

# Incinérateurs et santé



## Guide pour la conduite à tenir lors d'une demande locale d'investigations sanitaires autour d'un incinérateur d'ordures ménagères

### Composition du groupe de travail

Ce document a été rédigé par Nathalie Bonvallot avec la collaboration de Frédéric Dor, Département Santé Environnement, Institut de Veille Sanitaire (InVS). Il a été enrichi grâce aux remarques et aux contributions écrites de chacun des membres du groupe de travail.

Le groupe de travail remercie François Mansotte (DDASS Loire Atlantique), Pierre Deltour (RESE) et Martine Ledrans (InVS) pour leur relecture critique.

**Philippe Bajeat** (ADEME)

**Francine Berthier** (MEDD)

**Franck Bonnetain** (Cire Centre Est)

**Nathalie Bonvallot** (InVS) *coordination*

**Sylvia Carbonnel** (Cire Centre Est)

**Sylvie Cassadou** (InVS)

**Frédéric Dor** (InVS)

**Bruno Fabres** (CIRE Rhône Alpes-Auvergne)

**Pascal Fabre** (CIRE Nord)

**Nadine Fréry** (InVS)

**Philippe Glorennec** (ENSP)

**Christophe Heyman** (CIRE Nord)

**Frédérique Le Querrec** (DGAL)

**Marie-Hélène Louergue** (AFSSA)

**Philippe Quénel** (CIRE Antilles Guyane)

**Philippe Thoumelin** (RSD)

**Denis Zmirou** (AFSSE)



INSTITUT DE  
VEILLE SANITAIRE





# Avertissement

Ce document a pour vocation première d'informer les services déconcentrés de l'Etat (DRASS, DDASS, DRIRE) et les CIRE sur la problématique de santé publique posée par les usines d'incinération d'ordures ménagères (UIOM), et de les aider à décrire et analyser à l'échelle locale la situation rencontrée autour de ces installations. Ce document rassemble également des arguments scientifiques permettant, à partir de la description de la situation, de justifier la nécessité (ou non) de mettre en place des études spécifiques pour une gestion éclairée de santé publique.

Il constitue le résultat d'une réflexion menée en 2002 par un groupe de travail animé par l'InVS. Les informations contenues dans ce document ne peuvent être exhaustives, d'autant plus que la recherche dans le domaine des incinérateurs évolue régulièrement par la mise en place de nouvelles études tant au niveau de l'exposition de la population que des effets sanitaires liés aux polluants de l'incinération. Aussi, une mise à jour de la partie relative aux connaissances actuelles pourra être engagée à l'occasion de nouveaux acquis scientifiques. Une actualisation de la conduite à tenir sera également envisagée lorsqu'elle sera jugée utile au vu des investigations locales à venir. Ce guide est également disponible sur le site internet de l'InVS ([www.invs.sante.fr](http://www.invs.sante.fr)).





# Liste des abréviations et acronymes

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie  
AFSSA : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments  
CIRE : Cellule Inter Régionale d'Epidémiologie  
CITEPA : Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique  
CLIS : Commission Locale d'Information et de Surveillance  
COV : Composés Organiques Volatils  
CPP : Comité de la Prévention et de la Précaution  
DDASS : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales  
DGAL : Direction Générale de l'Alimentation (Ministère de l'Agriculture)  
DGS : Direction Générale de la Santé (Ministère de la Santé)  
DRASS : Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales  
DRIRE : Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement  
ENSP : Ecole Nationale de la Santé Publique  
ERS : Evaluation des Risques Sanitaires  
ERSEI : Evaluation des Risques Sanitaires dans l'Etude d'Impact  
HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques  
HCl : Acide Chlorhydrique  
HF : Acide Fluorhydrique  
ICPE : Installations Classées pour la Protection de l'Environnement  
IFEN : Institut Français de l'Environnement  
INERIS : Institut National de l'Environnement industriel et des RISques  
InVS : Institut de Veille Sanitaire  
LNH : Lymphomes Non Hodgkiniens  
MEDD : Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable  
NOx : Oxydes d'azote  
NRC : National Research Council  
OMS : Organisation Mondiale de la Santé  
ORS : Observatoire Régional de Santé  
PCB : PolyChloroBiphényles  
PCDD/F : PolyChloroDibenzoDioxines / PolyChloroDibenzoFuranés  
RESE : Réseau d'Echanges en Santé Environnementale  
RSD : Réseau Santé Déchets  
SFSP : Société Française de Santé Publique  
SO<sub>2</sub> : Dioxyde de soufre  
STM : Sarcome des Tissus Mous  
UIOM : Usine d'Incinération d'Ordures Ménagères





# Introduction

## ➤ Contexte environnemental et social

L'incinération a concerné en France 11,4 millions de tonnes d'ordures ménagères et assimilés en 2000 (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie – ADEME – Inventaire des installations de traitement des déchets ménagers et assimilés, 2000). Le parc d'incinérateurs, qui compte aujourd'hui 123 unités conformes à l'arrêté du 25 janvier 1991 (recensement du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable – MEDD – au 06 janvier 2003<sup>1</sup>), a subi d'importantes modifications ces dernières années avec la construction d'installations neuves, la mise en conformité d'installations existantes et la fermeture d'un grand nombre d'installations anciennes. En effet, on comptait en 1998 environ 300 usines d'incinération d'ordures ménagères (UIOM), pour des quantités incinérées globalement identiques à celles d'aujourd'hui.

Toutefois, même s'il n'y a plus aujourd'hui en France d'UIOM particulièrement vétustes, nombreuses ont été celles dont l'obsolescence manifeste les a rendu dans le passé responsables d'émissions importantes de polluants. La persistance de certains d'entre eux (notamment dioxines, métaux) dans l'environnement peut entraîner, à long terme, des effets néfastes sur la santé des populations résidant à proximité.

Cette technique de traitement des déchets suscite actuellement de nombreuses craintes de la part du public. La mise en conformité réglementaire et les nombreux travaux de recherche ont permis d'apporter des éléments de réponse aux interrogations légitimes de la population sur les risques sanitaires encourus. Cependant, de nombreux doutes subsistent et chaque nouvelle étude relance le débat sur la nature et l'importance de ces risques. Aussi, bien que le questionnement local ne soit pas toujours clairement défini, il ressort souvent une forte demande de mise en place d'études sanitaires, notamment épidémiologiques.

A titre d'exemple, parmi les nouveaux travaux de recherche, l'équipe du Professeur J.F. Viel publiait en juillet 2000 dans l'*American Journal of Epidemiology* [Viel et al., 2000] une étude sur des « agrégats de sarcomes des tissus mous (STM) et de lymphomes non hodgkiniens (LNH) autour d'une usine d'incinération d'ordures ménagères émettant des teneurs en dioxines élevées ». Les auteurs concluaient à un excès de STM et de LNH entre 1980 et 1995 aux environs de l'usine d'incinération de Besançon ayant émis dans l'atmosphère des concentrations de dioxines allant jusqu'à 16,3 ng I-TEQ/m<sup>3</sup> (la concentration est donnée en équivalent toxique international, se référer à la fiche pages 83-84), sans pour autant établir formellement de lien de causalité entre les excès de cas de cancers et ces concentrations élevées. Cette publication, et les relais dont elle a bénéficié de la part d'associations opposées à l'incinération, a engendré une multiplication du nombre des saisines relatives à l'impact sanitaire des UIOM sollicitant, notamment, la mise en place d'études de même nature sur d'autres sites.

## ➤ Des recommandations de recherche déjà émises

Au cours des dernières années, de nombreuses institutions ont émis des recommandations, notamment en termes de recherche sur les expositions et les impacts sanitaires dus aux incinérateurs. En 1999, la Société Française de Santé Publique [SFSP, 1999] publiait un travail d'évaluation des risques sanitaires encourus par les populations exposées aux effluents atmosphériques des incinérateurs. A l'issue de ce rapport, elle émettait les recommandations suivantes :

- **Privilégier les mesures à l'émission** et un système de contrôle qui distingue certains composés judicieusement choisis (par exemple sur des critères de toxicité), améliorer l'utilisation de telles mesures en assurant une **transparence** et une **actualisation** des données ;

<sup>1</sup> <http://www.environnement.gouv.fr/dossiers/dechets/incineration/default.htm>

- Engager des programmes de **mesures de polluants systématiques** ;
- **Améliorer la connaissance des expositions** ;
- Réfléchir à une **surveillance** épidémiologique des populations riveraines des UIOM ;
- Faire respecter la **réglementation**.

Ces recommandations sont très similaires à celles, spécifiques aux dioxines, émises en 1998 par le Comité de la prévention et de la précaution (CPP)<sup>2</sup>.

Dans ce contexte, la Direction Générale de la Santé (DGS) a demandé à l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) d'étudier la pertinence et la faisabilité de la réalisation d'une étude épidémiologique semblable à celle réalisée par le Professeur J.F. Viel, afin de déterminer les risques encourus par les populations résidant à proximité des UIOM. De façon plus générale, elle a demandé à ce que l'InVS formule des recommandations sur les recherches épidémiologiques à mener.

## ➤ Une démarche nationale d'expertise

L'analyse des différentes situations qui ont abouti à une sollicitation des autorités sanitaires ces dernières années fait ressortir deux points essentiels : le premier est la difficulté de clarifier le questionnement de la population ou des pouvoirs publics locaux ; le deuxième est la diversité des signaux d'appel, qu'ils soient de nature environnementale, sanitaire ou sociale. Inéluctablement, la conclusion est une demande forte de mettre en place une ou plusieurs études épidémiologiques dans les populations concernées par la pollution issue des incinérateurs.

Les autorités sanitaires n'ont pas forcément l'ensemble des éléments à leur disposition pour gérer la situation avec l'efficacité souhaitée. Cette analyse a conduit l'InVS à proposer la mise en place de trois groupes de travail dont les missions sont les suivantes :

- *Groupe 1* : rédiger un guide sur la conduite à tenir lors d'une demande d'investigations sanitaires autour d'une installation d'incinération ;
- *Groupe 2* : étudier la faisabilité d'une étude d'exposition aux dioxines à travers le dosage dans les liquides biologiques ;
- *Groupe 3* : proposer des axes de recherche, notamment épidémiologiques, sur les impacts sanitaires des populations résidant à proximité des incinérateurs.

Le présent document répond à la première mission et s'adresse particulièrement aux CIRE, DRASS, DDASS et DRIRE.

## ➤ Objectifs du groupe de travail

Avant de se lancer dans la mise en place d'une étude sur les impacts sanitaires, il est important de bien poser les éléments de la réflexion. Les questions suivantes précisent les objectifs à atteindre dans le déroulement d'une conduite à tenir :

- Quels sont les éléments descriptifs disponibles sur le contexte local ?
- Quelle est la question, en terme de santé publique, posée aux, ou par les autorités sanitaires ? La réponse à cette question débouche-t-elle sur une décision en terme d'action de santé publique ? Passe-t-elle par la mise en place d'une étude ?
- Quel type d'étude serait susceptible d'apporter ces éléments de réponse ?
- Quelle est la faisabilité du ou des types d'études retenus ?

A cet égard, plusieurs outils existent et peuvent être utilisés pour de telles investigations. Les études bibliographiques peuvent répondre à un certain nombre de questions sur des aspects scientifiques qui ont déjà été explorés. L'épidémiologie peut permettre de décrire une situation de santé ou d'exposition dans une population donnée ; elle peut également approfondir une relation exposition/risque. L'évaluation des risques sanitaires permet, lorsque les données sont suffisantes, de prédire un excès de risque pour la santé. Les données de surveillance environnementale ou sur les marqueurs biologiques peuvent fournir un support intéressant aux études épidémiologiques ou d'évaluation de risques.

<sup>2</sup> CPP : avis du 03 avril 1998. <http://www.environnement.gouv.fr/ministere/comitesconseils/cpp-fiche-descriptive.htm>

## ➤ Organisation du guide

Le document est structuré en trois parties distinctes.

La première partie détaille les éléments de la conduite à tenir au niveau local. Les quatre questions citées plus haut structurent le plan proposé. Une première étape décrit et analyse la situation locale. Une deuxième étape s'attache à redéfinir la (ou les) question(s) en terme de santé publique pour s'interroger sur l'utilité de la mise en place d'une étude sanitaire, quelle qu'elle soit. Une troisième étape identifie la pertinence d'un type d'étude lorsque sa mise en place est jugée utile. Enfin, une quatrième étape nécessite d'analyser la faisabilité de l'étude retenue.

Cette partie s'appuie sur plusieurs schémas de synthèse (figures 1a,b,c) qui ont pour but de faciliter la compréhension globale de la démarche proposée. D'autre part, plusieurs exemples, tirés d'expériences acquises entre 1998 et 2002, sont cités dans la première partie pour illustrer le déroulement de la conduite à tenir. Il s'agit des incinérateurs de Bessières en Haute-Garonne (31) [ORMIP 2001], d'Angers en Maine-et-Loire (49) [Glorennec et al 2001], et de Gilly sur Isère en Savoie (73).

La deuxième partie s'attache à décrire de façon synthétique les divers types d'études, qu'elles soient bibliographiques ou épidémiologiques, et leur possibilité d'utilisation pour une aide à la décision autour des incinérateurs. Ces éléments sont issus d'ouvrages de synthèse ainsi que de l'analyse des études proposées dans des situations locales existantes, à partir des exemples décrits dans la première partie.

Enfin, la troisième partie est consacrée à rappeler les éléments de connaissances disponibles sur les incinérateurs, les réglementations auxquelles ils sont soumis, leurs émissions et les effets sanitaires investigués dans la littérature autour des UIOM. Cette partie comporte un certain nombre d'éléments – tableaux de réglementation, concentrations environnementales pour certains polluants, nombreuses adresses internet – utiles à la compréhension du problème et à la réalisation d'investigations locales.





# Sommaire

<b>Partie 1. Conduite à tenir : Phase opérationnelle</b> .....	<b>15</b>
<b>1. Introduction</b> .....	<b>17</b>
<b>2. L'analyse de la situation</b> .....	<b>19</b>
2.1 Les signaux d'appel : identification et validation.....	19
2.1.1 Investigation du signal environnemental.....	19
2.1.2 Investigation du signal sanitaire.....	21
2.1.3 Investigation du signal social.....	22
2.2 Les types d'incinérateurs.....	22
2.2.1 Description du contexte lié à l'incinérateur.....	22
2.2.2 Description du type d'incinérateur.....	22
2.3 Le potentiel d'exposition de la population.....	23
2.4 La place de la communication.....	24
2.5 Conclusion.....	24
2.5.1 Les actions immédiates.....	25
2.5.2 Les actions différées.....	25
2.6 Illustration de l'analyse de la situation.....	26
<b>3. L'utilité de mettre en place une étude</b> .....	<b>29</b>
3.1 Formulation de la question de santé publique.....	29
3.2 Définitions en santé publique.....	30
3.2.1 L'utilité.....	30
3.2.2 Les différentes natures de bénéfices.....	30
3.2.3 Les actions de santé publique.....	30
3.3 Bilan.....	32
<b>4. La pertinence des outils disponibles</b> .....	<b>37</b>
4.1 Objectif.....	37
4.2 Les deux niveaux de l'analyse.....	37
4.3 Bilan.....	38

<b>5. La faisabilité de l'étude retenue</b> .....	<b>41</b>
5.1 Objectif.....	41
5.2 Les conditions de mises en œuvre.....	41
5.2.1 Les données nécessaires.....	41
5.2.2 Analyse des éléments disponibles.....	42
5.3 Bilan.....	42
<b>6. Conclusion</b> .....	<b>45</b>
<b>Partie 2. Description des types d'études et possibilités d'utilisation lors d'investigations autour d'un incinérateur</b> .....	<b>55</b>
<b>1. Les études bibliographiques</b> .....	<b>59</b>
<b>2. Les études environnementales</b> .....	<b>61</b>
<b>3. Les études d'exposition</b> .....	<b>63</b>
<b>4. L'évaluation des risques sanitaires (ERS)</b> .....	<b>65</b>
<b>5. Les études épidémiologiques</b> .....	<b>67</b>
5.1 Les études descriptives.....	67
5.2 Les études écologiques.....	69
5.3 Les études analytiques (ou étiologiques).....	71
<b>6. Conclusion</b> .....	<b>75</b>
<b>7. Rappel sur les critères à évoquer lors du choix d'une étude</b> .....	<b>77</b>
<b>Partie 3. Eléments de connaissances sur les incinérateurs d'ordures ménagères</b> .....	<b>79</b>
<b>1. La réglementation liée aux incinérateurs d'ordures ménagères</b> .....	<b>81</b>
1.1 Les fondements de la réglementation française concernant les UIOM.....	81
1.2 L'évolution.....	81
<b>2. Les techniques d'incinération et de dépollution des fumées</b> .....	<b>85</b>
2.1 Le dépoussiérage.....	85
2.2 La neutralisation des fumées.....	85
2.3 Les traitements complémentaires.....	86
<b>3. Connaissances actuelles sur l'impact sanitaire des incinérateurs</b> .....	<b>87</b>
3.1 Les émissions atmosphériques.....	87

<b>3.2 Contribution à la pollution environnementale</b> .....	<b>89</b>
3.2.1 Pollution atmosphérique.....	89
3.2.2 Pollution des sols et végétaux.....	90
3.2.3 Contamination de la chaîne alimentaire.....	92
<b>3.3 Exposition des populations</b> .....	<b>93</b>
<b>3.4 Effets sanitaires</b> .....	<b>96</b>
3.4.1 Les cancers.....	96
3.4.2 Effets sur la reproduction et sur le développement chez l'enfant.....	96
3.4.3 Effets sur l'appareil respiratoire.....	97
<b>4. Conclusion</b> .....	<b>99</b>
<b>Références bibliographiques</b> .....	<b>101</b>



# **Partie 1**

## **Conduite à tenir : Phase opérationnelle**



# 1. Introduction

Trop vite, dans un contexte local sous tension, on peut être amené à annoncer la mise en place d'une étude sur les impacts sanitaires. Cependant, qu'elles soient épidémiologique, d'exposition ou d'évaluation du risque, les études doivent respecter un certain nombre de critères qui relèvent de l'utilité, de la pertinence et de la faisabilité. Cette démarche, de plus en plus utilisée, mérite d'être formalisée dans l'analyse initiale de la situation.

Cette présentation sommaire donne les éléments de la réflexion à mener. On distingue quatre questions qui structurent le plan proposé pour la conduite à tenir :

1. Quelle est la situation rencontrée ? Il s'agit de l'analyse descriptive de la situation.
2. Quelle est la question posée ? La réponse à cette question débouche-t-elle sur une décision en terme d'action de santé publique ? Passe-t-elle par la mise en place d'une étude ? Il s'agit de redéfinir la ou les questions en terme de santé publique pour s'interroger sur l'utilité de la mise en place d'une étude sanitaire, quelle qu'en soit la nature.
3. En cas de réponse positive à la question précédente, quel type d'étude serait susceptible d'apporter les éléments de réponse ? Il s'agit d'identifier le ou les outils pertinents permettant de répondre à la ou les questions posées.
4. Quelle est la faisabilité du ou des types d'études retenus ? Il s'agit d'étudier la faisabilité en termes techniques et scientifiques.

L'analyse de trois situations survenues entre 1998 et 2002 permettra d'illustrer à chacune des étapes la démarche proposée. Il s'agit des incinérateurs de Bessières (31) dont la saisine de l'Observatoire régional de Santé Midi Pyrénées (ORSMIP) date de novembre 1998 ; Angers (49) dont la saisine de la CIRE Bretagne date du 2 septembre 1999 ; et Gilly sur Isère (73) dont la saisine de la CIRE Rhône Alpes Auvergne date de novembre 2001.

Par ailleurs, la figure 1(a,b,c) pages 48-53 présente de manière synthétique la démarche proposée pour la conduite à tenir (de l'analyse de la situation aux critères de pertinence). Ces schémas ne sont pas exhaustifs quant aux différentes situations locales possibles mais ont pour vocation d'illustrer de façon sommaire le cheminement des différentes étapes du guide.

## Illustration par différents contextes

### **Incinérateur de Bessières (31)**

En 1996, l'implantation d'une nouvelle UIOM de 2 fours de 11,4t/h dans la commune de Bessières, inscrite dans le plan départemental d'élimination des déchets ménagers et relevant d'une décision concertée du syndicat mixte de valorisation des ordures ménagères, suscite l'inquiétude de la population. L'incinérateur sera situé dans une zone rurale. L'autorisation d'exploiter a finalement été délivrée le 18 janvier 1998, après réalisation d'un complément de l'étude d'impact prenant en compte les exigences de la circulaire de 1997. Face à l'inquiétude de la population manifestée à nouveau en commission locale d'information et de surveillance (CLIS) en octobre 1998, la DDASS a sollicité l'ORS au mois de novembre 1998 pour apporter une réponse.

### **Incinérateur d'Angers (49)**

L'UIOM d'Angers, d'une capacité de 100 000 t/an (3 fours de 5t/h) et en service depuis 1974, a suscité une inquiétude chez les riverains, exprimée en CLIS. L'UIOM est actuellement (depuis 2000) conforme à l'arrêté de janvier 1991 et respecte les valeurs limites à l'émission de la circulaire de février 1997. Sollicité par la CLIS, le préfet, sur proposition de la DDASS, a saisi la CIRE le 2 septembre 1999 afin qu'une étude soit réalisée pour évaluer l'impact sanitaire de l'incinérateur autour du site exploité.

### **Incinérateur de Gilly sur Isère (73)**

L'UIOM de Gilly sur Isère, près d'Albertville, d'une capacité de 4t/h, a été mise en service en 1971. L'usine est connue comme étant non conforme à la réglementation en vigueur (températures des fours non atteintes, électrofiltre à fonctionnement insuffisant). Elle a déjà reçu deux mises en demeure par le préfet dans le passé. En mars 2001, un administré ainsi qu'une association alertent les autorités locales sur l'existence d'un nombre anormalement élevé de cancers à proximité de l'installation. A la demande des maires de Grignon et de Gilly sur Isère et de la FRAPNA (association régionale), des mesures de dioxines sont réalisées dans l'environnement proche (à l'émission, dans le lait de vache broutant à proximité, dans les végétaux et le sol). Celles-ci révèlent l'existence de contaminations importantes (75 ng/Nm<sup>3</sup> à l'émission, les teneurs mesurées dans les sols sont proches du « bruit de fond » figurant dans les recommandations allemandes soit 5 ng I-TEQ/kg de matière sèche, jusqu'à 35 pg I-TEQ/g de matière grasse dans le lait de vache). Le préfet de la Savoie décide la fermeture définitive de l'usine le 24 octobre 2001.

Une situation de crise s'instaure alors, et est aggravée par la mise en place d'un plan massif d'abattage de bétail, de retrait de productions laitières et de viande dans une zone de 10 km de rayon autour de l'usine, qui accentue la perception de la gravité de la situation. Cette décision donne lieu à une crise médiatique et sociale. Une association de citoyens fait pression pour obtenir les mesures de dioxines dans le lait des femmes allaitant résidant aux abords de l'installation. La crise est alors renforcée par la publication des analyses de dioxines et les problèmes d'interprétation scientifique de tels dosages. Face à ces difficultés, la DDASS a sollicité la CIRE et l'InVS en novembre 2001 pour apporter une réponse.

<sup>3</sup> Le terme Nm<sup>3</sup> ou « Normo-mètre cube » associé à la concentration dans l'air correspond à la quantité de gaz contenu dans un volume de un mètre cube dans les conditions normales de température et de pression (273,15 K et 0,1 MPa).

## 2. L'analyse de la situation

Le développement de cette question s'appuie sur l'analyse des saisines récentes auxquelles les services déconcentrés de l'Etat ont été confrontés. Elle montre que le type de réponse apportée est fortement dépendant à la fois : (i) du signal (sanitaire, environnemental ou social) qui déclenche la demande, (ii) du contexte relatif à l'incinérateur (en activité ou pas, récent ou ancien), et (iii) du potentiel d'exposition de la population (circonstances dans lesquelles l'exposition de la population devient possible). Il est donc important de recueillir et d'analyser toutes ces données afin de clarifier la nature du questionnement local et sa traduction en terme de santé publique. La décision d'engager ou non des études au niveau local se fera progressivement, en incluant au fur et à mesure de la conduite autant d'étapes décisionnelles qu'il est nécessaire.

Les trois paragraphes suivants détaillent les éléments essentiels pour renseigner la situation. Dans la pratique, ils doivent être traités en parallèle car les renseignements obtenus sur le type d'incinérateur et l'exposition vont permettre d'enrichir la validation des signaux d'appel. Le lecteur trouvera des informations plus précises sur les possibilités de recueil de données dans le document intitulé : « Analyse descriptive d'une pollution industrielle chronique à partir des données disponibles – Aide mémoire » (InVS 2003).

### 2.1 Les signaux d'appel : identification et validation

Trois types de signaux sont possibles :

- Le premier est d'ordre environnemental : il s'agit de résultats (i) de mesures effectuées dans un ou plusieurs milieux environnementaux et qui montrent des concentrations de polluants élevées ou (ii) de mesures à l'émission supérieures à la réglementation en vigueur ;
- Le deuxième est d'ordre sanitaire : il s'agit par exemple de la déclaration par un médecin ou par un riverain d'un excès apparent ou suspecté de pathologies autour d'un incinérateur ;
- Le troisième est d'ordre social : il s'agit d'actions engagées « en raison de la présence ou de la future implantation d'un incinérateur » par les populations résidant à proximité de celui-ci. Ce signal est nommé « inquiétude de la population ». Dans certaines situations, ce signal d'appel peut évoluer vers un signal environnemental ou sanitaire.

Quels que soient le ou les signaux d'appel, il est indispensable, avant toute chose, de mettre en œuvre les actions adaptées pour investiguer ce ou ces signaux, afin de déterminer la réalité des éléments sur lesquels s'appuient les émetteurs des signaux. Le lecteur pourra trouver de nombreux éléments d'aide à l'identification des signaux dans la partie 3 du document (réglementations, contaminations environnementales, valeurs guides, effets sanitaires étudiés autour des incinérateurs par la communauté scientifique...).

#### 2.1.1 Investigation du signal environnemental

L'objectif est de confirmer la réalité d'une contamination environnementale ou du dépassement d'une valeur limite à l'émission. L'investigation du signal peut être organisée selon deux étapes décisionnelles, qu'il s'agisse d'une contamination de l'environnement, ou de la mise en évidence d'une mesure à l'émission supérieure à la réglementation en vigueur. Ces deux types de signaux environnementaux nécessitent, pour être validés, de recourir à des critères décisionnels spécifiques.

Le lecteur se référera à la partie 3 pour connaître les éléments de réglementation liés à l'incinération d'ordures ménagères et les principales substances retrouvées à l'émission.

## Contamination de l'environnement

### 1. Analyse sommaire des données de contamination

- **Réception du signal**
- **Vérification de la fiabilité et de la représentativité de l'analyse et confirmation de la valeur analytique** : Collecte des échantillons, stockage, laboratoire, type d'analyse, unités... ; Y'a-t-il plusieurs échantillons ? La valeur analytique est-elle isolée ?...
- **Vérification de la « plausibilité » du lien substances / incinérateur** : La substance est-elle bien émise par l'incinération ? Est-elle retrouvée dans un périmètre approprié ?...

#### Identification du signal d'appel environnemental

- Critères décisionnels
  - \* contamination de l'environnement suspectée
  - \* plausibilité du lien substance / incinérateur
- Décision de poursuivre ou non l'investigation

### 2. Validation d'une pollution environnementale et d'une exposition potentielle

- **Traduction d'une pollution d'un média de l'environnement** : La valeur est-elle supérieure à une contamination de fond ? On peut s'aider des tableaux VI à XII relatifs aux contaminations de l'environnement et aux pollutions de fond (partie 3).
- **Contribution de cette pollution à l'exposition de la population** : La population est-elle susceptible d'être en contact avec le média de l'environnement analysé ?

#### Validation du signal d'appel environnemental

- Critères décisionnels
  - \* contamination de l'environnement avérée
  - \* exposition de la population suspectée
- Décision de poursuivre ou non l'investigation

## Valeur à l'émission supérieure aux valeurs limite d'émission en vigueur

### 1. Analyse sommaire des données d'émission

A chaque étape, la décision de poursuivre ou non l'investigation est prise en fonction de la validation des mesures à l'émission et de la plausibilité de l'exposition.

