

# Méthodes de surveillance de l'impact sur l'environnement au voisinage des installations d'incinération et de co-incinération de déchets

*Etat de l'art*



**ÉTAT DE L'ART DES METHODES DE SURVEILLANCE  
DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT AU VOISINAGE  
DES INSTALLATIONS D'INCINERATION ET  
DE CO-INCINERATION DE DECHETS**

**RAPPORT FINAL**

**octobre 2005**

**T. CHASSAGNAC, C. CORNET, L. MATHIEU – CSD AZUR**

Créée en 1989 à l'initiative du Ministère en charge de l'Environnement, l'association RECORD – REseau COopératif de Recherche sur les Déchets et l'Environnement – est le fruit d'une triple coopération entre industriels, pouvoirs publics et chercheurs. L'objectif principal de RECORD est le financement et la réalisation d'études et de recherches dans le domaine des déchets et des pollutions industrielles.

Les membres de ce réseau (groupes industriels et organismes publics) définissent collégialement des programmes d'études et de recherche adaptés à leurs besoins. Ces programmes sont ensuite confiés à des laboratoires publics ou privés.

**Avertissement :**

Les rapports ont été établis au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

Ces documents comprennent des propositions ou des recommandations qui n'engagent que leurs auteurs. Sauf mention contraire, ils n'ont pas vocation à représenter l'avis des membres de RECORD.

- ✓ Pour toute reprise d'informations contenues dans ce document, l'utilisateur aura l'obligation de citer le rapport sous la référence :  
**RECORD**, Etat de l'art des méthodes de surveillance de l'impact sur l'environnement au voisinage des installations d'incinération et de co-incinération de déchets, 2005, 69 p, n°05-1013/1A.
- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)  
[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

© RECORD, 2005

## Résumé

L'intérêt croissant depuis les années 70 de la part de la communauté scientifique et du grand public pour la problématique de l'incinération a conduit à faire émerger et de mettre en évidence un certain nombre de difficultés du procédé et de risques potentiels associés. Une surveillance des sites d'incinération a été ainsi mise en place pour s'assurer de leur bon fonctionnement par le suivi d'un certain nombre de paramètres mesurés à l'émission.

Une nouveauté est apportée aujourd'hui par l'arrêté ministériel du 20 septembre 2002 ; elle réside dans la mise en place d'un programme de surveillance de l'environnement au voisinage des sites. Cette mesure vient compléter le suivi existant en élargissant la surveillance des sites au voisinage des installations sur les milieux récepteurs potentiels.

Aucune précision supplémentaire n'est apportée concernant les méthodes possibles pour réaliser ce suivi. Les exploitants qui doivent faire face à des délais de mise en place de leur programme de surveillance relativement courts (la date d'application de l'arrêté étant fixée au 28 décembre 2005), doivent néanmoins faire le choix optimal, c'est-à-dire le choix d'une méthode adaptée aux besoins de leurs installations et répondant aux exigences réglementaires de ce nouveau type de surveillance.

Le but de cette étude est de faciliter le choix d'une méthode par l'exploitant à travers un aperçu aussi exhaustif que possible des différentes techniques de surveillance disponibles. L'évaluation des méthodes et l'estimation de leur adéquation avec les paramètres locaux spécifiques à chaque site sont à réaliser systématiquement par l'exploitant. Ce document se propose d'être une base sur laquelle il pourra s'appuyer pour mener à bien cette réflexion.

## Mots-clés

Incinération, Co-incinération, Impact, Surveillance de l'environnement, Méthodes & techniques de surveillance, Biosurveillance, Air, Eau, Sol, Substrat animaux et végétaux.

## Summary

Since the beginning of the 70's, the growing concern from the public opinion and the scientific community for the waste incineration issue made people aware of a number of difficulties of the process and the potential risks linked to it.

For example checking the good functioning conditions of the facilities has been made compulsory through the continuous emission monitoring of a number of parameters.

The ministerial decree from the 20<sup>th</sup> September 2002 brings something new : the monitoring of the impact of the facilities on its nearby environment. This monitoring comes in addition to the existing continuous monitoring of some gaseous compounds of the incineration process, and widens the scale of the monitoring to the environment of the incineration facilities.

But there is no further information in the ministerial decree about the methods available to match this requirement. Incineration facilities' managers have to face a close deadline (28<sup>th</sup> December 2005) and have to make the optimal choice of a technique matching these requirements but also the needs of their facilities.

The aim of this study is to help incineration facilities' managers thanks to an overview as large as possible of the different techniques available. Managers will have to take into account the characteristics of the methods and their adequacy with the local contexts of their sites. This document is meant to be a support for dealing with this issue.

## Key-words

Incineration, Impact, Environment monitoring, Methods and techniques, Biomonitoring, Air, Water, Soil, Animal and vegetal substrates.

# Sommaire

<b><i>Présentation de l'étude</i></b> .....	<b>5</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>5</b>
<b>Objet de l'étude</b> .....	<b>6</b>
<b>Réalisation de l'étude</b> .....	<b>6</b>
<b>Utilisation du document</b> .....	<b>6</b>
<b><i>1ère partie : les méthodes de suivi environnemental</i></b> .....	<b>8</b>
<b>Description des fiches</b> .....	<b>8</b>
<b>Répertoire des méthodes</b> .....	<b>10</b>
<b><i>Surveillance</i></b> .....	<b>11</b>
Dosage dans l'air ambiant .....	11
Collecte des particules sur surfaces artificielles.....	15
Dosage dans les sols .....	18
Dosages dans eaux souterraines .....	21
Dosages des eaux de surfaces et sédiments.....	24
<b><i>Biosurveillance</i></b> .....	<b>26</b>
Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) .....	26
Comptage lichens ou mousses autochtones .....	28
Dosage dans lichens & mousses autochtones .....	31
Dosage dans lichens allochtones .....	34
Dosage dans mousses allochtones.....	37
Dosage dans végétaux supérieurs allochtones .....	40
Dosage dans végétaux supérieurs autochtones.....	44
Diagnostic des végétaux supérieurs allochtones .....	47
Dosage dans le lait.....	50
Dosage sur abeilles et produits de la ruche .....	53
Dosage dans œufs, chair, graisses et organes cibles .....	56
<b><i>2ème partie : synthèse</i></b> .....	<b>58</b>
<b>Généralités</b> .....	<b>58</b>
<b>Tableau de synthèse des méthodes</b> .....	<b>61</b>
<b>Contexte local et caractéristiques du site</b> .....	<b>62</b>
<b><i>3ème partie : prestataires et bibliographie</i></b> .....	<b>63</b>
<b>Liste des prestataires</b> .....	<b>63</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>64</b>
<b>Glossaire</b> .....	<b>67</b>

# Présentation de l'étude

## Introduction

L'application de l'arrêté ministériel du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets dangereux et non dangereux se traduit notamment par la mise en place d'un programme de surveillance de leurs impacts sur l'environnement :

*« L'exploitant doit mettre en place un programme de surveillance de l'impact de l'installation sur l'environnement. Ce programme concerne au moins les dioxines et les métaux ».*

*« Il prévoira notamment la détermination de la concentration de ces polluants dans l'environnement (...) ».*

*« Le programme est déterminé et mis en œuvre sous la responsabilité de l'exploitant et à ses frais ».*

*« Ses modalités sont précisées dans l'arrêté d'autorisation »*

(extrait de l'AM du 20/09/2002<sup>1</sup>)

Les membres du réseau RECORD ont manifesté leurs besoins d'informations concernant les différentes méthodes de surveillance et la nécessité de les rassembler sous la forme d'un document à l'usage des exploitants d'installations permettant l'évaluation de ces techniques pour lesquelles les conditions d'applications sont variées et fortement dépendantes du contexte.

Dans ce cadre, le bureau d'étude CSD AZUR a été mandaté pour la réalisation de ce document, dans des délais permettant son utilisation ainsi que le choix et la mise en place d'un programme de surveillance avant le 28 décembre 2005, date retenue pour l'arrêté ministériel du 20/09/2002 comme date limite pour la mise en place effective d'un programme de surveillance de l'environnement des sites d'incinération et de co-incinération des déchets.

Le lecteur trouvera dans ce document :

- un inventaire des techniques disponibles pour la surveillance de l'environnement au voisinage d'un site sous la forme de fiches-méthode réunissant les informations essentielles les concernant,
- une synthèse générale reprenant notamment les aspects et difficultés communs à l'ensemble des méthodes,
- un tableau de synthèse des techniques résumant les fiches,
- un tableau de critères à remplir par l'exploitant lui permettant de tenir compte du contexte local et des caractéristiques du site (check-list).

---

<sup>1</sup> Article 30 de l'AM du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux et aux installations incinérant des déchets d'activités de soins à risques infectieux.

Article 31 de l'AM du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets dangereux.

## Objet de l'étude

L'objectif de cette étude est de présenter un état de l'art des méthodes de suivi des impacts sur l'environnement des installations d'incinération et de co-incinération de déchets.

Il s'agit d'un support permettant à l'exploitant d'évaluer les différentes options possibles dans le but de déterminer un programme de surveillance en accord avec les exigences réglementaires et cohérent avec les spécificités du site et son contexte local.

La mise en œuvre de ces techniques intervient au terme d'une étude spécifique de chaque site dont les résultats devront permettre le choix et l'orientation de méthodes de surveillance.

## Réalisation de l'étude

Les informations qui ont permis l'élaboration de ce document proviennent :

- des études de cas,
- des prestataires de méthodes de suivi dans l'environnement,
- des exploitants des installations d'incinération et de co-incinération les plus récentes, susceptibles d'avoir déjà mis en place un programme de surveillance.

L'enquête externe auprès des prestataires et des exploitants a eu pour objet :

- de connaître le niveau d'utilisation des méthodes, leurs opérateurs, les ordres de grandeurs de coûts, etc.
- de collecter des exemples types d'application.

## Utilisation du document

Cette étude est organisée en 3 parties :

1<sup>ère</sup> partie : les méthodes de suivi environnemental.

2<sup>ème</sup> partie : synthèse.

3<sup>ème</sup> partie : liste non exhaustive de prestataires et bibliographie.

## Avertissement

Cet état de l'art constitue avant tout un outil explicatif et d'évaluation générale des techniques. Son usage ne remplace pas l'avis d'un spécialiste qui devra, pour fixer son choix, étudier l'adéquation des méthodes avec les conditions réelles du site et les besoins spécifiques de l'exploitant.

Cette étude est basée sur les informations recueillies auprès des différentes sources, internes ou externes et ont fait l'objet, autant que faire ce peut, de vérifications de la part du chargé d'étude mais restent dépendantes des éventuelles erreurs, omission ou fausses informations.



Les prix proposés dans ce document sont fournis à titre indicatif et représentent des ordres de grandeurs correspondant à une situation hypothétique jugée raisonnable.

Les informations et conclusions de cette étude sont représentatives des connaissances disponibles à la période de l'étude. Les évolutions de la réglementation et des techniques mises en œuvre sont susceptibles de rendre certaines informations obsolètes.

# 1ère partie : les méthodes de suivi environnemental.

## Description des fiches

### Titre

Nom de la méthode précédé d'un numéro d'identification et de l'appellation générale de la famille de méthode.

### 1 – SUIVI

Sous cette rubrique sont indiquées les familles de substances qu'il est possible de suivre à l'aide de cette méthode. Des précisions figurent dans la colonne suivante, généralement sous forme de liste de composés.

Il est également précisé ici quel est le milieu suivi et quel substrat est échantillonné.

### 2 – PRINCIPE GENERAL

Sous cette rubrique sont décrits, sans rentrer dans des considérations trop pointues, les principes de base mis en œuvre dans le cadre de cette méthode. Le mode opératoire, qui peut être variable selon les conditions d'utilisation, n'est que très brièvement décrit.

Figurent également dans cette rubrique le type de méthode (observation, comptage ou dosage) ainsi que les éventuelles analyses chimiques associées. Les normes d'analyses ou d'utilisation de l'appareillage, ainsi que les possibilités d'interférences éventuelles et la limite de détection du matériel utilisé sont précisés.

La fréquence des mesures et relevés généralement observée pour ce type de surveillance est également indiquée.

### 3 – PROBLEMATIQUE

Sous cette rubriques sont indiqués les différents contextes dans lesquels cette méthode est utilisable (industriel, urbain, péri-urbain, rural) ; des précisions sur l'adéquation de la méthode sont apportées par l'utilisation de l'échelle de graduations suivante :

- ++ : bien adapté
- + : peut convenir
- 0 : non adapté

Cette notation tient notamment compte de la probabilité de présence du substrat dans un contexte donné (ex : lichens et mousses autochtones plus rares en milieu urbain ou industriel, donc : +).

Dans le cas où la méthode requiert des caractéristiques particulières du contexte environnemental du site, celles-ci sont précisées.

Figurent également sous cette rubrique les approches et problématiques auxquelles cette méthode permet d'apporter une réponse et le niveau de renseignement de cette réponse (qualitatif ou quantitatif).

- Par « *quantitatif* » on entend : les résultats chiffrés obtenus sont représentatifs de la totalité des émissions et des expositions.
- Par « *qualitatif* » on entend : les résultats obtenus sont des indices globaux de qualité (relatifs à des échelles de valeurs particulières).

#### 4 – MISE EN ŒUVRE

Les divers éléments du matériel minimum nécessaire à la mise en œuvre de cette méthode ainsi que les connaissances préalables indispensables sont indiqués sous cette rubrique. Le personnel nécessaire (pour la conception / réalisation et l'échantillonnage / analyse) ainsi que les contraintes et difficultés rencontrées lors de la mise en œuvre sont également précisés.

#### 5 – DIVERS

Cette rubrique précise les modes d'interprétation et de présentation des résultats. Le lecteur y trouvera également les informations concernant la maturité de la méthode, indiquant la présence ou non de retours d'expériences. Les autres méthodes de surveillance pouvant être utilisées en parallèle pour compléter ou affiner le suivi sont précisées sous cette rubrique. Il y figure également le coût global de la méthode. Compte tenu des difficultés d'évaluation de ce paramètre, les indications fournies ne détaillent pas pour chaque méthodes coût d'investissement, d'entretien et de fonctionnement. Une estimation du nombre de points et du coût d'une campagne est généralement présentée. La capacité des riverains à comprendre et à accepter l'utilisation de cette méthode ainsi que la facilité pour l'exploitant de communiquer sur ses résultats (propension des résultats à ne pas éveiller l'inquiétude des riverains) figurent dans cette rubrique.

#### 6 – SYNTHÈSE

Est rassemblé sous cette rubrique l'ensemble des avantages et des inconvénients de cette méthode.

#### 7 – BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages et articles de référence sur le sujet (liste non exhaustive).

