagères et l'incidence des cancers du sein, des LMNH et des cancers toutes localisations confondues chez la femme. Une relation positive significative a également été mise en évidence pour les myélomes multiples chez l'homme, ainsi que pour les LMNH pour les deux sexes réunis. De plus, l'étude montre, pour les deux sexes, l'existence d'un lien proche de la significativité statistique entre une exposition environnementale aux incinérateurs d'ordures et les sarcomes des tissus mous, les cancers du foie et les myélomes multiples.

6.1 Validité interne des résultats

6.1.1 ESTIMATION DE L'INCIDENCE DES CANCERS

La validité des taux d'incidence de cancer calculés dans cette étude est garantie par la qualité et la fiabilité des données fournies par les registres. Regroupés au sein du réseau Francim, ils appliquent les recommandations du guide européen pour la standardisation de l'enregistrement des cancers, publié en 2003 par l'*European Network of Cancer Registry* [78]. Le taux remarquable de géocodage des cas de cancer à l'Iris que nous avons obtenu, qui dépasse 99 %, illustre la bonne qualité des données, en particulier des adresses domiciliaires, fournies par les registres.

Les taux d'incidence de cancer pris en référence ont été calculés à partir des données observées par six registres, dont ceux des quatre départements de l'étude. Les populations dans lesquelles ces taux ont été mesurés incluent des personnes exposées aux émissions d'incinérateurs. Cela a pu diminuer l'écart entre les nombres de cas attendus et observés, et entraîner une sous-estimation des relations exposition-risques de cancer que nous avons mises en évidence.

La connaissance scientifique sur les temps de latence des cancers en rapport avec une exposition environnementale est encore limitée. Les valeurs moyennes que nous avons utilisées - cinq ans pour les leucémies et 10 ans pour les cancers solides - ont été choisies en fonction de la bibliographie consultée [27] ainsi que pour des raisons opérationnelles. Cependant, les dernières publications qui apportent des informations sur le temps de latence des cancers en santé environnementale, établies en population générale soumise à une pollution routière urbaine [68], industrielle chronique [79] ou accidentelle [28], évoquent des périodes de 15 ou même 20 ans. Les temps de latence de cancer considérés dans notre étude sont donc peut-être trop courts. Si tel était le cas, tous les cancers induits par l'exposition aux polluants émis par les incinérateurs n'auraient pas eu le temps de survenir ou de parvenir à un stade détectable. Ce biais potentiel pourrait entraîner une sous-estimation des relations observées.

6.1.2 ESTIMATION DE L'EXPOSITION AUX REJETS ATMOSPHÉRIQUES DES INCINÉRATEURS

Les flux d'émission en sortie de cheminée des usines d'incinération ont été évalués par une démarche de consensus d'experts dérivée de la méthode Delphi. L'évaluation rétrospective des émissions de dioxines est celle qui a suscité le plus de discussion. Nous avons comparé ces estimations aux valeurs de flux de huit incinérateurs réellement mesurés sur la période 1994-2004 dans le cadre d'une autre étude [80]. Il apparaît que les valeurs de flux estimées pour les incinérateurs les plus polluants ont vraisemblablement été sous-estimées par les experts, ce qui a pu avoir pour effet de resserrer les écarts entre les niveaux de rejets des usines enrôlées dans l'étude. Cependant, les gradients de flux de rejets et de dépôts étant globalement conservés entre incinérateurs, cette sous-estimation ne devrait pas avoir de conséquence sur les relations exposition-risque observées. De plus, l'impact de cette erreur potentielle sur la valeur numérique des risques relatifs est probablement faible, leur estimation reposant sur une comparaison de deux percentiles après transformation à la racine carrée de la variable d'exposition. En revanche, cette limite indique qu'il n'est pas possible d'utiliser les relations exposition-risque que nous avons calculées pour les transposer aux données de rejets mesurées actuellement.

Nous avons utilisé les dépôts secs et humides au sol d'un mélange de dioxines, furanes et PCB comme indicateur de l'exposition des Iris aux polluants émis par les incinérateurs d'ordures ménagères. Pour autant, les relations observées dans cette étude entre l'incidence des cancers et l'exposition aux rejets des incinérateurs ne peuvent pas être attribuées à ces seules substances ni à une voie d'exposition particulière.

La médiane de tous les points de la grille de modélisation inscrite dans le même Iris a été choisie pour décrire le niveau d'exposition de chaque unité statistique. Il n'est cependant pas exclu que ce type d'indicateur central, en homogénéisant l'exposition au sein des Iris, ait pu entraîner un biais non différentiel induisant une sous-estimation des relations mises en évidence.

Une valeur d'exposition a été attribuée par défaut aux Iris situés en dehors des zones de modélisation. Elle correspond à la plus faible valeur médiane du dépôt obtenue parmi tous les Iris situés dans les zones de modélisation des incinérateurs des quatre départements. Ce choix arbitraire peut être responsable d'une distorsion de la réalité. En termes d'impact sur la validité des résultats, il a pu éventuellement entraîner un biais non différentiel par dilution des effets.

6.1.3 TIERS FACTEURS PRIS EN COMPTE

Nous avons utilisé les concentrations atmosphériques en NO₂ de l'année 2000 comme indicateur de l'exposition aux agents cancérigènes émis dans l'air par le trafic routier [70]. L'utilisation de ces données impliquait néanmoins de faire l'hypothèse que les concentrations atmosphériques en NO₂ avaient peu, voire pas changé, entre la période d'exposition de l'étude (décennies 70 et 80) et l'année 2000. Bien que les constructions d'un tronçon autoroutier, d'un boulevard périphérique ou d'une

ceinture de contournement soient des événements ayant influencé la qualité de l'air au niveau local, on peut considérer d'une manière globale que l'évolution relative de la concentration atmosphérique de NO₂ s'est effectuée de façon assez homogène sur l'ensemble de la zone d'étude.