- **Réception du signal**
- **Vérification de la fiabilité et de la représentativité de la mesure analytique et confirmation de la valeur analytique** : Collecte des échantillons, stockage, laboratoire, type d'analyse, unités...

#### → Identification du signal d'appel environnemental

- Critère décisionnel
  - \* mesure à l'émission supérieure à la valeur limite d'émission en vigueur
- Décision de poursuivre ou non l'investigation

### 2. Validation d'une exposition potentielle

- **Plausibilité de l'exposition de la population** : La population est-elle susceptible d'être en contact avec la substance analysée ?

### → Validation du signal d'appel environnemental

- Critère décisionnel
  - \* exposition de la population plausible
- Décision de poursuivre ou non l'investigation

Il est déjà possible à ce moment de proposer des études supplémentaires s'il est difficile de se prononcer sur la réalité de la contamination ou la plausibilité de l'exposition, ou si une valeur à l'émission élevée a été mise en évidence. Par exemple, en proposant une étude environnementale ou en réalisant une modélisation de la dispersion des émissions de l'UIOM.

## 2.1.2 Investigation du signal sanitaire

L'objectif est de confirmer la réalité de la plainte et de juger de la plausibilité d'un lien entre les pathologies déclarées et la présence de l'incinérateur. Le signal sanitaire va de la déclaration d'un simple désagrément à l'existence anormale de symptômes ou de maladies pouvant être attribués à l'incinérateur. L'investigation du signal sanitaire peut être organisée selon deux étapes décisionnelles. A chaque étape, il convient de se prononcer sur la poursuite ou non de l'investigation par rapport aux données collectées.

### 1. Evaluation sommaire de la plainte

- **Réception du signal**
- **Vérification des cas** : Décrire les symptômes, les syndromes, les maladies déclarées, la fiabilité du diagnostic établi, les caractéristiques des patients, leur mode de vie...

### Identification du signal d'appel sanitaire

- Critères décisionnels
  - \* existence de cas de pathologies
  - \* spécificité et sévérité du problème
- Décision de poursuivre ou non l'investigation

### 2. Validation des cas et de la plausibilité du lien avec l'incinérateur

- **Vérification de l'excès éventuel de cas** : intuitivement, par rapport aux symptômes, aux modes de vie... ; calculs possibles si données d'incidence ou de prévalence. Il s'agit seulement de suspecter un excès de cas. La validation d'un excès n'est pas à envisager à ce niveau d'investigation.
- **Identification de facteurs de risques environnementaux** : Le risque de survenue de la pathologie peut-il être lié à une exposition à une substance émise par l'incinérateur ? (plausibilité biologique étayée par la communauté scientifique, début de la maladie postérieur à l'exposition, consistance des résultats entre différentes études ou spécificité d'association, cf. partie 3). Les symptômes sont-ils décrits chez des individus effectivement exposés aux émissions de l'incinérateur ?...

### Validation du signal d'appel sanitaire

- Critères décisionnels
  - \* excès de cas suspectés
  - \* plausibilité confirmée des pathologies / incinérateur
- Décision de poursuivre ou non l'investigation

Il est déjà possible à ce moment de proposer des études supplémentaires telles qu'une enquête environnementale ou une modélisation de la dispersion des émissions de l'UIOM afin de mieux apprécier la plausibilité de l'incinérateur comme facteur de risque éventuel.

## 2.1.2 Investigation du signal social

L'objectif est double :

- Soit il s'agit d'une inquiétude que l'on pourra relier à des signaux environnementaux ou sanitaires et dans ce cas, l'objectif est de révéler l'existence de ce signal ;
- Soit il s'agit d'une inquiétude sans possibilité d'identification d'un signal environnemental ou sanitaire. Elle caractérise une perception du risque (attitudes à l'égard de l'incinération, des incinérateurs, des polluants, des cancers...) et correspond plus à un besoin populationnel de compréhension, de connaissances et de prise en considération de leur situation sanitaire. Dans ce cas, l'objectif est d'identifier la demande de la population et de tenir compte de cette perception dans le processus de décision.

Dans les deux cas, le ressenti de la population est important. Si ce signal social n'est pas pris en compte dès le départ, la problématique risque de perdurer malgré les actions entreprises. Cette dimension sociologique mérite une attention particulière, et un partenariat avec des experts des sciences sociales est à nouer le plus tôt possible après l'émergence du problème.

Aux Etats-Unis par exemple, l'US EPA travaille sur l'élaboration et l'utilisation d'indicateurs de qualité de vie qui permettent d'intégrer la dimension sociologique et perceptuelle de l'état de santé dans les études.

En France, cette dimension est encore peu considérée dans les études menées, qu'elles soient de nature épidémiologique ou d'évaluation du risque sanitaire. Des réflexions sont toutefois engagées. On peut citer, par exemple, l'étude sociologique réalisée à Gilly sur Isère [Salomon 2002] suite à la demande de l'InVS et de la CIRE Rhône Alpes-Auvergne, qui avait pour but d'analyser le contexte de crise afin de mieux appréhender la demande des populations locales.

Cet aspect à caractère social renforce aussi l'absolue nécessité de mener les réflexions en partenariat étroit avec l'ensemble des acteurs locaux impliqués. Dans ce contexte, l'information et la communication sont des outils de choix qui doivent intervenir au premier niveau d'intervention.

## 2.2 Les types d'incinérateurs

La description du type d'incinérateur peut aider à comprendre le contexte environnemental dans lequel il se situe, voire sa contribution à une pollution environnementale. Ceci nécessite d'abord de recueillir des informations sur le contexte historique, environnemental et social de l'incinérateur. Le recueil des informations descriptives sur l'incinérateur peut ensuite être mis en place.

### 2.2.1 Description du contexte lié à l'incinérateur

La description du contexte historique, environnemental, et social de l'existence et du fonctionnement de l'incinérateur peut être utile à la compréhension des signaux d'appel. Elle est d'autre part indispensable à la définition d'une politique de communication.

Les éléments suivants pourraient être rassemblés :

- La connaissance de la zone géographique de collecte des ordures ménagères ;
- Les efforts déjà entrepris par la collectivité pour limiter le tonnage d'ordures incinérées ;
- Les actions déjà conduites en matière de réduction des émissions ;
- Les actions d'information de la population déjà conduites (types d'action et intervenants) ;
- L'existence d'autres sources de pollution (s'il y en a) ;
- L'attitude historique de l'administration ;
- Les autres conflits environnementaux dans la région...

### 2.2.2 Description du type d'incinérateur

Ceci nécessite de rassembler un certain nombre d'informations, présentées ci-dessous, qui viennent supporter la validation des signaux d'appels. Un rapprochement avec les services des installations classées est nécessaire pour mener à bien le recueil de ces données :

- **Les caractéristiques de l’incinérateur** : sa date d’ouverture et, s’il n’est plus en activité, sa date de fermeture ; sa capacité horaire et annuelle en t/h et en t/an ; la nature des déchets incinérés ; son type et l’historique de son fonctionnement (notamment les arrêts et leurs causes) ;
- **Les caractéristiques techniques des fours** : le type, la date de mise en route, le nombre et la capacité de chaque four ;
- **Les caractéristiques de la combustion** : stabilité, température... ;
- **La présence ou non de moyens techniques permettant de réduire les émissions toxiques** : dépoussiérage et type, traitement des fumées et type, réduction des dioxines..., date de la mise en place des techniques de traitement ;
- **La disponibilité de mesures à l’émission** : les indiquer si elles existent.

Cette première analyse permet de connaître précisément la réglementation à laquelle l’incinérateur est soumis, ce qui conditionne les mesures de gestion immédiates à entreprendre.

Elle permet également de clarifier le contexte environnemental dans lequel se trouve l’incinérateur et de dater les émissions, facilitant ainsi la description de la durée et la nature de l’exposition (passée, actuelle, future). Schématiquement, on recense quatre types d’incinérateurs :

- i) Le cas d’incinérateurs récents construits sur un site vierge. Les incinérateurs construits après 1997 (date de la circulaire relative aux nouvelles installations), font l’objet d’une réglementation plus stricte concernant leurs caractéristiques techniques, leurs niveaux d’émissions pour un certain nombre de polluants et leurs modalités de contrôle. De plus, depuis août 1998, ils doivent faire l’objet d’une évaluation d’impact sanitaire. Une information adéquate de la population sur l’incinérateur, sa construction et son ERSEI peut parfois suffire à répondre au questionnement local.
- ii) Le cas d’incinérateurs construits avant 1997 et conformes avec l’arrêté de 1991. Ces incinérateurs, dont le fonctionnement est globalement bien maîtrisé, sont susceptibles d’émettre des quantités de polluants dépassant les valeurs de la réglementation actuelle.
- iii) Le cas d’incinérateurs en activité depuis longtemps (10 à 30 ans par exemple) qui ont été mis aux normes récemment, ou qui ont été fermés et dont le site a servi à la construction d’un nouvel incinérateur. Même si ces incinérateurs ont été mis en conformité avec les textes les plus récents (circulaire de 1997 et arrêté de 2002), on doit considérer qu’ils ont émis, dans le passé, des quantités de polluants largement supérieures à la réglementation actuelle (la réglementation a en effet fortement évolué ces dix dernières années).
- iv) Le cas d’incinérateurs anciens actuellement fermés (scénario sur lequel la crise sociale a éclaté à Gilly sur Isère). Bien que ces incinérateurs ne soient plus en activité aujourd’hui, les interrogations sanitaires autour d’usines fermées sont légitimes car certaines substances émises par les incinérateurs ont de longues durées de vie dans l’environnement et certains effets sanitaires apparaissent après plusieurs dizaines d’années de latence (c’est le cas des dioxines et de certains métaux).

Les connaissances actuelles sur l’incinération montrent que ce sont les incinérateurs polluant depuis de nombreuses années qui posent le plus de problèmes en terme de santé publique. Aussi, il est proposé de regrouper les deux derniers types d’incinérateurs comme ayant eu une longue période de fonctionnement sans traitement spécifique des polluants potentiellement à risque (même s’ils sont aujourd’hui mis aux normes). C’est ce contexte qui peut actuellement conduire à des situations problématiques et qui doit retenir toute l’attention des acteurs locaux. La 2<sup>e</sup> catégorie, bien que correspondant à des incinérateurs ayant moins pollué que les 2 dernières catégories, peut, dans certains contextes, s’apparenter à cette situation.

Notons que les mesures à l’émission ne reflètent qu’imparfaitement l’historique du fonctionnement de l’incinérateur car elles sont généralement peu fréquentes (une par an) et relativement récentes (peu de mesures avant 1990). Elles peuvent avoir été effectuées en fonctionnement normal et ne pas refléter le fonctionnement anormal de l’incinérateur, ou au contraire, elles peuvent avoir été effectuées pendant le fonctionnement anormal mais sur une très courte période. Il est donc important de prendre en compte ce biais d’information, et ne pas systématiquement remplacer les mesures dans l’environnement par ces données d’émissions. Cependant, l’évaluateur de risque ne dispose en général que de l’un ou de l’autre type de données.

## 2.3 Le potentiel d’exposition de la population

L’analyse du potentiel d’exposition fait partie de l’identification et la validation des signaux d’appel. Il s’agit de déterminer s’il existe des circonstances dans lesquelles l’exposition de la population devient possible. Elle nécessite de recueillir quatre types de données :

- **Les données permettant d'identifier une zone d'étude** : La zone d'étude peut être identifiée à partir :
  - **des données environnementales** disponibles,
  - **des résultats de modélisations de la dispersion des polluants** émis à la cheminée,
    - Pour ces deux points, il est nécessaire de recueillir des données liées à :
      - **la description géographique de l'environnement du site** : relief, type de sol, utilisation des sols (maraîchers, forestiers, élevages...) et des espaces ;
      - **la description climatique** (comprenant la description de la rose des vents : données de Météo France) ;
      - **la description de l'incinérateur et de ses émissions** (cf chapitre précédent).
  - **de la localisation des plaintes sanitaires,**
  - **de dispositions réglementaires** (périmètres d'affichage...)

La population peut se trouver au contact des substances toxiques de l'incinération par l'intermédiaire de l'air, et/ou de l'eau, et/ou des aliments. Si les pollutions de l'air et des eaux restent des pollutions locales, le passage de certaines substances dans la chaîne alimentaire est à l'origine d'une exposition plus large et plus diffuse. Cependant, il existe en pratique une dilution de la majorité des produits pouvant être contaminés lorsque ceux-ci intègrent le circuit de la grande distribution. Cette source d'exposition est donc généralement négligée au niveau local. En revanche, la population locale peut être en contact avec des produits alimentaires directement contaminés par les émissions atmosphériques, si ceux-ci sont produits pour une consommation personnelle ou s'ils proviennent d'un producteur local. L'identification d'une zone concernée sous influence directe de l'incinérateur peut donc conduire en pratique à la détermination d'une zone d'étude.

- **Les données sur les vecteurs et les voies d'exposition** : définir le type de contamination, les activités des populations...
- **Les données de population (socio-démographiques)** : absence/existence ; signaler les collectivités particulières où peuvent se trouver des groupes de populations de plus forte sensibilité comme les écoles (présence d'enfants), effectif de la population concernée et tranches d'âge (données du recensement)...

En outre, il est important de renseigner **la nature** (passée, actuelle, future) **et la durée de l'exposition**. Elles sont déterminées à partir des données issues de l'identification du type d'incinérateur et par la compréhension du contexte environnemental.

## 2.4 La place de la communication

La mise en place de moyens de communication permet d'expliquer l'attitude prise, dans un contexte où l'incertitude et l'absence de connaissances entraînent des interrogations légitimes.

En communication, trois points essentiels sont à privilégier :

- Préparer la communication dès le départ ;
- Identifier les acteurs à associer à la communication ;
- Favoriser les échanges.

Les moyens de communication sont définis dans le chapitre 3.

## 2.5 Conclusion

**A tout moment** de l'identification et de la validation d'un ou plusieurs signaux d'appel décrits précédemment, les éléments décisionnels recueillis conduisent à répondre à la question suivante :

En sait-on suffisamment pour agir et pour répondre aux interrogations de la population ?

A ce stade, il est important de distinguer deux types d'actions envisageables : les actions de gestion immédiates et les actions de gestion différées (notons que la décision de mettre en place une étude n'est pas considérée comme une action de gestion, mais comme un moyen de parvenir à cette action de gestion).

### 2.5.1 Les actions immédiates

Sont incluses dans ce type d'actions : la fermeture de l'installation, sa mise aux normes ou la surveillance de ses émissions (décision immédiate mais effets différés), l'information des professionnels de santé et/ou du public, la réduction de l'accessibilité d'une zone, l'interdiction de consommation de produits alimentaires issus de la zone...

La mise en œuvre de ces actions immédiatement après la description de la situation trouve sa justification dans les arguments suivants :

- La réglementation n'est pas appliquée ;
- La compréhension et l'identification du problème local sont établies ;
- L'exposition de la population à une substance et sa source directe sont connues et qualifiées, voire quantifiées.

### 2.5.2 Les actions différées

Ces mesures vont s'appuyer notamment sur des résultats d'études mises en place à la suite de l'analyse de la situation. En effet, les actions immédiates de gestion mises en œuvre ne répondent pas à toutes les questions. L'arrêt d'un incinérateur ne doit pas occulter le fait que les populations ont été exposées (parfois pendant de nombreuses années) aux émissions de l'installation, ni que des milieux environnementaux (le sol en particulier) ont accumulé une partie de la pollution émise et que ces mêmes populations peuvent encore être exposées par contact avec ces milieux accumulateurs.

Il y a donc bien deux niveaux de réponse à la question « en sait-on assez pour agir ? ». Le premier, parce que c'est un problème connu ou parce que la réglementation l'impose, conduit à réagir immédiatement. Le deuxième nécessite d'attendre les résultats d'enquêtes complémentaires pour dimensionner d'éventuelles modalités de gestion de la situation sur un plan sanitaire. Les étapes suivantes du raisonnement s'inscrivent dans la logique du deuxième niveau.

## Illustration de l'analyse de la situation

### **Incinérateur de Bessières**

#### **Signal d'appel :**

*Inquiétude de la population*

*Pas de signal environnemental mais données de contamination environnementale de fond disponibles*

*Pas de signal sanitaire*

*Pas d'ERSEI (avant la réglementation)*

#### **Type d'incinérateur :**

*Construction d'un nouvel incinérateur, sur un site vierge, en zone rurale*

*Respect de la réglementation (arrêté de janvier 1991 et circulaire de février 1997)*

*Pas de mesures à l'émission*

#### **Potentiel d'exposition de la population :**

*Zone d'étude, établie à partir de la modélisation de la dispersion des émissions, incluait 7600 habitants qui pourraient être potentiellement exposés*

*Tous les vecteurs et les voies d'exposition sont envisageables*

#### **En sait-on assez pour agir ?**

*- Pas d'action immédiate puisque l'implantation de l'incinérateur est encore à l'état de projet.*

*- Action différée : NON. Action différée possible après identification de la demande de la population et mise en œuvre d'éventuelles études complémentaires.*

### **Incinérateur d'Angers**

#### **Signal d'appel :**

*Signal social en raison de la proximité de l'agglomération angevine et de cultures maraîchères*

*Pas de signal environnemental*

*Pas de signal sanitaire*

*Pas d'ERSEI lors des travaux de mise aux normes*

#### **Type d'incinérateur :**

*Incinérateur ancien (1974) remis en conformité réglementaire (2000)*

*Implanté en zone urbaine*

*Mesures à l'émission pour les polluants réglementés avant et après la remise en conformité*

#### **Potentiel d'exposition de la population :**

*Zone d'étude, établie à partir des mesures de dioxines dans l'environnement et de la modélisation de la dispersion des émissions, incluait 100 000 habitants*

*Exposition passée, actuelle et future*

*Tous les vecteurs et les voies d'exposition sont envisageables*

#### **En sait-on assez pour agir ?**

*- Pas d'action immédiate car incinérateur mis aux normes en 2000 et absence de signaux environnemental et sanitaire.*

*- Action différée : NON. Action différée possible après identification de la demande de la population et mise en œuvre d'éventuelles études complémentaires.*

## **Incinérateur de Gilly sur Isère**

### **Signal d'appel :**

*Signal social perdurant*

*Signal sanitaire (mars 2001) : nombreux cas de cancers (existence de pathologies + sévérité du problème). Les critères décisionnels de validation du signal ont été en partie rejoints a posteriori : plausibilité du rôle de l'incinérateur mais pas de calcul d'excès de cas.*

*Signal environnemental : concentrations élevées de dioxines à l'émission puis dans le lait de vache (mesures à l'émission et dans l'environnement avérées, validation du signal : exposition plausible de la population et plausibilité avec l'incinérateur)*

### **Type d'incinérateur :**

*Incinérateur ancien (1971) non conforme à l'arrêté de janvier 1991.*

*Implanté en zone péri-urbaine*

*Rares mesures à l'émission pour les polluants réglementés*

### **Potentiel d'exposition de la population :**

*Zone d'étude incluait 30 à 40 000 habitants*

*Exposition passée et résiduelle*

*Tous les vecteurs et les voies d'exposition sont envisageables.*

### **En sait-on assez pour agir ?**

- *Actions immédiates nécessaires puisque incinérateur ne respectant pas la réglementation depuis longtemps : fermeture de l'incinérateur dès connaissance du signal environnemental*
- *Action différée : NON. Action différée possible après identification de la demande de la population et mise en œuvre d'éventuelles études complémentaires.*



## 3. L'utilité de mettre en place une étude

Cette étape associe la formulation de la (ou des) question(s) de santé publique posée(s) par les autorités locales avec la notion d'utilité. En d'autres termes, la définition de la question posée doit s'accompagner d'une réflexion sur la nature et les répercussions possibles des résultats qui pourront être fournis : acquisition de connaissances ou recommandations d'actions de santé publique. Les acteurs de santé publique se doivent de faire comprendre d'emblée la nature des actions qui pourraient être entreprises à l'issue des études. En effet, la population concernée attend autant les résultats que les modalités de prise en charge des conséquences de ceux-ci. Il s'agit alors d'assumer et de faire assumer l'éventuel paradoxe qui naît entre la genèse de résultats statistiques éclairant une situation au niveau d'une population et la demande légitime à un niveau plus personnel des individus composant cette population. La maîtrise de cette dualité doit permettre d'éviter, ou à défaut de réduire, l'apparition d'un mécontentement par incompréhension dans la population.

Cette partie, inspirée de l'ouvrage *La décision en santé publique*<sup>4</sup>, propose d'abord une réflexion sur la formulation du problème de santé publique, puis définit la notion d'utilité et les différentes modalités d'actions possibles en santé publique.

### 3.1 Formulation de la question de santé publique

Les interrogations de l'ensemble des acteurs peuvent être regroupées sous une seule et même question très générale telle que : « Les émissions atmosphériques des incinérateurs d'ordures ménagères présentent-elles un risque pour la santé (ou ont-elles un effet sur la santé) des populations résidant à proximité ? ». En effet, la population demande à être protégée d'une « menace », réelle ou supposée, qu'elle définit comme « son empoisonnement lié aux émissions des incinérateurs ». A titre d'exemple, cette menace est ressentie à travers la gravité des effets considérés (cancers), la connotation émotive importante reflétée par les dioxines voire, plus généralement, par le caractère subi de l'exposition.

Cependant, cette question est très large et ne reflète pas forcément les caractéristiques de la demande locale. Il est alors important que les autorités sanitaires aident les acteurs locaux à formuler une ou des questions plus précises, notamment en focalisant sur le type de pathologie, la nature des expositions, les polluants à étudier, le type de population à prendre en compte.... Cet éclaircissement permettra de sélectionner, en concertation et avec plus de pertinence, le ou les types d'études pour y répondre.

Bien sûr, cela peut conduire à devoir répondre à plusieurs questions. Il s'agira alors, si possible, de hiérarchiser ces questions en fonction de leur importance aux yeux des différents acteurs. Parfois, les résultats de l'une conditionneront la mise en place d'une autre. C'est parce que cet effort d'analyse aura été fait que les objectifs pourront être clairement formulés tant sur la nature de la connaissance scientifique à acquérir que sur la nature des éventuelles actions de santé publique à mettre en œuvre. Ainsi, la connaissance scientifique obtenue à l'issue de l'étude pourra-t-elle jouer un rôle efficace en termes de décision et d'action de santé publique.

Il convient donc maintenant de définir ce que représentent l'utilité en santé publique, les différentes natures de bénéfices et les actions possibles afin que le critère de santé publique prenne sa place dans le processus décisionnel.

<sup>3</sup> William Dab, *La décision en santé publique*, 1993, ENSP Editeur

## 3.2 Définitions en santé publique

### 3.2.1 L'utilité

Si, généralement, l'utilité caractérise la satisfaction qu'un bien, un service ou une action procure ; en santé publique, l'utilité peut se traduire de la manière suivante :

- Pour le décideur, une étude sera utile si elle lui apporte les éléments nécessaires à la prise d'une décision, le cas échéant au choix entre différentes options.
- Pour la population, une étude sera utile si ses résultats entraînent la mise en place d'actions de prévention du risque ou de prise en charge individuelle, et si elle répond à leur(s) attente(s).

### 3.2.2 Les différentes natures de bénéfices

La mise en place d'actions de santé publique conduit donc à s'interroger sur les bénéfices que va en retirer la population. Ils sont de deux ordres :

- *Le bénéfice sociétal ou collectif* qui se traduit par une amélioration du bien-être physique ou psychique de tout ou partie de la population. Ce bénéfice repose sur de nombreux paramètres : sanitaires, sociaux, culturels, éthiques, politiques, économiques et psychologiques [Abenhaïm, 1989].
- *Le bénéfice individuel* qui repose sur i) la possibilité d'éviter un problème de santé et/ou ii) la possibilité de prendre en charge un individu dès lors que la maladie aura été diagnostiquée. La nature de la pathologie, sa gravité et les possibilités de traitement thérapeutique sont autant d'éléments argumentant l'intérêt de ce bénéfice.

### 3.2.3 Les actions de santé publique

Cette réflexion menée sur les bénéfices attendus ou non par la population nécessite d'identifier et de décrire la nature des actions collectives et/ou individuelles à mettre en œuvre pour obtenir ce ou ces bénéfices. Elles sont rassemblées dans le tableau I.

**TABLEAU I : Les actions immédiates et différées envisagées en santé publique**

	Exemples	Bénéfice attendu	
<b>Actions immédiates</b>			
<b>Information</b>	De la population	Collectif ou individuel	↑
	Des professionnels de santé	Collectif ou individuel	↑
<b>Prévention environnementale</b>	Diminution des émissions	Collectif	<b>Communication</b>
<b>Prévention sanitaire</b>	Information	Collectif ou individuel	↓
	Education de la santé	Collectif ou individuel	↓
<b>Actions différées</b>			
<b>Information</b>	De la population	Collectif ou individuel	↑
	Des professionnels de santé	Collectif	↑
<b>Formation</b>	Des acteurs locaux	Collectif	↑
<b>Prévention environnementale</b>	Diminution des émissions	Collectif	↑
<b>Prise en charge environnementale</b>	Dépollution	Collectif ou individuel	<b>Communication</b>
<b>Prévention sanitaire</b>	Information	Collectif ou individuel	↓
	Education de la santé	Collectif ou individuel	↓
	Dépistage	Individuel	↓
	Surveillance	Collectif	↓
<b>Prise en charge sanitaire</b>	Organisation de soins	Collectif	↓
	Suivi médical	Individuel	↓

L'objectif principal des différentes actions de santé publique est de préserver et d'améliorer l'état sanitaire de la population. Il convient en particulier d'agir pour diminuer l'incidence (nombre de nouveaux cas atteints de la pathologie dans une population donnée et pour une période de temps donnée) et la prévalence (nombre de cas atteints de la pathologie dans une population donnée) des pathologies dans

la population, ainsi que leurs conséquences en termes notamment d'incapacités chroniques ou de récidives.

### 3.2.3.1 Réduction de la prévalence et de l'incidence des pathologies

La prévalence et l'incidence des pathologies peuvent être réduites de deux façons. On peut agir en amont des expositions, au niveau individuel (par exemple comportements : règles d'hygiène) ou collectif (par exemple diminution des émissions). On peut également agir en aval des expositions, s'il y a une possibilité de diagnostic avant l'apparition des symptômes grâce à la mise en œuvre d'un dépistage, et s'il existe des traitements efficaces à ce stade de la maladie. Les actions disponibles s'appuient sur la notion de prise en charge sanitaire. Le bénéfice individuel est ici au cœur de la réflexion.

Les différents moyens d'y parvenir sont :

- **L'éducation de la santé** qui correspond à un ensemble d'activités, d'informations et d'éducation propre à inciter la population à vouloir être en bonne santé, à savoir comment y parvenir et à faire ce qu'il faut, individuellement et collectivement, pour conserver la santé, l'améliorer, et recourir à une aide en cas de besoin. Elle protège la population des nuisances extérieures et favorisent des comportements individuels non nocifs et préventifs propres à améliorer la santé (par exemple en termes d'hygiène ou de comportements alimentaires).
- **La réduction des expositions des populations** qui se compose de deux volets. Le premier vise à agir préventivement en réduisant l'apport des polluants dans l'environnement et les possibilités de contact. Le deuxième est d'ordre curatif et cherche à éliminer la pollution présente dans les milieux. Notons que la modification des comportements alimentaires ou de l'hygiène y concourt également.
  - ♦ *la prévention environnementale* correspond à un ensemble d'actions qui visent à réduire directement les expositions auxquelles les populations sont confrontées. C'est notamment **la réduction des émissions** des incinérateurs, par des actions immédiates comme leur fermeture (qui répond souvent à la réglementation), ou par des actions à plus long terme comme la mise en conformité réglementaire. Il peut également s'agir de la mise en cause de valeurs limites de rejets atmosphériques en vigueur conduisant à proposer la fixation de valeurs plus strictes. Enfin, on peut aussi évoquer **la délimitation de la zone polluée** afin d'empêcher toute possibilité de contact entre les populations et les milieux contaminés.
  - ♦ *la prise en charge environnementale* correspond à l'ensemble des activités qui visent à réduire une pollution déjà installée et qui serait susceptible d'induire un risque chez les populations en contact avec le milieu contaminé. On peut citer notamment **la dépollution d'un site** en vue de sa réhabilitation pour une future utilisation, **la destruction de productions végétales** contaminées, **le retrait de productions animales...**
- **Le dépistage** qui consiste à identifier de manière présomptive, à un stade précoce, la maladie chez des individus. Il est d'autant plus justifié qu'à ce stade la maladie est encore curable ou que des conséquences irréversibles peuvent être évitées. Le dépistage consiste en un test appliqué de façon systématique et standardisée sur l'ensemble de la population ou sur un groupe de personnes considéré comme étant particulièrement à risque. L'utilisation pour le dépistage d'un indicateur biologique d'exposition n'est possible que si les connaissances exposition/risque sont suffisamment solides (comme par exemple le dépistage du saturnisme par la mesure de la plombémie autour de sites émetteurs de plomb [InVS 2002]). Le bénéfice attendu (la révélation de l'intoxication ou de la maladie) se situe au niveau de l'individu et dépasse, si l'exposition est réelle, la gêne ou l'inconvénient de procéder à une prise de sang notamment chez les enfants.
 