# Répertoire des méthodes

<b>Surveillance .....</b>	<b>11</b>
<i>Dosage dans l'air ambiant .....</i>	<i>11</i>
<i>Collecte des particules sur surfaces artificielles .....</i>	<i>15</i>
<i>Dosage dans les sols .....</i>	<i>18</i>
<i>Dosages dans eaux souterraines.....</i>	<i>21</i>
<i>Dosages dans eaux de surfaces et sédiments.....</i>	<i>24</i>
<b>Biosurveillance .....</b>	<b>26</b>
<i>Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) .....</i>	<i>26</i>
<i>Comptage lichens ou mousses autochtones .....</i>	<i>28</i>
<i>Dosage dans lichens &amp; mousses autochtones .....</i>	<i>31</i>
<i>Dosage dans lichens allochtones .....</i>	<i>34</i>
<i>Dosage dans mousses allochtones .....</i>	<i>37</i>
<i>Dosage dans végétaux supérieurs allochtones .....</i>	<i>40</i>
<i>Dosage dans végétaux supérieurs autochtones.....</i>	<i>44</i>
<i>Diagnostic des végétaux supérieurs allochtones.....</i>	<i>47</i>
<i>Dosage dans le lait.....</i>	<i>50</i>
<i>Dosage sur abeilles et produits de la ruche .....</i>	<i>53</i>
<i>Dosage dans œufs, chair, graisses et organes cibles.....</i>	<i>56</i>

Titre	1	Surveillance	Dosage dans l'air ambiant
-------	---	--------------	---------------------------

### 1 – SUIVI

<b>Substances suivies</b>		
<i>Métaux lourds</i>	X	
<i>Dioxines / Furanés</i>	X	
<i>Poussières</i>	X	
<i>Autres substances inorganiques</i>	X	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, O <sub>3</sub> , NH <sub>3</sub> , etc.
<i>Autres composés organiques</i>	X	HAP, COV, PCB, etc.
<i>Indice global de qualité</i>	X	Air
<b>Milieu suivi</b>	Air	
<b>Substrat échantillonné</b>	Air ambiant	

### 2 – PRINCIPE GENERAL

<b>Principe</b>	Selon les substances : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Installation de stations de mesure d'air ambiant et d'analyseur d'air ambiant pour le suivi des polluants gazeux en continu (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, O<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>, etc.).</li> <li>• Installation et utilisation de préleveurs grand volume muni d'un système de filtration (phase particulaire) et d'adsorption sur support pour le suivi des dioxines/furanés ou d'absorption dans une solution de barbotage (phase gazeuse) pour le suivi des métaux : pompage de l'air, séparation de la phase particulaire et analyse des polluants gazeux et particulaires (analyse séparée ou globale).</li> </ul>					
<b>Type de méthode</b>	<i>Comptage</i>		<i>Observation</i>		<i>Dosage</i>	X
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poussières : détermination par pesée (microbalance).</li> <li>• Micropolluants organiques : techniques chromatographiques et/ou spectrométriques après mise en solution.</li> <li>• Métaux lourds : techniques spectrométriques après mise en solution (minéralisation acide sur le filtre par exemple) ou absorption dans une solution de barbotage.</li> <li>• SO<sub>2</sub> : fluorescence UV.</li> <li>• NO<sub>x</sub> : chimiluminescence.</li> <li>• O<sub>3</sub> : absorption UV.</li> <li>• CO : absorption IR.</li> </ul>					
<b>Analyse</b>	<i>Normes</i>	Normes françaises d'analyse existantes (métaux lourds : NFT 90-119, NFT 90-112, NFT 90-113, NF EN ISO 5961...) mais absence de normes de prélèvement.				
	<i>Interférences</i>	Réenvol de particules du sol.				
	<i>Limite de détection</i>	Variable selon l'appareillage utilisé.				
<b>Fréquence</b>	1 fois / an	En continu pour les polluants gazeux suivants : SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, O <sub>3</sub> , NH <sub>3</sub> , etc.				

### 3 – PROBLEMATIQUE

<b>Contextes adaptés</b>	<i>Industriel</i>	+	<i>Urbain</i>	+	<i>Périurbain</i>	++	<i>Rural</i>	++
	Possibilité plus importante d'interférences avec d'autres sources en milieu industriel et urbain (réseau routier, zone industrielle, etc.).							

<b>Problématique</b>	<i>Etude de risques</i> <sup>(1)</sup>	<i>Approche réglementaire</i>	<i>Suivi d'évolution</i> <sup>(2)</sup>
<i>Qualitative</i>		X	X
<i>Quantitative</i>	X	X	X

<sup>(1)</sup> Concerne uniquement le risque par inhalation (métaux lourds essentiellement).

<sup>(2)</sup> Comparaison aux valeurs guides dans l'air ambiant et aux objectifs de qualité de l'air ambiant disponibles pour : NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO, Pb, As, Cd, Hg, Ni, les hydrocarbures aromatiques polycycliques, le benzène et les poussières.

Cf. directive n° 2004/107/CE du 15 décembre 2004 concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant (valeurs cibles).

Cf. directive 1999/30/CE du 22 avril 1999 relative à la fixation de valeurs limites pour l'anhydride sulfureux, le dioxyde d'azote et les oxydes d'azote, les particules et le plomb dans l'air ambiant & décision 2001/744/CE du 17 octobre 2001 la modifiant.

Cf. décret n° 98-360 du 6 mai 1998 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites modifié par le décret n° 2002-213 du 15 février 2002 et le décret n° 2003-1085 du 12 novembre 2003.

Cf. OMS. Qualité de l'air : recommandations pour l'Europe, 2000, 273 p.

Cf. arrêté ministériel du 22 juillet 2004 relatif aux indices de qualités de l'air.

#### 4 – MISE EN ŒUVRE

<b>Matériel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stations de mesure et analyseur d'air ambiant.</li> <li>• Préleveurs grand volume (par exemple, pompes haut débit : de 3000 à 5000 m<sup>3</sup> / semaine) et système de filtration des particules et d'adsorption des polluants gazeux sur support (mousses polyuréthanes).</li> <li>• Appareillage d'analyse variable selon les polluants recherchés.</li> </ul>	
<b>Connaissances préalables à la mise en œuvre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maîtrise technique du matériel utilisé et de la méthodologie.</li> <li>• Localisation des autres sources d'émissions : trafic, cheminées...</li> <li>• Conditions météorologiques (pluviométrie, direction et vitesse des vents, etc.).</li> <li>• Etude de dispersion si existante (pour la localisation des points de mesure).</li> </ul>	
<b>Qualification du personnel</b>	<i>Conception / Réalisation</i>	Expert
	<i>Echantillonnage / Analyse</i>	Technicien spécialisé
<b>Difficultés / Contraintes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installation en zone dégagée.</li> <li>• Nécessite un raccordement électrique voire un aménagement spécifique (demande d'autorisation d'accès ou d'utilisation chez un tiers d'énergie, d'eau, etc.).</li> <li>• <i>Mesures en continu</i> : maintenance et vérification régulière de l'appareillage (tous les 15 jours, mensuellement). Il est souhaitable d'utiliser de préférence des stations existantes de surveillance de qualité de l'air ambiant.</li> <li>• <i>Mesures ponctuelles</i> : nécessite l'intervention d'un technicien (remplacement des filtres, etc.).</li> </ul>	

5 – DIVERS						
<b>Restitution / Traitement des résultats</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localisation des points de mesure ou d'échantillonnage (+ photographies).</li> <li>• Suivi des concentrations dans le temps (graphiques) et/ou tableaux de résultats.</li> <li>• Comparaison aux valeurs de références disponibles.</li> <li>• Cartographie et courbes d'isovaleurs.</li> <li>• Possibilité de représentation des résultats à l'aide d'un SIG.</li> <li>• Discussion sur la représentativité de la période de mesure.</li> <li>• Possibilité de calage des modèles d'émissions atmosphériques et de dépôts.</li> </ul>					
<b>Maturité de la technique</b>	Mature (>10ans)	X	Récente (~5ans)		Innovante	
<b>Couplage avec d'autres méthodes</b>	Méthodes intégrant : biosurveillance ou utilisation de jauges de dépôts ou de précipitations.					
<b>Coût global</b>	Onéreux	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De 2 à 9 points de mesures (5 en moyenne).</li> <li>• De 10 à 20 % plus cher que l'utilisation de jauges : ~ 17 à 20 k€ pour une campagne de 5 points.</li> </ul>				
<b>Acceptation sociale</b>	Moyenne	La présence visible des stations peut être source d'inquiétude chez les riverains.				
<b>Communicabilité des résultats</b>	Bonne	Concentrations mesurées extrêmement faibles.				

1<sup>ère</sup> partie : les méthodes de suivi

6 – SYNTHESE	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permet l'analyse séparée des polluants en phase gazeuse et des polluants particulaires.</li> <li>• Peut permettre l'identification de la source d'émissions (analyse comparative des profils de congénères d'un composé et/ou des proportions relatives à l'émission et à l'air ambiant).</li> <li>• Possibilité de surveillance en continu de certains polluants gazeux : SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, O<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>, etc.</li> <li>• Le pompage haut débit permet de prélever des quantités détectables malgré de courtes durées d'exposition.</li> <li>• Mesures de concentrations dans l'air : possibilité de vérification et de calage des modèles de dispersion.</li> <li>• Permet de mesurer de faibles teneurs (ex : concentration de fond des dioxines en zone rurale, ng/m<sup>3</sup> de métaux lourds, etc.).</li> <li>• Comparaison possible avec les valeurs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensibilité de la méthode aux variations météorologiques (temps d'intégration de quelques jours à 2 semaines insuffisant pour lisser les variations météorologiques).</li> <li>• Nécessite l'installation d'une station météorologique.</li> <li>• Mesures ponctuelles (méthode non intégrante).</li> <li>• Peu représentatif du niveau d'exposition en terme sanitaire pour les dioxines et furanes (la voie par inhalation représente de l'ordre de 10% de l'exposition moyenne des populations riveraines)</li> <li>• Coût élevé de l'appareillage : ~ 30 k€ pour un préleveur grand volume.</li> <li>• Système non autonome (nécessite l'intervention de personnel ainsi qu'une alimentation électrique 220V).</li> <li>• Mise en place ou location d'un appareillage volumineux (logistique).</li> </ul>

<p>guides existantes pour les métaux et des bases de données fournies.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permet la capture de particules pour analyse visuelle (microscopie) et éventuelle identification de l'activité émettrice.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peu discret.</li> <li>• Risque de vandalisme.</li> </ul>
--	---

<b>7 – BIBLIOGRAPHIE</b>	
<b>Bibliographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durif M. Méthodes de surveillance des retombées des dioxines et furanes autour d'une UOIM. INERIS, décembre 2001, 24p.</li> </ul>



Titre	2	Surveillance	Collecte des particules sur surfaces artificielles
-------	---	--------------	--

1 – SUIVI			
<b>Substances suivies</b>			
<i>Métaux lourds</i>	X		
<i>Dioxines / Furanes</i>	X		
<i>Poussières</i>	X		
<i>Autres substances inorganiques</i>			
<i>Autres composés organiques</i>	X	HAP, PCB, etc.	
<i>Indice global de qualité</i>			
<b>Milieu suivi</b>	Air		
<b>Substrat échantillonné</b>	Dépôts atmosphériques		

2 – PRINCIPE GENERAL						
<b>Principe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Installation dans la zone d'influence de plaquettes pour la récupération des poussières (dépôts secs uniquement), de jauges de dépôt ou de collecteurs de précipitation cylindriques de type « Owen », « Bergerhoff » ou similaire (recommandés par l'INERIS ; dépôts secs et humides).</li> <li>Dosages chimiques des dépôts atmosphériques particuliers.</li> </ul>					
<b>Type de méthode</b>	<i>Comptage</i>		<i>Observation</i>		<i>Dosage</i>	X
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mesure de poussières totales (dont PM10 ou PM2,5) par microbalance.</li> <li>Caractérisation des particules par leur composition chimique (identification des métaux par microanalyse X, la forme chimique du plomb et d'autre métaux lourds constitutifs pouvant également être déterminée à partir des spectres de microanalyse X).</li> <li>Possibilité de caractérisation des particules par leur forme (observation microscopique).</li> <li>Teneurs déterminées par des techniques spectrométriques après mise en solution (minéralisation acide des métaux par exemple)</li> </ul>					
<b>Analyse</b>	<i>Normes</i>	Utilisation des collecteurs : <ul style="list-style-type: none"> <li>Allemande : VDI 2119 :1996</li> <li>Française : X 43-006 :1974</li> <li>Internationale : ISO 4222.2 :1989</li> </ul> Normes d'analyse françaises existantes (métaux lourds : NF EN ISO 1233, NF EN 1483, NF EN ISO 11885...)				
	<i>Interférences</i>	Réenvol de particules des sols.				
	<i>Limite de détection</i>	Durée d'exposition à adapter (surface d'exposition faible).				
<b>Fréquence</b>	1 fois / an	Jusqu'à 2 fois / an (temps d'exposition de 1 à 3 mois).				

3 – PROBLEMATIQUE								
<b>Contextes adaptés</b>	<i>Industriel</i>	+	<i>Urbain</i>	+	<i>Périurbain</i>	++	<i>Rural</i>	++
	Possibilité plus importante d'interférences avec d'autres sources en milieu industriel et urbain (réseau routier, zone industrielle, etc.).							

<b>Problématique</b>	<i>Etude de risques</i>	<i>Approche réglementaire</i>	<i>Suivi d'évolution</i> <sup>(1)</sup>
<i>Qualitative</i>			
<i>Quantitative</i>		X	X

<sup>(1)</sup> Existence de valeurs cibles pour les dioxines et furanes uniquement (Cf. guide INERIS)

<b>4 – MISE EN ŒUVRE</b>		
<b>Matériel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plaquettes pour la récupération des poussières, jauges de dépôt ou collecteurs de précipitation cylindriques de type « Owen », « Bergerhoff » ou similaire.</li> </ul>	
<b>Connaissances préalables à la mise en oeuvre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maîtrise technique du matériel utilisé et de la méthodologie.</li> <li>• Localisation des autres sources d'émissions : trafic, cheminées...</li> <li>• Conditions météorologiques (pluviométrie, direction et vitesse des vents, etc.).</li> <li>• Etude de dispersion si existante (pour la localisation des points de mesure).</li> </ul>	
<b>Qualification du personnel</b>	<i>Conception / Réalisation</i>	Expert
	<i>Echantillonnage / Analyse</i>	Technicien spécialisé
<b>Difficultés / Contraintes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Longues durées d'exposition indispensables afin d'atteindre le seuil de détection (durée des mesures de 1 à 3 mois).</li> <li>• Installation des jauges en zone dégagée.</li> <li>• Demande d'autorisation pour la mise en place chez un tiers.</li> </ul>	

<b>5 – DIVERS</b>						
<b>Restitution / Traitement des résultats</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localisation des points d'échantillonnage (+ photographies).</li> <li>• Fiches de prélèvement (traçabilité).</li> <li>• Tableaux de résultats et interprétation.</li> <li>• Cartographie et courbes d'isovaleurs.</li> <li>• Possibilité de représentation des résultats à l'aide d'un SIG.</li> <li>• Discussion sur la représentativité de la période de mesure.</li> </ul>					
<b>Maturité de la technique</b>	Mature (>10ans)	X	Récente (~5ans)		Innovante	
<b>Couplage avec d'autres méthodes</b>						
<b>Coût global</b>	Moyen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De 2 à 6 points de mesures.</li> <li>• Campagne annuelle de 6 points de mesure : ~15 k€</li> </ul>				
<b>Acceptation sociale</b>	Moyenne	La présence visible des jauges peut être source d'inquiétude chez les riverains.				
<b>Communicabilité des résultats</b>	Moyenne	Peu de valeurs guides auxquelles comparer les résultats.				

<b>6 – SYNTHÈSE</b>	
<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Méthode intégrante.</li> <li>• Peu sensible aux variations de conditions météorologiques à court terme (périodes d'intégration longues : quelques mois).</li> <li>• Systèmes de prélèvements reconnus (retours d'expérience et recul suffisants).</li> <li>• Peut permettre le calage des modèles de dispersion et de retombées.</li> <li>• Mise en œuvre simple et système autonome.</li> <li>• Représentatif des retombées au sol.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faible représentativité pour de courtes périodes d'intégration (variabilité élevée des résultats).</li> <li>• Impossibilité d'évaluer les émissions en phase gazeuse (fraction gazeuse et particules fines faiblement captées), majoritaires dans le cas de l'incinération des déchets dangereux.</li> <li>• Faible réactivité.</li> <li>• Absence de réglementations fixant des niveaux à ne pas dépasser pour les dépôts sur surfaces artificielles.</li> <li>• Dépôts sur surfaces artificielles non représentatifs des dépôts sur les produits destinés à l'alimentation humaine (surface d'échange plus faible que celle des végétaux).</li> <li>• Faible sensibilité.</li> <li>• Nécessite l'installation d'une station météorologique.</li> <li>• Peu discret.</li> <li>• Risque de vandalisme.</li> </ul>

 1<sup>ère</sup> partie : les méthodes de suivi

<b>7 – BIBLIOGRAPHIE</b>	
<b>Bibliographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durif M. Méthodes de surveillance des retombées des dioxines et furanes autour d'une UOIM. INERIS, décembre 2001, 24p.</li> </ul>

Titre	3	Surveillance	Dosage dans les sols
-------	---	--------------	----------------------

1 – SUIVI			
<b>Substances suivies</b>			
<i>Métaux lourds</i>	X		
<i>Dioxines / Furanes</i>	X		
<i>Poussières</i>			
<i>Autres substances inorganiques</i>			
<i>Autres composés organiques</i>	X	HAP, PCB, etc.	
<i>Indice global de qualité</i>			
<b>Milieu suivi</b>	Air		
<b>Substrat échantillonné</b>	Tranche superficielle des sols		

2 – PRINCIPE GENERAL						
<b>Principe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Echantillonnage de la tranche superficielle des sols dans la zone d'influence connue ou prévisible.</li> <li>Prélèvement d'échantillons hors zone d'influence pour caractériser la valeur de fond.</li> <li>Dosages chimiques des sols.</li> </ul>					
<b>Type de méthode</b>	<i>Comptage</i>		<i>Observation</i>		<i>Dosage</i>	X
	Analyses par des techniques spectrométriques, après mise en solution par attaque acide à l'eau régale (1/3 HNO <sub>3</sub> , 2/3 HCl).					
<b>Analyse</b>	<i>Normes</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Absence de normes de prélèvements de sols spécifiques pour ce type d'analyse.</li> <li>Normes d'analyse existantes ne couvrent pas toutes les substances recherchées (polluants organiques notamment).</li> </ul>				
	<i>Interférences</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fond géochimique.</li> <li>Historique du site (usage antérieur des sols dans la zone de suivi environnemental).</li> <li>Contaminations fréquentes par des transferts de sol, des brûlis, des précurseurs des dioxines.</li> <li>Hétérogénéité des sols.</li> <li>Utilisation spécifique (épandage de boues, usage de pesticides, etc.).</li> </ul>				
	<i>Limite de détection</i>					
<b>Fréquence</b>	1 fois / 3 à 5 ans	Ne convient pas au suivi annuel.				