L'indicateur de pollution industrielle utilisé dans l'étude traduit de façon imparfaite l'exposition réelle d'un Iris situé à distance d'une installation polluante ou, à l'inverse, à proximité d'une industrie située dans le département mitoyen. Il s'agit néanmoins du seul indicateur que nous avons trouvé pour prendre en compte, au niveau de l'Iris, l'exposition à la pollution industrielle passée.

6.1.4 ANALYSE STATISTIQUE

Nous avons utilisé les modèles GAM et les modèles bayésiens hiérarchiques. Les modèles GAM permettent de prendre en compte d'éventuels effets non linéaires des variables. Les modèles bayésiens hiérarchiques, avec une composante d'hétérogénéité et une composante spatiale, permettent de prendre en compte des facteurs de risque inconnus ou non mesurés. En particulier, modéliser une source de variation structurée spatialement a permis de prendre en compte indirectement l'effet au niveau agrégé de facteurs de risque qui varient géographiquement. Ceci était important en regard de la forte variabilité extra-poissonnienne.

Il existe une hétérogénéité entre les quatre départements étudiés. Il faut souligner le poids du département de l'Isère. En effet, ce département est le plus peuplé (850 000 habitants), regroupe le plus grand nombre d'Iris exposés aux émissions d'incinérateurs (50 % de l'ensemble des Iris exposés de l'étude) et présente les valeurs d'exposition les plus fortes. À l'inverse, le Tarn, en grande partie rural, est le département le moins peuplé (290 000 habitants), le moins exposé (10 % des Iris exposés de l'étude) et a les valeurs d'exposition les plus faibles. Cette hétérogénéité est partiellement prise en compte par les covariables. Un effet département est introduit dans tous les modèles. Les coefficients de régression de l'indicateur d'exposition par département ont été calculés (interaction de l'effet département et de l'indicateur d'exposition), mais ne sont pas significativement différents ($\alpha=0,05$) de ceux de l'Isère.

6.1.5 CONCLUSION SUR LA VALIDITÉ INTERNE DES RÉSULTATS

6.1.5.1 Limites

Cette étude ne permet pas de s'extraire des limites inhérentes à toute étude écologique. En effet, il n'a pas été possible de prendre en compte 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 et origine des aliments consommés. De même, nous n'avons pas d'information sur l'histoire résidentielle des personnes.

Cependant, il n'y a pas lieu de penser que la distribution des facteurs de risque individuels ait été associée au niveau d'exposition. De même, il est peu probable que la mobilité résidentielle ait été différente chez les personnes atteintes d'un cancer et chez les autres.

Selon toute vraisemblance, les différents biais qui peuvent affecter notre étude devraient plutôt avoir pour effet global de sous-estimer les relations exposition-risque qui ont été observées.

6.1.5.2 Points forts

En comparaison aux autres études écologiques déjà conduites dans des populations résidentes à proximité d'incinérateurs [22,25,39,51,81], la puissance statistique obtenue par le suivi d'environ 25 millions de personnes-années est l'un des points forts de cette étude de type écologique. Une telle puissance a permis de mettre en évidence les différentes relations statistiques retrouvées.

Les analyses qui ont été conduites mettent en évidence les associations classiquement retrouvées entre le cancer du poumon et le faible niveau socio-économique, inversement entre le cancer du sein chez la femme et un niveau socio-économique élevé, ou encore entre le cancer du foie et l'habitat en milieu rural (résultats non présentés). Cette cohérence avec des connaissances établies est en faveur d'une bonne qualité des moyens d'observation et d'analyse mis en œuvre dans ce travail.

Enfin, l'analyse de sensibilité après exclusion des valeurs extrêmes d'exposition montre que les relations exposition-risque que nous avons observées sont stables.

Ces arguments sont de solides éléments en faveur de la validité des résultats issus de cette étude épidémiologique.

6.2 Cohérence avec la littérature et interprétation des relations observées

La relation statistique entre l'exposition aux rejets des incinérateurs d'ordures ménagères et l'incidence, chez la femme, des cancers toutes localisations confondues n'avait pas encore été mise en évidence en population générale. Cet effet carcinogène global pourrait trouver une explication dans la pluralité des substances chimiques émises par les incinérateurs. Il reste cependant à expliquer pourquoi cette incidence de cancers intéresse essentiellement les femmes. Nous pouvons faire l'hypothèse que les femmes, notamment dans les années 70 et 80, étaient plus sédentaires et surtout moins soumises que les hommes à une exposition professionnelle ou à certains facteurs de risque, par exemple l'alcool-tabagisme, ce qui a pu masquer l'effet de l'exposition aux fumées d'incinérateurs chez les hommes dans cette étude. Il existe peut-être aussi une explication hormonale, les relations toxicologiques entre les œstrogènes et le récepteur intranucléaire AhR, impliqué dans le contrôle de la prolifération cellulaire ainsi que dans l'équilibre hormonal [31;32;82-84], semblant désormais établies.