La décision de mettre en place un dépistage est plus complexe qu'il n'y paraît. Elle dépend en grande partie du contexte local (population, nature de l'inquiétude, risques encourus...). Par ailleurs, les tests de dépistage validés sont plutôt rares. Il est donc important de lister les principes qui gouvernent la décision de mettre en place un dépistage: (i) la maladie constitue une menace grave pour la santé publique et son histoire naturelle est connue (en termes de fréquence ou de gravité), (ii) la maladie est décelable à un stade précoce de son évolution et l'épreuve ou l'examen de dépistage est acceptable pour la population, (iii) on dispose de moyens appropriés de diagnostic formel et d'un traitement d'efficacité démontrée pour les individus atteints de la pathologie, (iv) le coût de la recherche des cas ne doit pas être disproportionné par rapport au coût global de leur prise en charge et la recherche des cas peut être suivie dans le temps.
- **Le suivi médical** qui consiste à proposer à chacun des individus concernés des modalités de suivi au cours du temps par le corps médical sans que ces modalités passent forcément par la mise en place d'un dispositif collectif.

– **L'organisation de soins médicaux** : c'est l'ensemble des moyens médicaux, spécifiques à chaque maladie qui peuvent être mis en place. Les soins médicaux sont des services produits par des entreprises ou des personnels médicaux (Code de la santé publique). Ils sont en principe produits et consommés dans une optique de réduction de la mortalité, réduction de la morbidité, réduction de la durée des maladies, réduction des handicaps, stabilisation des maladies chroniques et incurables, prévention des complications. La concordance entre ces objectifs et la pratique effective dépend des conditions du recours aux soins (déroutement dans le temps) et de l'opportunité des processus qui s'ensuivent (qualité des producteurs entre autres).

### 3.2.3.2 Information et formation

Ces actions de santé publique sont essentielles pour permettre à l'ensemble des acteurs de s'approprier les raisonnements développés au cours de l'évaluation et de la gestion de la situation.

#### – L'information

Elle répond à des besoins qui proviennent de plusieurs acteurs. Elle nécessite des lieux et des moments favorables à la parole et à l'échange. Elle est nécessaire à tous les moments de l'évolution d'une situation. Lors des premiers échanges, elle aide à construire le socle des différentes actions à mettre en place ou à envisager et que chaque acteur doit s'approprier. Elle doit s'adapter au public auquel elle s'adresse.

**L'identification des acteurs** est nécessaire à l'appréhension de la nature de l'information à transmettre. On peut citer les professionnels de santé, élus locaux, associations (protection de l'environnement, riverains...), exploitants des incinérateurs, agriculteurs... Celle-ci passe également par une bonne identification des différents types d'acteurs : les spécialistes, qui apportent des éléments de connaissance et répondent aux questions des autres acteurs ; l'animateur, qui sera chargé d'organiser et d'encadrer les réunions ; le médiateur, intermédiaire qui facilitera la compréhension de points de vue ou logiques différents ; les « personnes-relais » qui représentent les communautés (même convictions, même culture) ; le journaliste qui diffuse une information...

Ces moyens de communication doivent d'emblée être utilisés, telle **l'organisation d'entretiens et de réunions publiques, la diffusion de communiqués de presse** via les médias, ou **la mise à disposition de messages écrits** de type brochures, tracts ou affiches plus ou moins documentés, ainsi que d'articles ou de revues bibliographiques.

#### – La formation

L'appréhension des questions de santé environnementale nécessite une large transdisciplinarité pour s'approprier les multiples facettes d'un dossier. Quel que soit le public, celui-ci ne possède généralement qu'une partie de celles-ci. Il est donc important de savoir mettre en œuvre les modalités efficaces qui permettront à chacun de s'approprier les méthodes et raisonnements des autres disciplines ou champs d'action. Elle s'intègre dans la démarche générale de « promotion de la santé » (charte d'Ottawa) qui vise à responsabiliser les communautés à l'égard de leur santé via un socle minimal de connaissances.

## 3.3 Bilan

Il revient donc aux professionnels des services déconcentrés de l'Etat de dégager, après que la (ou les) question(s) ai(en)t été formulée(s), les modalités d'intervention conduisant à y répondre, notamment au regard des bénéfices individuels et/ou collectifs.

A ce stade, pour analyser l'utilité de mettre en place une étude, quelle qu'en soit la nature, deux étapes sont essentielles :

- Formuler la question ;
- Identifier si des actions de santé publique différées sont pertinentes par rapport à la situation analysée.

On peut citer, par exemple, comme études possibles :

- une analyse bibliographique ;
- une modélisation des contaminations de l'environnement ;
- une étude environnementale (mesures) ;

- une étude d'exposition (par modélisation ou par mesure de biomarqueurs) ;
- une évaluation des risques sanitaires (ERS) ;
- une étude épidémiologique descriptive ;
- une étude épidémiologique étiologique ;
- une étude d'évaluation des mesures prises...

## Illustration de l'utilité

### L'incinérateur de Bessières

#### **Formulation de la ou des questions**

*Question initiale : l'activité de l'UIOM de Bessières pourra-t-elle avoir un impact sur la santé de la population avoisinante, exposée aux rejets atmosphériques de l'installation ?*

*Question reformulée : Est-ce que les rejets futurs de l'incinérateur présentent un risque pour la santé des populations vivant à proximité de l'installation ?*

#### **Utilité et identification des actions de santé publique possibles**

*Information de la population.*

*Apports de connaissances.*

*Prévention environnementale par réduction des autorisations des rejets à l'émission.*

#### **Nécessité de mener une ou des études complémentaires : OUI, car**

*Synthèse des connaissances réalisée par la SFSP (1999) n'était pas encore publiée.*

*Données d'émissions des incinérateurs répondant à la nouvelle réglementation et risques sanitaires correspondants non connus à l'époque.*

### L'incinérateur d'Angers

#### **Formulation de la ou des questions**

*Question initiale : Quel est l'impact sanitaire de l'activité actuelle et passée (depuis 1974) de l'UIOM d'Angers sur la population résidant dans l'agglomération angevine et notamment à proximité du site ?*

*Pas de reformulation de la question (saisine concertée).*

#### **Utilité et identification des actions de santé publique possibles**

*Information de la population sur les risques encourus liés à l'activité de l'incinérateur.*

*Evaluer la pertinence de mesures de réduction de l'exposition et/ou d'une prise en charge sanitaire de la population concernée, dans la mesure où l'exposition avait pu être longue (27 ans).*

*Prévention environnementale par réduction des autorisations des rejets à l'émission.*

*On peut noter qu'il n'existait pas à l'époque, en France, d'évaluation des risques prenant en compte les expositions passées. L'étude a également permis de documenter la question de la pertinence d'une étude épidémiologique, demandée par la population.*

#### **Nécessité de mener une ou des études complémentaires : OUI, car**

*Nécessité de connaître les risques sanitaires liés aux expositions passées, actuelles et futures.*

## L'incinérateur de Gilly-sur-Isère

### Formulation de la ou des questions

Questions initiales :

*Le lait de chaque mère allaitant est-il sur-imprégné par les dioxines et si oui la mère doit-elle interrompre l'allaitement ?*

*Les 82 cancers dénombrés par un riverain de l'UIOM sont-ils en surnombre et sont-ils dus à l'exposition aux substances émises par l'incinérateur (causalité) ?*

*Peut-on connaître la sur-imprégnation biologique des populations résidant autour de l'incinérateur ?*

Questions reformulées :

*Existe-t-il une sur-imprégnation par les dioxines de la population de mères allaitant, résidant à proximité de l'incinérateur, par rapport à la population française générale ? Doit-on préconiser un arrêt de l'allaitement maternel ?*

*Existe-t-il un excès de cas de cancers dans la population exposée aux retombées atmosphériques de l'incinérateur ? S'il existe, est-il lié aux retombées atmosphériques de l'incinérateur ?*

*L'UIOM, maintenant fermée, présente-t-elle des risques résiduels et des conséquences sanitaires liées à une exposition passée pour la population résidant à proximité ?*

### Utilité et identification des actions de santé publique possibles

*Bénéfice social dû à la connaissance de l'imprégnation du lait maternel en dioxines, mais pas d'interprétation sanitaire individuelle possible à proximité des UIOM. Hypothèse de recherche possible sur le rôle de l'incinérateur.*

*Bénéfice individuel envisagé si prise en compte du dommage (sanitaire, psychologique) et mise en place de « dédommagements » (suivi médical...).*

*Bénéfice individuel et collectif avec (i) mesures de réductions des expositions, (ii) dépistages si appropriés, (iii) mesures d'éducation à la santé.*

### Nécessité de mener une ou des études complémentaires : OUI, car

*Nécessité de connaître les risques sanitaires liés aux expositions passées, mais surtout résiduelles afin de justifier la mise en place éventuelles de nouvelles actions de santé publique.*



## 4. La pertinence des outils disponibles

### 4.1 Objectif

La réponse à la question précédente ayant permis de juger de l'utilité (i) de mettre éventuellement en place des actions de santé publique et (ii) de poursuivre l'investigation par des études supplémentaires, il convient maintenant de choisir l'outil le plus adapté pour répondre aux questions reformulées. Ce chapitre propose des éléments de réflexion pour conduire l'analyse de la pertinence des études à mettre en place.

### 4.2 Les deux niveaux de l'analyse

L'analyse de la pertinence des méthodes d'investigation s'appuie sur la combinaison de trois éléments :

- La question posée ;
- Les caractéristiques de la situation ;
- Les caractéristiques des études : objectif, conditions d'utilisation, avantages, limites<sup>5</sup>.

Dans une démarche opérationnelle, deux niveaux d'analyse de pertinence peuvent être distingués :

- La pertinence s'appuyant sur la question posée et les caractéristiques de la situation (type de signal d'appel, nature de l'exposition, réversibilité ou non de la pathologie). Cette analyse globale vise à récuser des types d'études inappropriés plutôt que de sélectionner ceux qui seront envisageables. Sans prétendre être exhaustif, plusieurs cas peuvent être identifiés, représentant une vision générale mais n'excluant pas une pertinence en fonction du polluant ou de la pathologie :
  - *la mise en place de mesures environnementales* lorsqu'il s'agit de retracer l'exposition passée des populations ou d'estimer leur exposition future. En effet, les mesures réalisées à l'instant  $t$  ne renseignent pas directement sur l'évolution de la contamination passée et pas du tout sur ce qui se passera dans le futur. Elles informent principalement sur la contamination actuelle des milieux et/ou l'exposition actuelle des populations concernées. Si sur un plan médiatique, les résultats de mesures sont très appréciés, il ne sert à rien de les acquérir si on ne peut les utiliser.

*Remarque : cet exemple ne prend pas en compte la caractérisation d'un état initial du site ou de la zone d'étude qu'il conviendrait éventuellement de réaliser, car alors la connaissance actuelle de la contamination des milieux s'impose.*

  - *la mise en place d'études d'exposition par des mesures biologiques de polluants qui ne s'accumulent pas dans l'organisme* lorsqu'il s'agit de retracer l'exposition passée des populations.
  - *la mise en place d'études d'exposition par mesures biologiques* lorsqu'il s'agit d'expliquer la survenue de pathologies et que les relations exposition-risque font défaut.
  - *la mise en place d'études épidémiologiques, en première intention*, pour décrire et/ou expliquer l'état de santé et la survenue de pathologies dans le cadre d'une exposition future liée à l'implantation actuelle d'une usine d'incinération.
- La pertinence s'appuyant sur les caractéristiques des études. Elle consiste en une analyse plus fine de la situation pour déterminer le ou les types d'études appropriés. Les caractéristiques des études deviennent autant de critères de choix du type d'étude approprié. Sans prétendre être exhaustifs, les critères suivants peuvent être considérés :
  - La nature de l'exposition : passée - actuelle - future ;

<sup>5</sup> Cf fiches descriptives partie 2

- Les caractéristiques de l'indicateur de santé : par exemple, pour une pathologie : latence d'apparition, réversibilité, fréquence, spécificité et facteurs de risque ;
- Le type de polluants : persistant ou non dans l'environnement ;
- La population concernée : enfants, adultes, femmes enceintes... ;
- Le type d'aménagement : rural ou urbain ;
- Le délai de réponse souhaité ;
- L'effectif de la population.

## 4.3 Bilan

Une fois la question de santé publique formulée, l'analyse de la pertinence des méthodes d'investigation doit s'attacher à séparer les différents éléments conduisant à l'identification du ou des types d'études les plus appropriés. Cette analyse est à renouveler autant de fois qu'il y a de questions posées dans le contexte étudié.

## Illustration de la pertinence

### **Incinérateur de Bessières**

#### ***Le choix de la méthode s'est fondé sur les éléments suivants :***

*Exposition future ;*

*Absence de signal sanitaire ;*

*La question posée concernait l'ensemble des substances qui seraient potentiellement émises par l'incinérateur ;*

*Zone rurale de 7600 habitants ;*

*Une réponse « rapide » était nécessaire.*

#### ***Méthode choisie***

*Démarche d'évaluation quantitative des risques sanitaires*

### **Incinérateur d'Angers**

#### ***Le choix de la méthode s'est fondé sur les éléments suivants :***

*Exposition passée, actuelle et future ;*

*Absence de signal sanitaire et effets attendus peu spécifiques et à latence souvent longue ;*

*La question posée concernait l'ensemble des substances qui seraient potentiellement émises par l'incinérateur.*

#### ***Méthode choisie***

*Démarche d'évaluation quantitative des risques sanitaires.*

## **Incinérateur de Gilly sur Isère**

**1<sup>ère</sup> question :** Existe-t-il une sur-imprégnation par les dioxines de la population de mères allaitant et résidant à proximité de l'incinérateur, par rapport à la population française générale ?

**Le choix de la méthode s'est fondé sur les éléments suivants :**

L'exposition est passée et sur une période +/- longue selon la date d'arrivée des femmes ;

L'effectif de la population est restreint, considérant les femmes allaitant ;

Au vu de la situation de crise, une réponse rapide est nécessaire.

### **Méthode choisie**

Etude d'imprégnation.

**2<sup>ème</sup> question :** existe-t-il un excès de cas de cancers dans la population exposée aux émissions de l'incinérateur ?

**Le choix de la méthode s'est fondé sur les éléments suivants :**

L'exposition est passée et sur une période +/- longue selon la date d'arrivée des individus

L'effectif de la population dans la zone potentiellement impactée est grand (30 à 40000 personnes).

Les pathologies cancéreuses sont multiples et l'excès est plausible.

### **Méthode choisie**

Etude descriptive transversale

**3<sup>ème</sup> question :** L'UIOM, maintenant fermée, présente-t-elle des risques résiduels et des conséquences sanitaires liées à une exposition passée pour la population résidant à proximité ?

**Le choix de la méthode s'est fondé sur les éléments suivants :**

L'exposition est passée et sur une période +/- longue selon la date d'arrivée des populations

Exposition également résiduelle car malgré fermeture incinérateur, contamination de l'environnement avérée

### **Méthode choisie**

Démarche d'évaluation des risques sanitaires. L'ERS permet d'objectiver la situation, à la fois sur les plans sanitaire et environnemental, permettant une aide à la décision dans ces deux domaines. Ceci la rend pertinente, d'autant que le délai de réalisation est plus court que celui des deux autres études.

Notons que dans le contexte de crise à Gilly sur Isère, les études ont été mises en place pour répondre à une forte sollicitation locale, avant de pouvoir juger de leur utilité et de leur pertinence. Les résultats attendus de l'ERS auraient pu permettre d'avoir un meilleur jugement sur l'utilité et la pertinence de telles études. Toutefois, leurs résultats pourront permettre de documenter des connaissances encore lacunaires en France, notamment en ce qui concerne l'imprégnation du lait des femmes par les PCDD/F.



## 5. La faisabilité de l'étude retenue

### 5.1 Objectif

Concernant les études sanitaires, il convient d'analyser si les conditions de mise en œuvre du type d'étude envisagé sont réunies (possibilités techniques et économiques). Ce chapitre propose des éléments de réflexion pour conduire l'analyse de la faisabilité des études à mettre en place.

### 5.2 Les conditions de mises en œuvre

La faisabilité d'une étude s'analyse en deux temps. Le premier consiste à identifier les données nécessaires et à connaître leur disponibilité ou leurs moyens d'acquisition. Le deuxième consiste à analyser ces données disponibles ou recueillies en vue d'étudier le respect des conditions de mise en œuvre de l'étude envisagée<sup>6</sup>.

#### 5.2.1 Les données nécessaires

Ces données relèvent de plusieurs domaines et leur provenance est diverse :

- Données issues de la littérature : effets sanitaires, relations dose-réponse ou dose-effets, facteur de risque de la pathologie incriminée...
- Données spécifiques à la situation étudiée : contamination environnementale, rejets à l'émission, caractérisation des populations (données recueillies lors de l'analyse de la situation)...

La première étape consiste à déterminer la disponibilité des données nécessaires. Trois cas de figure se présentent :

- Les données sont disponibles ;
- Les données ne sont pas disponibles mais il est envisageable de les recueillir ;
- Les données ne sont pas disponibles et il n'est pas envisageable de les recueillir (dans ce dernier cas, il est clair que la faisabilité sera négative).

Dans le même temps, il est important d'analyser **la qualité** des données. En effet, si leur disponibilité est nécessaire pour mettre en œuvre une investigation, leur qualité conditionnera la robustesse des résultats obtenus.

La deuxième étape consiste à analyser les moyens disponibles pour acquérir les données éventuellement manquantes. Il s'agira notamment de :

- Identifier les méthodes de mesures (échantillonnage, prélèvements) et les laboratoires compétents ;
- Etudier les modalités de collaborations avec les registres de pathologies existants ou étudier les possibilités de mettre en place un système de recueil adéquat ;
- S'assurer de l'accessibilité aux informations détenues par l'industriel ou les services compétents de l'Etat ;
- S'assurer de la disponibilité des outils de modélisation souhaités.

<sup>6</sup> Cf. fiches descriptives partie 2.

## 5.2.2 Analyse des éléments disponibles

L'assurance de disposer des données nécessaires, même de qualité, n'est pas suffisante pour répondre de manière complète à la faisabilité de l'étude. Il convient aussi de les analyser séparément ou de les mettre en relation les unes avec les autres pour approfondir cette faisabilité. Il s'agit notamment de s'interroger sur :

- La puissance statistique : il s'agit de calculer le nombre de sujets nécessaires. C'est un critère d'appréciation important puisqu'à un niveau local, le nombre de sujets peut être trop restreint pour envisager une étude alors même que celle-ci s'était révélée pertinente ;
- La connaissance de méthodes de diagnostic de pathologies afin d'être à même de bien définir les cas ;
- La représentativité des données environnementales ;
- L'expertise scientifique mobilisable localement pour la mise en œuvre de l'étude ;
- L'acceptabilité de l'étude par les autorités administratives (Préfet/ DDASS/ DRIRE..), la population et l'exploitant de l'UIOM ;
- Le délai de réponse attendu par les différents acteurs ;
- L'enveloppe financière nécessaire à la conduite dans de bonnes conditions de l'étude envisagée.

## 5.3 Bilan

L'analyse de la faisabilité d'une étude est une étape très importante car elle intègre et conditionne l'acceptabilité de la réponse (par rapport à la question posée) à partir de critères scientifiquement rationnels et transparents. Il s'agit d'une étude à part entière, étape intermédiaire entre la question de la population ou des pouvoirs publics et la mise en place de l'étude visant à y répondre.

## Illustration de la faisabilité

### **Incinérateur de Bessières**

#### **Critères d'appréciation de la faisabilité**

*Disponibilité d'un grand nombre de données environnementales (sols, air) correspondant à l'état initial dans l'étude d'impact ;*

*Estimation de l'exposition possible (attribuable à l'incinérateur) ;*

*Disponibilité des modèles pour déterminer la dispersion atmosphérique des polluants, leur dépôt sur le sol et leur transfert à travers la chaîne alimentaire ;*

*Coût de l'étude pris en charge par l'exploitant.*

### **Incinérateur d'Angers**

#### **Critères d'appréciation de la faisabilité**

*Disponibilité des mesures à l'émission ;*

*Disponibilité de modèles permettant d'estimer la dispersion atmosphérique des polluants, leur dépôt sur le sol et la contamination de la chaîne alimentaire ;*

*Travail pris en charge par la CIRE (programme d'activité 2000).*

*Notons que l'absence de mesures environnementales et de crédits pour les réaliser a conduit à choisir une modélisation pour estimer l'exposition de la population.*

## **Incinérateur de Gilly sur Isère**

**1<sup>ère</sup> question** : Existe-t-il une sur-imprégnation par les dioxines de la population de mères allaitant résidant à proximité de l'incinérateur, par rapport à la population française générale ?

### **Critères d'appréciation de la faisabilité**

Laboratoire accrédité partenaire

Puissance statistique atteinte (100 sujets sur 2 ans)

Coût de l'étude élevé, mais prise en charge assurée.

**2<sup>ème</sup> question** : existe-t-il un excès de cas de cancers dans la population exposée aux retombées atmosphériques de l'incinérateur et du aux émissions de l'incinérateur ?

### **Critères d'appréciation de la faisabilité**

Absence de registre pour les années antérieures mais tentative de mettre en place les modalités de recueil rétrospectif de données, dont la qualité aura une influence déterminante sur les résultats et leur interprétation.

Définition possible des cas de cancers

Coût de l'étude pris en charge par l'InVS.

**3<sup>ème</sup> question** : L'UIOM, maintenant fermée, présente-t-elle des risques résiduels et des conséquences sanitaires liées à une exposition passée pour la population résidant à proximité ?

### **Critères d'appréciation de la faisabilité**

Disponibilité des modèles pour déterminer la dispersion atmosphérique des polluants, leur dépôt sur le sol et leur transfert dans la chaîne alimentaire

Réalisation de campagnes environnementales complémentaires.

Coût de l'étude pris en charge par l'exploitant, dans le cadre de ses obligations liées à la loi sur les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).



## 6. Conclusion

La genèse de situations critiques autour des UIOM est souvent liée à une forte demande d'information par la population concernée. Leur résolution passe par une prise en charge adaptée. La conduite à tenir élaborée dans ce document propose un cadre structuré pour l'analyse d'une situation en termes de santé publique. Les quatre questions proposées forment un tout indissociable et permettent d'identifier les données à recueillir et l'argumentation à construire. Le soin apporté pour répondre à chacune d'entre elles sera un atout pour convaincre du bien-fondé des décisions adoptées.

La formalisation d'une telle démarche favorise son appropriation par l'ensemble des acteurs concernés et le processus de concertation. Elle permet, lors de la communication, de bien faire ressortir le raisonnement de santé publique parmi l'ensemble des arguments développés. Cela permet de faire comprendre qu'il n'est pas toujours opportun de mettre en œuvre des études, alors que les connaissances sont suffisantes pour que des actions correctrices soient immédiatement diligentées. De même, il n'est pas toujours possible de répondre complètement aux questions posées car l'établissement d'une relation de causalité avec l'incinérateur ou un polluant particulier soulève de grandes difficultés. Enfin, les méthodes disponibles ne sont pas toujours pertinentes pour y répondre ou les conditions de mises en œuvre ne sont pas réunies.

Même s'ils suscitent des insatisfactions légitimes lorsque les réponses apportées restent partielles, les résultats des études mises en place contribuent à l'amélioration des connaissances et génèrent des hypothèses sur les facteurs de risque liés à l'incinération. Pour remédier à l'inadaptation des études locales à répondre aux questions posées par la population, la conduite de programmes de recherche au plan national constitue une alternative.

Une autre vertu de la formalisation d'une telle démarche est de pointer les manques. Les connaissances font souvent défaut et celles qui existent sont empreintes d'incertitudes laissant la porte ouverte aux controverses. L'absence de dispositifs de recueils de données tels que des registres pour les pathologies restreint les possibilités d'analyse objective des événements de santé déclarés ou observés.

La mise en œuvre de cette démarche montre l'intérêt que portent les autorités au problème posé, quelle que soit son ampleur. Dans le contexte actuel, elle doit permettre de prendre en compte la dimension psychosociologique de la population, répondant ainsi à la définition de la santé proposée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), qui, au delà de la maladie, l'élargit au bien-être mental et social.



## Illustration de la conclusion

### Incinérateur de Bessières

#### Réponse à la question de la population :

OUI car :

Information de la population sur la construction de l'incinérateur

Information de la population sur les risques futurs liés à son activité

Recommandations quant à la surveillance locale des émissions et l'amélioration de la réglementation.

Intérêt pédagogique vis à vis des acteurs locaux concernant l'utilité et la pertinence de mettre en place une étude et les incertitudes attachées à toute démarche d'ERS.

Enfin, a permis de poser la question de l'interprétation d'un risque acceptable par les différents acteurs.

### Incinérateur d'Angers

#### Réponse à la question de la population :

OUI car :

Information de la population sur les risques liés à son activité passée et actuelle

MAIS :

Absence de communication, ce qui a engendré une crise médiatique (une plainte avait été déposée depuis longtemps).

### Incinérateur de Gilly sur Isère

#### Réponse à la question de la population :

OUI car :

Information sur l'état sanitaire de la population et l'incidence des cancers dans la zone étudiée.

Information sur l'imprégnation du lait maternel par les dioxines et comparaison avec la moyenne nationale possible pour confirmer ou non une sur-imprégnation.

Information sur les risques liés à l'exposition résiduelle et passée.

NON car il est difficile de répondre sur :

La mise en cause de l'incinérateur dans l'apparition des pathologies. L'hypothèse d'une causalité peut être avancée mais doit être démontrée.

La décision d'arrêter ou de poursuivre l'allaitement (aucune interprétation sanitaire possible<sup>7</sup>).