3 – PROBLEMATIQUE								
<b>Contextes adaptés</b>	<i>Industriel</i>	0	<i>Urbain</i>	0	<i>Périurbain</i>	++	<i>Rural</i>	++
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sol plat, végétalisé, non soumis à l'érosion ou à des inondations, exempt d'épandages de boues ou de produits phytosanitaires.</li> <li>Nécessite une surface de sol suffisante pour que le prélèvement soit représentatif (&gt; 1m<sup>2</sup>).</li> </ul>							

<b>Problématique</b>	<i>Etude de risques</i>	<i>Approche réglementaire</i>	<i>Suivi d'évolution</i> <sup>(1)</sup>
<i>Qualitative</i>			
<i>Quantitative</i>	X	X	X

<sup>(1)</sup> Comparaison possible aux valeurs guides (VCI sol usage sensible et non sensible, VDSS) issues de l'annexe 5C du guide méthodologique :  
BRGM. Gestion des sites (potentiellement) pollués - version 2, BRGM Editions, mars 2000.  
Les VCI se basent sur le rapport suivant :  
Bonnard R., Hulot C., Leveque S. Méthode de calcul des Valeurs de Constat d'Impact dans les sols.  
INERIS, novembre 2001, 54p.

#### 4 – MISE EN ŒUVRE

<b>Matériel</b>	
<b>Connaissances préalables à la mise en œuvre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maîtrise technique de la méthodologie d'échantillonnage.</li> <li>• Localisation des autres sources d'émissions : trafic, cheminées...</li> <li>• Historique du site et de son environnement.</li> <li>• Usage actuel des sols.</li> <li>• Fond géochimique.</li> <li>• Conditions météorologiques (pluviométrie, direction et vitesse des vents, etc.).</li> <li>• Autorisation de prélèvements.</li> </ul>
<b>Qualification du personnel</b>	<i>Conception / Réalisation</i> Expert
	<i>Echantillonnage / Analyse</i> Technicien
<b>Difficultés / Contraintes</b>	Demande d'autorisation pour prélèvements chez un tiers.

1<sup>ère</sup> partie : les méthodes de suivi

#### 5 – DIVERS

<b>Restitution / Traitement des résultats</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localisation des points de prélèvement (+ photographies).</li> <li>• Fiches de prélèvement (traçabilité).</li> <li>• Tableaux de résultats et interprétation.</li> <li>• Cartographie et courbes d'isovaleurs.</li> <li>• Possibilité de représentation des résultats à l'aide d'un SIG.</li> <li>• Possibilité de modélisation des émissions atmosphériques et des dépôts.</li> </ul>					
<b>Maturité de la technique</b>	Mature (>10ans)	X	Récente (~5ans)		Innovante	
<b>Couplage avec d'autres méthodes</b>	Dosages dans les végétaux autochtones pour comparaison des transferts dans les sols et dans les plantes.					
<b>Coût global</b>	Faible	5 à 10 k€par campagne.				
<b>Acceptation sociale</b>	Bonne	Permet l'échantillonnage dans les propriétés et la comparaison des teneurs sur la zone d'étude.				
<b>Communicabilité des résultats</b>	Moyenne	Difficulté d'interprétation (nombreux facteurs de biais).				

<b>6 – SYNTHÈSE</b>	
<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilité de mise en œuvre (pas de matériel).</li> <li>• Mesure de l'impact cumulé dans le temps.</li> <li>• Comparaisons possibles aux valeurs de fond et aux concentrations issues des bases de données existantes.</li> <li>• Existence de valeurs guides pour les métaux et dioxines / furanes.</li> <li>• Discret.</li> <li>• Pas de risques de vandalisme.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ne peut être utilisée : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ pour suivre des variations à court terme,</li> <li>○ pour suivre des composés volatils, solubles et au faible potentiel d'adsorption.</li> </ul> </li> <li>• Nécessité de connaître l'historique du site et de son environnement sur plusieurs dizaines d'années.</li> <li>• Variabilité des résultats nécessitant un grand nombre de prélèvements (pour tendre à la représentativité).</li> <li>• Distorsions des profils selon le substrat.</li> <li>• Tributaire d'actions extérieures et d'autres contaminations (épandage de boues, etc.).</li> <li>• Nécessite de connaître le fond géochimique pour les composés recherchés.</li> </ul>

<b>7 – BIBLIOGRAPHIE</b>	
<b>Bibliographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durif M. Méthodes de surveillance des retombées des dioxines et furanes autour d'une UOIM. INERIS, décembre 2001, 24p.</li> <li>• Laperche V., Mossman J.R. (2004) – Protocole d'échantillonnage des sols pollués par du plomb. RP-52928-FR, 26p, 9 ill.</li> <li>• BRGM. Gestion des sites (potentiellement) pollués – version 2, BRGM Editions, mars 2004.</li> <li>• BRGM. Guide méthodologique pour l'analyse de sols pollués, BRGM Editions, 2001, 83p.</li> <li>• Bonnard R., Hulot C., Leveque S. Méthode de calcul des Valeurs de Constat d'Impact dans les sols. INERIS, novembre 2001, 54p.</li> </ul>

Titre	4	Surveillance	Dosages dans eaux souterraines
-------	---	--------------	--------------------------------

1 – SUIVI		
<b>Substances suivies</b>		
<i>Métaux lourds</i>	X	
<i>Dioxines / Furanes</i>	X	
<i>Poussières</i>		
<i>Autres substances inorganiques</i>	X	
<i>Autres composés organiques</i>	X	HAP, PCB, COV.
<i>Indice global de qualité</i>		
<b>Milieu suivi</b>	Eau	
<b>Substrat échantillonné</b>	Eaux de nappes phréatiques	

2 – PRINCIPE GENERAL						
<b>Principe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réalisation de piézomètres ou utilisation de piézomètres existants et de puits domestiques pour les prélèvements.</li> <li>Dosages chimiques des eaux de nappes phréatiques.</li> </ul>					
<b>Type de méthode</b>	<i>Comptage</i>		<i>Observation</i>		<i>Dosage</i>	X
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Micropolluants organiques : techniques chromatographiques et/ou spectrométriques.</li> <li>Métaux lourds : techniques spectrométriques.</li> </ul>					
<b>Analyse</b>	<i>Normes</i>	Existence de normes françaises de prélèvement et d'analyse.				
	<i>Interférences</i>					
	<i>Limite de détection</i>	Variable selon l'appareillage utilisé.				
<b>Fréquence</b>	1 fois / an	Variable selon les périodes de hautes et basses eaux.				

3 – PROBLEMATIQUE								
<b>Contextes adaptés</b>	<i>Industriel</i>	+	<i>Urbain</i>	+	<i>Périurbain</i>	++	<i>Rural</i>	++
	Présence d'une nappe phréatique vulnérable, exploitée ou potentiellement exploitable.							
<b>Problématique</b>	<i>Etude de risques</i>	<i>Approche réglementaire <sup>(1)</sup></i>			<i>Suivi d'évolution</i>			
<i>Qualitative</i>								
<i>Quantitative</i>	X	X			X			
<sup>(1)</sup> Cf. Arrêté ministériel du 20/09/2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets dangereux (article 30 : surveillance de la qualité des aquifères). Cf. Code de la santé publique, Annexe 13.1 (Limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine). Cf. Arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation.								

4 – MISE EN ŒUVRE	
<b>Matériel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Piézomètres ou puits.</li> <li>Pompes ou bailer.</li> <li>Laboratoire (matériel d'analyse).</li> </ul>

<b>Connaissances préalables à la mise en œuvre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maîtrise technique du matériel utilisé et de la méthodologie.</li> <li>• Localisation des autres sources.</li> <li>• Contexte hydrogéologique (sens d'écoulement).</li> <li>• Réseau existant (piézomètres, puits).</li> </ul>	
<b>Qualification du personnel</b>	<i>Conception / Réalisation</i>	Expert
	<i>Echantillonnage / Analyse</i>	Technicien spécialisé
<b>Difficultés / Contraintes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Milieu karstique, poreux ou fissuré.</li> <li>• Nappes à grandes profondeurs.</li> <li>• Accessibilité du point.</li> </ul>	

### 5 – DIVERS

<b>Restitution / Traitement des résultats</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carte d'écoulement local.</li> <li>• Localisation des points de prélèvement.</li> <li>• Fiches de prélèvement (traçabilité).</li> <li>• Tableaux de résultats et interprétation.</li> <li>• Si pertinent : cartographie et courbes d'isoteneurs.</li> </ul>				
<b>Maturité de la technique</b>	Mature (>10ans)	X	Récente (~5ans)		Innovante
<b>Couplage avec d'autres méthodes</b>					
<b>Coût global</b>	Onéreux	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investissement important pour le forage des piézomètres : ~ 5k€ pour 3 piézomètres à 10m.</li> <li>• ~ 5k€ par campagne sur 3 points.</li> </ul>			
<b>Acceptation sociale</b>	Bonne	Résultats intéressants pour la population riveraine.			
<b>Communicabilité des résultats</b>	Bonne				

### 6 – SYNTHÈSE

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peut permettre de valoriser les moyens déjà mis en place dans le cadre d'une approche réglementaire.</li> <li>• Prélèvements possibles dans les puits domestiques.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesures ponctuelles dans le temps (non intégrantes).</li> <li>• Nécessite de nombreuses valeurs pour dégager une tendance (pour tendre à la représentativité).</li> <li>• Faible représentativité des émissions dans l'air (diffusion difficile des dioxines/furanes dans les sols et jusqu'à la nappe ; 80% restent piégés dans les 15 premiers centimètres de la couche superficielle des sols).</li> <li>• Risque de vandalisme.</li> </ul>



<b>7 – BIBLIOGRAPHIE</b>	
<b>Bibliographie</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• BRGM. Guide méthodologique pour la mise en place et l'utilisation d'un réseau de forages permettant d'évaluer la qualité de l'eau souterraine au droit ou à proximité d'un site (potentiellement) pollué, 2001, 61 p.</li><li>• BRGM. Gestion des sites (potentiellement) pollués – version 2, BRGM Editions, mars 2000.</li><li>• Système d'Evaluation de la Qualité (SEQ) des eaux souterraines de l'Agence de l'eau.</li></ul>

Titre	5	Surveillance	Dosages des eaux de surfaces et sédiments
-------	---	--------------	---

1 – SUIVI		
<b>Substances suivies</b>		
<i>Métaux lourds</i>	X	
<i>Dioxines / furanes</i>	X	
<i>Poussières</i>		
<i>Autres substances inorganiques</i>	X	
<i>Autres composés organiques</i>	X	HAP, PCB, COV, etc.
<i>Indice global de qualité</i>		
<b>Milieu suivi</b>	Eau	
<b>Substrat échantillonné</b>	Eaux de milieux humides et sédiments	

2 – PRINCIPE GENERAL						
<b>Principe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Séparation phase aqueuse et phase solide (filtration, etc.).</li> <li>• Extraction éventuellement.</li> <li>• Dosages chimiques des eaux et des matières en suspension (ou sédiment le cas échéant).</li> </ul>					
<b>Type de méthode</b>	<i>Comptage</i>		<i>Observation</i>		<i>Dosage</i>	X
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Micropolluants organiques : techniques chromatographiques et/ou spectrométriques.</li> <li>• Métaux lourds : techniques spectrométriques.</li> </ul>					
<b>Analyse</b>	<i>Normes</i>	Prélèvement : ISO 5667.				
	<i>Interférences</i>					
	<i>Limite de détection</i>	Variable selon l'appareillage utilisé.				
<b>Fréquence</b>	1 fois / an minimum	Variable selon les périodes de hautes et basses eaux.				

3 – PROBLEMATIQUE								
<b>Contextes adaptés</b>	<i>Industriel</i>	+	<i>Urbain</i>	+	<i>Périurbain</i>	++	<i>Rural</i>	+
	Présence d'un milieu humide (rivière, mare, etc.).							
<b>Problématique</b>	<i>Etude de risques</i>		<i>Approche réglementaire</i>		<i>Suivi d'évolution</i> <sup>(1)</sup>			
<i>Qualitative</i>								
<i>Quantitative</i>	X		X		X			

<sup>(1)</sup> Cf. Arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation.

4 – MISE EN ŒUVRE	
<b>Matériel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flaconnage.</li> <li>• Echantillonneur de boue.</li> </ul>
<b>Connaissances préalables à la mise en œuvre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maîtrise technique de la méthodologie.</li> <li>• Localisation des autres sources d'émissions.</li> </ul>

<b>Qualification du personnel</b>	<i>Conception / Réalisation</i>	Expert
	<i>Echantillonnage / Analyse</i>	Technicien spécialisé
<b>Difficultés / Contraintes</b>		

### 5 – DIVERS

<b>Restitution / Traitement des résultats</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localisation des points de prélèvement (représentation cartographique).</li> <li>• Fiches descriptives (situation, description détaillée, photographies).</li> <li>• Fiches de prélèvement (traçabilité).</li> <li>• Tableaux de résultats et interprétation.</li> <li>• Discussion sur la représentativité de la période de mesure.</li> </ul>					
<b>Maturité de la technique</b>	Mature (>10ans)	X	Récente (~5ans)		Innovante	
<b>Couplage avec d'autres méthodes</b>						
<b>Coût global</b>	Faible	5 k€ pour 5 points de mesures.				
<b>Acceptation sociale</b>	Bonne	Résultats qui intéressent la population riveraine.				
<b>Communicabilité des résultats</b>	Moyenne	Difficultés d'interprétation.				

1<sup>ère</sup> partie : les méthodes de suivi

### 6 – SYNTHÈSE

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Discret, ne nécessite pas de matériel à demeure.</li> <li>• Pas de risques de vandalisme.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesures ponctuelles dans le temps (non intégrantes).</li> <li>• Nécessite de nombreuses mesures pour dégager une tendance (et tendre à la représentativité).</li> </ul>

### 7 – BIBLIOGRAPHIE

<b>Bibliographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BRGM. Gestion des sites (potentiellement) pollués – version 2, BRGM Editions, mars 2000.</li> </ul>
----------------------	--

Titre	6	Biosurveillance (bio-intégration)	Indice Biologique Global Normalisé (IBGN)
-------	---	--------------------------------------	--

1 – SUIVI	
<b>Substances suivies</b>	
<i>Métaux lourds</i>	
<i>Dioxines / furanes</i>	
<i>Poussières</i>	
<i>Autres substances inorganiques</i>	
<i>Composés organiques</i>	
<i>Indice global de qualité</i>	X Eau (IBGN, sensible à : métaux lourds, dioxines, furanes, HAP, PCB, COV)
<b>Milieu suivi</b>	Eau
<b>Substrat échantillonné</b>	Macrofaune

2 – PRINCIPE GENERAL							
<b>Principe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prélèvement d'échantillons de macrofaune sur habitats types.</li> <li>• Etude / observation de la composition faunistique.</li> <li>• Attribution d'une note de qualité (fonction du nombre d'individus et de la diversité d'espèces).</li> </ul>						
<b>Type de méthode</b>	<table border="1"> <tr> <td><i>Comptage</i></td> <td>X</td> <td><i>Observation</i></td> <td>X</td> <td><i>Dosage</i></td> <td></td> </tr> </table>	<i>Comptage</i>	X	<i>Observation</i>	X	<i>Dosage</i>	
<i>Comptage</i>	X	<i>Observation</i>	X	<i>Dosage</i>			
<b>Analyse</b>	<table border="1"> <tr> <td><i>Normes</i></td> <td>AFNOR NFT 90 350</td> </tr> <tr> <td><i>Interférences</i></td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conditions météorologiques (pluviométrie, température, etc.) et saison.</li> <li>• Influence du choix des placettes.</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td><i>Limite de détection</i></td> <td>Sans objet</td> </tr> </table>	<i>Normes</i>	AFNOR NFT 90 350	<i>Interférences</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conditions météorologiques (pluviométrie, température, etc.) et saison.</li> <li>• Influence du choix des placettes.</li> </ul>	<i>Limite de détection</i>	Sans objet
<i>Normes</i>	AFNOR NFT 90 350						
<i>Interférences</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conditions météorologiques (pluviométrie, température, etc.) et saison.</li> <li>• Influence du choix des placettes.</li> </ul>						
<i>Limite de détection</i>	Sans objet						
<b>Fréquence</b>	1 fois / an      Jusqu'à 2 campagnes par an.						