Notre étude a montré, également pour la première fois en population générale, que l'exposition aux agents émis par les incinérateurs d'ordures ménagères pourrait être un facteur de risque environnemental du cancer du sein chez la femme. En milieu professionnel, des études conduites en Russie [85] et en Allemagne [86] avaient déjà révélé un excès de risque de cancer du sein chez des ouvrières de l'industrie des pesticides exposées à des résidus de dioxines et furanes. Au demeurant, les effets de l'exposition aux dioxines sur le cancer du sein ont jusqu'à présent fait l'objet de résultats contradictoires. Ainsi, un déficit en

cancer du sein a d'abord été observé à Seveso [18] après 10 ans de suivi de la cohorte, 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 2,3,7,8 TCDD [87,88]. Enfin, il est important de noter que, dans notre étude, la relation exposition-risques "tous cancers" chez la femme persiste, même si l'on exclut de l'analyse les cas de cancer du sein (données non présentées).

La relation positive, significative, entre l'exposition aux rejets atmosphériques des incinérateurs et l'incidence des LMNH va dans le même sens que les résultats d'études de cluster et cas-témoins réalisées en population générale autour de l'incinérateur de Besançon [25,26]. Ces observations sont à rapprocher de celles recueillies lors du suivi de la cohorte de Seveso, où les LMNH apparaissaient liés uniquement chez les hommes à l'exposition accidentelle à la 2,3,7,8 TCDD [28]. Dans notre analyse par sexe, l'association entre le risque de LMNH et l'exposition aux incinérateurs est statistiquement significative chez les femmes, mais pas chez les hommes. Existe-t-il une explication environnementale, hormonale ou une susceptibilité particulière des femmes liée à une interaction gène/environnement spécifique [89] ? Cette étude ne permet pas d'expliquer le caractère féminin de la relation observée.

L'association positive, bien que non statistiquement significative ($p=0,07$), mise en évidence pour le risque de sarcomes des tissus mous est concordante avec les résultats d'études cas-témoins menées en France autour d'un incinérateur d'ordures ménagères [25], en Italie autour d'un incinérateur de déchets industriels [24] et autour de sources industrielles de dioxines comprenant des incinérateurs [39].

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 [22].

L'association positive observée pour les deux sexes confondus entre le risque de myélomes multiples et l'exposition aux incinérateurs, qui n'est pas statistiquement significative au seuil de 5 % ($p=0,10$), se traduit par un excès de risque relatif de 16 %. Lors de l'analyse par sexe, cette association semble être le fait d'une relation statistiquement significative chez les hommes ($p=0,05$). Notre observation est cohérente avec les résultats obtenus après un suivi de 15 ans de la cohorte de Seveso [34]. Elle est à rapprocher de celles faites dans des études réalisées en Suède sur des cohortes de pêcheurs consommant de grandes quantités de poissons contaminés par des composés organochlorés dont des dioxines [90,91].

Nous n'avons pas mis en évidence d'association significative pour le cancer du poumon dans les deux sexes. L'analyse montre que les covariables utilisées dans les modèles (score économique, trafic routier et densité de population) jouent par elles-mêmes un rôle primordial sur l'incidence des cancers du poumon.

L'étude ne montre pas de relation entre les leucémies aiguës ou chroniques et l'exposition aux émissions des incinérateurs, relation qui avait été observée sur la cohorte de Seveso [28,34].

Enfin, l'étude montre chez les femmes une relation négative, d'interprétation délicate, entre le risque de cancer de la vessie et l'exposition aux incinérateurs.

6.3 Portée des résultats de l'étude

Nous avons mis en évidence une relation positive entre le niveau d'exposition passée aux émissions atmosphériques des incinérateurs et le risque de survenue de certains cancers.

Si cette étude écologique apporte de nouveaux arguments en faveur de l'impact sanitaire d'une exposition passée aux polluants émis dans l'atmosphère par les incinérateurs, il n'est pas possible de déduire un lien de causalité à partir de ces observations. De plus, il faut rappeler que nous avons utilisé un indicateur d'exposition qui ne permet d'identifier ni les substances ni les voies d'exposition qui pourraient être en cause dans les relations mises en évidence.

D'un point de vue de santé publique, les excès de risque doivent être interprétés en fonction du nombre de personnes soumises aux différentes situations d'exposition.

En effet, les risques relatifs pour les Iris exposés au 90^e percentile (correspondant à 100 fois la valeur du bruit de fond) ne concernent que 4 % de la population totale. Les risques relatifs mis en évidence dans les Iris exposés au percentile 50 de l'exposition (soit $4.25e^{03} \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{an}$) sont moins élevés (résultats non présentés dans ce document), mais ils concernent 20 % de la population des quatre départements de l'étude.

Ainsi, le risque relatif entre le risque lié à une exposition au 90^e percentile (P90) et le risque lié à une exposition au 2,5^e percentile (P2,5), pour le cancer du sein chez les femmes, est égal à 1,09, alors qu'il est de 1,04 pour le risque relatif P50/P2,5. Dans les mêmes conditions, pour la localisation "tous cancers" chez les femmes, le risque passe de 1,06 à 1,03. Pour les LMNH, chez les femmes, ce risque est réduit de 1,18 à 1,07, et pour les deux sexes, de 1,12 à 1,05. Pour les myélomes multiples chez les hommes, le risque diminue de 1,23 à 1,08.

Au total, sur l'ensemble des localisations pour lesquelles nous avons retrouvé des liaisons significatives avec l'exposition passée aux incinérateurs, l'excès de risque relatif de cancer P50/P2,5 est 2 à 3 fois moindre que l'excès de risque relatif P90/P2,5. Toutefois, ce risque plus faible 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.