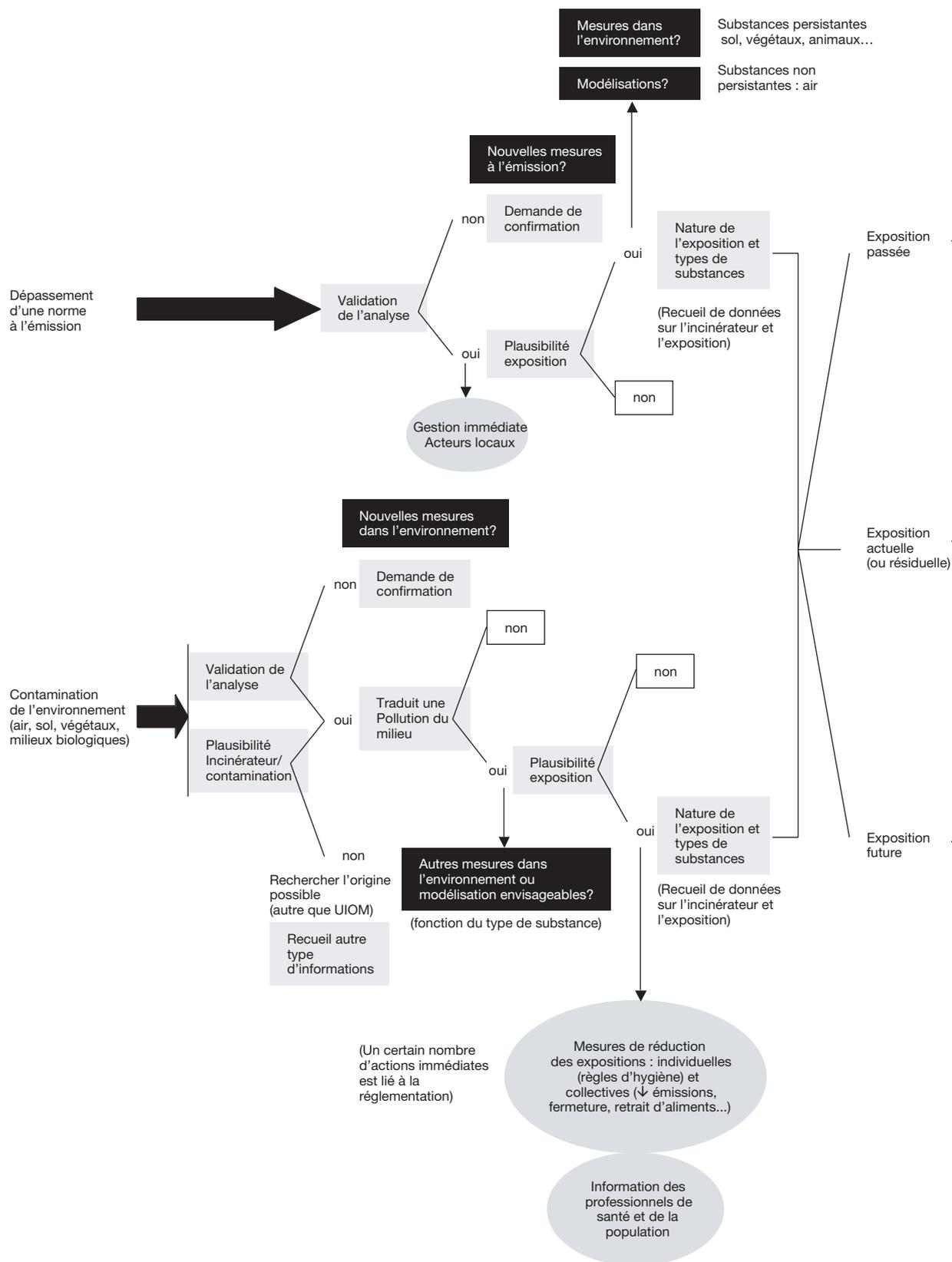
La sur incidence des cancers dans la région, car les résultats de cette étude dépendent fortement de la qualité des données de santé recueillies rétrospectivement.

De plus, les résultats des études descriptives seront mis en évidence au terme de deux années d'étude, ce qui est long et nécessite une bonne communication avec la population.

<sup>7</sup> Avis InVS/AFSSA relatif à l'exposition aux dioxines via le lait maternel et à la possibilité de définir une valeur limite de précaution résultant d'un consensus scientifique ([http://www.invs.sante.fr/presse/2002/communiqués/dioxines\\_0302/avis\\_dioxines0302.html](http://www.invs.sante.fr/presse/2002/communiqués/dioxines_0302/avis_dioxines0302.html)).

# Schéma de synthèse de la conduite à tenir lors d'une demande d'investigations sanitaires autour d'un incinérateur

Figure 1 : Schéma de synthèse de la conduite à tenir lors de l'émission d'un signal environnemental



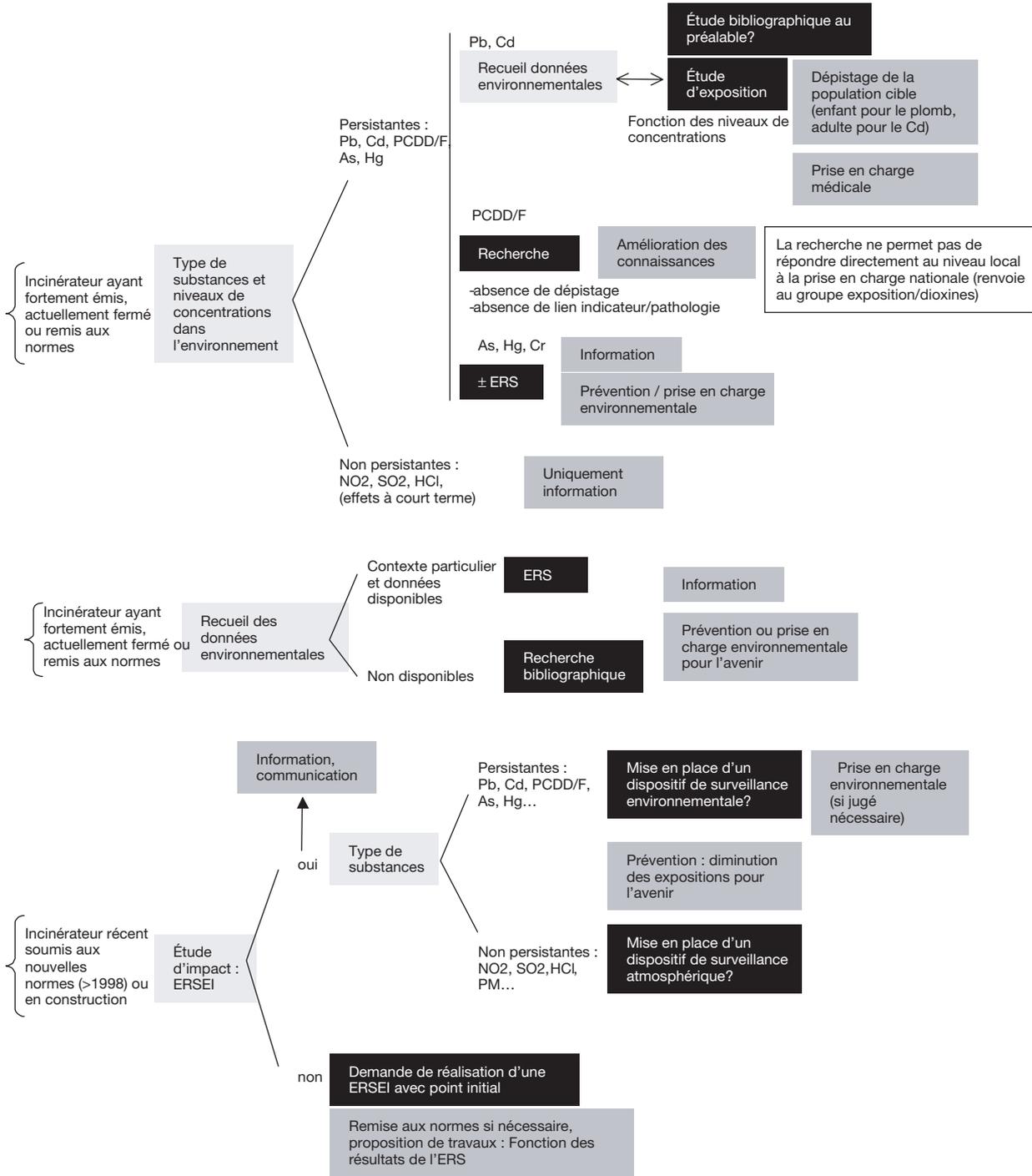
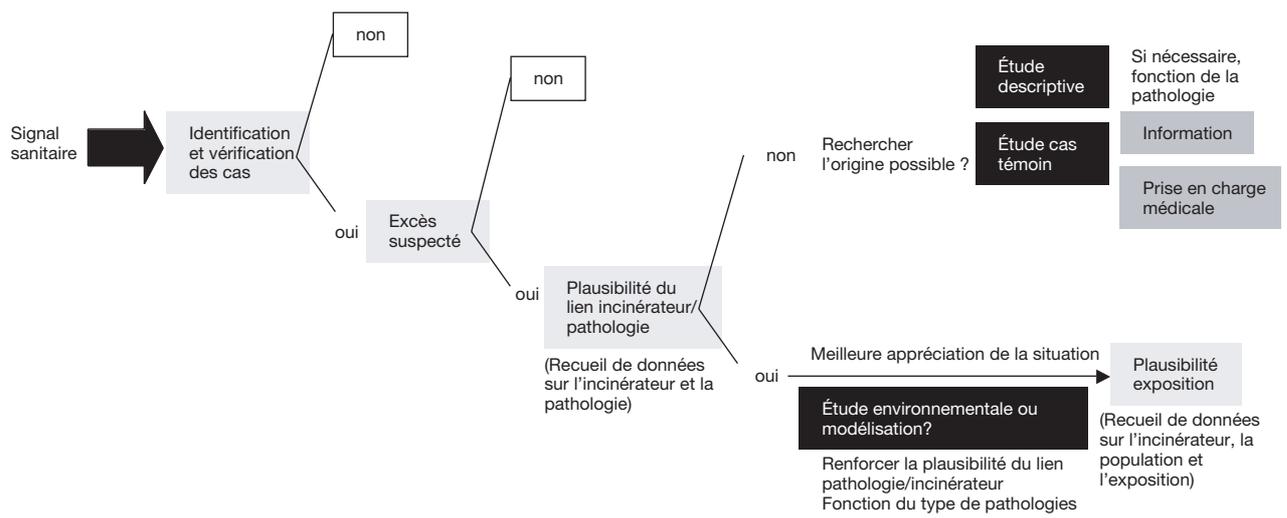


Figure 2 : Schéma de synthèse de la conduite à tenir lors de l'émission d'un signal sanitaire



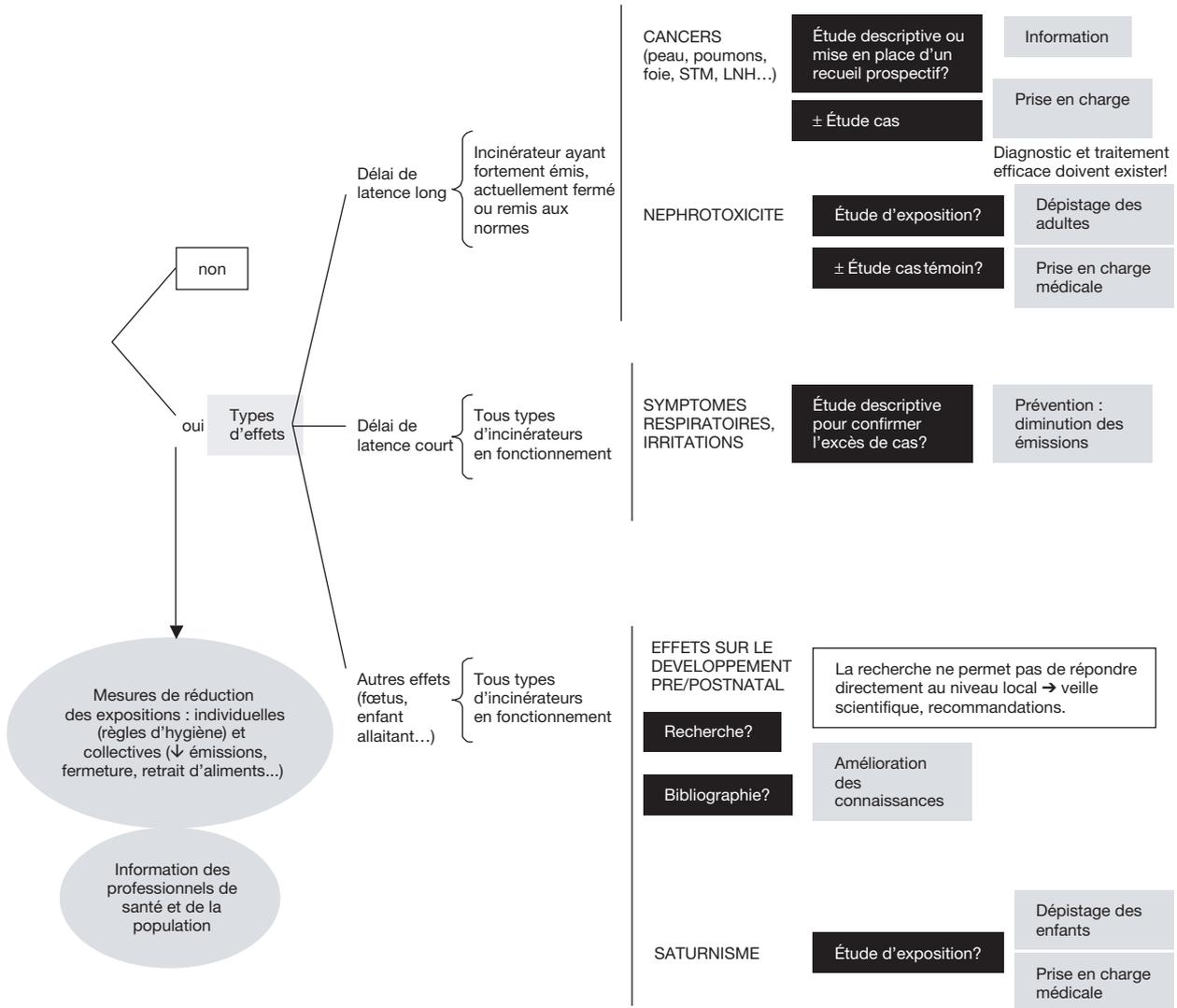
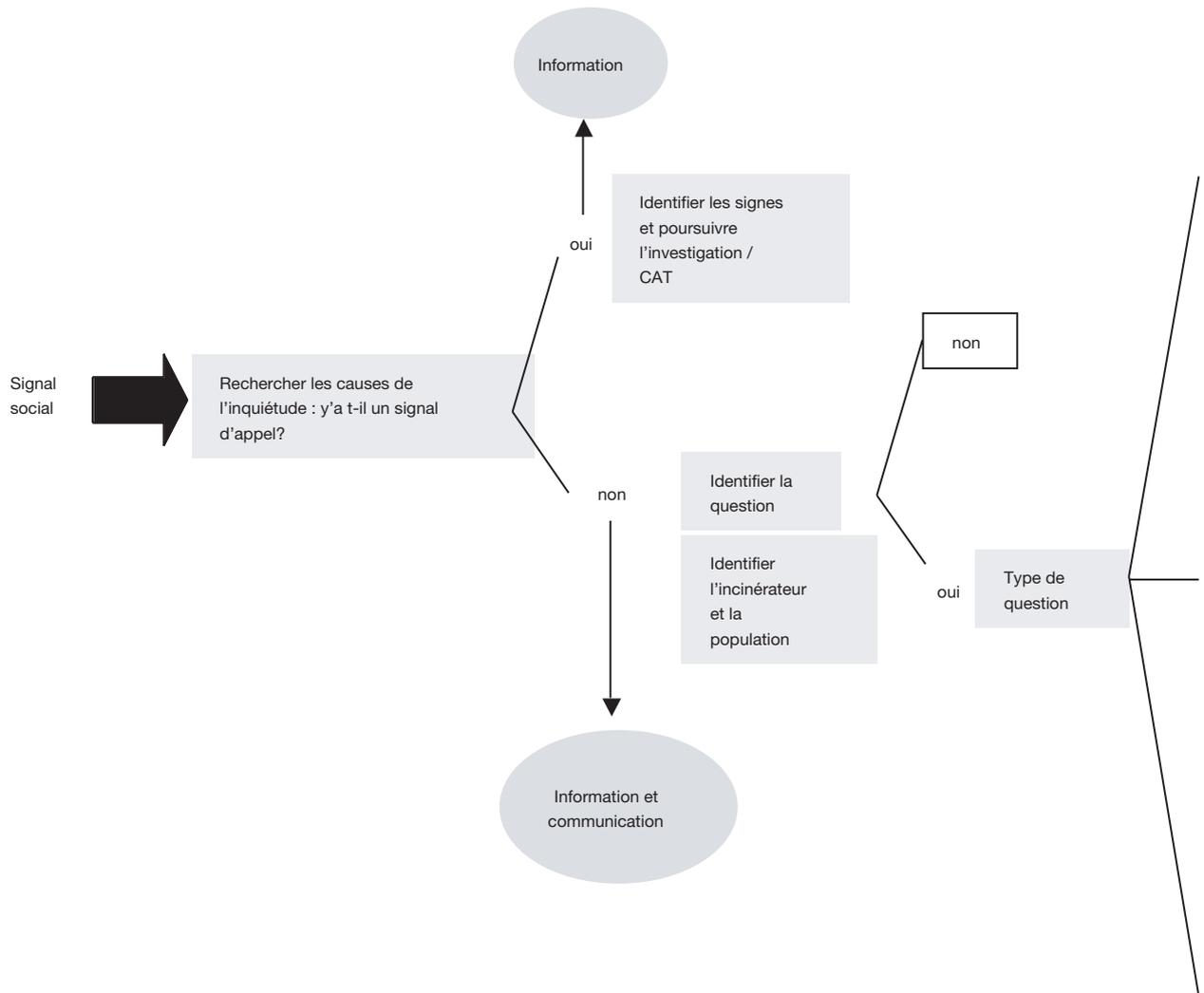
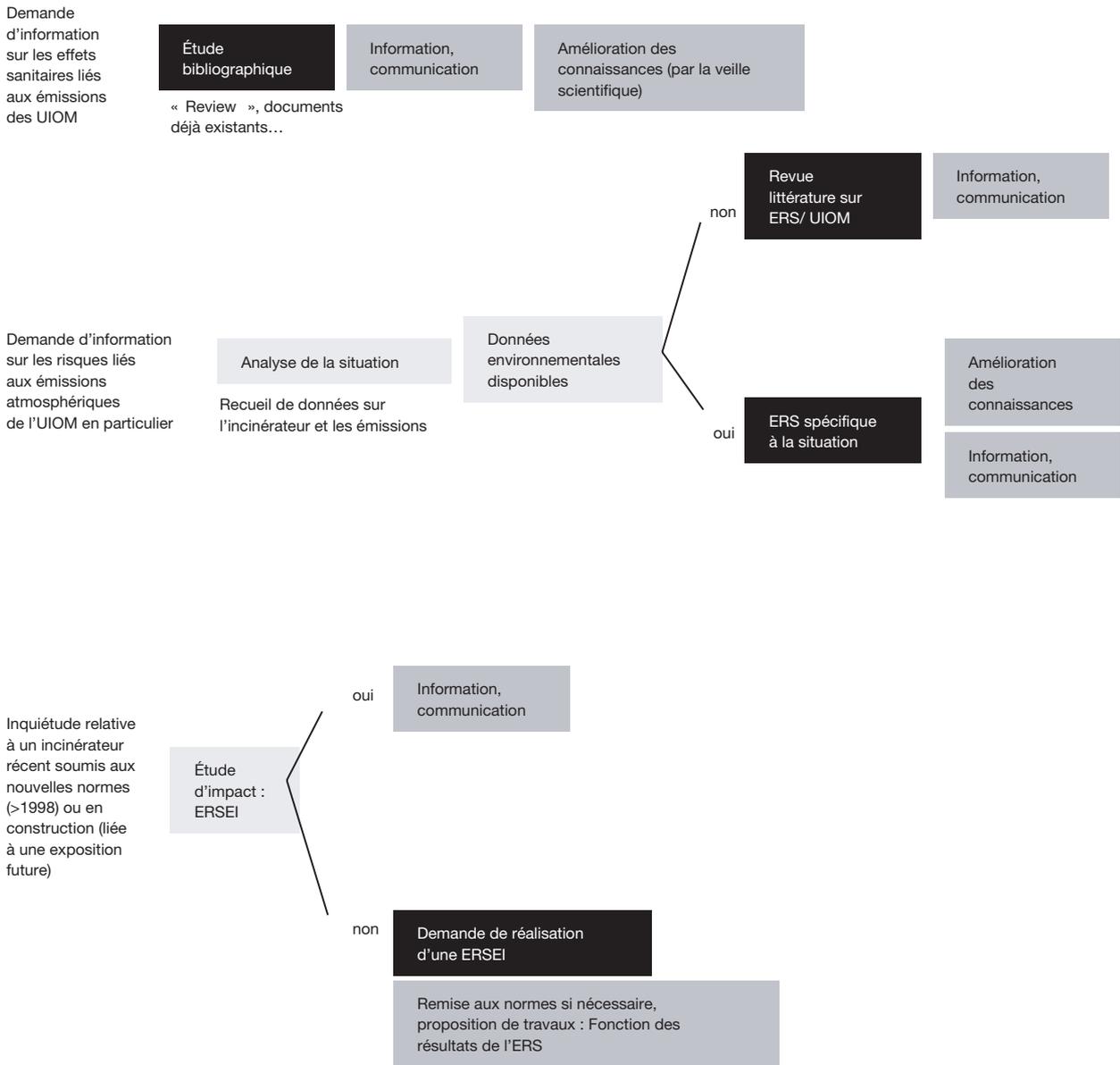
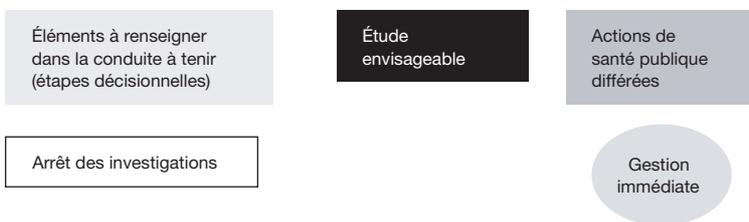


Figure 3 : Schéma de synthèse de la conduite à tenir lors de l'émission d'un signal social





Légende des figures 1, 2 et 3.





## **Partie 2**

# **Description des types d'études et possibilités d'utilisation lors d'investigations autour d'un incinérateur**





## Préambule

La rédaction de ces fiches repose sur quatre ouvrages dans lesquels le lecteur trouvera des éléments pour approfondir sa réflexion :

- *L'épidémiologie sans peine* [Goldberg 1985] ;
- *Epidémiologie, principes et méthodes quantitatives* [Bouyer 1995] ;
- *Epidémiologie, méthodes et pratique* [Rumeau-Rouquette 1993] ;
- *Etudes des effets à court terme sur la santé d'une source locale de pollution atmosphérique, approche épidémiologique* [Guzzo 1996].

Les outils décrits concernent principalement cinq types d'études :

- Les études bibliographiques,
- Les études environnementales,
- Les études d'exposition,
- L'évaluation des risques sanitaires,
- Les études épidémiologiques.

Pour chacune d'entre elles, une fiche synthétique rappelle les objectifs, les conditions d'utilisations, les intérêts et les limites. Un dernier paragraphe décrit les possibilités actuelles d'utilisation lors d'investigations sanitaires autour d'un incinérateur.





# 1. Les études bibliographiques

**Objectif :** Etablir une analyse actualisée des connaissances sur un sujet identifié, en synthétisant et en analysant l'ensemble des articles scientifiques, rapports et ouvrages se référant à ce sujet (problème de santé, exposition particulière, facteurs de risques d'une maladie...). Idéalement, l'étude bibliographique doit être conduite systématiquement car elle est un pré-requis à la réalisation d'autres types d'études.

**Conditions d'utilisation :**

Le sujet étudié a du faire l'objet de travaux de recherche et de publications.

**Intérêts :**

- Favorise l'appropriation du sujet.
- Permet de confronter les différentes approches et méthodes et d'initier une réflexion.
- Est une aide à la (re)formulation d'une question de santé publique.
- Identifie les lacunes dans les connaissances.

**Limites :**

- Peut être longue et fastidieuse, et donc incompatible avec les contraintes de temps rencontrées sur le terrain.
- Pas de garantie d'exhaustivité.
- Possibilité que les articles ne soient pas complètement adaptés au contexte local : population, types d'incinérateurs, polluants, données environnementales...
- Biais de publication possible (les études dont les résultats sont négatifs sont moins souvent publiées).

Dans le cas des incinérateurs, la synthèse et l'analyse bibliographique sont très utiles à la formulation de la question et à la compréhension du problème dans son ensemble. La partie 3 du document fournit un état des lieux des données bibliographiques disponibles. Une étude bibliographique spécifique trouvera son intérêt en complément de cette approche synthétique, pour répondre à une question précise de la population ou des autorités locales (par exemple analyser un protocole d'étude particulier, une substance émise...). Toutefois dans ce dernier cas, et selon le sujet à développer, celle-ci peut se révéler longue et difficile. Il faut pouvoir définir l'objectif et le temps nécessaire à son atteinte dès le départ et en informer l'ensemble des acteurs locaux.





## 2. Les études environnementales

Ce sont des études descriptives de deux types : les modélisations de contaminations de l'environnement et les mesures environnementales (enquêtes ponctuelles renseignant l'état de l'environnement à un instant donné, ou surveillance renseignant la situation de façon permanente).

- ♦ **La modélisation des contaminations de l'environnement** prédit les concentrations de substances dans un ou plusieurs milieux environnementaux, à partir d'une source connue.

### Objectifs :

- Renseigner les niveaux de contamination des milieux de l'environnement, au contact ou non de la population.
- Délimiter les zones d'étude ou d'influence ou cibler une campagne de mesures environnementales (après identification des substances à rechercher et des milieux à échantillonner).
- Apprécier la part de pollution attribuable à l'incinérateur.

### Conditions d'utilisation :

- Mesures à l'émission de l'UIOM disponibles.
- Compétences pour l'utilisation des modèles.

### Intérêts :

- Moins coûteuses que les enquêtes environnementales si disponibilité de mesures à l'émission de l'UIOM.
- Appréciation de la part attribuable à l'incinérateur.

### Limites :

- Absence fréquente de validation des modèles utilisés.
- Description de l'ampleur de l'incertitude difficile car nombreuses hypothèses et choix à faire dans le déroulement de la modélisation (par exemple, hypothèses sur la diffusion et les transferts de substances entre les différents milieux).

- ♦ **Les enquêtes environnementales** détectent et quantifient des substances dans un ou plusieurs milieux environnementaux.

### Objectifs :

- Renseigner les niveaux de contamination des milieux de l'environnement au contact ou non de la population.
- Délimiter une zone d'étude.
- ± Confirmer ou infirmer l'existence de niveaux anormaux de polluants dans un milieu.

### Conditions d'utilisation :

- Disponibilité des modalités de prélèvements et de techniques analytiques valides et reproductibles adaptées.
- Existence de normes, valeurs guides, ou niveaux de contaminations de fond, français ou non (pour atteindre le troisième objectif).

**Intérêts :**

- Interprétation en termes de gestion (si atteinte du deuxième objectif).

**Limites :**

- Coût important (surtout pour une bonne représentativité spatio-temporelle des mesures).
- Pas d'appréciation de la part attribuable à la source incriminée.

La modélisation de la dispersion des polluants (à partir des rejets de la cheminée) est indispensable pour déterminer et délimiter une zone impactée autour d'un incinérateur. La délimitation de cette zone permet de i) réaliser des études ultérieures d'exposition ou d'ERS ; ii) cibler les populations d'études pour des travaux épidémiologiques ou la mise en place d'actions de santé publique (prise en charge sanitaire par exemple) ; iii) cibler les campagnes d'échantillonnage qui s'inscrivent en complément des modélisations ; iv) d'une manière générale, prendre toute mesure conservatoire qui s'impose dans le périmètre.

Les modélisations et les enquêtes environnementales ne sont pas exclusives les unes des autres. Si les modélisations permettent en effet d'estimer des expositions et/ou des risques, elles sont souvent fortement critiquées dans un contexte sensible (cf. limites). Des enquêtes environnementales complémentaires aux modélisations peuvent ainsi être mises en place, car leurs résultats ont une plus grande force de démonstration.

Enfin, il est indispensable de rechercher au préalable l'existence de données, soit dans l'historique de la surveillance de l'usine, soit dans les dossiers d'autorisation d'exploiter, où une évaluation des risques sanitaires des études d'impact (ERSEI) peut être disponible.



## 3. Les études d'exposition

Ce sont des études descriptives qui peuvent être réalisées à partir des résultats issus des études environnementales, par des mesures de biomarqueurs dans l'organisme, ou par une combinaison des deux.

### Objectif :

- Fournir des données descriptives sur l'exposition des individus à une substance donnée (concentrations ou doses arrivant jusqu'à, ou dans l'organisme).
- $\pm$  Confirmer ou infirmer l'existence de niveaux d'exposition élevés (passés ou actuels en fonction des caractéristiques du polluant).

### Conditions d'utilisation :

- Disponibilité de données d'émissions de l'incinérateur et modèles appropriés (si modélisation).
- Capacité métrologique.
- Signification connue du biomarqueur en termes de nature de l'exposition (passée, actuelle) (si utilisation de biomarqueurs).
- Existence de normes, valeurs guides, ou niveaux de contaminations de fond, français ou non, dans l'environnement ou en terme de biomarqueurs (pour atteindre le deuxième objectif).

### Intérêts :

- Interprétation possible en terme de gestion (si atteinte du deuxième objectif).
- Etape préalable à la mise en place d'un dépistage, si la relation entre la mesure de l'exposition et la survenue d'un effet sanitaire est connue.