3 – PROBLEMATIQUE									
<b>Contextes adaptés</b>	<table border="1"> <tr> <td><i>Industriel</i></td> <td>+</td> <td><i>Urbain</i></td> <td>+</td> <td><i>Périurbain</i></td> <td>++</td> <td><i>Rural</i></td> <td>++</td> </tr> </table> Présence d'un milieu humide (rivière, etc.).	<i>Industriel</i>	+	<i>Urbain</i>	+	<i>Périurbain</i>	++	<i>Rural</i>	++
<i>Industriel</i>	+	<i>Urbain</i>	+	<i>Périurbain</i>	++	<i>Rural</i>	++		
<b>Problématique</b>	<table border="1"> <tr> <td><i>Etude de risques</i></td> <td><i>Approche réglementaire</i></td> <td><i>Suivi d'évolution</i> <sup>(1)</sup></td> </tr> </table>	<i>Etude de risques</i>	<i>Approche réglementaire</i>	<i>Suivi d'évolution</i> <sup>(1)</sup>					
<i>Etude de risques</i>	<i>Approche réglementaire</i>	<i>Suivi d'évolution</i> <sup>(1)</sup>							
<i>Qualitative</i>	X		X						
<i>Quantitative</i>									

<sup>(1)</sup> Mode d'interprétation : comparaison amont/aval, évolution dans le temps.

4 – MISE EN ŒUVRE	
<b>Matériel</b>	Matériel d'échantillonnage.
<b>Connaissances préalables à la mise en œuvre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maîtrise technique de la méthodologie.</li> <li>• Ecologie (faune et flore aquatique).</li> <li>• Hydrodynamique du milieu (choix des stations d'observation).</li> <li>• Localisation des autres sources d'émissions : trafic, cheminées...</li> <li>• Autorisation d'accès.</li> </ul>

<b>Qualification du personnel</b>	<i>Conception / Réalisation</i>	Ingénieur d'étude
	<i>Echantillonnage / Analyse</i>	Biologiste
<b>Difficultés / Contraintes</b>	Risques de noyade inhérents à l'intervention proche de l'eau.	

### 5 – DIVERS

<b>Restitution / Traitement des résultats</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localisation des points d'observation (+ photographies).</li> <li>• Fiches d'observation (traçabilité).</li> <li>• Interprétation.</li> </ul>					
<b>Maturité de la technique</b>	Mature (>10ans)	X	Récente (~5ans)		Innovante	
<b>Couplage avec d'autres méthodes</b>	Dosage eaux de surface et sédiments (méthode ponctuelle).					
<b>Coût global</b>	Faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ~ 600€par point (hors interprétation).</li> <li>• ~ 5000€par campagne.</li> </ul>				
<b>Acceptation sociale</b>	Bonne					
<b>Communicabilité des résultats</b>	Bonne	Résultats sous forme d'un indice (note de 0 à 20).				

### 6 – SYNTHÈSE

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fait apparaître les éventuels impacts sur l'environnement en les illustrant par leurs effets sur le monde vivant.</li> <li>• Méthode intégrante.</li> <li>• Pas d'installation de matériel sur le terrain.</li> <li>• Discret.</li> <li>• Pas de risques de vandalisme.</li> <li>• Permet d'identifier un impact même si la cause a disparu (mémoire de la qualité générale des eaux au minimum sur une saison).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nécessite des connaissances approfondies sur la faune et la flore aquatique.</li> <li>• Ne permet pas d'identifier avec certitude la nature de l'impact.</li> <li>• Peu représentatif en période de hautes eaux et basses températures.</li> <li>• Difficultés pour intégrer les variabilités saisonnières (cycles biologiques et évolution des conditions du milieu).</li> </ul>

### 7 – BIBLIOGRAPHIE

<b>Bibliographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Centre d'Expérimentation Pédagogique de Florac. IBGN, Indice Biologique Général Normalisé, une méthode de détermination de la qualité des eaux courantes, février 1996, 9p.</li> <li>• DIREN Lorraine. Evaluation de l'influence du choix des placettes de prélèvements sur l'indice IBGN, mai 2005, 122 p.</li> </ul>
----------------------	---

Titre	7	Biosurveillance : (bio-intégration)	Comptage lichens ou mousses autochtones
-------	---	--	--

1 – SUIVI		
<b>Substances suivies</b>		
<i>Métaux lourds</i>		
<i>Dioxines / Furanes</i>		
<i>Poussières</i>		
<i>Autres substances inorganiques</i>		
<i>Composés organiques</i>		
<i>Indice global de qualité</i>	X	Air (sensible à : SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> , etc.)
<b>Milieu suivi</b>	Air	

2 – PRINCIPE GENERAL					
<b>Principe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modification de flore en fonction de l'impact des émissions atmosphériques.</li> <li>• Comptage des spécimens des différentes catégories d'espèces (de plus ou moins grande polluo-résistance) au sein des communautés de lichens ou mousses. (Exemple pour les lichens : 30 relevés dans un rayon de 3km autour de l'usine et jusqu'à 60 relevés ou plus dans un rayon de 5km)</li> <li>• Utilisation d'échelles spécifiques (correspondant à l'observation de certaines espèces en particulier) en fonction du polluant recherché.</li> <li>• La proportion des espèces faiblement résistantes traduit la qualité de l'air (globale ou pour un polluant particulier). Le résultat est exprimé sous forme d'un indice.</li> </ul>				
<b>Type de méthode</b>	Comptage	X	Observation		Dosage
<b>Analyse</b>	<i>Normes</i>	Non connues.			
	<i>Interférences</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensibilité variable selon les espèces.</li> <li>• Confusion possible avec les effets d'autres stress biotiques ou abiotiques non dus à l'impact des émissions atmosphériques.</li> </ul>			
	<i>Limite de détection</i>	Sans objet.			
<b>Fréquence</b>	1 fois / 3 ans				

3 – PROBLEMATIQUE								
<b>Contextes adaptés</b>	<i>Industriel</i>	+	<i>Urbain</i>	+	<i>Périurbain</i>	++	<i>Rural</i>	++
	Présence suffisante de supports pour lichens ou mousses (arbres, roches, etc.).							
<b>Problématique</b>	<i>Etude de risques</i>		<i>Approche réglementaire</i>			<i>Suivi d'évolution</i>		
<i>Qualitative</i>						X		
<i>Quantitative</i>								

4 – MISE EN ŒUVRE	
<b>Matériel</b>	Sans objet.
<b>Connaissances préalables à la mise en œuvre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maîtrise technique de la méthodologie.</li> <li>• Connaissances des contextes favorables au développement des lichens ou mousses.</li> <li>• Localisation des autres sources d'émissions : trafic, cheminées...</li> <li>• Autorisation d'accès.</li> </ul>
<b>Qualification du personnel</b>	<i>Conception / Réalisation</i> Expert
	<i>Echantillonnage / Analyse</i> Expert
<b>Difficultés / Contraintes</b>	

5 – DIVERS					
<b>Restitution / Traitement des résultats</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localisation des points de prélèvement (+ photographies).</li> <li>• Fiches d'observation (traçabilité).</li> <li>• Carte d'impact isovaleur sur la qualité de l'air.</li> <li>• Possibilité de représentation des résultats à l'aide d'un SIG.</li> <li>• Possibilité de modélisation des émissions atmosphériques et des dépôts.</li> </ul>				
<b>Maturité de la technique</b>	Mature (>10ans)		Récente (~5ans)	X	Innovante
<b>Couplage avec d'autres méthodes</b>	Dosages des dioxines, furanes, métaux lourds, etc. dans les lichens ou mousses lorsque les observations montrent un impact.				
<b>Coût global</b>	Faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ~ 6 k€par campagne (30 relevés environ).</li> <li>• 50 à 100€par relevés.</li> </ul>			
<b>Acceptation sociale</b>	Bonne	Méthode bien perçue par les riverains.			
<b>Communicabilité des résultats</b>	Moyenne	Communication délicate pour une méthode innovante et basée sur la compétence de l'intervenant (à faire par le prestataire).			

6 – SYNTHÈSE	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fait apparaître les éventuels impacts sur l'environnement en les illustrant par leurs effets sur le monde vivant.</li> <li>• Méthode intégrante.</li> <li>• Grande surface de contact et d'échange avec l'air.</li> <li>• Rétention des retombées particulaires sèches et humides et des polluants gazeux.</li> <li>• Peut être représentatif de longue durée d'exposition (lichens et mousses : accumulateurs à moyen et long terme).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nécessite des connaissances lichéniques et/ou florales pointues.</li> <li>• Ne permet pas d'identifier avec certitude la nature de l'impact.</li> <li>• Temps de réponse à des émissions atmosphériques pouvant atteindre plusieurs mois (« inertie »).</li> <li>• Peu de retour d'expériences concernant l'utilisation des mousses comme bio-intégrateurs des émissions atmosphériques gazeuses.</li> <li>• L'échelle de l'indice n'est pas universelle ni réglementaire, la</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rapidité de mise en œuvre (nombre important de relevés par jour).</li> <li>• Bonne représentativité (importante surface couverte par les relevés).</li> <li>• Sensibilité élevée.</li> <li>• Discret.</li> <li>• Pas d'installation de matériel sur le terrain (substrat autochtone déjà exposé).</li> <li>• Pas de risques de vandalisme.</li> </ul>	<p>classification est mise en place par le prestataire.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modélisation : la corrélation avec les émissions atmosphériques et les dépôts n'est pas toujours évidente (la méthode intègre la totalité des polluants gazeux et particulaires).</li> <li>• Peu de prestataires (monopole).</li> </ul>
<p>N.B. : Le comptage peut être une méthode de surveillance complémentaire, car d'une part elle ne permet pas nécessairement de suivre les traceurs propres à l'incinération, et d'autre part elle peut constituer a priori une étape préalable à la mise en place du programme de surveillance (première campagne permettant de localiser les points de prélèvement).</p>	

7 – BIBLIOGRAPHIE	
<p><b>Bibliographie</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AAIR LICHENS. Documentation technique, 2000 – 2001, 7p.</li> <li>• Garrec J-P &amp; Van Haluwyn Chantal. Biosurveillance végétale de la qualité de l'air, 2002, 114p.</li> <li>• InVS. Stockage des déchets et santé publique. Septembre 2004, 348p.</li> <li>• Mortgat B. Surveillance de la qualité de l'air, La biosurveillance végétale. Environnement &amp; Technique. N° 243. Janvier/Février 2005, p 40-43.</li> </ul>



Titre	8	Biosurveillance : (bio-accumulation)	Dosage dans lichens & mousses autochtones
-------	---	---	--

1 – SUIVI		
<b>Substances suivies</b>		
<i>Métaux lourds</i>	X	A priori peu de limites sur le nombre de métaux dosables.
<i>Dioxines / Furanes</i>	X	
<i>Poussières</i>	X	Mesures de la forme particulaire des polluants et non de la masse totale des poussières retenues.
<i>Autres substances inorganiques</i>	X	N <sub>2</sub> , F, etc.
<i>Autres composés organiques</i>	X	HAP, PCB, etc.
<i>Indice global de qualité</i>		
<b>Milieu suivi</b>	Air	
<b>Substrat échantillonné</b>	Thalles de lichens ou mousses	

2 – PRINCIPE GENERAL						
<b>Principe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Choix d'une espèce adaptée de lichens ou mousses pour accumuler la substance souhaitée ; espèces présentant une couverture géographique suffisamment importante pour permettre des récoltes en quantités suffisantes.</li> <li>• Echantillonnage représentatif de la population de cette espèce.</li> <li>• Dosages chimiques des substances et comparaison entre sites de prélèvements.</li> </ul>					
<b>Type de méthode</b>	<i>Comptage</i>		<i>Observation</i>		<i>Dosage</i>	X
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Micropolluants organiques : techniques chromatographiques et/ou spectrométriques.</li> <li>• Métaux lourds : techniques spectrométriques.</li> </ul>					
<b>Analyse</b>	<i>Normes</i>	Non connues.				
	<i>Interférences</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Support des thalles (écorce).</li> <li>• Influence de l'âge des lichens sur les concentrations mesurées.</li> </ul>				
	<i>Incertitude</i>	Principalement au niveau de la technique de prélèvement des lichens ou mousses.				
<b>Fréquence</b>	1 fois / an					

3 – PROBLEMATIQUE								
<b>Contextes adaptés</b>	<i>Industriel</i>	+	<i>Urbain</i>	+	<i>Périurbain</i>	++	<i>Rural</i>	++
	Présence suffisante de supports pour lichens ou mousses (arbres, roches, etc.).							
<b>Problématique</b>	<i>Etude de risques</i>		<i>Approche réglementaire</i> <sup>(1)</sup>		<i>Suivi d'évolution</i> <sup>(2)</sup>			
<i>Qualitative</i>								
<i>Quantitative</i>							X	
<sup>(1)</sup> Pas de valeurs réglementaires dans les lichens et les mousses. <sup>(2)</sup> Comparaison possible : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mousses : avec la base de données ADEME des valeurs pour les métaux (cartographie).</li> <li>• Lichens et mousses : avec les valeurs guides des prestataires.</li> </ul>								

4 – MISE EN ŒUVRE	
<b>Matériel</b>	Matériel de prélèvement.
<b>Connaissances préalables à la mise en œuvre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maîtrise technique de la méthodologie.</li> <li>• Existence de lichens ou mousses.</li> <li>• Localisation des autres sources d'émissions : trafic, cheminées...</li> <li>• Autorisation d'accès et de prélèvements.</li> </ul>
<b>Qualification du personnel</b>	<i>Conception / Réalisation</i>   Expert
	<i>Echantillonnage / Analyse</i>   Expert
<b>Difficultés / Contraintes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Couverture spatiale et abondance de l'espèce choisie doivent être suffisamment importantes (représentativité de la zone étudiée).</li> <li>• Les espèces choisies doivent pouvoir être facilement collectées sans résidus de support (pour éviter les interférences, les écorces d'arbres par exemple possèdent également des propriétés bioaccumulatrices).</li> <li>• Préparation délicate des échantillons avant analyse.</li> <li>• Evaluation de la période d'exposition.</li> </ul>

5 – DIVERS					
<b>Restitution / Traitement des résultats</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localisation des points de prélèvement (+ photographies).</li> <li>• Fiches de prélèvement (traçabilité).</li> <li>• Tableaux de résultats et interprétation.</li> <li>• Carte d'isovaleur de concentrations dans les lichens et les mousses.</li> <li>• Possibilité de représentation des résultats à l'aide d'un SIG.</li> <li>• Possibilité de modélisation des émissions atmosphériques et des dépôts.</li> </ul>				
<b>Maturité de la technique</b>	Mature (>10ans)		Récente (~5ans)	X	Innovante
<b>Couplage avec d'autres méthodes</b>	Au préalable : biosurveillance par comptage des lichens ou mousses.				
<b>Coût global</b>	Moyen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 à 20 k€ pour le point 0 : 7 points environ.</li> <li>• 5 à 10 k€ pour la biosurveillance : 3 à 4 points environ.</li> </ul>			
<b>Acceptation sociale</b>	Bonne	Méthode bien perçue par les riverains (mais pas toujours bien comprise : « pourquoi les lichens ou les mousses et pas les salades ? »).			
<b>Communicabilité des résultats</b>	Moyenne	Communication délicate pour une méthode innovante et basée sur la compétence de l'intervenant (à faire par le prestataire).			