La transposition en dehors de notre zone d'étude des relations exposition-risques observées dans ce travail paraît délicate. En effet, les quatre départements inclus dans l'étude ne reflètent pas l'hétérogénéité de la population française et les relations exposition-risques mises en évidence intègrent de multiples interactions avec des facteurs démographiques, économiques et culturels locaux difficiles à identifier et à contrôler.

De même, les niveaux d'exposition aux rejets d'incinérateur, quantifiés rétrospectivement dans notre étude par consensus d'experts, n'ont qu'une valeur relative : les relations exposition-risque calculées sur la base de ces estimations ne peuvent pas être exploitées avec des données produites par des méthodes de quantification différentes. De plus, les relations mises en évidence font référence aux périodes d'exposition et de latence situées entre 1972 et 1990 dont les caractéristiques (expositions environnementales et professionnelles, démographie, contexte socio-économique, culturel et sanitaire) diffèrent sensiblement de la période actuelle.

7. Recommandations

7.1 AMÉLIORATION DES CONNAISSANCES ÉPIDÉMIOLOGIQUES

Trois objectifs peuvent notamment être poursuivis pour améliorer les connaissances sur la relation cancer-incinérateurs :

- 1) **valider les hypothèses soulevées par notre étude**, en réalisant une étude étiologique de type cas-témoins, associée à des dosages de bio marqueurs ou toute autre mesure individuelle de l'exposition, et comprenant le recueil d'informations précises sur l'histoire résidentielle et les facteurs de risque de chaque sujet. Seul ce type d'étude permettrait de vérifier et de confirmer de façon robuste si les relations observées dans notre étude persistent après contrôle des facteurs individuels. Elle permettrait, en outre, de disposer de relations dose-réponse et d'élaborer des modèles prédictifs. Au demeurant, si elle était positive, une étude analytique confirmerait l'excès de risque de cancer en lien avec une exposition passée, mais n'apporterait cependant pas de connaissance sur le risque en rapport avec les émissions actuelles. Le risque éventuel en excès en lien avec les émissions actuelles pourrait être évalué seulement dans 10 à 20 ans par la réédition d'une nouvelle étude écologique similaire à la nôtre ;
- 2) **tester des temps de latence plus longs pour estimer de façon plus complète la force des relations exposition-risque**, en allongeant le suivi des mêmes populations. En effet, compte tenu de la méconnaissance de la durée réelle de la période de latence des cancers, il est possible que la période d'observation de notre

étude ne corresponde qu'au début de la période de surincidence. Ce prolongement devrait aussi permettre d'évaluer plus exactement la durée de la période de latence des cancers ;

- 3) **explorer la relation entre cancers féminins et exposition aux incinérateurs**, en complétant l'analyse des données de l'étude pour expliquer l'excès de risque "tous cancers" chez la femme, notamment au travers d'études complémentaires de l'incidence des cancers de l'utérus et de l'ovaire, et des aspects particuliers du cancer du sein comme l'âge au moment du diagnostic, en comparant les femmes exposées aux femmes non exposées.

7.2 MISE EN ŒUVRE D' ACTIONS DE SANTÉ PUBLIQUE

En premier lieu, il est recommandé de diffuser largement les résultats obtenus de manière accessible au grand public.

La mise en œuvre de mesures de prévention des cancers induits par les rejets d'incinérateurs n'est plus possible pour les personnes qui ont été exposées pendant la période considérée (années 1970-1980) et jusqu'à l'application des nouveaux règlements de 1997 limitant les rejets atmosphériques des UIOM.

Sauf avis contraire d'experts dans ce domaine, compte tenu des faibles excès de risque relatif observés et en l'absence de démonstration de la causalité, il n'est pas recommandé de mettre en place de mesures particulières de prévention secondaire pour ce groupe de population (dépistage précoce, suivi médical).

8. Conclusion

Cette étude écologique a permis d'observer un lien entre l'exposition des populations adultes aux rejets atmosphériques des UIOM ayant fonctionné entre 1972 à 1990 et l'incidence des cancers dans les années 90.

Elle a mis en évidence des relations statistiquement significatives entre l'exposition des populations aux rejets de l'incinération et le risque :

- de cancer du sein et de cancers toutes localisations chez la femme ;
- de lymphomes malins non hodgkiniens pour les deux sexes analysés ensemble et chez la femme ;
- de myélomes multiples chez l'homme.

Les résultats suggèrent également, pour les deux sexes confondus, un lien avec les cancers du foie, les sarcomes des tissus mous et les myélomes multiples.

L'étude apporte ainsi de nouveaux arguments sur les risques sanitaires en rapport avec une exposition environnementale, sur une longue durée, aux rejets de l'incinération des ordures ménagères. Ses résultats sont cohérents avec ceux d'autres travaux publiés dans la littérature scientifique.

La taille importante de la population incluse dans l'analyse, la qualité des données fournies par les registres et les procédures mises en

œuvre pour estimer de façon rétrospective l'exposition passée des populations contribuent à la qualité de cette étude.

L'exploitation des résultats obtenus comporte certaines limites, notamment en ce qui concerne leur transposition géographique et temporelle. L'étude portant sur une situation passée, ses résultats ne peuvent pas être transposés aux situations actuelles. Compte tenu des caractéristiques propres aux études écologiques, la causalité du lien observé entre l'exposition aux rejets d'un incinérateur et l'incidence de certains cancers ne peut pas être démontrée. Néanmoins, plusieurs arguments plaident en faveur d'une telle relation. La mise en œuvre d'une étude étiologique, avec mesure de l'exposition et contrôle des facteurs de risque à l'échelon individuel, permettrait d'étayer la causalité des relations exposition-risques qui ont été observées.