### Limites :

- Souvent réalisées à l'aide de modèles, ce qui génère de nombreuses hypothèses et en limite l'interprétation.
- Validité des biomarqueurs en population générale souvent peu connue.
- Si utilisation de biomarqueurs, appréciation difficile de la part attribuable à l'incinérateur, et plus rarement utilisable en ERS car les VTR sont souvent exprimées en « doses externes ».

Par ailleurs, se fonder sur les mesures de biomarqueurs dans les liquides biologiques pour développer une action de santé publique nécessite en général de connaître la valeur prédictive du biomarqueur étudié en terme de risque de développer une pathologie, ou dans le développement de la pathologie. A l'heure actuelle, seule la mesure de la plombémie pour dépister le saturnisme est étayée par la communauté scientifique.

Dans le cadre d'une investigation locale autour d'un incinérateur, il faut bien distinguer les deux types d'études d'exposition :

- Quantifier la dose de substance externe à l'organisme, à partir de données issues de campagnes environnementales ou de modélisations est utile à la réalisation d'une ERS (il s'agit d'une étape de l'ERS) ou à la prise en charge environnementale.
- Quantifier la dose de substance interne, donc dans les liquides biologiques de l'organisme, se révèle pour ce même objectif, plus difficile. D'abord parce qu'on ne dispose pas, pour l'ensemble des substances liées à l'incinération, de valeurs toxicologiques de référence (VTR) exprimées en dose interne (c'est même rare) et qu'on ne peut pas connaître la part attribuable à l'incinérateur, et ensuite, parce qu'il faut s'assurer de la bonne valeur prédictive du biomarqueur en termes d'exposition ou de risque.

Toutefois, la mesure de biomarqueurs dans les liquides biologiques de l'organisme peut être intéressante en terme de recherche, soit pour connaître les niveaux d'exposition de la population française et les facteurs qui influencent ces niveaux d'exposition (par exemple résider à proximité d'un incinérateur), soit pour réaliser ultérieurement des études épidémiologiques analytiques qui exploreraient les éventuelles associations entre le niveau de biomarqueurs dans l'organisme et certaines pathologies déclarées. Ces travaux ont principalement un objectif de recherche. Leur utilité d'un point de vue décisionnel est donc limitée dans la gestion locale d'un problème environnemental ou sanitaire (c'est l'exemple des résultats des mesures de dioxines dans le lait maternel à Gilly sur Isère, qui ont été rendus de manière individuelle, sans que l'on puisse en faire une quelconque interprétation).

Pour les dioxines qui sont des substances bio-accumulatrices et qui reflètent une exposition passée longue, connaître les niveaux d'imprégnation de la population française en fonction d'un lieu de résidence (proximité ou non d'un incinérateur) peut aider à comprendre dans quelle mesure les individus ont été exposés aux dioxines dans le passé, et si le fait d'avoir résidé à proximité d'un incinérateur a pu accroître ce niveau d'imprégnation. C'est l'objectif du groupe de travail co-animé par l'InVS et l'AFSSA (cf. introduction générale). L'objectif sera plus facilement atteint dans le cadre d'une enquête multicentrique sur plusieurs incinérateurs, afin de tenter de couvrir des contrastes d'exposition variés et d'avoir une taille de population suffisante.

## 4. L'évaluation des risques sanitaires (ERS)

L'ERS est un cadre méthodologique structuré qui repose sur « *l'utilisation de faits scientifiques pour définir les effets sur la santé d'une exposition d'individus ou de populations à des matériaux ou situations dangereuses* » [NRC 1983]. Il a été conçu pour éclairer la décision dans un contexte d'incertitude scientifique, pour surmonter les limites de faisabilité et d'interprétation des études épidémiologiques, dans des situations de risques faibles (associations difficiles voire impossibles à mettre en évidence).

### Objectifs

- Estimer les risques sanitaires, encourus par une population en fonction de son comportement, et dus aux retombées atmosphériques des émissions de l'incinérateur (prédiction de risques futurs ou estimation de risques passés).
- Identifier le manque d'information dans un domaine de connaissances précis.
- Aider à la conception d'éventuelles études épidémiologiques ou d'exposition.

### Conditions d'utilisation :

- Existence et accessibilité des connaissances scientifiques nécessaires : dangers et relations dose-réponse.
- Existence de données à l'émission ou environnementales et de données sur le comportement de la population pour pouvoir estimer l'exposition de la population. En effet, si l'ERS utilise des hypothèses générales maximisées, les résultats ne seront pas plus adaptés à la situation locale que ceux de la littérature [SFSP 1999].

### Intérêts :

- Prédiction des risques pour des situations d'exposition future. C'est la méthode de choix dans les études d'impacts lors de la procédure d'autorisation d'implantation d'une installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE).
- Estimation des risques dans des situations où ceux-ci sont faibles, et donc difficilement mesurables par des études épidémiologiques.
- Estimation des risques à court terme (exemple des pathologies réversibles) liés à des expositions passées, ce que ne peut faire l'épidémiologie pour les effets n'ayant pas donné lieu à un recueil d'informations au moment de l'exposition.
- Informations spécifiques à chaque modalité d'exposition identifiée.
- Délais de réponse plus brefs et coûts mobilisés inférieurs à ceux de l'épidémiologie.
- Résultats pouvant être mis à profit pour prendre des décisions d'ordre sanitaire (justifier un dépistage ou un suivi) ou environnemental (justifier la réduction des expositions).
- Résultats parfois mis à profit pour entreprendre des études épidémiologiques analytiques (meilleure appréhension d'éventuelles actions de prise en charge sanitaire).

### Limites :

- Quantification des risques limitée aux substances dont les dangers et les VTR sont connus.
- Effets des mélanges de substances peu documentés (non prise en compte, en l'état actuel des connaissances, de leur antagonisme ou synergie).
- Incertitude et variabilité partiellement comprises et quantifiables en l'état actuel des connaissances.
- L'observation de cas réels de pathologies dans la population ne permet pas de confirmer l'excès de risque estimé.

- Difficulté de caractériser précisément les expositions passées, pour les substances présentant un délai long entre l'exposition et la survenue de la pathologie (cadmium, dioxines, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), particules...).
- Difficulté de communiquer sur les limites interprétatives des conclusions (conclusions collectives uniquement alors que la population attend des conclusions individuelles).

Dans le cas des incinérateurs, l'ERS est souvent préconisée parce que les situations sont difficiles à évaluer par les méthodes épidémiologiques analytiques (risques faibles, populations de taille réduite, contraintes statistiques, contraintes logistiques de terrain, délais de réalisation longs...). De plus, l'ERS est la méthode la plus appropriée pour répondre à la population sur les risques à venir.

Par ailleurs, il ne faut pas occulter les difficultés à réaliser des ERS pour des expositions passées qui sont souvent mal caractérisées. En effet, les incinérateurs émettent actuellement des quantités de substances toxiques très inférieures à celles du passé. Du fait de cette évolution du parc des incinérateurs français, les expositions actuelles ne reflètent pas les expositions passées. Par ailleurs, les données passées d'émission sont souvent inexistantes car la réglementation, avant 1991, ne les préconisait pas.

Il est également essentiel de ne pas sous-estimer les difficultés de présentation des résultats et le décalage qu'il peut y avoir entre les enseignements que tirent des ERS les populations ou les médias et les résultats eux-mêmes, qui font souvent davantage ressortir des hypothèses sur les facteurs de risques.



## 5. Les études épidémiologiques

Il existe différents types d'études épidémiologiques, que nous avons choisi de classer, par souci de simplification, en fonction de leurs objectifs et des méthodes utilisées pour les atteindre.

Les études descriptives, écologiques et analytiques sont les trois principaux outils épidémiologiques permettant d'observer, de surveiller, ou d'analyser l'état sanitaire d'une population.

En réalité, une classification est difficile car les nombreuses enquêtes réalisées combinent souvent plusieurs approches. L'essentiel est donc de respecter les conditions de validité et de puissance d'une étude et de prendre en compte l'ensemble des facteurs de confusion possibles.

Par ailleurs, certaines études visent à évaluer les résultats des actions de santé dans la collectivité. Cette branche de l'épidémiologie, dite épidémiologie évaluative, ne sera pas abordée dans ce document.

### 5.1 Les études descriptives

Elles étudient la fréquence et la répartition des paramètres de santé ou des facteurs de risque dans une population en utilisant des données individuelles. Elles peuvent parfois fournir des hypothèses sur un rôle étiologique de facteurs de risque recueillis. Elles peuvent être soit transversales, et elles mesurent la prévalence d'un phénomène de santé ; soit longitudinales, et elles mesurent l'incidence de l'apparition d'un phénomène de santé. Notons que les statistiques sanitaires sont des outils construits à partir d'études de type descriptif. Les études transversales sont en général destinées à compléter les systèmes d'informations constitués par les statistiques de santé, et à répondre à des questions spécifiques.

**Objectif :** Décrire l'état sanitaire (pathologies ou indicateurs perceptuels du risque) de la population afin de quantifier l'importance des problèmes de santé. Elles peuvent également avoir comme objectif la surveillance et l'aide à la recherche.

**Conditions d'utilisation :**

- Bien définir les pathologies, critères de diagnostic, critères perceptuels du risque.
- Connaissance et disponibilité des sources et modalités de recueil de l'information.

♦ **Les études de prévalence uniques** mesurent la fréquence d'une maladie ou la valeur d'un indicateur sanitaire à un moment précis, sous forme d'une photographie instantanée. Elles portent sur une population définie dans laquelle on recueille les informations une seule fois pour chaque individu.

**Intérêts :**

- Peuvent être de courte durée (compatibles avec les contraintes de temps rencontrées sur le terrain).
- Moins coûteuses qu'un enregistrement permanent.
- Ne se limitent pas à des pathologies graves et suffisamment importantes, comme le font les statistiques sanitaires.

**Limites :**

- Ne permet pas de calculer l'incidence de la maladie étudiée et ne renseignent pas objectivement les aspects dynamiques des phénomènes de santé.
- Peu adaptées aux pathologies rares.
- Disponibilité des statistiques sanitaires encore limitée.

- ♦ **Les études de prévalence répétées** mesurent la fréquence d'une maladie ou la valeur d'un indicateur sanitaire à un moment précis, sous forme d'une photographie instantanée, et sont répétées à intervalles de temps précisés. Elles peuvent porter sur une population entièrement renouvelée, partiellement renouvelée, ou sur la même population.

L'avantage de ces études est qu'elles ont, en plus des intérêts de l'étude de prévalence unique, celui de pouvoir objectiver les aspects dynamiques de santé, en mesurant l'évolution de la fréquence de la pathologie étudiée (si on considère la même population). Elles sont toutefois peu adaptées aux pathologies rares.

- ♦ **Les études d'incidence** permettent l'observation de l'évolution d'un phénomène de santé, en comptabilisant prospectivement son apparition (fréquence de nouveaux cas diagnostiqués d'une pathologie) au sein d'une population géographiquement délimitée sur une période de temps définie. Elles peuvent également être répétées dans le temps et constituent alors un outil de surveillance intéressant.

#### **Intérêts :**

- Renseignent les aspects dynamiques des phénomènes de santé (si la période de temps est assez grande).

#### **Limites :**

- Maintien du système pendant une longue période si délais de latence importants entre l'exposition et la pathologie (moyens humains et économiques importants à mobiliser).
- Problème des perdus de vue.

#### ♦ **Les statistiques sanitaires**

##### **Statistiques de mortalité**

Largement répandues dans le monde, elles constituent encore, en dépit de certaines insuffisances, une des sources essentielles de données épidémiologiques. Leur couverture est nationale.

##### **Registres de morbidité**

Ils rassemblent, dans un enregistrement continu et exhaustif, des informations provenant de plusieurs sources concernant une pathologie donnée, dans une zone géographique donnée (généralement le département). Il s'agit d'une structure associant à une activité d'enregistrement de routine, une activité de recherche. Ils correspondent à des études d'incidence dont le recueil est permanent. Ce sont des outils performants pour la recherche épidémiologique et clinique et ils ont un objectif de surveillance. Toutefois, le nombre de registres est encore limité en France. Ils ne couvrent donc pas l'ensemble de la population.

Les registres des cancers, généraux ou spécialisés.

Les registres des malformations congénitales, plus récents et moins nombreux.

#### **Intérêts :**

- Renseignent les aspects dynamiques des phénomènes de santé.
- Activité de recherche associée.

#### **Limites :**

- Moyens humains et économiques importants à mobiliser.
- Se limitent à des maladies graves, qui justifient la mise en place d'un tel dispositif.

Les études descriptives ne permettent pas d'établir un lien de causalité entre la pathologie et un facteur de risque. Toutefois, la simple description des phénomènes sanitaires et environnementaux peut être le point de départ d'hypothèses sur les facteurs de risque de ce phénomène. La limite interprétative des résultats devra au préalable être expliquée aux partenaires et à la population.

En pratique, on examine d'abord si les statistiques de routine permettent ou non de répondre à la question. Si elles ne le permettent pas, il peut être envisagé de conduire une étude descriptive en fonction du contexte. Le choix de la méthode dépend ensuite de l'objectif :

- L'enquête de prévalence unique est adaptée à la description de la situation à un moment précis.
- L'enquête de prévalence répétée peut être adaptée pour suivre l'évolution de pathologies fréquentes.
- L'enquête d'incidence répétée dans le temps s'impose dès lors que l'on souhaite suivre l'évolution d'un type de pathologies dans un objectif de surveillance ou de recherche.

Il est donc possible de mettre en place, autour des incinérateurs, des études d'incidence à intervalles espacés dans le temps, afin de connaître l'évolution de pathologies définies et potentiellement liées à l'exposition aux émissions des incinérateurs. Ceci pourrait permettre d'émettre des hypothèses sur certains facteurs de risque et d'initier la recherche.

Les dispositifs de surveillance, tels les registres, sont des outils qui peuvent être très adaptés et qui peuvent aider à investiguer une situation localement. Mais ils sont encore peu fréquents et ne concernent que peu de pathologies (dispositifs onéreux, qu'il faut maintenir pendant de longues périodes). L'exemple de Gilly sur Isère montre qu'il est difficile de reconstituer rétrospectivement et localement ce type de dispositif. Actuellement, la réflexion engagée est centrée sur le développement de systèmes de surveillance nationaux pour des types de pathologies particulières.

Par ailleurs, les études descriptives, du fait des protocoles utilisés, ne sont pas forcément appropriées pour répondre à une question en situation de crise. Par exemple, les résultats d'études d'incidence peuvent être rendus au terme de plusieurs années, ce qui est long et difficilement acceptable par la population lorsque le contexte est sensible (3 ans prévu pour Gilly sur Isère). Aussi, l'annonce de ce type d'études par les pouvoirs publics locaux ne doit pas se faire précocement (avant l'étude de faisabilité qui conditionne la réelle mise en place de l'étude).

## 5.2 Les études écologiques

Les études écologiques utilisent des données agrégées au niveau d'une population (par exemple nombre de décès, données de qualité de l'air...). Etudes d'observation, généralement descriptives à visée explicative, elles permettent de fournir des hypothèses sur les facteurs de risques environnementaux. Il en existe deux types, en fonction de la variable d'agrégation : les études géographiques et temporelles. Elles possèdent toutefois des objectifs, intérêts et limites semblables :

**Objectif :** Détecter ou identifier des variations de l'occurrence d'une maladie dans l'espace ou dans le temps ; relier ces variations à des facteurs environnementaux ou sociaux.

**Intérêts :**

- *A priori* plus faciles à mettre en œuvre et moins coûteuses que les études analytiques si les données sanitaires et environnementales sont par ailleurs recueillies en routine par des systèmes d'information.
- Permettent de vérifier la plausibilité de l'association entre des signaux environnementaux et sanitaires
- Prise en compte d'effectifs de population importants grâce au caractère agrégé des données (puissance statistique élevée permettant d'étudier des pathologies rares).
- Les populations étudiées peuvent présenter des différences d'exposition plus importantes que celles qui pourraient être obtenues au niveau individuel.

### Limites :

- Données recueillies en routine pas forcément adaptées aux études épidémiologiques (connaissance du dénominateur, de la classification des maladies...).
- Existence d'un biais de confusion écologique spécifique (impossible de savoir si les sujets ayant développé une pathologie ont été réellement exposés, donc impossible de faire des extrapolations individuelles à partir des résultats de risques relatifs obtenus).
- Difficulté de communiquer sur les limites interprétatives des conclusions (conclusions collectives uniquement alors que la population attend des conclusions individuelles).
- De manière plus sensible que dans les autres études : biais de sélection si la population exposée est différente de la population étudiée (données environnementale recueillies sur une autre zone ou à une autre période que les données sanitaires), biais de classement ou d'information (c'est le cas des erreurs de codage en morbidité hospitalière par exemple ou lorsqu'on étudie une mortalité spécifique) et biais de confusion si on n'a pas pris en compte un facteur lié simultanément à l'exposition et à la maladie. Pour ce dernier type de biais le niveau de validité diffère selon qu'il s'agit d'étude géographique ou temporelle.
- L'ensemble de ces limites tend à diluer la force des associations observées.

♦ **Les études écologiques géographiques**, où l'unité d'observation est un groupe d'individus appartenant à une zone géographique définie. Les groupes comparés doivent être aussi semblables que possible pour ce qui est des facteurs de confusion (statuts socio-économiques, âges...) mais différents pour ce qui est des niveaux d'exposition.

**Objectif :** Etudier l'association entre les variations spatiales d'exposition et d'indicateurs de santé entre plusieurs groupes au sein d'une population ou entre plusieurs populations à un moment donné.

### Conditions d'utilisation spécifiques :

- Méthode de mesure de l'exposition identique sur les zones comparées, pour la représentativité des mesures comme pour la métrologie proprement dite.
- Disponibilité de systèmes d'information pouvant fournir les données sanitaires en routine. Autrement, mise en place du recueil aussi lourde que pour les études « individuelles ».
- Connaissances précises des caractéristiques des populations comparées.
- Données sanitaires et d'exposition recueillies sur la même zone pour une population.

### Intérêts spécifiques :

- L'analyse de données de santé et d'exposition, collectées en routine, permet de réaliser des études à un coût limité et dans un temps relativement bref par rapport aux études temporelles.

### Limites spécifiques :

- Comparabilité des populations parfois difficile à obtenir.
- Risque de biais de confusion important : la mesure des facteurs de confusion au niveau individuel étant impossible (co-expositions environnementales par exemple), leur prise en compte exhaustive au niveau écologique est également impossible. On ne peut s'assurer d'avoir contrôlé la totalité des facteurs de confusion présents à des niveaux différents entre les populations comparées.
- Risque de biais écologique important si le taux de la maladie dans la population non exposée est différent d'un groupe à l'autre, ou s'il existe un autre facteur de risque présentant un effet modificateur et distribué différemment d'un groupe à l'autre (exemple du tabac et de la pollution atmosphérique).

♦ **Les études écologiques temporelles**, où l'unité d'observation est une unité de temps correspondant au recueil des données. Elles sont plus lourdes que les précédentes car nécessitent des données journalières sur de longues périodes de recueil (plusieurs années).

**Objectif :** Etudier, au sein d'une population donnée, la relation existant entre deux séries d'observations recueillies de manière continue dans le temps, à intervalles réguliers.

### Conditions d'utilisation spécifiques :

- Méthodes de mesure de l'exposition identiques sur les zones d'études dans le cas d'études multicentriques.

- Possibilité de disposer ou de pouvoir mettre en place les systèmes d'information fournissant les données sanitaires et environnementales en routine.
- Données sanitaires et d'exposition recueillies sur la même zone.

#### Intérêts spécifiques:

- Particulièrement adaptées lorsque la période d'observation est relativement courte.
- Permet d'atteindre une puissance statistique importante.
- Facteurs de confusion écologiques stables dans le temps.
- Facteurs de confusion individuels contrôlés par le schéma d'étude (population comparée à elle-même).
- Résultats exprimés en terme d'augmentation d'un indicateur de santé par unité d'augmentation de l'exposition.

#### Limites spécifiques:

- Données environnementales et indicateurs sanitaires recueillis en routine limités (seulement certains polluants et seulement des indicateurs de l'état de santé de la population).
- Facteurs de confusion : ceux dont les variations temporelles sont liées à celles des indicateurs d'exposition et sanitaires (tendances à long terme, variations saisonnières, variations hebdomadaires). Ils sont à contrôler au moment de l'analyse statistique (modélisations complexes).

De part leur définition (utilisation de données agrégées) et leur objectif (détecter des variations d'occurrence de pathologies), les études écologiques n'ont pas la vocation à être utilisées pour la résolution et la gestion d'un problème local autour d'un incinérateur. Elles comportent en effet beaucoup de limites interprétatives et il est impossible de faire des extrapolations individuelles à partir de leurs résultats.

Cependant, ces études ont un intérêt en terme de recherche, puisqu'on peut comparer par exemple plusieurs sites sur lesquels sont implantés des incinérateurs à caractéristiques différentes (émissions, cheminées...), pour une période donnée (dans le cas d'études géographiques). Les résultats peuvent permettre de générer des hypothèses sur les facteurs de risques afin d'envisager par la suite des études analytiques, à condition de maîtriser, au sein de chaque population, les facteurs de confusion et leur évolution.

## 5.3 Les études analytiques (ou étiologiques)

Les études analytiques doivent fournir des arguments essentiels en faveur ou à l'encontre de l'hypothèse d'un rôle étiologique de facteurs de risque étudiés.

D'une façon générale, elles visent à comparer des individus exposés, à différents niveaux, aux facteurs de risque pris en compte. Parmi ces individus exposés, certains sont atteints de la pathologie en question alors que d'autres ne le sont pas. Ces comparaisons reposent sur l'analyse de la relation entre l'exposition et la pathologie sous forme d'un risque relatif ou d'un odds ratio<sup>8</sup>. On distingue principalement deux types d'études : exposés-non exposés et cas-témoins, qui possèdent certains objectifs communs.

#### Objectifs :

- Rechercher les causes des problèmes de santé.
  - Analyser le rôle de facteurs susceptibles d'influencer l'incidence des problèmes de santé.
- ♦ **Les études exposés-non exposés** (parfois appelées études de cohorte) : le principe est de comparer l'incidence d'une pathologie entre un groupe d'individus exposés et un groupe d'individus non exposés.

<sup>8</sup> Le risque relatif est le rapport entre la probabilité de survenue d'une maladie ou d'un effet chez des individus exposés à un facteur de risque donné et la probabilité de survenue de ce même effet chez les non exposés. L'odds ratio est, en anglais, le rapport des cotes des expositions mesurées chez les cas et chez les témoins (approximation d'un risque relatif).

Les groupes sont constitués sur l'exposition et on cherche à tester l'hypothèse d'association avec la survenue d'une maladie. Elles peuvent être prospectives (recueil d'informations au fur et à mesure), mais dans ce cas pas appropriées à un contexte d'urgence décisionnelle ; ou rétrospectives (informations recueillies *a posteriori*), qui, dans ce contexte, pourraient être réalisées sous certaines conditions précises. Elles restent globalement peu appropriées car elles sont longues et difficiles.

#### Conditions d'utilisation spécifiques :

- Possibilité de mettre en place le recueil des données de santé et d'exposition.
- Accessibilité au diagnostic des pathologies présentes chez les sujets inclus.
- Accessibilité de l'information sur le statut vital des sujets inclus sur une longue période.
- Représentativité de la cohorte par rapport à la population étudiée.

On préfère utiliser ces études lorsque le délai entre l'exposition et la survenue de la maladie n'est pas trop long, que la maladie est relativement fréquente et que le rôle étiologique du facteur de risque est fort, car les problèmes de logistique et de suivi (faisabilité) sont nombreux. Ces études ne sont donc pas adaptées à l'investigation d'une situation locale autour d'un incinérateur, où les risques sont faibles, les pathologies pas forcément fréquentes (exemple des cancers) et leur délai d'apparition parfois long (également les cancers). De ce fait, elles sont plus souvent utilisées en milieu professionnel (suivi d'une cohorte plus facile, expositions souvent mieux caractérisées, le service de médecine du travail peut participer au recueil des données...).

#### Intérêts spécifiques :

- Connaissance de l'incidence et calcul direct du risque relatif.
- Analyse possible de l'influence de l'exposition sur plusieurs maladies, à condition d'avoir défini et recueilli les différents cas.
- Mesures précises et non biaisées de l'exposition.
- Maîtrise de la séquence temporelle entre exposition et maladie, notamment dans les études prospectives.

#### Limites spécifiques :

- Biais de classement différentiel sur la maladie possible entre sujets exposés et non exposés et insuffisance de contrôle des facteurs de confusion.
- Sous déclaration ou erreur de classement des maladies possibles.
- Effectif élevé des sujets observés et difficultés de suivre une cohorte car financièrement et humainement lourd.
- Insuffisance de recueil d'information sur les facteurs de confusion au niveau individuel (si enquête de mortalité ou rétrospective).

♦ **Les études cas-témoins :** Le principe est de comparer la fréquence de l'exposition chez des individus atteints d'une pathologie à celle chez des individus non atteints de cette pathologie (témoins), afin de relever d'éventuels facteurs de risque « exposition ».

#### Conditions d'utilisation spécifiques :

- Définition claire de la maladie (difficile quand on s'intéresse à un symptôme) et possibilité de mesures objectives de la maladie chez les cas et chez les témoins.
- Accessibilité aux données d'exposition des sujets (recueil rétrospectif).
- Maladie rare.
- Groupe de cas représentatif des individus atteints de la maladie, et groupe de témoins représentatifs des individus non malades, pour pouvoir estimer un odds ratio.

#### Intérêts spécifiques :

- Exploration possible de plusieurs hypothèses étiologiques sur la maladie, à condition de recueillir les différentes expositions envisagées.
- Malades classés de façon précise.
- Moins lourdes au niveau logistique que les études exposés-non exposés.
- Effectifs faibles des sujets observés.

- Qualité du recueil d'information sur les facteurs de confusion au niveau individuel.
- Utilisation possible des données individuelles des registres pour les cas.
- Etude possible d'un problème de santé actuel en rapport avec une exposition antérieure.
- Bien adaptées à l'étude des maladies rares pour lesquelles le délai entre le début de l'exposition et le diagnostic est relativement long.
- A nombre égal de sujets, la puissance statistique d'une étude cas-témoins est plus forte que celle d'une étude exposés-non exposés.

#### Limites spécifiques :

- Biais de classement différentiel pour l'exposition entre les cas et les témoins, biais de mémorisation, biais de sélection si les cas sont prévalents.
- Impossible de connaître l'incidence de la maladie.
- Erreur de classification importante possible car les niveaux d'exposition manquent de précision (évaluation rétrospective approximée).
- Nombreux facteurs de confusion.
- Séquence temporelle entre exposition et maladie moins maîtrisée que pour une cohorte.

Les contraintes rencontrées sur le terrain, notamment en terme de faisabilité, en situation où les autorités locales doivent prendre une décision souvent rapide, ne permettent en général pas de préconiser une étude analytique, qu'elle soit exposé-non exposé ou cas-témoin. En effet, ces études ne permettent pas de produire des éléments d'aide à la décision dans des délais compatibles avec les demandes de la population et avec la gestion des risques.

Ces études sont plus favorablement utilisées dans un objectif de recherche pour valider les hypothèses d'associations éventuelles existant entre l'exposition aux émissions des incinérateurs et des pathologies définies. Elles permettent d'apporter des éléments permettant de mieux connaître la réalité des risques et leurs causes, parallèlement aux efforts conduits pour réduire les risques localement. C'est ce qui conduit actuellement les réflexions nationales sur le sujet engagées par l'InVS (cf. introduction générale).

Par ailleurs, l'interprétation des résultats est entachée de nombreuses limites (nombreux biais, facteurs de confusion) qu'il faut bien prendre en compte et expliquer. C'est pourquoi, pour conclure dans le sens d'une « relation causale », il faut réunir les résultats d'un ensemble d'études (écologiques, cas-témoins ou cohortes, expérimentations animales, investigations cliniques...) et mettre en évidence une cohérence entre eux. Les conditions permettant d'aboutir, à terme, à cette relation entre facteur de risque et pathologie sont nombreuses : l'exposition au facteur présumé doit précéder l'apparition de la maladie (temporalité) ; la relation facteur-maladie doit être retrouvée dans différentes populations et différentes conditions (constance) ; l'association statistique qui relie le facteur à la maladie doit être la plus forte possible ; un facteur d'exposition donné est spécifique d'une pathologie (spécificité) ; les résultats doivent être cohérents avec les connaissances actuelles (plausibilité biologique, acceptabilité scientifique...).