<b>6 – SYNTHÈSE</b>	
<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fait apparaître les éventuels impacts sur l'environnement en les illustrant par leurs effets sur le monde vivant.</li> <li>• Méthode intégrante.</li> <li>• Grande surface de contact et d'échange avec l'air.</li> <li>• Permet l'intégration des retombées sèches et humides des polluants.</li> <li>• Permet de suivre les polluants en phase gazeuse, les polluants particulaires (retenus par dépôts de surface ou par piégeage entre les filaments), et les polluants ioniques (adsorbés sur les parois).</li> <li>• Permet l'analyse des polluants inorganiques accumulés en petites quantités (faibles teneurs de base en éléments minéraux).</li> <li>• Rapide et facile à mettre en oeuvre.</li> <li>• Pas d'installation de matériel sur le terrain (substrat autochtone déjà exposé, pas de risques de vandalisme, discret).</li> <li>• Encouragé par l'Agence internationale de l'énergie atomique pour l'analyse des éléments-traces métalliques.</li> <li>• Mousses : existence d'une base de données ADEME de valeurs pour les métaux (cartographie).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nécessite des connaissances lichéniques et/ou florales pointues.</li> <li>• Taux de dépôt des émissions difficiles à estimer.</li> <li>• Concentrations en µg/g de masse sèche difficilement transposables en µg/m<sup>2</sup>.</li> <li>• Absence de valeurs réglementaires.</li> <li>• Temps d'exposition non connu.</li> <li>• Variabilité d'accumulation en fonction des espèces et des éléments étudiés.</li> <li>• Modélisation : la corrélation avec les émissions atmosphériques et les dépôts n'est pas toujours évidente (la méthode intègre la totalité des polluants gazeux et particulaires).</li> <li>• Peu de prestataires.</li> </ul>
<p>N.B. : Les mécanismes de fixation/absorption des polluants sur les lichens et les mousses sont différents. Il en résulte que leur réactivité et leur représentativité du niveau d'impact sont différentes : de quelques mois environ pour les mousses à plusieurs mois pour les lichens.</p>	

1<sup>ère</sup> partie : les méthodes de suivi

<b>7 – BIBLIOGRAPHIE</b>	
<b>Bibliographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AAIR LICHENS. Documentation technique, 2000 – 2001, 7p.</li> <li>• BIOMONITOR. Surveillance des retombées de dioxines/furannes et de métaux autour des installations d'incinération et de co-incinération (document commercial), 4p.</li> <li>• Garrec J-P &amp; Van Haluwyn Chantal. Biosurveillance végétale de la qualité de l'air, 2002, 114p.</li> <li>• InVS. Stockage des déchets et santé publique. Septembre 2004, 348p.</li> <li>• Mortgat B. Surveillance de la qualité de l'air, La biosurveillance végétale. Environnement &amp; Technique. N° 243. Janvier/Février 2005, p 40-43.</li> </ul>

Titre	9	Biosurveillance : (bio-accumulation)	Dosage dans lichens allochtones
-------	---	---	------------------------------------

1 – SUIVI			
<b>Substances suivies</b>			
<i>Métaux lourds</i>	X	A priori peu de limites sur le nombre de métaux dosables.	
<i>Dioxines / Furanes</i>	X		
<i>Poussières</i>	X	Mesures de la forme particulaire des polluants et non de la masse totale des poussières retenues.	
<i>Autres substances inorganiques</i>	X	N <sub>2</sub> , F, etc.	
<i>Autres composés organiques</i>	X	HAP, PCB, etc.	
<i>Indice global de qualité</i>			
<b>Milieu suivi</b>	Air		
<b>Substrat échantillonné</b>	Thalles de lichens (entiers ou parties)		

2 – PRINCIPE GENERAL						
<b>Principe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Choix d'une espèce adaptée de lichens pour accumuler les substances souhaitées.</li> <li>• Transplantations de lichens de cette espèce provenant d'un site de référence non contaminé.</li> <li>• Echantillonnage représentatif des thalles.</li> <li>• Dosages chimiques.</li> </ul>					
<b>Type de méthode</b>	<i>Comptage</i>		<i>Observation</i>		<i>Dosage</i>	X
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Micropolluants organiques : techniques chromatographiques et/ou spectrométriques.</li> <li>• Métaux lourds : techniques spectrométriques.</li> </ul>					
<b>Analyse</b>	<i>Normes</i>	Non connues.				
	<i>Interférences</i>					
	<i>Incertitude</i>	Principalement au niveau de la technique de prélèvement des lichens.				
<b>Fréquence</b>	1 fois / an					

3 – PROBLEMATIQUE								
<b>Contextes adaptés</b>	<i>Industriel</i>	++	<i>Urbain</i>	++	<i>Périurbain</i>	++	<i>Rural</i>	++
	Interférences possibles avec d'autres sources en milieu industriel et urbain.							
<b>Problématique</b>	<i>Etude de risques</i>		<i>Approche réglementaire</i> <sup>(1)</sup>		<i>Suivi d'évolution</i> <sup>(2)</sup>			
<i>Qualitative</i>								
<i>Quantitative</i>					X			
<sup>(1)</sup> Pas de valeurs réglementaires dans les lichens.								
<sup>(2)</sup> Comparaison possible avec les valeurs guides des prestataires.								

4 – MISE EN ŒUVRE	
<b>Matériel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Thalles de lichens prélevés avec leurs écorces supports.</li> <li>• Support en bois.</li> </ul>
<b>Connaissances préalables à la mise en œuvre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maîtrise technique de la méthodologie.</li> <li>• Condition d'adaptation des espèces.</li> <li>• Localisation des autres sources d'émissions : trafic, cheminées...</li> <li>• Autorisation d'accès.</li> </ul>

<b>Qualification du personnel</b>	<i>Conception / Réalisation</i>	Expert
	<i>Echantillonnage / Analyse</i>	Expert
<b>Difficultés / Contraintes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Risques de dégradations des lichens lors des transplantations.</li> <li>• Durée de vie des transplants limitée.</li> <li>• Préparation délicate des échantillons avant analyse.</li> </ul>	

### 5 – DIVERS

<b>Restitution / Traitement des résultats</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localisation des points de prélèvement (+ photographies).</li> <li>• Fiches de prélèvement (traçabilité).</li> <li>• Tableaux de concentrations de polluants par échantillon.</li> <li>• Carte isovaleur de concentrations dans les lichens.</li> <li>• Possibilité de représentation des résultats à l'aide d'un SIG.</li> <li>• Possibilité de modélisation des émissions atmosphériques et des dépôts.</li> </ul>					
<b>Maturité de la technique</b>	Mature (>10ans)		Récente (~5ans)		Innovante	X
<b>Couplage avec d'autres méthodes</b>						
<b>Coût global</b>	Faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coûts supplémentaires liés à la préparation des transplants.</li> <li>• ~ 10 k€ pour une campagne de 5 points.</li> </ul>				
<b>Acceptation sociale</b>	Bonne	Méthode bien perçue par les riverains (mais pas toujours bien comprise : « pourquoi les lichens ou les mousses et pas les salades ? »).				
<b>Communicabilité des résultats</b>	Moyenne	Communication délicate pour une méthode innovante et basée sur la compétence de l'intervenant (à faire par le prestataire).				

 1<sup>ère</sup> partie : les méthodes de suivi

### 6 – SYNTHÈSE

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fait apparaître les éventuels impacts sur l'environnement en les illustrant par leurs effets sur le monde vivant.</li> <li>• Permet d'utiliser les lichens sur un site dépourvu d'une flore lichénique adaptée.</li> <li>• Lichens originaires d'environnements propres, valeur de fond connue.</li> <li>• Grande surface de contact et d'échange avec l'air.</li> <li>• Rétention des retombées sèches et humides de polluants.</li> <li>• Permet de suivre les polluants en phase gazeuse, les polluants particulaires (retenus par dépôts de surface ou par piégeage entre les filaments), et les polluants ioniques (adsorbés sur les</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nécessite des connaissances lichéniques approfondies.</li> <li>• Durée de campagne plus longue qu'avec des lichens autochtones (temps d'exposition).</li> <li>• Concentrations accumulées peuvent être trop faibles pour être détecté si les temps d'exposition sont trop courts.</li> <li>• Concentrations en ng/kg de masse sèche difficilement transposables en ng/m<sup>2</sup>.</li> <li>• Temps de survie limité des transplants dans nouvel environnement.</li> <li>• Variabilité d'accumulation en fonction des espèces utilisées et des éléments étudiés.</li> <li>• Modélisation : la corrélation avec les</li> </ul>

<p>parois).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Contrôle du temps d'exposition.</li> <li>• Taux de dépôt des émissions calculés à partir du temps d'exposition.</li> <li>• Peu de matériel sur le terrain (facilité d'entretien).</li> <li>• Encouragé par l'Agence internationale de l'énergie atomique pour l'analyse des éléments-traces métalliques.</li> </ul>	<p>émissions atmosphériques et les dépôts n'est pas toujours évidente (la méthode intègre la totalité des polluants gazeux et particulaires).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Risque de vandalisme.</li> <li>• Pas de prestataires en France (études scientifiques uniquement)</li> </ul>
--	--

<b>7 – BIBLIOGRAPHIE</b>	
<b>Bibliographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AAIR LICHENS. Documentation technique, 2000 – 2001, 7p.</li> <li>• Garrec J-P &amp; Van Haluwyn Chantal. Biosurveillance végétale de la qualité de l'air, 2002, 114p.</li> <li>• InVS. Stockage des déchets et santé publique. Septembre 2004, 348p.</li> <li>• Mortgat B. Surveillance de la qualité de l'air, La biosurveillance végétale. Environnement &amp; Technique. N° 243. Janvier/Février 2005, p 40-43.</li> </ul>

Titre	10	Biosurveillance : (bio-accumulation)	Dosage dans mousses allochtones
-------	----	---	------------------------------------

1 – SUIVI		
<b>Substances suivies</b>		
<i>Métaux lourds</i>	X	A priori peu de limites sur le nombre de métaux dosables.
<i>Dioxines / Furanes</i>	X	
<i>Poussières</i>	X	Mesures de la forme particulaire des polluants et non de la masse totale des poussières retenues.
<i>Autres substances inorganiques</i>	X	N <sub>2</sub> , F, etc.
<i>Autres composés organiques</i>	X	HAP, PCB, etc.
<i>Indice global de qualité</i>		
<b>Milieu suivi</b>	Air	
<b>Substrat échantillonné</b>	Mousses entières ou fragments de croissance	

2 – PRINCIPE GENERAL			
<b>Principe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Choix d'une espèce adaptée de mousses pour accumuler les substances.</li> <li>• Installation de « moss bags » (sachets en nylon remplis de bryophytes).</li> <li>• Extraction et analyse par dosages chimiques.</li> </ul>		
<b>Type de méthode</b>	<i>Comptage</i>		<i>Observation</i>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Micropolluants organiques : techniques chromatographiques et/ou spectrométriques.</li> <li>• Métaux lourds : techniques spectrométriques.</li> </ul>		X
<b>Analyse</b>	<i>Normes</i>	Non connues	
	<i>Interférences</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adsorption possible des métaux lourds sur le nylon des moss bags.</li> <li>• Lessivage possible du nylon sur les bryophytes.</li> <li>• Pourrissement au sein des moss bags (si humidité trop importante) ou stress hydrique (si assèchement) possible, avec des conséquences sur l'accumulation normale de métaux lourds (des moss bags avec atmosphère humide constante existent).</li> </ul>	
<b>Fréquence</b>	1 fois / an		

3 – PROBLEMATIQUE								
<b>Contextes adaptés</b>	<i>Industriel</i>	++	<i>Urbain</i>	++	<i>Périurbain</i>	++	<i>Rural</i>	++
	<b>Problématique</b>	<i>Etude de risques</i>		<i>Approche réglementaire</i> <sup>(1)</sup>		<i>Suivi d'évolution</i> <sup>(2)</sup>		
<i>Qualitative</i>								
<i>Quantitative</i>							X	
<sup>(1)</sup> Pas de valeurs réglementaires les mousses.								
<sup>(2)</sup> Comparaison possible avec la base de données ADEME des valeurs pour les métaux (cartographie).								

4 – MISE EN ŒUVRE	
<b>Matériel</b>	« Moss bags » (sachet nylon + transplants provenant d'un milieu rural éloigné de tout impact potentiel).
<b>Connaissances préalables à la mise en œuvre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maîtrise technique de la méthodologie.</li> <li>• Connaissances approfondies des bryophytes.</li> <li>• Localisation des autres sources d'émissions : trafic, cheminées...</li> <li>• Autorisation d'accès.</li> </ul>
<b>Qualification du personnel</b>	<i>Conception / Réalisation</i> Expert
	<i>Echantillonnage / Analyse</i> Expert
<b>Difficultés / Contraintes</b>	Temps de survie limité des bryophytes dans les moss bags.

5 – DIVERS					
<b>Restitution / Traitement des résultats</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localisation des points de prélèvement (+ photographies).</li> <li>• Fiches de prélèvement (traçabilité).</li> <li>• Tableaux de résultats et interprétation.</li> <li>• Carte isoconcentrations dans les mousses.</li> <li>• Possibilité de représentation des résultats à l'aide d'un SIG.</li> <li>• Possibilité de modélisation des émissions atmosphériques et des dépôts.</li> </ul>				
<b>Maturité de la technique</b>	Mature (>10ans)		Récente (~5ans)		Innovante X
<b>Couplage avec d'autres méthodes</b>	Méthode appropriée à l'évaluation de la bio-accumulation de polluants organiques sous forme particulaire, donc couplage avec bio-accumulation par les végétaux supérieurs intéressants (méthode appropriée aux émissions organiques gazeuses).				
<b>Coût global</b>	Moyen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coûts supplémentaires liés à la préparation des moss bags.</li> <li>• ~ 10 k€ pour une campagne de 5 points.</li> </ul>			
<b>Acceptation sociale</b>	Bonne	Méthode bien perçue par les riverains (mais pas toujours bien comprise : « pourquoi les mousses et pas les salades ? »).			
<b>Communicabilité des résultats</b>	Moyenne	Communication délicate pour une méthode innovante et basée sur la compétence de l'intervenant (à faire par le prestataire).			