Cette étude, en montrant un impact sanitaire des UIOM, confirme l'utilité des mesures de réduction des émissions de polluants qui ont été imposées à ces installations industrielles depuis la fin des années 90. On peut dès lors s'attendre à une diminution du risque de cancer chez les populations exposées aux niveaux actuels d'émission. Toutefois, en regard de l'incertitude sur les temps de latence d'apparition des cancers, on ne peut exclure que les expositions passées depuis les années 70 puissent encore aujourd'hui favoriser la survenue de cancers.

Références bibliographiques

- [1] Ademe, Berthier F, Vanlaer H. Dioxines & polluants organiques persistants. Journées techniques nationales, Chapitre : L'action des pouvoirs publics français, mars 2004.
- [2] Comité de la prévention et de la précaution. Les Incinérateurs d'ordures ménagères : quels risques ? Quelles politiques ? Rapport du ministère de l'Écologie et du Développement durable, décembre 2004 - page 10. 2007.
- [3] Boudet C, Zmirou D, Laffond M, Balducci F, oit-Guyod JL. Health risk assessment of a modern municipal waste incinerator. *Risk Anal* 1999 Dec;19(6):1215-22.
- [4] Gonzalez CA, Kogevinas M, Gadea E, Huici A, Bosch A, Bleda MJ *et al.* Biomonitoring study of people living near or working at a municipal solid-waste incinerator before and after two years of operation. *Arch Environ Health* 2000 Jul;55(4):259-67.
- [5] 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.
- [6] Calle EE, Frumkin H, Henley SJ, Savitz DA, Thun MJ. Organochlorines and breast cancer risk. *CA Cancer J Clin* 2002 Sep; 52(5):301-9.
- [7] Hunter DJ, Hankinson SE, Laden F, Colditz GA, Manson JE, Willett WC *et al.* Plasma organochlorine levels and the risk of breast cancer. *N Engl J Med* 1997 Oct 30;337(18):1253-8.
- [8] Hond ED, Roels HA, Hoppenbrouwers K. Sexual maturation in relation to polychlorinated aromatic Hydrocarbons: Sharpe and Skakkebaek's hypothesis revisited. *Environ Health Perspect* 2006;110(8):771-6.
- [9] IARC. Monography PAHs Vol 92. 2006.
- [10] IARC. Monography vol 69 PCDD PCDF. 1997.
- [11] Steenland K, Bertazzi P, Baccarelli A, Kogevinas M. Dioxin revisited: developments since the 1997 IARC classification of dioxin as a human carcinogen. *Environ Health Perspect* 2004 Sep;112(13):1265-8.
- [12] Elliott P, Arnold R, Cockings S, Eaton N, Jarup L, Jones J *et al.* Risk of mortality, cancer incidence, and stroke in a population potentially exposed to cadmium. *Occup Environ Med* 2000 Feb;57(2):94-7.
- [13] Dockery DW, Stone PH. Cardiovascular risks from fine particulate air pollution. *N Engl J Med* 2007;356(5):511-3.
- [14] Sunyer J, Basagana X. Particles, and not gases, are associated with the risk of death in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Int J Epidemiol* 2001 Oct;30(5):1138-40.
- [15] Moulin JJ, Clavel T, Roy D, Dananche B, Marquis N, Fevotte J *et al.* Risk of lung cancer in workers producing stainless steel and metallic alloys. *Int Arch Occup Environ Health* 2000 Apr;73(3):171-80.
- [16] Zeegers MP, Swaen GM, Kant I, Goldbohm RA, van den Brandt PA. Occupational risk factors for male bladder cancer: results from a population based case cohort study in the Netherlands. *Occup Environ Med* 2001 Sep;58(9):590-6.
- [17] Miligi L, Costantini AS, Benvenuti A, Kriebel D, Bolejack V, Tumino R *et al.* Occupational exposure to solvents and the risk of lymphomas. *Epidemiology* 2006 Sep;17(5):552-61.
- [18] 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.
- [19] Zober A, Messerer P, Huber P. Thirty-four-year mortality follow-up of BASF employees exposed to 2,3,7,8-TCDD after the 1953 accident. *Int Arch Occup Environ Health* 1990;62(2):139-57.
- [20] Pavuk M, Schecter AJ, Akhtar FZ, Michalek JE. Serum 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD) levels and thyroid function in Air Force veterans of the Vietnam War. *Ann Epidemiol* 2003 May;13(5):335-43.