## 6. Conclusion

Lorsqu'une étude sanitaire est jugée utile, la question posée et les objectifs à atteindre conditionnent le choix de la (ou des) méthode(s) à privilégier. Toutefois, la nature des données disponibles (mesure de l'exposition, données agrégées...) limite souvent le choix du type d'étude à laquelle on peut avoir recours (rappel des critères d'utilité, de pertinence et de faisabilité page suivante).

Chaque situation autour des incinérateurs étant différente (question posée et utilité, critères de pertinence ou de faisabilité), il est difficile d'émettre des recommandations quant à l'utilisation d'un type d'étude en particulier. Toutefois, certaines études sont plus justifiées que d'autres, au regard notamment du caractère souvent sensible des situations locales autour d'incinérateurs.

→ **Les études bibliographiques** permettent d'appréhender la situation, de formuler une question pertinente sur le plan des risques encourus et de leur nature, et de dégager des éléments de réponse.

→ **Les études environnementales** permettent d'apprécier l'ampleur des contaminations des milieux de l'environnement et de conduire, si nécessaire, des études d'exposition et d'évaluation de risque sanitaire.

→ **Les évaluations des risques sanitaires** permettent souvent de répondre sur l'ensemble des risques liés à la présence d'un incinérateur (question souvent abordée au niveau local) et sont une alternative de choix pour investiguer des situations où les risques sont faibles et l'effectif des populations réduit. Toutefois, les premiers exemples montrent une difficulté dans la communication des résultats.

→ **Les études descriptives transversales uniques ou répétées** dans le temps permettent de décrire une situation sanitaire, voire (si répétées) de surveiller les phénomènes dynamiques de santé. Elles peuvent être envisagées en particulier lorsque des registres de données de santé existent. Elles pourraient dans ce cas être à la base de génération d'hypothèses sur les facteurs de risque environnementaux des maladies étudiées.

Les autres types d'études sont moins justifiés sur un plan local. En revanche, elles peuvent servir de support à des études multicentriques en vue d'améliorer les connaissances.





## 7. Rappel sur les critères à évoquer lors du choix d'une étude

### Critères d'utilité

- Formuler la question de santé publique ;
- Identifier les actions de santé publique pertinentes à mettre en place (si nécessaire).

### Critères de pertinence (choix du type d'étude)

- Quelle est la nature de l'exposition ? (passée, actuelle, future)
- Quelles sont les caractéristiques de l'indicateur de santé défini ? (latence d'apparition d'une pathologie, réversibilité et fréquence, spécificité et facteurs de risque connus...)
- Quel est le type de substance ? (persistant, bioaccumulateur...)
- Quelle est la population concernée ? (enfant, adultes, femmes enceintes...)
- Quel est l'effectif de la population ?
- Quel est le type d'aménagement du territoire ? (zone urbaine, zone rurale...)
- Quel est le délai de réponse ?

### Critères de faisabilité (possibilité ou non de réaliser ce type d'études)

- Les données nécessaires sont-elles disponibles ou est-il possible de les recueillir ?
  - données de la littérature (effets sanitaires, relations dose-réponse, facteurs de risque...)
  - données spécifiques à la situation (contaminations de l'environnement, rejets à l'émission, caractéristiques des populations...)
- La population est-elle suffisante ou la pathologie suffisamment fréquente pour avoir une puissance statistique permettant de mettre en évidence, s'il y a lieu, une association ?
- A-t-on connaissance de méthodes de diagnostic des pathologies à étudier ?
- A-t-on la compétence scientifique nécessaire et peut-on la mobiliser ?
- L'étude est-elle acceptable pour la population, pour les autorités administratives ?
- Quelle est la population concernée ? (problème des enfants...)
- Le délai de réponse attendu par les différents acteurs est-il en concordance avec celui de l'étude proposée ?
- L'enveloppe financière nécessaire à la réalisation de l'étude est-elle suffisante ?



## **Partie 3**

# **Éléments de connaissances sur les incinérateurs d'ordures ménagères**





# 1. La réglementation liée aux incinérateurs d'ordures ménagères

## 1.1 Les fondements de la réglementation française concernant les UIOM

3

*La loi du 15 juillet 1975*, modifiée par les lois du 13 juillet 1992 et du 2 février 1995, relative à l'élimination des déchets et la récupération des matériaux, fixe le cadre général et concerne l'élimination de tous les types de déchets et l'ensemble des activités qui s'y rapportent.

*La loi du 19 juillet 1976* sur les Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), fixe les règles d'ouverture, d'exploitation, et de fermeture des entreprises industrielles qui peuvent provoquer des nuisances du fait de leur présence ou de leur fonctionnement. Les UIOM font partie de ces installations classées.

*La loi du 12 juillet 1977* sur le contrôle des produits chimiques, permet aux pouvoirs publics de s'assurer que les effets directs ou indirects des produits chimiques sur l'homme et sur l'environnement sont étudiés avec sérieux par les entreprises productrices.

## 1.2 L'évolution

Les valeurs limites d'émissions atmosphériques des UIOM sont fixées par le cadre législatif européen.

- *Directive 89/369/CEE* du Conseil du 8 juin 1989, concernant la prévention de la pollution atmosphérique en provenance des nouvelles UIOM.
- *Directive 89/429/CEE* du Conseil du 21 juin 1989, concernant la réduction de la pollution atmosphérique en provenance des installations existantes d'incinération des déchets municipaux.
- *Directive 2000/76/CE* du Parlement Européen et du Conseil du 4 décembre 2000, sur l'incinération des déchets.

Les deux premières directives du Conseil ont été transcrites en droit français par l'arrêté du 25 janvier 1991. La troisième l'a été par l'arrêté du 20 septembre 2002. Par conséquent, la réglementation française actuelle concernant les valeurs limites à l'émission d'une UIOM repose sur :

- L'arrêté du 25 janvier 1991<sup>9</sup> relatif aux installations d'incinération de résidus urbains, pour les anciennes installations (cet arrêté sera abrogé le 28 décembre 2005).
- La circulaire du 24 février 1997<sup>10</sup> relative aux installations d'incinération nouvelles (cette circulaire n'a officiellement plus cours. Néanmoins, un certain nombre d'installations construites entre 1997 et 2001 disposent d'arrêtés préfectoraux basés sur les valeurs limites définies par cette circulaire).
- L'arrêté du 20 septembre 2002<sup>11</sup> relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux. Les dispositions de cet arrêté sont applicables depuis sa publication au journal officiel (01/12/2002) pour les nouvelles installations, et à compter du 28 décembre 2005 pour les installations existantes.
- La circulaire du 9 octobre 2002<sup>12</sup> relative aux installations classées (arrêtés ministériels relatifs à l'incinération de déchets, émissions de dioxines et de métaux des incinérateurs).

<sup>9</sup> <http://aida.ineris.fr/textes/arretes/text0318.htm>

<sup>10</sup> <http://aida.ineris.fr/textes/circulaires/text0318.htm>

<sup>11</sup> <http://www.environnement.gouv.fr/telch/2002-t4/200209-arrete-inciner-dechetsnondangereux.pdf>

<sup>12</sup> [http://aida.ineris.fr/sommaires\\_textes/sommaire\\_chronologique/cadre\\_chronologique.htm](http://aida.ineris.fr/sommaires_textes/sommaire_chronologique/cadre_chronologique.htm)

Le tableau II regroupe l'évolution des valeurs limites à l'émission des polluants de l'incinération.

**TABLEAU II : Réglementation française sur les valeurs limites à l'émission des UIOM**

Substance réglementée	Capacité nominale	valeurs limites des émission atmosphériques (moyennes journalières)		
		Arrêté du 25/01/1991	Circulaire du 24/02/1997***	Arrêté du 20/09/2002
<b>PCDD/F</b> (dioxines et furanes)	–	–	0,1 ng I-TEQ <sub>OTAN</sub> <sup>13</sup> /m <sup>3</sup>	0,1 ng I-TEQ <sub>OTAN</sub> /m <sup>3</sup>
<b>Poussières totales</b>	Capacité < 1 t/h	200 mg/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>
	1 < capacité < 3 t/h	100 mg/m <sup>3</sup>		
	Capacité > 3 t/h	30 mg/m <sup>3</sup>		
<b>COT</b> (carbone organique total)	–	20 mg/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>
<b>HCl</b> (acide chlorhydrique)	Capacité < 1 t/h	250 mg/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>
	1 < capacité < 3 t/h	100 mg/m <sup>3</sup>		
	Capacité > 3 t/h	50 mg/m <sup>3</sup>		
<b>HF</b> (acide fluorhydrique)	Capacité < 1 t/h	–	1 mg/m <sup>3</sup> 1	mg/m <sup>3</sup>
	1 < capacité < 3 t/h	4 mg/m <sup>3</sup>		
	Capacité > 3 t/h	2 mg/m <sup>3</sup>		
<b>SO<sub>2</sub></b> (dioxyde de soufre)	Capacité < 1 t/h	–	50 mg/m <sup>3</sup>	50 mg/m <sup>3</sup>
	1 < capacité < 3 t/h	300 mg/m <sup>3</sup>		
	Capacité > 3 t/h	300 mg/m <sup>3</sup>		
<b>NO et NO<sub>2</sub></b> (oxydes d'azote)	usine existante de capacité nominale > 6t/h ou nouvelle usine	–	–	200 mg/m <sup>3</sup> *
	usine existante de capacité nominale < 6t/h	–		400 mg/m <sup>3</sup> *
<b>CO</b> (monoxyde de carbone)	Capacité < 1 t/h	100 mg/m <sup>3</sup>	50 mg/m <sup>3</sup>	50 mg/m <sup>3</sup> **
	1 < capacité < 6 t/h	100 mg/m <sup>3</sup> (moyenne horaire)		
<b>Cd + Tl</b> (cadmium + thallium)	–	Cd + Hg 0,2 mg/m <sup>3</sup> pour capacité > 1t/h	0,05 mg/m <sup>3</sup>	0,05 mg/m <sup>3</sup>
<b>Hg</b> (mercure)	–	–	0,05 mg/m <sup>3</sup>	0,05 mg/m <sup>3</sup>
<b>Sn + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V</b> (étain + arsenic + plomb + chrome + cobalt + cuivre + manganèse + nickel + vanadium)	–	Pb + Cr + Cu + Mn 5 mg/m <sup>3</sup> pour capacité > 1t/h	0,5 mg/m <sup>3</sup> au total	0,5 mg/m <sup>3</sup> au total
		Ni + As 1 mg/ m <sup>3</sup> pour capacité > 1t/h		

- non précisé

\* dérogations possibles pour les installations existantes :

- < 6 t/h à condition que le permis prévoie des moyennes journalières n'excédant pas 500 mg/m<sup>3</sup>, et ce jusqu'au 1<sup>er</sup> janvier 2008.
- 6 t/h < capacité nominale < 16 t/h à condition que le permis prévoie des moyennes journalières n'excédant pas 400 mg/m<sup>3</sup>, et ce jusqu'au 1<sup>er</sup> janvier 2010.
- 16 t/h < capacité nominale < 25 t/h et qui ne produit pas de rejets d'eaux usées, à condition que le permis prévoie des moyennes journalières n'excédant pas 400 mg/m<sup>3</sup>, et ce jusqu'au 1<sup>er</sup> janvier 2008.

\*\* l'autorité compétente peut accorder des dérogations pour les installations d'incinération utilisant la technologie à lit fluidisé, pour autant que la dérogation prévoie une valeur limite d'émission de 100 mg/m<sup>3</sup> (moyenne horaire).

\*\*\* applicable aux seules installations autorisées après parution de la circulaire.

\* notons que même si les émissions de dioxines n'étaient pas réglementées avant 1997 pour les UIOM, il arrivait que ces substances soient prises en compte lors d'une remise aux normes, en utilisant comme base de réglementation les décrets relatifs aux usines d'incinération de déchets industriels. Pour les installations strictement conformes à l'arrêté de 1991, on estime les émissions de dioxines généralement comprises entre 1 et 15 ng/m<sup>3</sup>.

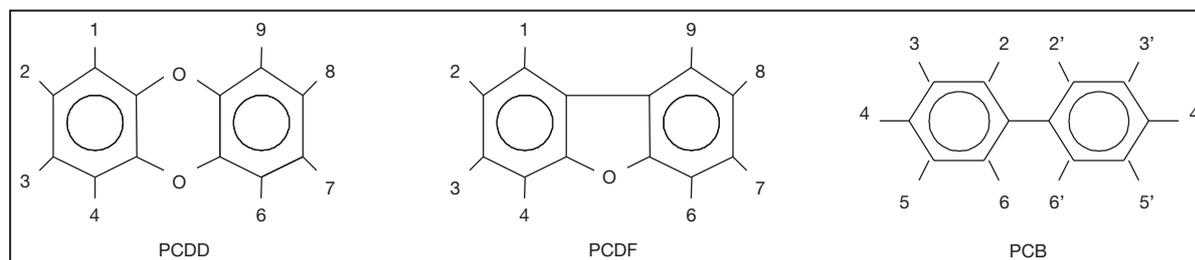
<sup>13</sup> Cf encadré p. 83-84

## Dioxines et PCB : I-TEQ<sub>OTAN</sub> ou I-TEQ<sub>OMS</sub>

Par le terme « dioxines », on désigne les polychlorodibenzo-p-dioxines (PCDD) et les polychlorodibenzofuranes (PCDF) qui sont des composés aromatiques tricycliques chlorés. Il existe un grand nombre de combinaisons différentes liées au nombre d'atomes de chlore et aux positions qu'ils occupent : 75 PCDD et 135 PCDF. Parmi les 210 molécules regroupées sous le nom de dioxines, les toxicologues estiment qu'à l'heure actuelle, 17 congénères sont particulièrement toxiques : il s'agit des molécules substituées en position 2,3,7 et 8.

Les polychlorobiphényles (PCB) sont composés de 2 cycles aromatiques, où chacun des atomes d'hydrogène peut être substitué par un atome de chlore, constituant ainsi 209 PCB. 12 d'entre eux présentent des propriétés toxicologiques analogues à celles de la 2,3,7,8-TCDD et sont souvent qualifiés de « PCB dioxin-like ».

### Structures de base des PCDD, PCDF et PCB



Un outil a été proposé pour évaluer la toxicité du mélange des 17 congénères de PCDD/F, en exprimant celle de chaque congénère par rapport au composé le plus toxique, la 2,3,7,8-TCDD dite « dioxine SEVESO », grâce à un coefficient de pondération appelé TEF (« *toxic equivalent factor* » défini à partir d'observations animales). Ainsi, cette molécule de référence se voit attribuer un TEF égal à 1.

La teneur d'un mélange de dioxines est exprimée à l'aide d'un indice international de toxicité, le TEQ ou équivalent toxique, et obtenue en sommant les concentrations de chaque congénère pondérées par leur TEF respectif, soit :  $C_x \text{ I-TEQ} = \sum (C_i \cdot \text{I-TEF}_i)$

Avec  $C_x$  I-TEQ : concentration du mélange x en toxiques équivalents internationaux

$C_i$  : concentration du congénère i

I-TEF<sub>i</sub> : facteur (international-) d'équivalence toxique du congénère i

L'I-TEQ<sub>OTAN</sub> est le résultat de la somme pondérée des TEF pour 7 congénères de PCDD (sur 75) et 10 de PCDF (sur 135) proposé par l'OTAN en 1988.

Dans la nomenclature OMS – I-TEQ<sub>OMS</sub> – certains TEF ont été modifiés au vu de nouvelles données toxicologiques, et y sont ajoutés depuis 1997, 12 congénères de PCB assimilés aux dioxines (dits « dioxin-like »). Le tableau suivant présente les facteurs d'équivalence pour les 29 composés pris en compte pour le calcul du TEQ.

A titre d'exemple, on peut citer les résultats de l'étude sur les dioxines et les furanes dans le lait maternel en France (2000). La concentration moyenne de dioxines a été calculée en tenant compte des équivalents toxiques OTAN et OMS, permettant une comparaison simple :

Equivalent toxique utilisé	Teneurs en dioxines dans le lait maternel (moyenne arithmétique) pour les PCDD/F
I-TEQ <sub>OTAN</sub>	16,47 pg/g MG
I-TEQ <sub>OMS</sub>	19,56 pg/g MG

Ainsi dans cette étude, on remarque une différence d'environ 20% entre les teneurs en dioxines dans le lait maternel en fonction de l'équivalent toxique utilisé. Notons qu'il ne s'agit pas d'une généralité, puisque ce pourcentage varie en fonction des concentrations de chaque congénère (donc de ceux ayant un I-TEF<sub>OTAN</sub> différent de l'I-TEF<sub>OMS</sub>).

**Valeurs de facteur d'équivalent toxique proposées par l'OTAN (1994) et l'OMS (1997) pour les mammifères, humains compris.**

Isomère ou groupe homologue (Numéro IUPAC* pour les isomères de PCB)		I-TEF (OTAN 1994)	I-TEF (OMS 1997)
PCDD	2,3,7,8-tétraCDD	1	1
	1,2,3,7,8-pentaCDD	0,5	1
	1,2,3,4,7,8-hexaCDD	0,1	0,1
	1,2,3,6,7,8-hexaCDD	0,1	0,1
	1,2,3,7,8,9-hexaCDD	0,1	0,1
	1,2,3,4,6,7,8-heptaCDD	0,01	0,01
	OCDD	0,001	0,0001
	PCDF	2,3,7,8-TCDF	0,1
1,2,3,7,8-pentaCDF		0,05	0,05
2,3,4,7,8-pentaCDF		0,5	0,5
1,2,3,4,7,8-hexaCDF		0,1	0,1
1,2,3,6,7,8-hexaCDF		0,1	0,1
1,2,3,7,8,9-hexaCDF		0,1	0,1
2,3,4,6,7,8-hexaCDF		0,1	0,1
1,2,3,4,6,7,8-heptaCDF		0,01	0,01
1,2,3,4,7,8,9-heptaCDF		0,01	0,01
OCDF		0,001	0,0001
PCB non ortho		3,3',4',5-TCB (81)	–
	3,3',4,4'-TCB (77)	–	0,0001
	3,3',4,4',5-PeCB (126)	–	0,1
	3,3',4,4',5,5'-HxCB (169)	–	0,01
PCB mono-ortho	2,3,3',4,4'-PeCB (105)	–	0,0001
	2,3,4,4',5-PeCB (114)	–	0,0005
	2,3',4,4',5-PeCB (118)	–	0,0001
	2',3,4,4',5-PeCB (123)	–	0,0001
	2,3,3',4,4',5-HxCB (156)	–	0,0005
	2,3,3',4,4',5'-HxCB (157)	–	0,0005
	2,3',4,4',5,5'-HxCB (167)	–	0,00001
	2,3,3',4,4',5,5'-HpCB (189)	–	0,0001

\* IUPAC: International Union for Pure and Applied Chemistry



## 2. Les techniques d'incinération et de dépollution des fumées

L'incinération des ordures ménagères consiste à brûler les déchets dans un four adapté. En fonctionnement continu, l'alimentation en déchets suffit à entretenir la combustion. Il est cependant nécessaire que les gaz de combustion soient maintenus à une température d'au moins 850°C pendant deux secondes à la sortie du foyer, pour détruire les molécules organiques. Les gaz de combustion sont ensuite refroidis, généralement dans une chaudière, puis traités avant l'émission dans l'atmosphère.

Les fumées contiennent à la sortie de la chaudière, un certain nombre de constituants qu'il est nécessaire de capter. Ces substances réputées toxiques sont notamment les poussières (environ 4 000 à 5 000 mg/Nm<sup>3</sup> de fumées), les gaz acides (800 à 1 500 mg de HCl/Nm<sup>3</sup> de fumées) et les métaux lourds. On trouve également dans les fumées d'incinération des composés organiques imbrûlés et des oxydes d'azote. La présence de composés organiques peut, dans une certaine mesure, être réduite si le four et la chambre de combustion ont un fonctionnement optimal, obtenu essentiellement sur les installations à fonctionnement continu et de taille industrielle (au moins 3t/h). Toutefois, les valeurs extrêmement basses qui sont visées pour les PCDD/F aujourd'hui impliquent la mise en œuvre de dispositifs spécifiques. Ainsi les traitements de fumées sont constitués par l'agencement, plus ou moins complexe selon les installations, de divers dispositifs ciblant chacun le captage ou la destruction de polluants spécifiques.

### 2.1 Le dépolluissage

Le dépolluissage peut être effectué selon trois modes principaux : i) par centrifugation, qui ne permet pas d'atteindre des performances satisfaisantes ; ii) avec un électrofiltre, technique qui consiste à attirer les particules sur des électrodes à l'aide d'un champ électrique. Ses performances dépendent du nombre de champs de l'électrofiltre ; iii) avec un filtre à manche, solution performante qui consiste à faire passer les fumées d'incinération au travers de manches verticales ou horizontales en textile.

Les poussières captées par ces divers modes de traitement sont chargées en métaux lourds, ce qui leur confère un caractère de déchets toxiques. Globalement, environ 80 à 90 % des métaux lourds présents dans les fumées sont condensés sur les poussières. Ce taux n'est cependant pas identique pour chacun des métaux ; les métaux volatils (mercure en particulier) étant pour la plus grande partie sous forme gazeuse, ils ne sont que très peu captés si la température est élevée.

### 2.2 La neutralisation des fumées

La neutralisation des fumées a pour but de capter les gaz acides présents (essentiellement HCl et HF mais aussi SO<sub>2</sub>). Plusieurs techniques ont été développées :

- La voie sèche, pratiquée en amont du dépolluiseur. Elle consiste à injecter de la chaux pulvérulente. L'HCl est adsorbé à la surface des particules de chaux qui sont piégées au niveau du dépolluiseur. Ce dispositif conduit à l'extraction d'environ 50 kg de sous-produits par tonne de déchets entrant à l'usine ;
- La voie semi-sèche ou semi-humide, qui consiste à effectuer la neutralisation par injection simultanée d'eau et de chaux ou de bicarbonate. Le captage d'HCl est amélioré en raison de son caractère fortement hydrophile, et l'eau est ensuite entièrement évaporée. Les quantités de réactif sont sensiblement inférieures à celles du procédé sec et le taux de résidus (secs) est de 40 à 45 kg par tonne de déchets entrant à l'usine ;
- La voie humide, dans laquelle les gaz sont lavés par passage à travers de l'eau ou à travers une solution de chaux ou de soude, généralement après dépolluissage. Les eaux résiduaires sont ensuite traitées pour obtenir, d'une part de l'eau de lavage épurée, et d'autre part un résidu appelé « gâteau de filtration » (environ 4 à 5 kg par tonne de déchets). Les poussières captées en amont représentent 25 à 30 kg par

tonne de déchets entrant à l'usine. La quantité de réactif utilisée est inférieure à celles des techniques précédentes. Une variante du traitement par voie humide existe, fondée sur la condensation des effluents gazeux dans une tour.

Actuellement, les évolutions envisagent la valorisation des sels obtenus par l'utilisation de nouveaux réactifs (bicarbonate de sodium, chaux spongiacale ...). Par ailleurs, l'élimination des rejets liquides pour les systèmes de traitement humide se développe.

## 2.3 Les traitements complémentaires

En plus de ces traitements, qui permettent d'atteindre les valeurs fixées par l'arrêté du 25 janvier 1991, des dispositifs complémentaires doivent désormais être installés pour respecter les nouvelles dispositions réglementaires (arrêté du 20 septembre 2002) et parfaire l'épuration des gaz en traitant notamment les polluants traces (PCDD/F ...) et les oxydes d'azote (NOx).

Pour ce qui concerne le traitement des PCDD/F, le dispositif le plus courant consiste à les adsorber à la surface de charbon actif ou de coke de lignite injecté sous forme pulvérulente dans le flux gazeux. Ce dispositif est bien adapté à des installations équipées d'un système de neutralisation par voie sèche ou semi-humide et d'un filtre à manches. Il permet d'atteindre des valeurs à l'émission inférieures à 0,1 ng I-TEQ<sub>OTAN</sub>/Nm<sup>3</sup>. Les dioxines peuvent également être détruites dans des réacteurs catalytiques.

Les NOx peuvent être traités de diverses façons, selon des procédés secs ou humides. Cet abattement peut être catalytique ou non catalytique et intervenir éventuellement dans le foyer ou en fin de traitement. Les réactifs utilisés sont généralement l'ammoniac ou l'urée.

En fin de chaîne de traitement des gaz, une épuration complémentaire peut être effectuée à l'aide de charbon actif, qui permet de piéger les polluants restant dans le flux gazeux, notamment les PCDD/F ou le mercure. Enfin, juste avant l'émission atmosphérique, il peut également être envisagé d'installer un dispositif fondé sur le principe de condensation-réchauffage afin de limiter l'effet de panache visible avec les traitements humides.



### 3. Connaissances actuelles sur l'impact sanitaire des incinérateurs

Les connaissances rapportées ici sont principalement issues des deux ouvrages publiés par la Société Française de Santé Publique [SFSP 1999] et le National Research Council [NRC 2000] qui en font la synthèse jusqu'en 2000. Des résultats complémentaires sont apportés avec les publications de 1999 à 2002. La recherche sur la base de données bibliographiques *PubMed* a été faite à partir de plusieurs combinaisons de mots-clés (*incinérateurs et impact sanitaire, ± enfants, dioxines, effets sur le développement, allaitement, cancers, biomarqueurs, exposition*).

Il est important, avant d'évoquer les effets sanitaires, de détailler les connaissances concernant les émissions des incinérateurs, la contribution de ces émissions à la pollution des différents milieux de l'environnement, l'exposition des populations résidant à proximité de ces installations aux polluants caractéristiques de ces émissions et, le cas échéant, la part de cette exposition attribuable à l'incinérateur.

Le document ayant pour objectif d'aider à répondre aux demandes d'investigations sanitaires autour d'incinérateurs, essentiellement formulées en raison de la présence d'émissions atmosphériques locales de substances toxiques, ce chapitre ne considérera que ces émissions atmosphériques seules et n'a pas pour objectif de renseigner sur l'incinération des déchets ménagers en général, notamment le devenir des Mâchefers d'Incinération d'Ordures Ménagères (MIOM)<sup>14</sup> et des Résidus d'Épuration des Fumées d'Incinération d'Ordures Ménagères (REFIOM)<sup>15</sup>.

#### 3.1 Les émissions atmosphériques

Le type et la concentration des substances à l'émission dépendent essentiellement du procédé d'incinération, du type de déchets brûlés, des conditions de combustion et du dispositif de traitement des fumées. Les substances sont soit déjà présentes dans les déchets, soit formées lors de la combustion incomplète, soit lors du refroidissement des gaz. D'après le NRC (2000), les principales substances concernées sont le CO, les NO<sub>x</sub> et SO<sub>x</sub>, l'HCl, le cadmium, le plomb, le mercure, le chrome, l'arsenic, le béryllium, les PCDD/F, les PCB, les HAP et les poussières.

En France, les émissions atmosphériques des installations d'incinération sont assez bien documentées, notamment pour ce qui concerne les polluants dits réglementés (poussières, HCl, NO<sub>x</sub>, métaux lourds). Cette réglementation se renforce notablement pour toute une série de molécules, dont les PCDD/F.

Les tableaux III et IV présentent les estimations, réalisées par le Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique (CITEPA), des niveaux d'émissions de polluants atmosphériques fréquemment rencontrés dans l'incinération en France, et la comparaison avec d'autres catégories d'émetteurs. Les inventaires des métaux lourds font apparaître la part du traitement des déchets (tableau V). De nombreuses données sont disponibles sur le site internet du CITEPA<sup>16</sup>. Les données sur HCl ne sont pas référencées, mais la part du traitement des déchets dans la pollution acide a été estimée à 0,9 %.

La première étape du travail conduit par la SFSP a permis de montrer que la base de données sur ces émissions était riche et structurée même si des améliorations pouvaient être apportées. En particulier, la nouvelle réglementation préconise la réalisation de mesures à l'émission pour les composés organiques volatiles (COV) totaux ou un ensemble de métaux sans distinguer les molécules ou les éléments les uns

<sup>14</sup> Les MIOM, mâchefers d'incinération d'ordures ménagères, peuvent être valorisés en génie civil (sous couche routière et remblais) ou stocker en décharge en fonction de leurs caractéristiques physicochimiques et toxiques.