6 – SYNTHÈSE	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fait apparaître les éventuels impacts sur l'environnement en les illustrant par leurs effets sur le monde vivant.</li> <li>• Permet d'utiliser les mousses sur un site dépourvu d'une flore de bryophytes adaptée.</li> <li>• Bryophytes originaires d'environnements propres.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nécessite des connaissances pointues des bryophytes.</li> <li>• Durée de campagne plus longue qu'avec des mousses autochtones (temps de préparation des moss bags et temps d'exposition nécessaires).</li> <li>• Durées d'exposition longues pour que les concentrations accumulées soient</li> </ul>



<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contrôle du temps d'exposition.</li> <li>• Grande surface de contact et d'échange avec l'air (capacité de captation).</li> <li>• Rétention des retombées sèches et humides de polluants.</li> <li>• Permet de suivre les polluants en phase gazeuse (pénétrant la surface feuillée), les polluants particuliers (retenus par dépôts de surface ou par piégeage entre les parties feuillées), et les polluants ioniques (adsorbés sur les parois).</li> <li>• Mousses : faibles teneurs en éléments minéraux d'où la possibilité d'analyser des polluants inorganiques accumulés en petite quantité.</li> <li>• Moss bags peu ou pas soumis aux réenvols de particules déposées sur les sols (selon l'emplacement).</li> <li>• Installation de peu de matériel sur le terrain (facilité d'entretien).</li> <li>• Encouragé par l'Agence internationale de l'énergie atomique pour l'analyse des éléments-traces métalliques.</li> </ul>	<p>déTECTABLES.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilités d'interférences (adsorption sur le nylon des moss bags, lessivage du nylon sur les bryophytes...)</li> <li>• Variabilité d'accumulation en fonction des espèces utilisées et des éléments étudiés.</li> <li>• Existence d'un seuil de saturation.</li> <li>• Analyse nécessitant de grande quantité de biomasse (jusqu'à 30g sec).</li> <li>• Difficultés de conversion des résultats en concentrations dans l'air ambiant ou en flux de dépôts (concentrations en ng/kg de masse sèche difficilement transposables en ng/m<sup>3</sup>).</li> <li>• Modélisation : la corrélation avec les émissions atmosphériques et les dépôts n'est pas toujours évidente (la méthode intègre la totalité des polluants gazeux et particuliers).</li> <li>• Risque de vandalisme.</li> <li>• Peu de prestataires.</li> </ul>
---	---

7 – BIBLIOGRAPHIE	
<b>Bibliographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Garrec J-P &amp; Van Haluwyn Chantal. Biosurveillance végétale de la qualité de l'air, 2002, 114p.</li> <li>• InVS. Stockage des déchets et santé publique. Septembre 2004, 348p.</li> <li>• Mortgat B. Surveillance de la qualité de l'air, La biosurveillance végétale. Environnement &amp; Technique. N° 243. Janvier/Février 2005, p 40-43.</li> <li>• INERIS. Utilisation d'une technique de biosurveillance pour évaluer les retombées de métaux lourds, cas d'un site de seconde fusion du plomb, juin 2004, 65 p.</li> </ul>

Titre	11	Biosurveillance : (bio-accumulation)	Dosage dans végétaux supérieurs allochtones
-------	----	---	--

1 – SUIVI		
<b>Substances suivies</b>		
<i>Métaux lourds</i>	X	
<i>Dioxines / Furanes</i>	X	
<i>Poussières</i>	X	
<i>Autres substances inorganiques</i>	X	HCl, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> , HF, etc.
<i>Autres composés organiques</i>	X	HAP, PCB, etc.
<i>Indice global de qualité</i>		
<b>Milieu suivi</b>	Air	
<b>Substrat échantillonné</b>	Feuilles de végétaux	

2 – PRINCIPE GENERAL			
<b>Principe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Choix d'une espèce adaptée à l'accumulation de la substance recherchée.</li> <li>• Culture standardisée de plants de cette espèce : sous serre avant transplantation in-situ (espace dégagé sans écran).</li> <li>• Utilisation d'une station témoin suffisamment éloignée et avec conditions environnementales identiques.</li> <li>• Dosages chimiques : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ lavage des feuilles pour recueillir les polluants particuliers peu solubles,</li> <li>○ broyage des feuilles pour détermination des concentrations.</li> </ul> </li> </ul> <p>Végétaux supérieurs les plus couramment utilisés :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Graminées : ray-grass (<i>Lolium multiflorum</i>),</li> <li>○ Légumes feuilles : salades, choux,</li> <li>○ <i>Typha</i> ou massettes (métaux lourds, PCB, etc.).</li> </ul>		
<b>Type de méthode</b>	<i>Comptage</i>	<i>Observation</i>	<i>Dosage</i> X
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Micropolluants organiques : techniques chromatographiques et/ou spectrométriques.</li> <li>• Métaux lourds : techniques spectrométriques.</li> <li>• Poussières : observation microscopique des particules associée à l'analyse de leurs éléments constitutifs par microanalyse ou lessivage des feuilles, mise en solution et dosage.</li> </ul>		
<b>Analyse</b>	<i>Normes</i>	Existence de normes de prélèvement et d'analyse (végétaux consommables). Existence de normes de mise en place : - Pour graminées : VDI 3957-2, - Pour choux frisés : VDI 3957-3.	
	<i>Interférences</i>		
	<i>Incertitude</i>	Se situe principalement au niveau de la technique de prélèvement des échantillons.	
<b>Fréquence</b>	1 fois / an minimum	Selon les saisons.	

3 – PROBLEMATIQUE								
<b>Contextes adaptés</b>	<i>Industriel</i>	++	<i>Urbain</i>	++	<i>Périurbain</i>	++	<i>Rural</i>	++
<b>Problématique</b>	<i>Etude de risques</i>		<i>Approche réglementaire <sup>(1)</sup></i>			<i>Suivi d'évolution</i>		
<i>Qualitative</i>								
<i>Quantitative</i>	X		X			X		
<p><sup>(1)</sup> Comparaison possible aux valeurs réglementaires :</p> <p>Cf. règlement n°466/2001 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires et les règlements le modifiant : n°2375/2001, n°472/2002, n°563/2002, n°78/2005...</p> <p>Cf. directive 2002/32/CE sur les substances indésirables dans les aliments pour animaux et les directives le modifiant : 2003/57/CE, 2003/100/CE...</p>								

4 – MISE EN ŒUVRE		
<b>Matériel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Graines ou plants</li> <li>• Bac et substrat terreux.</li> <li>• Support plastique ou châssis métallique.</li> <li>• Bloc de polystyrène expansé percé d'un trou de la taille des pots d'exposition.</li> </ul>	
<b>Connaissances préalables à la mise en œuvre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maîtrise technique de la méthodologie.</li> <li>• Localisation des autres sources d'émissions : trafic, cheminées...</li> </ul>	
<b>Qualification du personnel</b>	<i>Conception / Réalisation</i>	Expert
	<i>Echantillonnage / Analyse</i>	Technicien spécialisé
<b>Difficultés / Contraintes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contraintes liées aux saisons, climats et cycles végétaux.</li> <li>• Nécessite intégration longue (sur plusieurs semaines ou mois) pour obtenir des concentrations détectables : de 1 à 2 mois en général.</li> <li>• Nécessite un échantillon témoin représentatif, hors influence.</li> <li>• Demande d'autorisation pour la mise en place chez un tiers.</li> </ul>	

5 – DIVERS					
<b>Restitution / Traitement des résultats</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localisation des points de prélèvement (+ photographies).</li> <li>• Fiches de prélèvement (traçabilité).</li> <li>• Tableaux de résultats et interprétation.</li> <li>• Carte isovaleur de concentrations dans les végétaux supérieurs.</li> <li>• Possibilité de représentation des résultats à l'aide d'un SIG.</li> <li>• Possibilité de modélisation des émissions atmosphériques et des dépôts.</li> </ul>				
<b>Maturité de la technique</b>	Mature (>10ans)	X	Récente (~5ans)		Innovante
<b>Couplage avec d'autres méthodes</b>	Méthode appropriée à l'évaluation de la bio-accumulation de polluants organiques sous forme gazeuse, donc couplage avec bio-accumulation par les mousses intéressantes (méthode appropriée aux émissions organiques particulières).				

<b>Coût global</b>	Moyen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 à 12 k€par campagne.</li> <li>• 20 à 40% plus cher que pour une campagne de mesures sur des végétaux supérieurs autochtones.</li> <li>• De 2 à 7 points (4 en moyenne).</li> </ul>
<b>Acceptation sociale</b>	Bonne	Méthode bien perçue par les riverains (mais pas toujours bien comprise si les végétaux choisis ne sont pas comestibles).
<b>Communicabilité des résultats</b>	Bonne	Difficulté de communication sur les résultats dans les substrats directement consommables en général (notamment les légumes) mais correspond également à une attente des riverains.

## 6 – SYNTHÈSE

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fait apparaître les éventuels impacts sur l'environnement en les illustrant par leurs effets sur le monde vivant.</li> <li>• Permet d'utiliser les végétaux supérieurs sur un site dépourvu d'une flore adaptée.</li> <li>• Cultures normalisées, existence de normes de mise en place : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Pour graminées : VDI 3957-2,</li> <li>○ Pour choux frisé : VDI 3957-3.</li> </ul> </li> <li>• Historique des végétaux connus (pas de contamination / exposition avant utilisation sur le site).</li> <li>• Contrôle du temps d'exposition.</li> <li>• Taux de dépôt des émissions calculés à partir du temps d'exposition.</li> <li>• Permet de suivre les polluants en phase gazeuse (solubilisés dans les feuilles) et les polluants particulaires (déposés sur les feuilles).</li> <li>• Bien appropriée à la bio-accumulation de polluants organiques sous forme gazeuse.</li> <li>• Permet de suivre les dépôts foliaires pour de faibles concentrations dans l'air (surface d'échange avec l'atmosphère importante).</li> <li>• Participe à l'évaluation du niveau d'exposition pour l'homme.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nécessite des connaissances florales pointues.</li> <li>• Nécessite l'entretien des plants.</li> <li>• Durées de campagne plus longues qu'avec des végétaux supérieurs autochtones (temps de culture et d'exposition nécessaire).</li> <li>• Variabilité de la réponse liée aux conditions météorologiques.</li> <li>• Variabilité d'accumulation en fonction des espèces utilisées et des éléments étudiés.</li> <li>• Surface d'échange mal connue évoluant dans le temps (croissance du végétal).</li> <li>• Concentrations en ng/kg de masse sèche difficilement transposables en ng/m<sup>2</sup>.</li> <li>• Analyse des dépôts foliaires de polluants particulaires insolubles limitée par le bruit de fond (dépôts telluriques naturels apportés par les vents sur les feuilles et par la présence éventuelle d'éléments récrétés à partir du tissu foliaire).</li> <li>• Comparaisons inter-espèces et comparaisons au flux de dépôts peu significatives.</li> <li>• Calage des émissions atmosphériques et des dépôts peut être difficile (difficulté d'évaluer la surface exposée, modèle de transfert complexe...).</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas de valeurs guides réglementaires.</li> <li>• Risque de vandalisme.</li> </ul>
--	--

<b>7 – BIBLIOGRAPHIE</b>	
<b>Bibliographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Garrec J-P &amp; Van Haluwyn Chantal. Biosurveillance végétale de la qualité de l'air, 2002, 114p.</li> <li>• Durif M. Méthodes de surveillance des retombées des dioxines et furanes autour d'une UOIM. INERIS, décembre 2001, 24p.</li> <li>• InVS. Stockage des déchets et santé publique. Septembre 2004, 348p.</li> <li>• Mortgat B. Surveillance de la qualité de l'air, La biosurveillance végétale. Environnement &amp; Technique. N° 243. Janvier/Février 2005, p 40-43.</li> </ul>

Titre	12	Biosurveillance : (bio-accumulation)	Dosage dans végétaux supérieurs autochtones
-------	----	---	--

1 – SUIVI		
<b>Substances suivies</b>		
<i>Métaux lourds</i>	X	
<i>Dioxines/ Furanes</i>	X	
<i>Poussières</i>	X	
<i>Autres substances inorganiques</i>	X	HCl, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> , HF, etc.
<i>Autres composés organiques</i>	X	HAP, PCB, etc.
<i>Indice global de qualité</i>		
<b>Milieu suivi</b>	Air	
<b>Substrat échantillonné</b>	Feuilles de végétaux	

2 – PRINCIPE GENERAL			
<b>Principe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Choix d'une espèce adaptée à l'accumulation de la substance recherchée présente sur le terrain.</li> <li>• Dosages chimiques : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ lavage des feuilles pour recueillir les polluants particuliers peu solubles,</li> <li>○ broyage et séchage des feuilles pour détermination des teneurs.</li> </ul> </li> </ul> <p>Végétaux supérieurs utilisables :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Graminées : ray-grass (<i>Lolium multiflorum</i>),</li> <li>○ Légumes feuilles : salades, choux,</li> <li>○ Légumes et fruits,</li> <li>○ Aiguilles de pins,</li> <li>○ <i>Typha</i> ou massettes (métaux lourds, PCB, etc.),</li> <li>○ Feuillage des arbres caducifoliés (Pb, Cd, Zn, Cu, etc.),</li> <li>○ Aiguilles de pins,</li> <li>○ Champignons supérieurs comestibles (Pb, Cd, Hg).</li> <li>○ Plantes à bulbes et à tubercules : carotte, arachide, etc. (bio-accumulateurs des métaux lourds des sols contaminés).</li> </ul>		
<b>Type de méthode</b>	<i>Comptage</i>	<i>Observation</i>	<i>Dosage</i> X
	Micropolluants organiques : techniques chromatographiques et/ou spectrométriques. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Métaux lourds : techniques spectrométriques.</li> <li>• Particules : observation microscopique des particules associée à l'analyse de leurs éléments constitutifs par microanalyse.</li> </ul>		
<b>Analyse</b>	<i>Normes</i>	Existence de normes de prélèvement et d'analyse (végétaux consommables).	
	<i>Interférences</i>	Contamination possible à partir de projections de particules de sols contaminés et par absorption racinaire.	
	<i>Incertitude</i>	Se situe principalement au niveau de la technique de prélèvement des échantillons.	
<b>Fréquence</b>	1 fois / an	Selon les saisons, les cultures.	

3 – PROBLEMATIQUE								
<b>Contextes adaptés</b>	<i>Industriel</i>	0	<i>Urbain</i>	+	<i>Périurbain</i>	++	<i>Rural</i>	++
	Présence sur le terrain d'une espèce adaptée à l'accumulation des substances recherchées avec couverture géographique et densité suffisantes (représentativité).							

<b>Problématique</b>	<i>Etude de risques</i> <sup>(1)</sup>	<i>Approche réglementaire</i> <sup>(2)</sup>	<i>Suivi d'évolution</i>
<i>Qualitative</i>			
<i>Quantitative</i>	X	X	X

<sup>(1)</sup> Analyse sur végétaux supérieurs comestibles.  
<sup>(2)</sup> Comparaison aux valeurs réglementaires :  
Cf. règlement n°466/2001 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires et les règlements le modifiant : n°2375/2001, n°472/2002, n°563/2002, n°78/2005...  
Cf. directive 2002/32/CE sur les substances indésirables dans les aliments pour animaux et les directives le modifiant : 2003/57/CE, 2003/100/CE...

#### 4 – MISE EN ŒUVRE

<b>Matériel</b>			
<b>Connaissances préalables à la mise en œuvre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maîtrise technique de la méthodologie.</li> <li>• Localisation des autres sources d'émissions : trafic, cheminées...</li> <li>• Autorisation d'accès et de prélèvement chez les riverains (potagers).</li> <li>• Répartition floristique.</li> <li>• Conditions météorologiques.</li> </ul>		
<b>Qualification du personnel</b>	<i>Conception / Réalisation</i>	Expert	
	<i>Echantillonnage / Analyse</i>	Expert ou technicien spécialisé	
<b>Difficultés / Contraintes</b>	Contraintes liées aux saisons, climats et cycles végétaux.		

#### 5 – DIVERS

<b>Restitution / Traitement des résultats</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localisation des points de prélèvement (+ photographies).</li> <li>• Fiches de prélèvement (traçabilité).</li> <li>• Tableaux de concentrations de polluants par échantillon.</li> <li>• Carte isovaleur de concentrations dans les végétaux supérieurs.</li> <li>• Possibilité de représentation des résultats à l'aide d'un SIG.</li> <li>• Possibilité de modélisation des émissions atmosphériques et des dépôts.</li> </ul>				
<b>Maturité de la technique</b>	Mature (>10ans)	X	Récente (~5ans)		Innovante
<b>Couplage avec d'autres méthodes</b>	Méthode appropriée à la bio-accumulation de polluants organiques sous forme gazeuse, donc couplage avec bio-accumulation par les mousses intéressant (méthode appropriée aux émissions organiques particulières).				
<b>Coût global</b>	Moyen	8 à 10 k€ pour 5 points.			
<b>Acceptation sociale</b>	Bonne	Méthode bien perçue et comprise par les riverains, en particulier si les végétaux choisis sont comestibles.			
<b>Communicabilité des résultats</b>	Bonne	Difficulté de communication sur les résultats dans les substrats directement consommables en général (notamment les légumes) mais correspond également à une attente des riverains.			