- [21] 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 Jul;104(7):750-4.
- [22] 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 Mar;73(5):702-10.
- [23] Elliott P, Eaton N, Shaddick G, Carter R. Cancer incidence near municipal solid waste incinerators in Great Britain. Part 2: histopathological and case-note review of primary liver cancer cases. *Br J Cancer* 2000 Mar;82(5):1103-6.
- [24] 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 Sep;60(9):680-3.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] Cancer Epidemiology and Prevention-Oxford University Press. *Cancer Epidemiology and Prevention*. New York: Oxford University Press, 1996.
- [28] Bertazzi PA, Consonni D, Bachetti S, Rubagotti M, Baccarelli A, Zocchetti C *et al.* Health effects of dioxin exposure: a 20-year mortality study. *Am J Epidemiol* 2001;153(11):1031-44.
- [29] Remontet L, Buemi A, Velten M, Jouglu E, Esteve J. Evolution de l'incidence et de la mortalité par cancer en France de 1978 à 2000. Francim, Inserm, InVS, 2003.
- [30] Cole P, Trichopoulos D, Pastides H, Starr T, Mandel JS. Dioxin and cancer: a critical review. *Regul Toxicol Pharmacol* 2003 Dec;38(3):378-88.
- [31] Mandal PK. Dioxin: a review of its environmental effects and its aryl hydrocarbon receptor biology. *J Comp Physiol [B]* 2005 May;175(4):221-30.
- [32] Mulero-Navarro S, Pozo-Guisado E, Perez-Mancera PA, varez-Barrientos A, Catalina-Fernandez I, Hernandez-Nieto E *et al.* Immortalized mouse mammary fibroblasts lacking dioxin receptor have impaired tumorigenicity in a subcutaneous mouse xenograft model. *J Biol Chem* 2005 Aug 5;280(31):28731-41.
- [33] Schwartz GG. Multiple myeloma: clusters, clues, and dioxins. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 1997 Jan;6(1):49-56.
- [34] Bertazzi PA, Zocchetti C, Guercilena S, Consonni D, Tironi A, Landi MT *et al.* Dioxin exposure and cancer risk: a 15-year mortality study after the "Seveso accident". *Epidemiology* 1997 Nov;8(6):646-52.
- [35] Biggeri A, Catelan D. Mortality for non-Hodgkin lymphoma and soft-tissue sarcoma in the surrounding area of an urban waste incinerator. Campi Bisenzio (Tuscany, Italy) 1981-2001. *Epidemiol Prev* 2005 May;29(3-4):156-9.
- [36] De Roos AJ, Hartge P, Lubin JH, Colt JS, Davis S, Cerhan JR, *et al.* Persistent organochlorine chemicals in plasma and risk of non-Hodgkin's lymphoma. *Cancer Res* 2005 Dec 1;65(23):11214-26.
- [37] Kogevinas M, Kauppinen T, Winkelmann R, Becher H, Bertazzi PA, Bueno-de-Mesquita HB *et al.* Soft tissue sarcoma and non-Hodgkin's lymphoma in workers exposed to phenoxy herbicides, chlorophenols, and dioxins: two nested case-control studies. *Epidemiology* 1995 Jul;6(4):396-402.
- [38] Saracci R, Kogevinas M, Bertazzi PA, Bueno de Mesquita BH, Coggon D, Green LM *et al.* Cancer mortality in workers exposed to chlorophenoxy herbicides and chlorophenols. *Lancet* 1991 Oct 26;338(8774):1027-32.
- [39] 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(16).
- [40] Elbi C, Misteli T, Hager GL. Recruitment of dioxin receptor to active transcription sites. *Mol Biol Cell* 2002 Jun;13(6):2001-15.
- [41] Moennikes O, Loeppen S, Buchmann A, Andersson P, Itrich C, Poellinger L *et al.* A constitutively active dioxin/aryl hydrocarbon receptor promotes hepatocarcinogenesis in mice. *Cancer Res* 2004 Jul 15;64(14):4707-10.