<sup>15</sup> Les REFIOM, résidus d'épuration des fumées d'incinération des ordures ménagères, font l'objet d'un traitement spécifique (stabilisation avant stockage en décharge)

<sup>16</sup> <http://www.citepa.org/pollution/sources.htm>

des autres (par exemple Pb+Cr+Cu+Mn). Or, l'estimation des impacts sanitaires ne peut se faire en utilisant des indicateurs globaux de pollution si les substances prises individuellement conduisent à des effets sanitaires différents [SFSP 1999]. Les mesures à l'émission des UIOM françaises de capacité de plus de 6 t/h, pour différents métaux (Pb, Cr, Cu, Mn, Ni, As, Cd, Hg), sont présentées sur le site du MEDD<sup>17</sup> (résultats 2000 et 2001).

**TABLEAU III : Evolution des estimations des émissions de polluants atmosphériques selon les catégories d'émetteurs Corinair/France en 1990 et en 2000 en milliers de tonnes/an – (% par rapport aux émissions totales), site internet CITEPA 2002.**

Emetteurs	Dates	SO <sub>2</sub>	NOx	COVnm	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO	CO <sub>2</sub> *	HAP**	PCB***
Traitement et élimination des déchets	1990	19,2 (1,5 %)	23,9 (1,5 %)	19 (0,6 %)	729 (18,8 %)	1,3 (0,6 %)	232,2 (2,2 %)	11,9 (2,5 %)	–	–
	<b>2000</b>	<b>5,94</b> <b>(0,9 %)</b>	<b>18,7</b> <b>(1,3 %)</b>	–	–	–	–	–	<b>3,6</b> <b>(1,1 %)</b>	<b>15,2</b> <b>(36 %)</b>
Dont										
– incinération	1990	19,2	23,9	8,2	14,2	0,1	232,2	10,2	–	–
– mise en décharge	1990	0	0	3,2	688,5	0	0	1,7	–	–
– autres	1990	0	0	7,6	26,3	1,2	0	0	–	–
Transports routiers	1990	145,3 (11,2 %)	1 038 (65,3 %)	1 170 (40,8 %)	22,3 (0,6 %)	3,8 (1,7 %)	6 812 (65,6 %)	97,4 (20,2 %)	–	–
	<b>2000</b>	<b>22</b> <b>(3,3 %)</b>	<b>728</b> <b>(50,7 %)</b>	<b>479</b> <b>(23 %)</b>	<b>26,5</b> <b>(0,9 %)</b>	<b>11,4</b> <b>(4,5 %)</b>	<b>2 607</b> <b>(39 %)</b>	<b>125,2</b> <b>(26 %)</b>	<b>77</b> <b>(24 %)</b>	<b>0</b> <b>(0 %)</b>
<b>Total</b>	<b>1 990</b>	<b>1 300</b>	<b>1 589</b>	<b>2 864</b>	<b>3 869</b>	<b>223</b>	<b>10 390</b>	<b>481</b>	–	–
	<b>2000</b>	<b>660</b>	<b>1 435</b>	<b>2 073</b>	<b>2 969</b>	<b>254</b>	<b>6 726</b>	<b>483</b>	<b>324</b>	<b>42,2</b>

\*en Mégatonnes ; \*\*en tonnes ; \*\*\*en kilogrammes ; - non disponible.

**TABLEAU IV : Evolution des estimations des émissions de dioxines en France, site internet CITEPA 2002**

Activités	Emissions en g I-TEQ <sub>OTAN</sub> /an (% du total)	
	1995	2000
Incinération des déchets	780 (45 %)	380 (67 %)
Sidérurgie, métallurgie	840 (49 %)	91 (16 %)
Combustion domestique du bois	92 (5 %)	88 (15,4 %)
Circulation routière	11 (0,6 %)	4 (0,7 %)
<b>Total</b>	<b>1 723</b>	<b>570</b>

Il convient de noter que les connaissances sur les inventaires d'émissions de dioxines sont loin d'être stabilisées, d'une part en raison des dispositions prises sur les installations connues comme émettrices, mais aussi et surtout en raison de la part majeure que pourraient représenter les sources diffuses (combustion à l'air libre, incendies de forêts...).

<sup>17</sup> <http://www.environnement.gouv.fr/dossiers/dechets/incineration/0100423-rejets-metaux-uiom.htm>

**TABLEAU V : Part du traitement des déchets dans l'émission des métaux lourds en France pour l'année 2000 (source CITEPA 2002).**

Métaux lourds	Part du traitement des déchets dans les émissions françaises	Position
Cadmium	23 %	2 <sup>ème</sup> après la sidérurgie
Mercure	22 %	1 <sup>ère</sup> (avec chimie et électricité)
Plomb	15 %	3 <sup>ème</sup> position
Zinc	15 %	2 <sup>ème</sup> après la sidérurgie (75 %)
Cuivre	7,6 %	4 <sup>ème</sup> (61 % pour le transport ferroviaire)
Arsenic	2 %	dernier

## 3.2 Contribution à la pollution environnementale

Les substances émises à l'incinération se dispersent dans l'atmosphère et peuvent se retrouver dans divers compartiments de l'environnement (le sol, l'eau, les végétaux, les animaux). En fonction de leurs caractéristiques physicochimiques, certaines substances contribuent à une contamination de l'environnement dans un périmètre étroit, alors que d'autres pourront être dispersées sur de grandes distances par l'intermédiaire de la chaîne alimentaire.

### 3.2.1 Pollution atmosphérique

La contribution des incinérateurs à la pollution atmosphérique locale est difficile à quantifier. En effet, les concentrations mesurées dans l'air ambiant intègrent les émissions provenant des différentes sources (connues ou non) présentes sur le site étudié. De plus, les conditions météorologiques ont une influence importante sur la quantité de substance retrouvée en un lieu donné. Il n'existe aucune étude récente sur le sujet.

En s'appuyant sur les résultats de telles mesures combinées avec des estimations provenant de modèles mathématiques de dispersion, la part attribuable des concentrations de certains polluants à l'incinération paraît plutôt négligeable : de 0,01 à 10 % pour les COV [Boudet 1999 ; SFSP 1999]. Pour d'autres polluants, comme les PCDD/F ou les HAP, ces données locales manquent. L'idéal serait de trouver une signature spécifique de l'incinération par rapport aux autres sources de pollution. A partir de l'analyse des métaux particulaires, la part des particules d'un diamètre granulométrique inférieur à 2,5 µm (PM<sub>2.5</sub>) issue de l'incinération a été estimée à moins de 3 % [Shy 1996].

Le tableau VI récapitule les données de concentrations dans l'atmosphère de quelques substances, correspondant aux bruits de fond rencontrés en milieu rural et urbain, ainsi que des concentrations à proximité de sources polluantes [OMS 2000, IFEN 1999].

**TABLEAU VI : Concentrations de quelques polluants généralement retrouvées dans l'air, en ng/m<sup>3</sup> (sauf si précisé).**

	Milieu rural	Milieu urbain d'émission	Proche d'une source
As	1-10	jusqu'à 30	jusqu'à 1000
Cr total	5-200	5-200	–
Pb	< 150	150-500	–
Mn	10-70	10-70	200-300 jusqu'à 500 (fonderies)
Hg	2-4	10	–
Ni	1-10	1-10	110-180
SO <sub>2</sub> (en mg/m <sup>3</sup> )		–	3-38 –
NO <sub>2</sub> (en mg/m <sup>3</sup> )	0,4-9,4	15-64*	jusqu'à 21-93*
HAP (BaP)	< 1	1-10	–
PCDD/F (en fg I-TEQ/m <sup>3</sup> )	1-70**	0-810**	jusqu'à 2000
PM <sub>10</sub> (en mg/m <sup>3</sup> )		7-44*	13-77 (automobiles)

Données de l'OMS Europe (Air quality guidelines for Europe, 2000) ; \*Données de l'IFEN, de 1991 à 1996 ; \*\*Données européennes de 1991 à 1996 (Allemagne, Grande Bretagne)

### 3.2.2 Pollution des sols et végétaux

Du fait de la forme particulière des polluants de l'incinération (HAP, dioxines ou métaux sont liées à des particules et retombent directement sur les sols autour de l'incinérateur), les retombées atmosphériques des substances contaminent de façon privilégiée les sols et les végétaux plutôt que l'air.

Pour les métaux lourds, la contribution de l'incinération des déchets ménagers à la pollution des sols et des végétaux paraît plus faible que pour d'autres types d'émetteurs (fonderies) [Collett, 1998 ; Meneses 1999], mais les données bibliographiques sur ce sujet restent très limitées. De plus, du fait de leur toxicité et de leur persistance dans l'environnement, la prise en compte des métaux comme substances toxiques liées aux émissions de l'incinération est nécessaire.

Les études menées dans les sols et végétaux montrent souvent des résultats contradictoires. Certaines concluent à l'absence d'influence de l'UIOM sur la pollution des sols [Schuhmacher et al. 1997]. D'autres mettent en évidence des augmentations temporelles, significatives pour certains métaux (béryllium et nickel pour les sols ; mercure pour les végétaux) [Meneses 1999]. Les résultats des mesures sont indiqués dans le tableau VII.

A titre d'information, les tableaux VIII et IX recensent les données de concentrations de métaux lourds dans les sols français et les valeurs limites ou contraignantes disponibles en Europe pour ces mêmes substances.

**TABLEAU VII : Concentrations moyennes de métaux lourds dans des échantillons de sol et d'herbe au voisinage d'incinérateurs espagnols (en mg/g MS ± dérivation standard) [Meneses 1999].**

Sol	1996	1997	Végétation	1996	1997
As	8,23 ± 2,88	9,71 ± 3,22	As	0,14 ± 0,10	0,19 ± 0,12
Cd	0,39 ± 0,25	0,40 ± 0,30	Cd	0,11 ± 0,13	0,08 ± 0,06
Cr	17,57 ± 10,14	17,66 ± 5,83	Cr	0,59 ± 0,32	0,09 ± 0,05
Hg	0,09 ± 0,15	0,11 ± 0,11	Hg	0,05 ± 0,02	0,12 ± 0,05
Pb	71,03 ± 128,45	54,17 ± 47,35	Pb	3,68 ± 2,35	3,34 ± 1,36

**TABLEAU VIII : Les métaux lourds dans l'environnement (IFEN 1999 et IFEN 2002)**

	Concentration dans les sols en mg/kg de terre fine (< 2mm)		
	moyennes	médianes	maximum
Arsenic	-	-	230
Cadmium	0,42	0,16	6,99
Cuivre	14,9	12,8	107
Nickel	41,3	31	478
Zinc	149	80	3 820
Chrome	75	66,3	691
Mercure	-	-	-
Plomb	64,8	80	3 820

**Tableau IX : Valeurs limites indicatives ou contraignantes relatives aux métaux lourds dans les sols (d'après IFEN 1999)**

	Concentration dans les sols en mg/kg de matière sèche						
	France		Allemagne	Europe	Pays-Bas		
	‡	‡‡			*	**	***
Arsenic	–	37	50	–	29	–	55
Cadmium	2	20	20	1-3	0,8	20	12
Cuivre	100	190	–	50-140	36	–	190
Nickel	50	140	140	30-75	35	–	210
Zinc	300	9 000	–	150-300	140	–	720
Chrome	150	130	400	200	100	800	380
Mercure	1	7	20	1-1,5	0,3	10	10
Plomb	100	400	400	50-300	85	600	530

France : ‡ norme AFNOR U44-041 (1985) – teneur limite des sols récepteurs pour l'épandage de boues d'épuration ; ‡‡ Valeurs de constat d'impact usage sensible (VCI) pour l'évaluation détaillée des risques.

Allemagne : valeurs réglementaires, teneurs maximales dans les sols destinés à un usage sensible.

Europe : Directive Européenne n°86/278CEE (1986) - -valeurs maximales pour l'épandage de boues.

Pays-Bas : \*valeur de référence pour un risque considéré comme négligeable (1987) ; \*\*valeur d'intervention, décontamination urgente nécessaire (1987) ; \*\*\*proposition pour une nouvelle valeur d'intervention (2003), risque jugé tolérable, décontamination nécessaire.

Les données sont tout aussi contrastées pour les PCDD/F. Alors que certaines études mettent en évidence l'importance d'un « effet cheminée », des conditions météorologiques ou bien de l'activité de l'incinérateur sur les variations des teneurs en PCDD/F dans les sols et végétaux [Schuhmacher 1997, Domingo 1999], d'autres ne montrent aucune différence [Schuhmacher 2000]. Les résultats des mesures de concentrations de PCDD/F dans les sols autour d'incinérateurs, largement étudiés en Espagne, sont donnés dans le tableau X. Pour indication, le tableau XI recense les concentrations de PCDD/F dans les sols en France lors de la campagne de mesures réalisée en 1999 [INERIS 1999] et le tableau XII recense les valeurs limites ou contraignantes disponibles en Europe pour les PCDD/F. Les données des tableaux X et XI montrent que même si la France a davantage recours à l'incinération que l'Espagne, les valeurs de concentration de PCDD/F dans les sols sont équivalentes à celles retrouvées en Espagne.

**TABLEAU X : Concentrations de PCDD/F dans des échantillons de sol et d'herbe au voisinage d'incinérateurs espagnols (en ng I-TEQ<sub>OTAN</sub>/kg MS)**

	Année échantillon	Nombre d'échantillons	Variation des concentrations	moyenne	médiane	Etude
Sol	1996	24	0,28-44,3	6,91	3,52	Domingo 1999a
	1997	24	0,15-29,27	4,48	2,57	Domingo 1999a
	1998	24	0,06-127	9,95	4,80	Domingo 2001
	1998	24	1,22-34,28	12,24	9,06	Schuhmacher 2000
	1999	24	1,33-54,23	14,41	11,85	Domingo 2000
Herbe	1996	23	1,07-3,05	1,90	1,89	Domingo 1999b
	1997	23	0,75-1,95	1,30	1,27	Domingo 1999b
	1998	23	0,40-1,94	0,95	0,86	Domingo 2001
	1998	24	0,33-1,98	0,70	0,58	Schuhmacher 2000
	1999	24	0,32-2,52	0,97	0,82	Domingo 2000

**TABLEAU XI : Concentrations de dioxines mesurées dans les sols en France en 1999 (INERIS 1999).**

	Concentration en ng I-TEQ <sub>OTAN</sub> /kg MS de sol
Zones rurales	0,02-1
Zones urbaines	0,2-17
Zones industrielles	20-60

**TABLEAU XII : Valeurs limites ou contraignantes dans les sols disponibles en Europe pour les PCDD/F**

	Concentration dans les sols en ng I-TEQ <sub>OTAN</sub> / kg de matière sèche		
	France	Allemagne	Pays-Bas
PCDD/F	1 000	1 000	1 000

France : Valeurs de constat d'impact usage sensible (VCI) pour l'évaluation détaillée des risques.

Allemagne : valeurs réglementaires, teneurs maximales dans les sols destinés à un usage sensible.

Pays-Bas : proposition pour une nouvelle valeur d'intervention (2003), risque jugé tolérable, décontamination nécessaire.

Ces valeurs disparates montrent que les concentrations en PCDD/F aux alentours d'incinérateurs dépendent vraisemblablement de nombreux paramètres dont les performances de l'usine, sa capacité, mais aussi les phénomènes de dispersion liés aux caractéristiques du site ainsi que la présence possible d'autres émetteurs plus ou moins identifiants. Ainsi, certains auteurs font l'hypothèse que l'évolution irrégulière des concentrations de PCDD/F en fonction de la distance, que ce soit dans le sol ou dans les végétaux, est due à des sources diffuses différentes des UIOM comme, par exemple, les feux de plein air (notamment les feux de matières plastiques ou de caoutchouc, responsables d'émissions importantes de dioxines) [Domingo 2000].

### 3.2.3 Contamination de la chaîne alimentaire

Les retombées atmosphériques des substances rémanentes et accumulatrices émises (métaux lourds, notamment plomb et cadmium, et PCDD/F) conduisent à la contamination des sols, des sédiments et des plantes avec comme conséquence un passage et une accumulation dans la chaîne alimentaire, via l'ingestion par les animaux de végétaux ou de sol contaminés (par les retombées atmosphériques).

Il n'existe pas de suivi réglementaire des concentrations de métaux lourds dans la chaîne alimentaire spécifiquement autour des incinérateurs. Toutefois, la Direction Générale de l'Alimentation (DGAL) a déjà mis en place une campagne de mesures ponctuelles de métaux dans le lait et la viande des troupeaux à proximité des sites potentiellement émetteurs comme les incinérateurs.

Pour les PCDD/F, chez l'animal, bien que les résultats ne soient pas strictement corrélés, les concentrations mesurées dans le lait des vaches paissant à proximité des incinérateurs fortement émetteurs traduisent une influence de cette source. Ainsi, en France, une surveillance réglementaire de l'impact environnemental d'un incinérateur repose actuellement sur cet indicateur (la circulaire du 9 octobre 2002 prévoit la réalisation de telles mesures, particulièrement si des élevages sont situés à moins de 4 km pour les nouvelles installations, et dès lors que le flux annuel de PCDD/F émis sur un site dépasse 0,5 g/an pour les installations existantes).

Le dispositif de retrait des productions laitières est également fondé sur cet indicateur. Les productions laitières sont retirées de la consommation lorsque leur teneur en PCDD/F dépasse 3 pg I-TEQ<sub>OMS</sub>/g MG (seuil fixé par le Règlement CE n°2375/2001 du Conseil du 29 novembre 2001<sup>18</sup>, modifiant le Règlement CE n°466/2001 de la Commission portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires). Par ailleurs, la recommandation de la Commission du 4 mars 2002<sup>19</sup> sur la réduction de la présence de dioxines et de furanes dans les aliments pour animaux et les denrées alimentaires a fixé des niveaux d'intervention à partir desquels les Etats membres doivent identifier la source de contamination et prendre des mesures pour réduire ou éliminer cette source. Pour le lait et les produits laitiers, le seuil d'intervention est fixé à 2 pg I-TEQ<sub>OMS</sub>/g MG (tableau XIII).

**TABLEAU XIII : Normes de retrait des productions laitières (Règlement n° 2375/2001 du Conseil du 29 novembre 2001)**

	Seuil d'alerte	Seuil de retrait de la production
Concentration de PCDD/F dans le lait	2 pg I-TEQ <sub>OMS</sub> /g MG	3 pg TEQ <sub>OMS</sub> /g MG

<sup>18</sup> <http://www.adrianor.com/Agroville%202002/agroville1internetfichiers/470.pdf>

<sup>19</sup> [http://europa.eu.int/eur-lex/pri/fr/oj/dat/2002/l\\_067/l\\_06720020309fr00690073.pdf](http://europa.eu.int/eur-lex/pri/fr/oj/dat/2002/l_067/l_06720020309fr00690073.pdf)

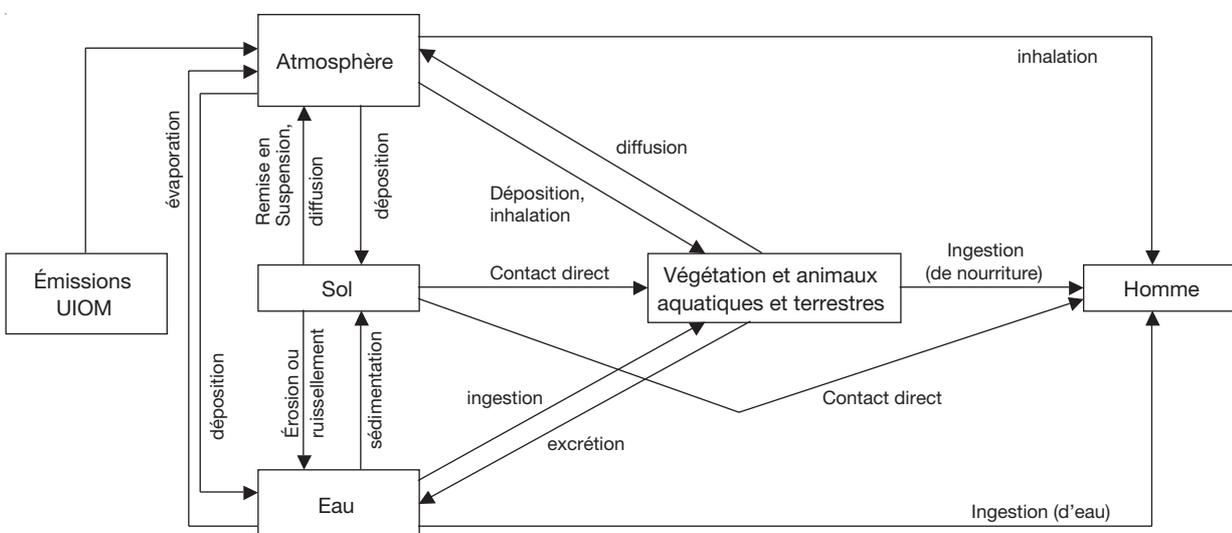
### 3.3 Exposition des populations

Les connaissances concernant les niveaux d'exposition des individus aux polluants émis par les incinérateurs sont limitées. En 1999, les recommandations de la SFSP mettaient déjà l'accent sur la nécessité d'améliorer ces connaissances.

Afin de quantifier l'exposition, les études épidémiologiques considèrent plus souvent la distance de l'habitat à la source que la caractérisation des milieux en fonction de cette même distance [Elliott 1996].

Les voies d'exposition chez l'homme des substances retrouvées à l'émission des incinérateurs sont multiples et dépendent de la substance considérée. La figure 2 indique le cheminement de ces substances dans les différents compartiments de l'environnement.

**FIGURE 2 : Substances émises à l'incinération : différentes voies d'exposition de l'homme [NRC 2000].**



Dans le cas de l'exposition par inhalation, la prédiction des concentrations environnementales et secondairement de l'exposition des individus par modélisation des émissions est une méthode largement utilisée [Boudet, 1999 ; Eikmann 1995]. Les résultats issus de ces études indiquent pour l'inhalation des niveaux d'exposition faibles dans le cas des incinérateurs français de grande capacité respectant la réglementation (risques cancérigènes génotoxiques<sup>20</sup> inférieurs à  $10^{-6}$ , valeur de risque acceptable recommandée par les instances nationales, et exposition aux substances non génotoxiques inférieures aux valeurs toxicologiques de référence). Toutefois, le risque de cancer lié à l'inhalation de certaines substances comme le cadmium ou les particules peut être augmenté dans le cas d'incinérateurs très polluants, ne respectant pas la réglementation de 1991 (exposition supérieure aux doses recommandées pour le cadmium et diminution de l'espérance de vie non négligeable pour les poussières). L'exposition aux PCDD/F par inhalation est variable selon le lieu de résidence et peut se révéler plus importante pour les installations fortement émettrices qui ne respectent pas la réglementation de 1991, même si ces risques liés à l'inhalation sont plus faibles que ceux engendrés par des émissions importantes de cadmium ou de poussières [SFSP 1999].

En ce qui concerne l'exposition par ingestion, la majorité des études d'évaluation de risque utilisent des simulations d'exposition par ingestion d'aliments cultivés à proximité d'un incinérateur. La littérature insiste particulièrement sur les expositions locales directes aux PCDD/F, au travers de leur accumulation dans la chaîne alimentaire. Toutefois, cette accumulation concerne également les métaux lourds, plus rarement mentionnés en raison du manque de connaissances sur les transferts de ces molécules dans la chaîne alimentaire.

<sup>20</sup> Le terme génotoxique est donné aux substances cancérigènes qui agissent directement en altérant le patrimoine génétique constitué par l'acide désoxyribonucléique (ADN).

Dans cette optique, il faut rapporter les études sur les données de contamination des aliments par les dioxines et par les métaux lourds, et les niveaux d'exposition de la population française. Les niveaux d'exposition des PCDD/F sont calculés en fonction de l'âge et des profils de consommation alimentaire [AFSSA, 2000], alors que les niveaux d'exposition des métaux lourds sont calculés en fonction des profils de consommations alimentaires seuls [Decloître 1998] (tableaux XIV). Ces études se placent dans un contexte national général.

Les disparités régionales n'étant pas connues, ces études ne permettent pas d'estimer localement l'exposition liée à la consommation de produits locaux, ni d'ailleurs la part des aliments potentiellement contaminés par les émissions d'incinérateurs. Pourtant, considérant les expositions non négligeables aux PCDD/F et aux métaux lourds apportés par l'alimentation « générale », il apparaît nécessaire de s'intéresser particulièrement aux disparités locales et aux expositions via l'ingestion d'aliments auto-produits.

**TABLEAUX XIV : Exposition moyenne de la population française aux dioxines (AFSSA 2000), plomb, cadmium et mercure par l'alimentation (Decloître 1998).**

	Dioxines		
	Population générale 2 à 65 ans n = 1161	Enfants 2 à 9 ans n = 139	Adolescents 10-14 ans n = 93
Exposition moyenne (pg TEQ/kg pc/j)	1,31	2,28	1,49
Exposition 95 <sup>ème</sup> percentile	2,52	3,88	2,52
<b>Contribution à l'exposition (%)</b>			
Produits de la mer	26	18	26
Produits laitiers (hors ferme)	20	28	21
Beurre	19	20	20
Produits carnés	15	15	15
Fruits et légumes	9	8	7
Œufs et dérivés	6	6	6
Produits céréaliers	3	4	4
Matière grasse (hors beurre)	1	1	1

	Population générale (consommation identique de tous les membres du ménage)		
	µg/jour		
	plomb	cadmium	mercure
Exposition moyenne en mg/personne/jour (ou semaine)	67,8 (474)	19,6 (137)	14,8 (104)
Exposition 95 <sup>ème</sup> percentile	216,5 (1513)	56,6 (395,4)	46,2 (321,9)
<b>Contribution à l'exposition (%)</b>			
Produits de la mer	3,8	18	33
Produits laitiers	13	8,7	14,2
Produits carnés	11,3	10,7	7,4
Fruits et légumes	49,3	35,2	29
Boissons	14,2	4	5,4
Céréales	8,6	23,5	10,8

Du fait de la difficulté d'apprécier l'exposition de l'homme en mesurant les polluants dans les milieux environnementaux, de plus en plus d'études tentent de caractériser l'exposition des individus en mesurant les polluants ou leurs métabolites dans les liquides et tissus biologiques de l'organisme humain.

Par exemple, le mercure peut être recherché dans les cheveux ou le sang des individus. Les concentrations mesurées dans les cheveux et le sang d'enfants et d'adultes résidant à proximité d'incinérateurs ne témoignent pas, actuellement, d'une exposition accrue. Il semble que, parmi les autres

expositions prises en compte (professionnelles, via les soins dentaires...), seule la consommation de poissons serait significativement associée à des concentrations élevées de ce biomarqueur [Kurttio 1998].

L'exposition aux HAP a été mise en évidence par la mesure de métabolites retrouvés dans les urines. Dans certaines études, les thioéthers urinaires ont été retenus comme indicateurs d'une exposition aux HAP chez des enfants résidant à proximité d'un incinérateur, mais les interférences avec la fumée de tabac environnementale ont constitué une erreur d'appréciation importante [Ardevol et al. 1999]. Dans une autre étude, le 1-hydroxypyrene urinaire a été mesuré chez des employés d'incinérateurs [Angerer et al. 1992]. Les résultats de ces études montrent parfois des concentrations plus importantes chez les individus étudiés par rapport à des populations témoins, mais elles sont rarement significatives en termes statistiques.

L'inquiétude actuelle relative aux PCDD/F nécessite de s'arrêter sur les études ayant porté spécifiquement sur ces substances. Les teneurs en dioxines les plus souvent mesurées le sont dans : (i) le lait des femmes, lors d'études sur l'exposition des nourrissons par l'intermédiaire du lait maternel [Patandin et al. 1999 ; Evans 2000 ; LaKind et al. 2000 ; Yonemoto 2000] ou lors d'études sur l'imprégnation par les dioxines de la population générale [Pluim et al. 1994 ; Deml et al. 1996 ; Hoover 1999 ; InVS/ADEME 2000 ; LaKind et al. 2001.], (ii) les lipides sanguins [Schechter et al. 1994 ; Deml et al. 1996 ; Schechter 1998], et (iii) le tissu adipeux [Schechter 1998 ; Liem et al. 2000]. La plupart des études mettent en évidence une forte hétérogénéité interindividuelle dans les résultats de mesures de PCDD/F et PCB sanguins chez des individus résidant à proximité des incinérateurs. Parmi les facteurs qui semblent influencer sur les concentrations individuelles, un poids corporel élevé et une exposition au tabagisme peuvent être retenus, en dehors de l'âge, facteur bien identifié [Schuhmacher 1999 ; Evans 2000]. Le tableau XV récapitule les valeurs moyennes de concentrations de PCDD/F mesurées dans les milieux biologiques en population générale (lait maternel et lipides sanguins) dans différents pays, indépendamment de la présence d'un incinérateur.