#### 6 – SYNTHÈSE

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fait apparaître les éventuels impacts sur l'environnement en les illustrant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maîtrise de la chaîne de prélèvement et analyse car les interférences sont</li> </ul>

<p>par leurs effets sur le monde vivant.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permet de suivre les polluants en phase gazeuse (solubilisés dans les feuilles) et les polluants particulaires (déposés sur les feuilles).</li> <li>• Permet de suivre les dépôts foliaires pour de faibles concentrations dans l'air (surface d'échange avec l'atmosphère importante).</li> <li>• Bien appropriée à la bio-accumulation de polluants organiques sous forme gazeuse.</li> <li>• Mesures pouvant être effectuées dans des produits destinés à l'alimentation humaine ou animale (concentrations directement comparables aux valeurs guides réglementaires et aux taux autorisés dans les normes de commercialisation).</li> <li>• Participe à l'évaluation du niveau d'exposition pour l'homme dans le cadre d'évaluation de risques.</li> <li>• Pas de matériel (pas de risques de vandalisme).</li> <li>• Discret.</li> <li>• Existence de valeurs guides pour quelques composés.</li> </ul>	<p>nombreuses.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Variabilité de la réponse liée aux conditions météorologiques.</li> <li>• Variabilité d'accumulation en fonction des espèces utilisées et des éléments étudiés.</li> <li>• Peu de contrôle du temps d'exposition.</li> <li>• Taux de dépôt des substances difficiles à estimer.</li> <li>• Surface d'échange mal connue évoluant dans le temps (croissance du végétal).</li> <li>• Difficultés pour évaluer les taux de dépôts.</li> <li>• Concentrations en ng/kg de masse sèche difficilement transposables en ng/m<sup>2</sup>.</li> <li>• Analyse des dépôts foliaires de polluants particulaires insolubles limitée par le bruit de fond (dépôts telluriques naturels apportés par les vents sur les feuilles et par la présence éventuelle d'éléments récrétés à partir du tissu foliaire).</li> <li>• Comparaisons inter-espèces et comparaisons au flux de dépôts peu significatives.</li> <li>• Calage des émissions atmosphériques et des dépôts peut être difficile (difficulté d'évaluer la surface exposée, modèle de transfert complexe...).</li> <li>• Pas de valeurs cibles réglementaires pour tous les métaux lourds.</li> <li>• Interférences possibles par projection de sol, par réenvol de poussières...</li> </ul>
---	---

7 – BIBLIOGRAPHIE	
<b>Bibliographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durif M. Méthodes de surveillance des retombées des dioxines et furanes autour d'une UOIM. INERIS, décembre 2001, 24p.</li> <li>• Garrec J-P &amp; Van Haluwyn Chantal. Biosurveillance végétale de la qualité de l'air, 2002, 114p.</li> <li>• InVS. Stockage des déchets et santé publique. Septembre 2004, 348p.</li> <li>• Mortgat B. Surveillance de la qualité de l'air, La biosurveillance végétale. Environnement &amp; Technique. N° 243. Janvier/Février 2005, p 40-43.</li> </ul>



Titre	13	Biosurveillance : (bio-indication)	Diagnostic des végétaux supérieurs allochtones
-------	----	---------------------------------------	---

1 – SUIVI		
<b>Substances suivies</b>		
<i>Métaux lourds</i>	X	
<i>Dioxines / Furanes</i>		
<i>Poussières</i>		
<i>Autres substances inorganiques</i>	X	O <sub>3</sub> , etc.
<i>Autres composés organiques</i>	X	Hydrocarbures, etc.
<i>Indice global de qualité</i>		
<b>Milieu suivi</b>	Air	

2 – PRINCIPE GENERAL							
<b>Principe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Choix d'espèces adaptées de végétaux supérieurs.</li> <li>• Culture standardisée de plants exposés aux émissions de l'installation ; 2 variétés de plants : l'une sensible au polluant, l'autre résistant (témoin permettant de s'assurer que les effets observés sont dus uniquement aux émissions atmosphérique et non à des virus ou champignons).</li> <li>• Observation des nécroses foliaires et des modifications morphologiques sur les plants sensibles.</li> <li>• Comparaison des résultats à des « planches de référence » (correspondance entre pourcentage de la feuille touché par la nécrose et concentration du polluant recherché dans l'air).</li> </ul>						
<b>Type de méthode</b>	<table border="1"> <tr> <td><i>Comptage</i></td> <td></td> <td><i>Observation</i></td> <td>X</td> <td><i>Dosage</i></td> <td></td> </tr> </table>	<i>Comptage</i>		<i>Observation</i>	X	<i>Dosage</i>	
<i>Comptage</i>		<i>Observation</i>	X	<i>Dosage</i>			
<b>Analyse</b>	<table border="1"> <tr> <td><i>Normes</i></td> <td>Non connues.</td> </tr> <tr> <td><i>Interférences</i></td> <td>Confusion possible avec les effets d'autres stress biotiques ou abiotiques non dus aux émissions atmosphériques.</td> </tr> <tr> <td><i>Limite de détection</i></td> <td>Sans objet.</td> </tr> </table>	<i>Normes</i>	Non connues.	<i>Interférences</i>	Confusion possible avec les effets d'autres stress biotiques ou abiotiques non dus aux émissions atmosphériques.	<i>Limite de détection</i>	Sans objet.
<i>Normes</i>	Non connues.						
<i>Interférences</i>	Confusion possible avec les effets d'autres stress biotiques ou abiotiques non dus aux émissions atmosphériques.						
<i>Limite de détection</i>	Sans objet.						
<b>Fréquence</b>	1 fois / an						

3 – PROBLEMATIQUE								
<b>Contextes adaptés</b>	<i>Industriel</i>	++	<i>Urbain</i>	++	<i>Périurbain</i>	++	<i>Rural</i>	++
<b>Problématique</b>	<i>Etude de risques</i>		<i>Approche réglementaire</i>		<i>Suivi d'évolution</i>			
<i>Qualitative</i>					X			
<i>Quantitative</i>								

4 – MISE EN ŒUVRE	
<b>Matériel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Graines ou plants</li> <li>• Bac et substrat terreux</li> <li>• Support plastique ou châssis métallique</li> </ul>

<b>Connaissances préalables à la mise en œuvre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maîtrise technique de la méthodologie.</li> <li>• Connaissances approfondies des caractéristiques et du comportement de l'espèce plantée.</li> <li>• Localisation des autres sources d'émissions.</li> </ul>	
<b>Qualification du personnel</b>	<i>Conception / Réalisation</i>	Expert
	<i>Echantillonnage / Analyse</i>	Expert
<b>Difficultés / Contraintes</b>	Contraintes liées aux saisons, climats et cycles végétaux.	

### 5 – DIVERS

<b>Restitution / Traitement des résultats</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localisation des points de prélèvement (+ photographies).</li> <li>• Fiches d'observation (traçabilité).</li> <li>• Possibilité de représentation des résultats à l'aide d'un SIG.</li> <li>• Possibilité de modélisation des émissions atmosphériques et des dépôts.</li> </ul>					
<b>Maturité de la technique</b>	Mature (>10ans)	X	Récente (~5ans)		Innovante	
<b>Couplage avec d'autres méthodes</b>						
<b>Coût global</b>	Moyen	~10 k€par campagne.				
<b>Acceptation sociale</b>	Bonne	Méthode bien perçue par les riverains (mais pas toujours bien comprise si les végétaux choisis ne sont pas comestibles)				
<b>Communicabilité des résultats</b>	Moyenne					

1<sup>ère</sup> partie : les méthodes de suivi

### 6 – SYNTHÈSE

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fait apparaître les éventuels impacts sur l'environnement en les illustrant par leurs effets sur le monde vivant.</li> <li>• Permet d'utiliser les végétaux supérieurs sur un site dépourvu d'une flore adaptée.</li> <li>• Cultures normalisées.</li> <li>• Contrôle du temps d'exposition.</li> <li>• Surface d'échange avec l'atmosphère importante.</li> <li>• Bien appropriée à la bio-accumulation de polluants organiques sous forme gazeuse.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nécessite des connaissances florales approfondies.</li> <li>• Durées de campagne plus longues qu'avec des végétaux supérieurs autochtones (temps de culture et d'exposition).</li> <li>• Nécessite l'entretien des plants.</li> <li>• Variabilité de la réponse liée aux conditions météorologiques.</li> <li>• Variabilité d'accumulation en fonction des espèces utilisées et des éléments étudiés.</li> <li>• Surface d'échange mal maîtrisée évoluant dans le temps (croissance).</li> <li>• Comparaisons inter-espèces et comparaisons au flux de dépôts peu significatives.</li> <li>• Calage des émissions atmosphériques et des dépôts peut être difficile</li> </ul>

	<p>(difficulté d'évaluer la surface exposée, modèle de transfert complexe...).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Risque de vandalisme.</li> <li>• Peu de prestataires.</li> </ul>
--	--

<b>7 – BIBLIOGRAPHIE</b>	
<b>Bibliographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durif M. Méthodes de surveillance des retombées des dioxines et furanes autour d'une UOIM. INERIS, décembre 2001, 24p.</li> <li>• Garrec J-P &amp; Van Haluwyn Chantal. Biosurveillance végétale de la qualité de l'air, 2002, 114p.</li> <li>• InVS. Stockage des déchets et santé publique. Septembre 2004, 348p.</li> <li>• Mortgat B. Surveillance de la qualité de l'air, La biosurveillance végétale. Environnement &amp; Technique. N° 243. Janvier/Février 2005, p 40-43.</li> </ul>

Titre	14	Biosurveillance : (bio-accumulation)	Dosage dans le lait
-------	----	---	---------------------

1 – SUIVI		
<b>Substances suivies</b>		
<i>Métaux lourds</i>	X	
<i>Dioxines / Furanes</i>	X	
<i>Poussières</i>		
<i>Autres substances inorganiques</i>		
<i>Autres composés organiques</i>	X	PCB, etc.
<i>Indice global de qualité</i>		
<b>Milieu suivi</b>	Air	
<b>Substrat échantillonné</b>	Lait	

2 – PRINCIPE GENERAL						
<b>Principe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Echantillonnage du lait sur une exploitation dans la zone d'impact.</li> <li>Dosages chimiques dans le lait.</li> </ul>					
<b>Type de</b>	<i>Comptage</i>		<i>Observation</i>		<i>Dosage</i>	X
<b>Analyse</b>	<i>Normes</i>	Existantes.				
	<i>Interférences</i>	Âge et race des vaches laitières, pâturage local, foin.				
	<i>Limite de détection</i>					
<b>Fréquence</b>	1 fois / an	Jusqu'à 2 fois par an selon les contextes.				

3 – PROBLEMATIQUE								
<b>Contextes adaptés</b>	<i>Industriel</i>	0	<i>Urbain</i>	0	<i>Périurbain</i>	+	<i>Rural</i>	++
	Site présentant des prairies et des vaches laitières à proximité dans la zone d'impact.							
<b>Problématique</b>	<i>Etude de risques</i>		<i>Approche réglementaire</i>		<i>Suivi d'évolution</i>			
<i>Qualitative</i>								
<i>Quantitative</i>	X		X <sup>(1)</sup>					
<sup>(1)</sup> Comparaison aux valeurs réglementaires de dioxines et furanes dans le lait.								

4 – MISE EN ŒUVRE		
<b>Matériel</b>		
<b>Connaissances préalables à la mise en œuvre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Localisation des autres sources d'émissions : trafic, cheminées...</li> <li>Autorisation de prélèvement.</li> <li>Traçabilité, zone de pâturage (alimentation).</li> </ul>	
<b>Qualification du personnel</b>	<i>Conception / Réalisation</i>	Expert
	<i>Echantillonnage / Analyse</i>	Technicien
<b>Difficultés / Contraintes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Relations avec exploitants et riverains.</li> <li>Représentativité des pâtures.</li> <li>Passage et accumulation dans la chaîne alimentaire.</li> </ul>	

5 – DIVERS						
<b>Restitution / Traitement des résultats</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fiches de prélèvements (traçabilité).</li> <li>Tableaux de résultats et interprétation.</li> <li>Zone de pâturage (carte) ou origine du fourrage.</li> </ul>					
<b>Maturité de la technique</b>	Mature (>10ans)	X	Récente (~5ans)		Innovante	
<b>Couplage avec d'autres méthodes</b>						
<b>Coût global</b>	Moyen	8 à 10 k€ pour 5 points.				
<b>Acceptation sociale</b>	Bonne	Méthode bien comprise, résultats concrets pour les riverains.				
<b>Communicabilité des résultats</b>	Bonne	Difficulté de communication sur les résultats dans les substrats directement consommables en général (notamment le lait) mais correspond également à une attente des riverains.				

6 – SYNTHÈSE	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>Fait apparaître les éventuels impacts sur l'environnement en les illustrant par leurs effets sur le monde vivant.</li> <li>Existence de valeurs réglementaires « exclusives », au-delà desquelles le lait est considéré comme impropre à la consommation.</li> <li>Méthode intégrante.</li> <li>Permet d'évaluer les doses d'exposition pour l'homme.</li> <li>Adapté à une attente de la communauté.</li> <li>Peu de matériel nécessaire.</li> <li>Pas de risques de vandalisme.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nécessite la présence de prairies et de vaches laitières dans la zone d'influence et la maîtrise de l'origine du fourrage.</li> <li>Pour que les mesures dans le lait des dioxines et furanes puissent être un outil de surveillance d'une installation, il faudrait avoir à disposition une vache qui paîtrait exclusivement dans des champs sous le vent de l'installation et une vache équivalente (race, âge, etc.) dans une zone de référence, de manière à pouvoir comparer entre elles les teneurs en dioxines et furanes mesurées dans les laits respectifs.</li> <li>Maîtrise délicate des conditions expérimentales sur le long terme (alimentation de la vache, etc.).</li> <li>Problème de représentativité des pâtures et de la garantie de l'origine et de la composition des aliments.</li> <li>Problème de reproductibilité dans le temps.</li> <li>Pas de valeurs cibles réglementaires pour tous les métaux lourds.</li> <li>Résultats exprimés en pg / g de graisse (difficulté de transposition en résultats par unité de temps ou de surface).</li> </ul>

<b>7 – BIBLIOGRAPHIE</b>	
<b>Bibliographie</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Durif M. Méthodes de surveillance des retombées des dioxines et furanes autour d'une UOIM. INERIS, décembre 2001, 24p.</li></ul>

Titre	15	Biosurveillance : (bio-accumulation)	Dosage sur abeilles et produits de la ruche
-------	----	---	--

1 – SUIVI			
<b>Substances suivies</b>			
<i>Métaux lourds</i>	X		
<i>Dioxines / Furanes</i>	X		
<i>Poussières</i>	X		
<i>Autres substances inorganiques</i>			
<i>Autres composés organiques</i>	X	PCB, HAP, etc.	
<i>Indice global de qualité</i>			
<b>Milieu suivi</b>	Air		
<b>Substrat échantillonné</b>	Abeilles, pollen, cire, miel, propolis		

2 – PRINCIPE GENERAL			
<b>Principe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilisation des ouvrières butineuses comme échantillonneurs dans l'environnement exploré (rayon d'action de 3 à 6 km autour de leur ruche ; 3 km en moyenne).</li> <li>Analyses chimiques dans : le pollen, le miel, le corps d'abeilles mortes (corps entier ou surface extérieure), le corps de butineuse vivante, la cire et le propolis.</li> </ul>		
<b>Type de</b>	<i>Comptage</i>		<i>Observation</i>
<b>Analyse</b>	<i>Normes</i>	Non connues.	
	<i>Interférences</i>		
	<i>Limite de détection</i>		
<b>Fréquence</b>	1 fois / an		

3 – PROBLEMATIQUE								
<b>Contextes adaptés</b>	<i>Industriel</i>	++	<i>Urbain</i>	++	<i>Périurbain</i>	+	<i>Rural</i>	+
	Conditions climatiques adaptées (température suffisante, pluviométrie, etc.).							
<b>Problématique</b>	<i>Etude de risques</i>		<i>Approche réglementaire</i>		<i>Suivi d'évolution</i>			
<i>Qualitative</i>								
<i>Quantitative</i>					X			

4 – MISE EN ŒUVRE	
<b>Matériel</b>	Ruches adaptées, munies de capteurs et de trappes (pour permettre de piéger les corps des abeilles mortes rejetés de la ruche par exemple).
<b>Connaissances préalables à la mise en œuvre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maîtrise technique du matériel utilisé et de la méthodologie.</li> <li>Zone de butinage.</li> <li>Localisation des autres sources d'émissions : trafic, cheminées...</li> </ul>

<b>Qualification du personnel</b>	<i>Conception / Réalisation</i>	Expert
	<i>Echantillonnage / Analyse</i>	Technicien
<b>Difficultés / Contraintes</b>	Méthode très fortement tributaire des conditions climatiques (température, pluviométrie, etc.).	

### 5 – DIVERS

<b>Restitution / Traitement des résultats</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tableaux de résultats et interprétation.</li> <li>Zone de butinage des abeilles.</li> </ul>					
<b>Maturité de la technique</b>	Mature (>10ans)		Récente (~5ans)		Innovante	X
<b>Couplage avec d'autres méthodes</b>						
<b>Coût global</b>	Elevé	<ul style="list-style-type: none"> <li>Variable selon l'équipement à mettre en place dans le rucher expérimental.</li> <li>~ 50 k€ pour un suivi de 3 mois sur 3 sites.</li> </ul>				
<b>Acceptation sociale</b>	Moyenne	Risque et/ou peur liés à l'implantation de ruches (si proche de résidences).				
<b>Communicabilité des résultats</b>	Pas de retours d'expériences.					