- [42] Dere E, Boverhof DR, Burgoon LD, Zacharewski TR. In vivo-in vitro toxicogenomic comparison of TCDD-elicited gene expression in Hepa1 c1c7 mouse hepatoma cells and C57BL/6 hepatic tissue. *BMC Genomics* 2006 Apr 12;7.
- [43] Becher H, Flesch-Janys D. Dioxins and furans: epidemiologic assessment of cancer risks and other human health effects. *Environ Health Perspect* 1998 Apr;106 Suppl 2:623-4.:623-4.
- [44] Kogevinas M, Becher H, Benn T, Bertazzi PA, Boffetta P, Bueno-de-Mesquita HB *et al.* Cancer mortality in workers exposed to phenoxy herbicides, chlorophenols, and dioxins. An expanded and updated international cohort study. *Am J Epidemiol* 1997 Jun 15;145(12):1061-75.
- [45] Hooiveld M, Heederik DJ, Kogevinas M, Boffetta P, Needham LL, Patterson DG Jr *et al.* Second follow-up of a Dutch cohort occupationally exposed to phenoxy herbicides, chlorophenols, and contaminants. *Am J Epidemiol* 1998 May 1;147(9):891-901.
- [46] Benedetti M, Iavarone I, Comba P. Cancer risk associated with residential proximity to industrial sites: a review. *Arch Environ Health* 2001 Jul;56(4):342-9.
- [47] Mastrangelo G, Fadda E, Marzia V. Polycyclic aromatic hydrocarbons and cancer in man. *Environ Health Perspect* 1996 Nov;104(11):1166-70.
- [48] Prince MM, Hein MJ, Ruder AM, Waters MA, Laber PA, Whelan EA. Update: cohort mortality study of workers highly exposed to polychlorinated biphenyls (PCBs) during the manufacture of electrical capacitors, 1940-1998. *Environ Health* 2006 May 22;5:13 p.
- [49] Verkasalo PK, Kokki E, Pukkala E, Vartiainen T, Kiviranta H, Penttinen A *et al.* Cancer risk near a polluted river in Finland. *Environ Health Perspect* 2004 Jun;112(9):1026-31.
- [50] Baena AV, Allam MF, Del Castillo AS, az-Molina C, Requena Tapia MJ, bdel-Rahman AG *et al.* Urinary bladder cancer risk factors in men: a Spanish case-control study. *Eur J Cancer Prev* 2006 Dec;15(6):498-503.
- [51] Bertazzi P. Dioxin exposure and human health 30 years after the Seveso, Italy. 2006 p 361-2.
- [52] Moulin JJ, Romazini S, Lasfargues G, Peltier A, Bozec C, Deguerry P *et al.* Development of a job-exposure matrix in the heavy-metal industry in France. *Rev Epidemiol Sante Publique* 1997 Mar;45(1):41-51.
- [53] Jylhä K. Empirical scavenging coefficients of radioactive substances released from Chernobyl. *Atmospheric Environment* 25A[2], 263-270. 1991. Ref Type: Journal (Full)
- [54] Kaupp H, McLachlan MS. Distribution of polychlorinated dibenzo-P-dioxins and dibenzofurans (PCDD/Fs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) within the full size range of atmospheric particles. *Atmospheric Environment* 34[1], 73-83. 2000. Ref Type: Journal (Full)
- [55] Nessel CS, Butler JP, Post GB, Held JL, Gochfeld M, Gallo MA. Evaluation of the relative contribution of exposure routes in a health risk assessment of dioxin emissions from a municipal waste incinerator. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 1991 Jul;1(3):283-307.
- [56] Ward E, Jemal A, Cokkinides V, Singh GK, Cardinez C, Ghafoor A *et al.* Cancer disparities by race/ethnicity and socioeconomic status. *CA Cancer J Clin* 2004 Mar;54(2):78-93.
- [57] Carstairs V. Deprivation indices: their interpretation and use in relation to health. *J Epidemiol Community Health* 1995 Dec;49 Suppl 2:S3-8.:S3-S8.
- [58] SAHRU. A national deprivation index for health and health service research, technical report. 1997.
- [59] Townsend P. Deprivation. *Journal of Social Policy* 1987;16:125-46.
- [60] Challier B, Viel JF. Pertinence et validité d'un nouvel indice composite français mesurant la pauvreté au niveau géographique. *Rev Epidemiol Sante Publique* 2001 Feb;49(1):41-50.
- [61] Challier B, Baverel J, Arveux P, Mauny F, Pitard A, Viel JF. Validation of an area-based French deprivation index: a consistent link with lung cancer incidence. *Questions en santé publique* : Chapter 4; 17 Oct. 2001.
- [62] Nasca PC, Burnett WS, Greenwald P, Brennan K, Wolfgang P, Carlton K. Population density as an indicator of urban-rural differences in cancer incidence, upstate New York, 1968-1972. *Am J Epidemiol* 1980 Sep;112(3):362-75.
- [63] Howe HL, Keller JE, Lehnerr M. Relation between population density and cancer incidence, Illinois, 1986-1990. *Am J Epidemiol* 1993 Jul 1;138(1):29-36.

- [64] Yang CY, Hsieh YL. The relationship between population density and cancer mortality in Taiwan. *Jpn J Cancer Res* 1998 Apr;89(4):355-60.
- [65] Gauvin S, Zmirou D, Le MY, Cassadou S, Lauvergne N, Reungoat P *et al.* Air quality monitoring and personal exposure of children to NO₂ and fine particles. *Rev Epidemiol Sante Publique* 2002 Jun;50(3):307-19.
- [66] Pearson RL, Wachtel H, Ebi KL. Distance-weighted traffic density in proximity to a home is a risk factor for leukemia and other childhood cancers. *J Air Waste Manag Assoc* 2000 Feb;50(2):175-80.
- [67] Feychting M, Svensson D, Ahlbom A. Exposure to motor vehicle exhaust and childhood cancer. *Scand J Work Environ Health* 1998 Feb;24(1):8-11.
- [68] Nyberg F, Gustavsson P, Jarup L, Bellander T, Berglind N, Jakobsson R *et al.* Urban air pollution and lung cancer in Stockholm. *Epidemiology* 2000 Sep;11(5):487-95.
- [69] Bellander T, Berglind N, Gustavsson P, Jonson T, Nyberg F, Pershagen G *et al.* Using geographic information systems to assess individual historical exposure to air pollution from traffic and house heating in Stockholm. *Environ Health Perspect* 2001 Jun;109(6):633-9.
- [70] Correlation parameters of NO₂ to other traffic Pollutants near an Expressway Poster presentation, ISEE/ISEA International Conference Tucson 2006.
- [71] Wood SN. Modelling and smoothing parameter estimation with multiple quadratic penalties. *Journal of the Royal Statistical Society* 2000;B(62):413-28.
- [72] Wood SN, Augustin NH. GAMs with integrated model selection using penalized regression splines and applications to environmental modelling, *Ecological Modelling*, 2002.
- [73] Elliott P, Wakefield JC, Best NG, Briggs DJ. *Spatial Epidemiology. Methods and Applications*, Oxford University Press, 2000.
- [74] Bernardinelli L, Pascutto C, Montomoli C, Komakec J, Gilks WR. Ecological regression with errors in covariates : an application, in *Disease mapping and risk assessment for public health*, Lawson, Biggeri, Bohning, Lesaffre, Viel and Bertollini (eds), Chichester, Wiley, 1999.
- [75] Richardson S, Monfort C, Green M, Draper G, Muirhead C. Spatial variation of natural radiation and childhood leukaemia incidence in Great Britain. *Stat Med* 1995 Nov 15;14(21-22):2487-501.
- [76] Besag J, York J, Mollié A. Bayesian image restoration, with two applications in spatial statistics, *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*, 1991.
- [77] Spiegelhalter DJ, Thoma A, Best N. WinBUGS, Version 1.4 User Manual. Cambridge, MA: MRC Biostatistics Unit, 2003.
- [78] Tyczynski JE, Démaret E, Parkin DM. Standards and guidelines for cancer registration in Europe, IARC technical publication n°40, 2003.
- [79] Read D, Wright C, Weinstein P, Borman B. Cancer incidence and mortality in a New Zealand community potentially exposed to 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin from 2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid manufacture. *Aust N Z J Public Health* 2007 Feb;31(1):13-8.
- [80] Zeger SL, Thomas D, Dominici F, Samet JM, Schwartz J, Dockery D *et al.* Exposure measurement error in time-series studies of air pollution: concepts and consequences. *Environ Health Perspect* 2000 May;108(5):419-26.
- [81] Michelozzi P, Fusco D, Forastiere F, Ancona C, Dell'Orco V, Perucci CA. Small area study of mortality among people living near multiple sources of air pollution. *Occup Environ Med* 1998 Sep;55(9):611-5.
- [82] Belpomme D, Irigaray P, Hardell L, Clapp R, Montagnier L, Epstein S *et al.* The multitude and diversity of environmental carcinogens. *Environ Res* 2007 Aug 8.
- [83] 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 Oct 1;57(19):4378-83.
- [84] Wang SL, Chang YC, Chao HR, Li CM, Li LA, Lin LY *et al.* Body burdens of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans, and biphenyls and their relations to estrogen metabolism in pregnant women. *Environ Health Perspect* 2006 May;114(5):740-5.
- [85] Revich B, Aksel E, Ushakova T, Ivanova I, Zhuchenko N, Klyuev N, *et al.* Dioxin exposure and public health in Chapaevsk, Russia. *Chemosphere* 2001 May;43(4-7):951-66.