**TABLEAU XV : Concentrations de PCDD/F mesurées dans le lait et les lipides sanguins chez l'homme**

Milieux biologiques	Pays	Moyennes	Variations	étude
Lait maternel pg I-TEQ <sub>OTAN</sub> /g MG	France (1998-99)	16,5	6,5-34,3	InVS 2000
	Allemagne	12,4	6-19	Deml 1996
	Finlande	26,3 (ville) 20,1 (rural)	-	Vartiainen 1998
Lipides sanguins pg I-TEQ <sub>OTAN</sub> /g lipides	Allemagne	17	5,2-34	Deml 1996
	Pays-Bas	33,8	-	Van den Hazel 1996
	Espagne	27	14,8-48,9	Schuhmacher 1997
	Europe	-	14-43	Kumagai 2000
	Amérique du Nord	-	19-27	Kumagai 2000
	Japon	-	20-22	Kumagai 2000
	Japon	23,7	22,9-24,5	Kumagai 2000

On peut rapporter également l'étude de Staessen et al (2001). Les auteurs ont mesuré des biomarqueurs d'exposition et d'effet chez des adolescents résidant à proximité d'une UIOM, et les ont comparés à des adolescents résidant en zone rurale. Ils ont ainsi montré que les concentrations de Pb et Cd dans le sang, de PCB et PCDD/F dans le sérum, et de métabolites des COV dans les urines étaient plus importantes chez les individus résidant à proximité de l'incinérateur. Ils ont également montré que les biomarqueurs d'un dysfonctionnement tubulaire rénal étaient positivement corrélés au plomb sanguin, et que les biomarqueurs de dommage à l'ADN étaient positivement corrélés aux métabolites urinaires des HAP.

D'une manière générale, la mesure de biomarqueurs effectuée sur une population définie, et selon une méthode adaptée à chaque type de substance, est une approche optimale pour connaître la dose interne de substance dans l'organisme humain. Pour certaines substances qui s'accumulent dans l'organisme (dioxines par exemple), cette mesure a l'intérêt de refléter l'ensemble des expositions, passées ou actuelles. Toutefois, la comparaison avec des populations témoins est difficile car chaque individu est exposé aux polluants étudiés au cours de ses diverses activités, indépendamment de l'incinérateur. Ces co-expositions sont difficiles à quantifier. Par ailleurs, le recours à des indicateurs biologiques dans les études épidémiologiques nécessite une bonne compréhension de leur valeur prédictive en terme de risque

sanitaire. Rares sont ceux pour lesquels cette connaissance est disponible. Enfin, la mesure de biomarqueurs ne permet pas de connaître la part de l'exposition de la population étudiée qui est attribuable à l'incinérateur.

C'est pourquoi un effort de recherche est indispensable dans ce domaine. Dans le cadre des travaux sur les incinérateurs, un groupe de travail mis en place par l'InVS et l'AFSSA en 2001 a en charge d'analyser la faisabilité d'une étude d'exposition aux dioxines autour des incinérateurs à travers leur dosage dans les liquides biologiques.

## 3.4 Effets sanitaires

Hu et al. ont publié en 2001 une revue des études épidémiologiques sur les effets sanitaires des émissions des incinérateurs sur les populations résidant à proximité. Au final, 11 études ont été analysées. Les effets retenus sont principalement les cancers (cancers de l'enfant, leucémies, LNH, STM, cancers du larynx, du foie, du rectum, du poumon, de la peau, de la vessie), les effets respiratoires, les effets neurotoxiques, et les effets sur la reproduction et le développement (gémellité accrue, observations de fentes palatines chez le nouveau-né, diminution du sex ratio, altération du développement psychomoteur...). Ce chapitre n'a pas vocation à analyser l'ensemble des études épidémiologiques publiées sur le sujet, mais de faire un état des lieux des effets particulièrement étudiés autour des incinérateurs à l'heure actuelle. Toutefois, le lecteur pourra, s'il le souhaite, analyser plus précisément les méthodes épidémiologiques utilisées et leurs limites interprétatives à partir des références citées.

La revue de la littérature a montré que les études épidémiologiques réalisées autour des incinérateurs étaient peu nombreuses, et que la plupart s'intéressaient aux effets des émissions de dioxines sur la santé (STM et LNH, effets neuro-comportementaux, troubles de l'immunité et de la reproduction). Si les dioxines, substances ayant une forte connotation émotive, sont largement étudiées aujourd'hui, cette constatation ne doit pas occulter d'autres substances pouvant entraîner des effets irréversibles sur la santé. C'est par exemple le cas du cadmium, de l'arsenic ou des HAP.

### 3.4.1 Les cancers

Pour ce qui concerne les cancers, des excès de LNH et STM ont été mis en évidence dans une étude française, sans pour autant établir de lien de causalité [Viel et al 2000]. Des excès de cancers du foie ont été mis en évidence autour d'incinérateurs en Grande Bretagne mais l'existence potentielle de cofacteurs liés à la catégorie socioprofessionnelle n'a pas été prise en compte. Les auteurs concluaient sur la nécessité de réaliser des études supplémentaires pour confirmer l'excès ou non de cancers primaires du foie [Elliott 1996 ; 2000]. Des cancers du poumon et du larynx ont également été décrits aux alentours d'incinérateurs de déchets dangereux, mais les résultats ont été infirmés par d'autres études [Elliott et al. 1992].

Enfin, Knox (2000) a mis en évidence une augmentation de l'incidence des cancers chez des enfants nés à proximité d'incinérateurs d'ordures ménagères et de déchets hospitaliers entre 1974 et 1987.

### 3.4.2 Effets sur la reproduction et sur le développement chez l'enfant

Une attention particulière est également portée aux effets neuro-comportementaux chez l'enfant et aux effets sur la reproduction et le développement embryofœtal. Pour l'enfant, quelques études apprécient l'exposition aux dioxines, plus souvent indirectement par le lait maternel, mais également les expositions directes in utero. Les résultats de ces études ne sont pas probants. Soit il n'y a pas de lien entre des effets nocifs et des concentrations de dioxines dans le lait maternel, soit les risques relatifs ne sont statistiquement pas significatifs. Ils concernent alors un faible poids à la naissance, des altérations des hormones thyroïdiennes et des effets sur le développement neurologique [Feeley et Brouwer 2000 ; Boersma et Lanting 2000 ; Koopman-Esseboom et al. 1996]. Par ailleurs, certains travaux étudient les cas de gémellités qui pourraient être dus aux PCDD/F. Les résultats des études sont variables : certains montrent une association entre l'exposition aux dioxines et un nombre accru de jumeaux tandis que d'autres ne montrent aucune association [Lloyd et al. 1988, Rydhstroem 1998].

Certains auteurs ont étudié les malformations congénitales chez les enfants nés à proximité d'incinérateurs [Jansson et al. 1989, Chevrier et al. 2002, résumé]. Jansson et al. ont investigué une suspicion de clusters de fentes orales à proximité d'un incinérateur mais n'ont pas montré d'augmentation d'incidence de cet

effet dans les localités étudiées. Une étude française récente s'est intéressée au risque de malformations congénitales autour de 70 incinérateurs de la région Rhône Alpes ayant fonctionné au moins une année entre 1988 et 1997 [Chevrier et al. 2002, résumé]. Les résultats précisent que certaines malformations majeures (fentes faciales, dysplasies rénales et mégacolons) sont plus fréquentes dans les communes exposées que dans celles non exposées, et qu'une relation dose-effet est observée pour les uropathies obstructives. Toutefois, cette étude comporte un certain nombre de biais (de classification de l'exposition et de sélection notamment).

Enfin, une étude belge récente [Staessen et al. 2001] a montré que des adolescents vivant à proximité d'un incinérateur avaient une maturation sexuelle plus tardive et que les garçons avaient un volume testiculaire plus faible que des adolescents résidant en milieu rural (l'exposition a été déterminée par la mesure de marqueurs biologiques sanguins pour le cadmium et le plomb, sériques pour les PCDD/F et PCB, et urinaires pour les métabolites des COV).

### 3.4.3 Effets sur l'appareil respiratoire

Les risques d'effets indésirables sur l'appareil respiratoire liés aux émissions d'UIOM sont peu probants [Hu et al. 2001]. Cependant, les études *in vitro* qui décrivent l'activité pro-inflammatoire des poussières de l'incinération mettent en évidence une stimulation importante des cellules épithéliales pulmonaires. L'établissement d'une relation entre les résultats de ce test et des atteintes sanitaires serait donc du plus grand intérêt [Allerman 2000]. Notons que cette observation n'est pas spécifique des particules issues de l'incinération. Les mêmes effets pro-inflammatoires sont observés avec les particules urbaines en général, ce qui limite l'interprétation d'une relation causale entre l'incinérateur et les effets respiratoires.





## 4. Conclusion

En conclusion, bien que l'on suspecte un certain nombre d'effets nocifs d'être dû aux polluants émis lors de l'incinération, les études épidémiologiques ne permettent pas d'établir formellement une association entre ces effets et l'activité des incinérateurs, essentiellement parce qu'il est difficile de caractériser des expositions spécifiques aux UIOM et que celles-ci sont faibles [Nouwen et al. 2001 ; Schuhmacher et al. 2001 ; Nessel et al. 1991]. Les diverses études réalisées reposent en général sur des données d'émissions peu nombreuses. Les résultats sont donc souvent très divers et il est difficile de conclure. Cependant, l'absence d'excès importants de cas dans ces populations est cohérent avec les résultats des quelques études d'évaluation des risques publiées, qui concluent que :

- Pour un incinérateur dont les émissions respectent les valeurs réglementaires actuelles, le risque de cancer pour les populations potentiellement les plus exposées, hors travailleurs, est inférieur au seuil d'acceptabilité pris par les instances internationales ( $10^{-6}$ ) [Boudet 2000 ; Eikmann 1995 ; Nouwen et al. 2001 ; Schuhmacher et al. 2001 ; Yoshida et al. 2000 ; ORSMIP 2001 ; Glorennec et al 2001, SFSP 1999, NRC 2000]. Les ratios de danger, concernant les effets non génotoxiques, ne dépassent pas 50% de la dose de référence utilisée (Cd, Hg, Pb et dioxines) [SFSP 1999].
- Pour un incinérateur qui aurait fonctionné continuellement en émettant de fortes quantités de polluants, le risque de cancer (dioxines, Cd) serait bien plus élevé (de l'ordre de  $10^{-4}$  ou plus pour une exposition vie entière). Pour les effets non génotoxiques, les expositions estimées, notamment de cadmium et de dioxines, peuvent dans ce cas approcher, voire dépasser la dose de référence utilisée [SFSP 1999 ; Glorennec 2001].
- Les principales substances qui contribuent à ces risques et qui font l'objet d'une plus grande préoccupation sont les dioxines, l'arsenic, l'HCl, le mercure, le plomb, le cadmium et les particules [NRC 2000 ; SFSP 1999]. Le chrome semble lui aussi contribuer de façon importante, avec toutefois une forte majoration liée au fait que l'on assimile le chrome total au chrome VI. A l'heure actuelle, certains polluants ne sont pas considérés comme prioritaires : c'est le cas du  $SO_2$ , des NOx et des HAP.

L'une des principales conclusions est que, si les installations respectent la réglementation actuelle, alors, en l'état actuel des connaissances, les risques encourus sont faibles du point de vue populationnel (excès de risque inférieurs à  $10^{-6}$  pour les risques cancérigènes génotoxiques, et ratio de danger inférieurs à 50% de la dose de référence pour les risques non génotoxiques). A l'inverse, si cette réglementation n'était pas respectée, alors les conséquences néfastes sur la santé des populations deviendraient préoccupantes (excès de risque de  $10^{-4}$  ou plus et dose de référence dépassée).

Cependant, ces études d'évaluation des risques quantifient le plus souvent les probabilités de survenue des pathologies à partir des expositions actuelles. Peu nombreuses sont celles qui prennent en compte l'exposition passée de la population. Or, les effets observés actuellement sont aussi, et principalement, liés à ces expositions passées (émissions des incinérateurs plus importantes dans le passé et latence parfois longue entre exposition et pathologie). Ceci constitue l'une des incertitudes majeures des connaissances actuelles.





## Références bibliographiques

- AFSSA.** Dioxines : données de contamination et d'exposition de la population française. CSHPF section alimentation et nutrition, 2000, 45p.
- Allerman L, Poulsen OM.** Inflammatory potential of dust from waste handling facilities measured as IL-8 secretion from lung epithelial cells in vitro. *Ann. occup. Hyg.*, 2000; 44(4): 259-269.
- Angerer J, Heinzow B, Reimann DO, Knorz W, Lehnert G.** Internal exposure to organic substances in a municipal waste incinerator, *Int Archive of Occupational and Environmental Health*, 1992; 64(4): 265-273.
- Ardevol E, Minguillon C, Garcia G, Serra ME, Gonzales CA, Alvarez L, Eritja R, Lafuente A.** Environmental tobacco smoke interference in the assessment of the health impact of a municipal waste incinerator on children through urinary thioether assay, *Public Health*, 1999; 113(6): 295-298.
- Boersma ER, Lanting CI.** Environmental exposure to polychlorinated biphenyls (PCBs) and dioxins. Consequences for longterm neurological and cognitive development of the child lactation, *Adv Exp Med Biol*, 2000; 478: 271-287.
- Boudet C, Zmirou D, Laffond M, Balducci F, Benoit-Guyod JL.** Health risk assessment of a modern municipal waste incinerator, *Risk Anal*, 1999; 19(6): 1215-1222.
- Bouyer J, Hémon D, Cordier S, Derriennic F, Stücker I, Stengel B, Clavel J.** *Epidémiologie : principes et méthodes quantitatives*, les éditions INSERM, 1995, 498p.
- Chevrier C, Robert-Gnansia E, Lorente C, Cordier S.** Risque de malformations congénitales autour d'incinérateurs d'ordures ménagères. Résumé des abstracts du congrès de L'ADELF (Toulouse 2002), *Revue d'épidémiologie et de santé publique*, 2002; 50(4) suppl, 1S62;C8-4.
- Collett RS, Oduyemi K, Lill DE.** An investigation of environmental levels of cadmium and lead in airborne matter and surface soils within the locality of a municipal waste incinerator. *Sci. total Environ.*, 1998; 209(2-3): 157-167.
- Dab W.** *La décision en santé publique : surveillance épidémiologique, urgences et crises*. Editions ENSP, 1993, 286p.
- Deml E, Mangelsdorf I, Greim H.** Chlorinated dibenzodioxins and dibenzofurans (PCDD/F) in blood and human milk of non occupationally exposed persons living in the vicinity of a municipal waste incinerator, *Chemosphere*, 1996; 33(10): 1941-1950.
- Domingo JL, Schuhmacher M, Meneses M, Granero S, Llobet JM, De Kok Ham.** Monitoring dioxins and furans near an old municipal solid waste incinerator: temporal variation in vegetation. *J. environ. Sci. Health A*, 1999, 34(1): 165-181.
- Domingo JL, Schuhmacher M, Meneses M, Granero S, Llobet JM, De Kok Ham.** Monitoring dioxins and furans near an old municipal solid waste incinerator: temporal variation in soils. *Arch Env Contam Toxicol*. 1999, 36: 377-382.
- Domingo JL, Schuhmacher M, Müller L, Rivera J, Granero S, Llobet JM.** Evaluating the environmental impact of an old municipal waste incinerator: PCDD/F levels in soil and vegetation samples. *J. hazard. Mater. A*, 2000; 76: 1-12.
- Domingo JL, Schuhmacher M, Granero S, de Kok Ha.** Temporal variation of PCDD/F levels in environmental samples collected near an old municipal waste incinerator. *Environ. Monit. Assess.*, 2001; 69(2): 175-193.

- Eikmann T.** Environmental toxicological assessment of emissions from waste incinerators. *Fresenius environ. Bull.*, 1994; 3: 244-249.
- Elliott P, Hills M, Beresford J, Kleinschmidt I, Jolley D, Pattenden S, Rodrigues L, Westlake A, Rose G.** Incidence of cancers of the larynx and lung near incinerators of waste solvents and oils in Great Britain, *The Lancet*, 1992; 339: 854-858.
- Elliott P, Shaddick G, Kleinschmidt I, Jolley D, Walls P, Beresford J, Grundy C.** Cancer incidence near municipal solid waste incinerators in Great Britain, *British Journal of Cancer*, 1996; 73: 702-710.
- 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; 82(5): 1103-1106.
- Evans RG, Shadel BN, Roberts DW, Clardy S, Jordan-Izaguirre D, Patterson DG, Needham LL.** Dioxin incinerator emissions exposure study Times Beach, Missouri. *Chemosphere*, 2000; 40: 1063-1074.
- Feeley M, Brouwer A.** Health risks to infants from exposure to PCBs, PCDDs, and PCDFs, *Food Addit Contam*, 2000; 17(4): 325-333.
- Glorennec P, Zmirou D, Peigner P.** Impact sanitaire passé et actuel de l'Usine d'Incinération des Ordures Ménagères d'Angers. Cellule Inter Régionale d'Epidémiologie Ouest, rapport, Rennes 2001, 52p
- Goldberg M.** L'épidémiologie sans peine. Coll Prescrire, éditions médicales Roland Bettex, 1985, 144p.
- Guzzo JC, Quénel P, Csaszar-Goutchkoff M, Dab W, Verger P, Balducci F, Zmirou D.** Etude des effets à courts termes sur la santé d'une source locale de pollution atmosphérique. Approche épidémiologique. Réseau National de Santé Publique, Santé-Environnement. Octobre 1996. 49p.
- Hoover SM.** Exposure to persistent organochlorines in Canadian breast milk : a probabilistic assessment, *Risk Anal*, 1999; 19(4): 527-545.
- Hu SW, Hazucha M, Shy CM.** Waste incineration and pulmonary function : an epidemiologic study of six communities, *J Air Waste Manag Assoc*, 2001; 51(8): 1185-1194.
- Hu SW, Shy CM.** Health effects of waste incineration: a review of epidemiologic studies. *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 2001; 51(7): 1100-1109
- Institut Français de l'Environnement (IFEN).** L'environnement en France, 1999, La Découverte ed, 480p.
- Institut Français de l'Environnement (IFEN).** L'environnement en France, 2002, La Découverte ed, 606p.
- Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS).** Méthodologie pour l'évaluation de la contamination par les dioxines au voisinage d'une source fixe, rapport d'étude Michel Nominé, ADEME convention 98-78-047, mars 1999, 62p.
- Institut de Veille Sanitaire (InVS) / Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME).** Etude sur les dioxines et les furanes dans le lait maternel en France, 2000, InVS ed, 175p.
- Institut de Veille Sanitaire (InVS) / Cire ouest.** Dépistage du saturnisme infantile autour de sources industrielles de plomb. Analyse de la pertinence de la mise en œuvre d'un dépistage : du diagnostic environnemental à l'estimation des expositions, 2002, InVS eds, 72p.
- Institut de Veille Sanitaire (InVS).** Analyse descriptive d'une pollution industrielle chronique à partir des données disponibles : aide-mémoire, à paraître 2003, InVS eds, 20p.
- Jansson B, and Voog L.** Dioxin from swedish municipal incinerators and the occurrence of cleft lip and palate malformations. *International Journal of Environmental Studies*, 1989; 34: 99-104.
- Knox E.** Childhood cancers, birthplaces, incinerators and landfill sites, *Int J Epidemiol*, 2000; 29(3): 391-397.
- Koopman-Esseboom C, Weisglas-Kuperus N, De Ridder MA, Van der Paauw CG, Tuinstra LG, Sauer PJ.** Effects of polychlorinated biphenyl/dioxin exposure and feeding type on infant's mental and psychomotor development, *Pediatrics*, 1996; 97(5): 700-706.
- Kumagai S, Koda S, Miyakita T, Yamaguchi H, Katagi K, Yasuda N.** Polychlorinated dibenzo-p-dioxin and dibenzofuran concentrations in the serum samples of workers at continuously burning municipal incinerators in Japon. *Occup. environ. Med.*, 2000; 57: 204-210

- Kurtio P, Pekkanen J, Alfthan G, Paunio M, Jaakkola JJK, Heinonen OP.** Increased mercury exposure in inhabitants living in the vicinity of a hazardous waste incinerator : a 10-year follow-up. *Arch. environ. Health*, 1998; 53(2): 129-137.
- LaKind JS, Berlin CM, Park CN, Naiman DQ, Gudka NJ.** Methodology for characterizing distributions of incremental body burdens of 2,3,7,8-TCDD and DDE from breast milk in North American nursing infants, *J Toxicol Environ Health*, 2000; 59(8): 605-639.
- LaKind JS, Berlin CM, Naiman DQ.** Infant exposure to chemicals in breast milk in the United States : what we need to learn from a breast milk monitoring program, *EHP*, 2001; 109(1): 75-88.
- Liem AK, Furst R, Rappe C.** Exposure of populations to dioxins and related compounds, *Food Addit Contam*, 2000; 17(4): 241-259.
- Lloyd OL, Lloyd MM, Williams FM, Lawson A.** Twinning in human populations and in cattle exposed to air pollution from incinerators. *Br J Ind Med*, 1988; 45: 556-560.
- Meneses M, Llobet JM, Granero S, Schuhmacher M, Domingo JL.** Monitoring metals in the vicinity of a municipal waste incinerator: temporal variation in soils and vegetation. *Sci. total Environ.*, 1999; 226: 157-164.
- National Research Council (NRC).** Risk assessment in the federal government : managing the process, Committee on the institutional means for assessment of risks to public health, National Academy Press, Washington DC (USA), 1983.
- National Research Council (NRC).** Waste Incineration and public health. Commission on Life Sciences, Board of environmental studies and toxicology, Committee on health effects of waste incineration. 2000, National Academy Press eds, Washington DC, 335p.
- 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; 1(3): 283-307.
- Nouwen J, Cornelis C, De Fre R, Wevers M, Viaene P, Mensink C, Pryn J, Verschaeve L, Hooghe R, Maes A, Collier M, Schoeters G, Van Cleuvenbergen R, Geuzens P.** Health risk assessment of dioxin emissions from municipal waste incinerators : the Neerlandquarter (Belgium), *Chemosphere*, 2001; 43(4-7): 909-923.
- Observatoire Régional de la Santé Midi Pyrénées (ORMIP).** Impact sanitaire des émissions atmosphériques de l'unité de valorisation énergétique des déchets du syndicat DECOSSET, Rapport de synthèse, 2001, 157p.
- Patandin S, Dagnelie PC, Mulder PG, Op de Coul E, Van der Veen JE, Weisglas-Kuperus N, Sayer PJ.** Dietary exposure to polychlorinated biphenyls and dioxins from infancy until adulthood : a comparison between breast-feeding, toddler, and long-term exposure, *EHP*, 1999; 107(1): 45-51.
- Pluim HJ, Boersma ER, Kramer I, Olie K, Van der Slikke JW, Koppe JG.** Influence of short-term dietary measures on dioxin concentrations in human milk, *EHP*, 1994; 102(11): 968-971.
- Rumeau-Rouquette C, Blondel B, Kaminski M, Bréart G.** *Epidémiologie, méthodes et pratiques. Collection statistique en biologie et en médecine.* Editions Médecine-Sciences Flammarion. 1993. 312p.
- Rydhstroem H.** No obvious spatial clustering of twin births in Sweden between 1973 and 1990. *Environ Res.* 1998; 76: 27-31.
- Salomon D.** A l'opposé du principe de précaution : l'incinérateur de Gilly sur Isère. *Risque et Intelligence.* Décembre 2002. 49p.
- Schechter A, Fürst P, Fürst C, Pöpke A, Ball M, Ryan JJ, Hoang DC, Le CD, Hoang TQ, Cuong HQ.** Chlorinated dioxins and dibenzofurans in human tissue from general populations : a selective review, *EHP*, 1994; 102(1): 159-170.
- Schechter A, Pöpke O, Ball M, Lis A, Brandt-Rauf P.** Dioxin concentrations in the blood of workers at municipal incinerators. *Occup. environ. Med.*, 1995; 52: 385-387.
- Schechter A.** A selective historical review of congener-specific human tissue measurements as sensitive and specific biomarkers of exposure to dioxins and related compounds, *Commentary, Environmental Health Perspective*, 1998; 106(2): 737-742.

- Société Française de Santé Publique (SFSP).** L'incinération des déchets et la santé publique : bilan des connaissances récentes et évaluation du risque, collection santé et société n°7, 1999, 368p.
- Schuhmacher M, Domingo JL, Llobet JM, Müller L, Jager J.** Levels of PCDDs and PCDFs in grasses and weeds collected near a municipal solid waste incinerator. *Sci. total Environ.*, 1997; 201: 53-62.
- Schuhmacher M, Meneses M, Granero S, Llobet JM, Domingo JL.** Trace element pollution of soils collected near a municipal solid waste incinerator: human health risk. *Bull. environ. Contam. Toxicol.*, 1997; 59: 861-867.
- Schuhmacher M, Xifro A, Llobet JM, De Kok Ham, Domingo JL.** PCDD/Fs in soil samples collected in the vicinity of a municipal solid waste incinerator: human health risks. *Arch. environ. Contam. Toxicol.*, 1997; 33: 239-246.
- Schuhmacher M, Domingo JL, Llobet JM, Sunderhauf W, Müller L.** Temporal variation of PCDD/F concentrations in vegetation samples collected in the vicinity of a municipal waste incinerator (1996-1997). *Sci. total Environ.* 1998; 218(2-3): 175-183.
- Schuhmacher M, Domingo, Llobet JM, Lindstrom G, Wingfors H.** Dioxin and dibenzofuran concentrations in blood of a general population from Tarragona, Spain. *Chemosphere.* 1999; 38(5): 1123-1133.
- Schuhmacher M, Domingo JL, Llobet JM, Kiviranta H, Vartiainen T.** PCDD/F concentrations in milk of nonoccupationally exposed women living in Southern Catalonia, Spain. *Chemosphere*, 1999; 38(5): 995-1004.
- Schuhmacher M, Granero S, Rivera J, Müller L, Llobet JM, Domingo JL.** Atmospheric deposition of PCDD/Fs near an old municipal solid waste incinerator: levels in soil and vegetation. *Chemosphere*, 2000; 40: 593-600.
- Schuhmacher M, Meneses M, Xifro A, Domingo JL.** The use of Monte-Carlo simulation techniques for risk assessment : study of a municipal waste incinerator, *Chemosphere*, 2001; 43(4-7): 787-799.
- Shy CM, Degnan D, Fox DL, Mukerjee S, Hazucha MJ, Boehlecke BA, Rothenbacher D, Briggs PM, Devlin RB, Wallace DD, Stevens RK, Bromberg PA.** Do waste incinerators induce adverse respiratory effects? an air quality and epidemiological study of six communities. *Environ. Health Perspect.*, 1995; 103(7-8): 714-724.
- Staessen, J.A., Nawrot, T., Hond, E.D., Thijs, L., Fagard, R., Hoppenbrouwers, K., Koppen, G., Nelen, V., Schoeters, G., Vanderschueren, D., Van Hecke, E., Verschaeve, L., Vlietinck, R., and Roels, H.A.** Renal function, cytogenetic measurements, and sexual development in adolescents in relation to environmental pollutants: a feasibility study of biomarkers. *Lancet*, 2001; 357: 1660-1669.
- Vartiainen T, Jaakkola JJK, Saarikoski S, Tuomisto J.** Birth weight and sex of children and the correlation to the body burden of PCDDs/PCDFs and PCVs of the mother. *Environ. Health Perspect.*, 1998; 106(2): 61-66.
- Viel JF, Arveux P, Baverel J, Cahn JY.** Soft-tissue and non-Hodgkin's lymphoma clusters around a municipal waste incinerator with high dioxin emissions levels, *Am J Epidemiol*, 2000; 152(1): 13-19.
- Yonemoto J.** The effects of dioxin on reproduction and development, *Ind Health*, 2000; 38(3): 259-268.
- Yoshida K, Ikeda S, Nakanishi J.** Assessment of human health risk of dioxins in Japan, *Chemosphere*, 2000; 40(2): 177-185.