- [86] 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 Oct;338(8773):959-64.
- [87] 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 Dec 1;142(11):1165-75.
- [88] Wolff MS, Weston A. Breast cancer risk and environmental exposures. *Environ Health Perspect* 1997 Jun;105 Suppl 4:891-6:891-6.
- [89] Saintot M, Malaveille C, Hautefeuille A, Gerber M. Interaction between genetic polymorphism of cytochrome P450-1B1 and environmental pollutants in breast cancer risk. *Eur J Cancer Prev* 2004 Feb;13(1):83-6.
- [90] Hagmar L, Linden K, Nilsson A, Norrving B, Akesson B, Schutz A *et al.* Cancer incidence and mortality among Swedish Baltic Sea fishermen. *Scand J Work Environ Health* 1992 Aug;18(4):217-24.
- [91] Svensson BG, Mikoczy Z, Stromberg U, Hagmar L. Mortality and cancer incidence among Swedish fishermen with a high dietary intake of persistent organochlorine compounds. *Scand J Work Environ Health* 1995 Apr;21(2):106-15.

Incidence des cancers à proximité des usines d'incinération d'ordures ménagères

Cette étude écologique de type géographique, réalisée dans le cadre du Plan cancer 2003-2007, a pour objectif 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 porte sur les cancers 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 (Iris) au cours des années 1970-80 a été quantifiée par une modélisation de la dispersion atmosphérique et du dépôt surfacique accumulé des dioxines émises par 16 incinérateurs. Les résultats sont exprimés sous forme de risques relatifs qui comparent les risques de survenue d'un cancer dans des zones fortement exposées aux risques observés dans des zones peu exposées.

Une relation statistique significative est mise en évidence entre l'exposition aux panaches d'incinérateurs et l'incidence, chez la femme, des cancers toutes localisations réunies, du cancer du sein et des lymphomes malins non hodgkiniens. Un lien significatif est également retrouvé pour les lymphomes malins non hodgkiniens chez les deux sexes confondus et pour les myélomes multiples chez l'homme uniquement.

Cette étude 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. Ils confirment le bien fondé des mesures réglementaires de réduction des émissions appliquées à ces installations industrielles depuis la fin des années 1990.

Incidence of cancers near municipal solid waste incinerators

This ecological spatial study was performed in the context of the Cancer Plan 2003-2007. It aimed at assessing the relationship between the incidence of cancers in adults and the exposure to emissions from municipal solid waste incinerators. It was based on cancers 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 1970-80s was quantified by the modeling of atmospheric dispersion and accumulation of dioxins surface deposition. Results are expressed as relative risks, which compare the risks of cancer occurrence in areas highly exposed to the risks in areas slightly exposed.

A significant statistical relationship was evidenced between the exposure to incinerators and the incidence, in women only, 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 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. They do however justify the implementation of regulatory measures to reduce emissions of such industrial plants since the end of the 1990s.

Citation suggérée :

P. Fabre, C. Daniau, S. Gorla, P. de Crouy-Chanel, P. Empereur-Bissonnet. Étude d'incidence des cancers à proximité des usines d'incinération d'ordures ménagères – Synthèse. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire, 2008, 25 p. Disponible sur : www.invs.sante.fr

INSTITUT DE VEILLE SANITAIRE

12 rue du Val d'Osne
94 415 Saint-Maurice Cedex France
Tél. : 33 (0)1 41 79 67 00
Fax : 33 (0)1 41 79 67 67
www.invs.sante.fr

ISSN : 1958-9719
ISBN : 978-2-11-097128-9
Tirage : 500 exemplaires
Imprimé par Imprimerie Centrale SA
Luxembourg
Réalisé par DIADEIS-Paris
Dépôt légal : mars 2008