### 6 – SYNTHÈSE

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Fait apparaître les éventuels impacts sur l'environnement en les illustrant par leurs effets sur le monde vivant.</li> <li>Capacité d'échantillonnage importante.</li> <li>Possibilité « d'apprendre » aux abeilles à butiner une zone spécifique.</li> <li>Ne présente pas de problèmes de variabilité des concentrations des échantillons dans le temps et dans l'espace. L'échantillonnage se fait sur la totalité de la zone de butinage, et les différents bio-indicateurs possibles correspondent à des accumulations sur différentes échelles de temps : <ul style="list-style-type: none"> <li>analyse du pollen ou de la surface des corps des abeilles : mesure instantanée,</li> <li>analyse dans le corps des abeilles : mesure cumulée sur quelques semaines (durée de vie d'une abeille),</li> <li>analyse de la cire de la ruche</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Saisonnalité des abeilles : elles ne butinent pas lorsque la température est inférieure à 15°C.</li> <li>Très grande sensibilité aux conditions climatiques (lors de longues périodes de pluie, les abeilles ne butinent pas).</li> <li>Utilisé essentiellement pour le suivi d'évolution (correspondances entre concentrations mesurées dans les abeilles ou les produits de la ruche et teneurs dans l'environnement difficilement réalisables sans une importante base de données des émissions du site sur une période suffisante).</li> <li>Difficulté pour évaluer le taux de dépôts des émissions.</li> <li>Difficulté pour transposer les résultats en ng/m<sup>2</sup>.</li> <li>Retour d'expérience limité.</li> <li>Entretien et suivi des ruches.</li> <li>Risque de vandalisme.</li> <li>Risque si installation à proximité de</li> </ul>



<p>ou du miel : mesure cumulée sur plusieurs mois.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modèles d'étude généralisables car les abeilles sont présentes sous toutes les latitudes inférieures ou égales à 60 degrés.</li> <li>• Discret.</li> <li>• Innovant (image de marque).</li> </ul>	<p>zone d'habitation.</p>
---	---------------------------

<b>7 – BIBLIOGRAPHIE</b>	
<b>Bibliographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PHR Conseil. Document commercial, janvier 2005.</li> </ul>

Titre	16	Biosurveillance : (bio-accumulation)	Dosage dans œufs, chair, graisses et organes cibles
-------	----	---	--

1 – SUIVI			
<b>Substances suivies</b>			
<i>Métaux lourds</i>	X		
<i>Dioxines/ Furanes</i>	X		
<i>Poussières</i>			
<i>Autres substances inorganiques</i>			
<i>Autres composés organiques</i>	X	PCB, etc.	
<i>Indice global de qualité</i>			
<b>Milieu suivi</b>	Eau, air		
<b>Substrat échantillonné</b>	Œufs, chair, graisses et organes cibles d'animaux		

2 – PRINCIPE GENERAL						
<b>Principe</b>	Dosages chimiques dans les œufs, la chair, les graisses et organes cibles (foie, etc.) animaux : mammifères (lapin), oiseaux (volailles) ou poissons.					
<b>Type de Méthode</b>	<i>Comptage</i>		<i>Observation</i>		<i>Dosage</i>	X
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Micropolluants organiques : techniques chromatographiques et/ou spectrométriques.</li> <li>• Métaux lourds : techniques spectrométriques.</li> </ul>					
<b>Analyse</b>	<i>Normes</i>	Existantes.				
	<i>Interférences</i>	Nombreux facteurs de biais (origine et composition des aliments pour l'élevage, zone de circulation pour les poissons...)				
	<i>Limite de détection</i>					
<b>Fréquence</b>	1 fois / an					

3 – PROBLEMATIQUE								
<b>Contextes adaptés</b>	<i>Industriel</i>	0	<i>Urbain</i>	0	<i>Périurbain</i>	+	<i>Rural</i>	++
	Présence d'élevages d'animaux ou de ressources piscicoles dans la zone d'impact.							
<b>Problématique</b>	<i>Etude de risques</i>	<i>Approche réglementaire</i> <sup>(1)</sup>			<i>Suivi d'évolution</i>			
<i>Qualitative</i>								
<i>Semi-quantitative</i>								
<i>Quantitative</i>	X	X			X			
<sup>(1)</sup> Comparaison possible aux valeurs réglementaires : Cf. règlement n°466/2001 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires et les règlements le modifiant : n°2375/2001, n°472/2002, n°563/2002, n°78/2005...								

4 – MISE EN ŒUVRE		
<b>Matériel</b>		
<b>Connaissances préalables à la mise en œuvre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localisation des autres sources d'émissions : trafic, cheminées...</li> <li>• Conditions d'élevages, historiques (le cas échéant)</li> <li>• Autorisation d'accès et de prélèvement.</li> </ul>	
<b>Qualification du personnel</b>	<i>Conception / Réalisation</i>	Expert
	<i>Echantillonnage / Analyse</i>	Technicien
<b>Difficultés / Contraintes</b>	Nombreuses interférences possibles (contamination par autres sources, métabolisme : teneurs normales dans le corps...).	

5 – DIVERS					
<b>Restitution / Traitement des résultats</b>	Tableaux de résultats et interprétation.				
<b>Maturité de la technique</b>	Mature (>10ans)	X	Récente (~5ans)		Innovante
<b>Couplage avec d'autres méthodes</b>					
<b>Coût global</b>	Moyen	8 à 10 k€ pour 5 points.			
<b>Acceptation sociale</b>	Bonne	Méthode bien comprise et appréciée par les riverains.			
<b>Communicabilité des résultats</b>	Bonne	Difficulté de communication sur les résultats dans les substrats directement consommables en général (notamment : œufs, chair...) mais correspond également à une attente des riverains.			

6 – SYNTHÈSE	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fait apparaître les éventuels impacts sur l'environnement en les illustrant par leurs effets sur le monde vivant.</li> <li>• Utilisable en étude de risques et suivi sanitaire.</li> <li>• Valeurs parlantes et concrètes pour la population.</li> <li>• Pas de risques de vandalisme.</li> <li>• Peu de matériel nécessaire.</li> <li>• Valeurs réglementaires pour certains composés.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Difficultés d'interprétation.</li> <li>• Maîtrise délicate de la zone de vie (faune sauvage).</li> <li>• Représentativité variable selon les espèces, la saison, etc.</li> <li>• Pas de valeurs cibles réglementaires pour tous les métaux lourds.</li> <li>• Maîtrise délicate des conditions expérimentales sur le long terme.</li> <li>• Reproductibilité difficile (âge des animaux, poids, etc.).</li> <li>• Résultats difficilement transposables en ng/m<sup>2</sup>.</li> </ul>

7 – BIBLIOGRAPHIE	
<b>Bibliographie</b>	

## 2<sup>ème</sup> partie : synthèse.

### Généralités

Les installations d'incinération et de co-incinération de déchets sont soumises réglementairement à l'obligation de mettre en place un programme de surveillance de l'impact des sites sur l'environnement. Le retour d'expérience reste encore limité à ce jour. L'objectif de l'étude est de faire un état de l'art des méthodes de surveillance environnementale

Quelle que soit la méthode employée, l'objectif du suivi environnemental d'un site est l'identification de la zone d'impact et l'évaluation de la contribution du site considéré.

Les méthodes de surveillance environnementale se caractérisent par le média visé et plus particulièrement le substrat échantillonné pour réaliser le suivi.

L'état de l'art réalisé a permis de mettre en évidence les substrats ou milieux suivants :

- l'air ambiant,
- les poussières accumulées sur des surfaces artificielles (de type jauges de dépôt ou de précipitations),
- les sols,
- les eaux souterraines<sup>2</sup>,
- les eaux de surfaces<sup>3</sup> (et leurs sédiments).

En ce qui concerne les méthodes de biosurveillance, les substrats identifiés sont :

- les lichens et les mousses,
- les végétaux dits supérieurs (à feuilles),
- les substrats animaux (lait, miel, abeilles, chair, œufs, etc.).

Le choix du substrat est fortement lié au contexte local, en particulier à l'existence du substrat visé.

Il est à noter que, dans bien des cas, d'autres sources d'émissions peuvent interférer sur l'évaluation de l'impact. Ces sources peuvent être d'origine diverse : autres activités industrielles, épandage de boues, brûlages divers etc. Il peut s'avérer important de connaître l'historique du site. L'enjeu est effectivement celui-ci : mettre en place un programme de surveillance de l'impact sur l'environnement au voisinage de l'installation approprié au contexte local, afin de permettre de distinguer dans la mesure du possible l'influence du site concerné. Cet aspect reste encore délicat à appréhender pour de nombreuses méthodes. La caractérisation des sources émettrices par type d'activité est complexe et au stade de

<sup>2</sup> Il est à noter que les installations d'incinération et de co-incinération de déchets dangereux sont déjà soumises à une surveillance des aquifères (cf. article 30 de l'AM du 20 septembre 2002). De même, un suivi des eaux souterraines peut-être mis en place en cas de risque d'impact sur la nappe. Pour mémoire, le rejet industriel en nappe phréatique est interdit.

<sup>3</sup> La surveillance des eaux de surface est également envisageable lorsque le site émet des rejets liquides industriels en milieu naturel.

développement à ce jour. Il n'est pas de la responsabilité de l'exploitant de caractériser les autres sources d'émission.

L'autre limite de la plupart de ces méthodes est la représentativité des résultats qu'elles fournissent. En premier lieu, l'interprétation des résultats doit nécessairement prendre en compte les conditions météorologiques lors du suivi, afin d'être en mesure d'identifier les points mesurés sous ou hors influence du site. Les méthodes sont plus ou moins sensibles aux variations météorologiques. La période et la fréquence du suivi seront choisies de façon à être représentatif du fonctionnement moyen du site. Pour s'assurer d'une certaine reproductibilité des résultats, il est recommandé d'effectuer le suivi à la même période de l'année. Pour les sites existants, il existe rarement d'état zéro, c'est-à-dire avant l'existence du site. De plus, l'environnement du site est susceptible d'évoluer. C'est pourquoi la difficulté majeure est d'évaluer le bruit de fond et son évolution éventuelle.

Pour finir, il existe peu de valeurs réglementaires ou de valeurs cibles permettant d'interpréter les résultats. De plus, certaines méthodes peuvent mettre en œuvre différents types de substrats qui ne peuvent être comparés entre eux (par exemple, différents types de végétaux supérieurs).

Pour un site donné, l'évolution dans le temps des résultats de mesures dans les substrats visés permet d'évaluer l'impact. Les résultats obtenus par les programmes de suivi permettront d'enrichir la connaissance dans ce domaine.

D'autre part, quelle que soit la méthode considérée, la présentation des résultats sous forme de cartes et de courbes d'isovaleurs n'est possible que si le nombre de points de prélèvement est suffisant et les résultats représentatifs.

Il existe en effet des difficultés liées à la répartition spatiale des polluants, à leurs concentrations, voire à leur nature. Il est ainsi délicat de repérer géographiquement une source polluante (ex : incidence d'un panache éloigné de pollution, origine ancienne ayant disparu, etc.).

Les méthodes présentées ici ne fournissent pas toutes le même niveau d'information concernant l'influence du site sur son environnement. Certaines méthodes par bio-intégration<sup>4</sup> sont qualitatives telles que l'IBGN et le comptage des lichens ou mousses permettent une évaluation qualitative de l'impact. En général, les méthodes de biosurveillance permettent d'intégrer une longue période de suivi. Ces méthodes sont simples de mise en œuvre et peu coûteuses, mais sont en revanche délicates d'emploi (facteurs d'incertitudes). Concernant la mise en place du programme de surveillance tel qu'exigé par la réglementation, l'exploitant aura recours à des méthodes quantitatives, c'est-à-dire permettant de déterminer la concentration des dioxines, furanes et métaux lourds dans l'environnement.

Les méthodes qualitatives peuvent être néanmoins des outils complémentaires aux méthodes quantitatives dans le cadre de la mise en place du programme de suivi. C'est ce qui est d'ailleurs fait pour la détermination de l'indice de qualité de l'air pour la méthode de dosage dans l'air ambiant. Notamment pour les lichens, la méthode de comptage est en général une étape préalable à la méthode de dosage.

Au moment du choix de la méthode de surveillance à mettre en place, l'exploitant devra intégrer l'aspect communicabilité des résultats dans sa recherche. Par exemple en ce qui concerne certaines techniques de biosurveillance, il est important de savoir que même si les méthodes fonctionnant sur la base de substrats directement consommables (comme le lait, les

<sup>4</sup> Par comptage (Cf. glossaire).

œufs ou les légumes par exemple) sont demandées par les riverains, elles nécessitent beaucoup de précaution lors de la diffusion et de la présentation des résultats.

Dans l'absolu, il n'existe pas de méthode « universelle » applicable à toutes les configurations. Car c'est bien là l'objectif d'une surveillance efficace de l'environnement. La prise en compte des spécificités de la source émettrice et du contexte local est nécessaire et c'est à l'exploitant d'intégrer ces paramètres dans l'étude préalable au choix de la méthode de surveillance à mettre en place.

Il est à noter que certaines méthodes de surveillance peuvent aussi être employées en cas de pollution accidentelle afin d'évaluer l'impact éventuel sur l'environnement.

# Tableau de synthèse des méthodes

	Dosage dans l'air ambiant		Collecte des particules sur surfaces artificielles		Dosage dans les sols		Dosage dans eaux souterraines		Dosage dans eaux de surfaces et sédiments		(Bio-intégration) Indice Biologique Global Normalisé (IBGN)		(Bio-intégration) comptage dans lichens ou mousses autochtones		(Bio-accumulation) dosage dans lichens ou mousses autochtones		(Bio-accumulation) dosage dans lichens autochtones		(Bio-accumulation) dosage dans mousses allochtones		(Bio-accumulation) dosage dans végétaux supérieurs allochtones		(Bio-accumulation) dosage dans végétaux supérieurs autochtones		(Bio-indication) diagnostic dans végétaux supérieurs allochtones		(Bio-accumulation) dosage dans le lait		(Bio-accumulation) dosage dans abeilles et produits de la ruche		(Bio-accumulation) dosage dans chair, graisses et organes cibles	
CRITERES	AIR		SOL		EAU			LICHENS ET MOUSSES					VEGETAUX			ANIMAUX																
N° de fiche	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16																
<b>Suivi</b>																																
Milieu suivi	Air	Air	Air	Eau	Eau	Eau	Air	Air	Air	Air	Air	Air	Air	Air	Air	Air																
Adapté au suivi annuel	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui																
<b>Type de substances</b>																																
Métaux lourds	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui															
Dioxines / Furanes	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui															
Autres substances inorganiques	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non																
Autres composés organiques	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui																
Forme des substances (particules, gaz)	p, g	p	p	-	p, g	-	-	p, g	p, g	p, g	p, g	p, g	p, g	g	-	-	-															
<b>Principe général</b>																																
Type de méthode	Ponctuelle	Intégrante	Intégrante	Ponctuelle	Ponctuelle	Intégrante	Intégrante	Intégrante	Intégrante	Intégrante	Intégrante	Intégrante	Intégrante	Intégrante	Intégrante et/ou ponctuelle	Intégrante																
Délais de réponse de la méthode	Instantané à quelques jours	1 à 3 mois	Instantané	Instantané	Instantané	Instantané	Instantané	Instantané	Instantané	Quelques mois	Quelques mois	1 à 2 mois	Instantané	Quelques mois	Instantané	Instantané à quelques semaines / mois	Instantané															
Existence de norme de prélèvement	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Oui															
Existence de norme d'analyse	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Oui															
Fréquence de suivi recommandé	1 fois / an	2 fois / an	1 fois / 3 à 5 an	3 à 4 fois / an	1 fois / an	1 fois / an	1 fois / an	1 fois / an	1 fois / an	1 fois / an	1 fois / an	1 fois / an	1 fois / an	1 fois / an	1 fois / an	1 fois / an	1 fois / an															
Existence de valeurs réglementaires	Oui (certains métaux)	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui															
Existence de valeurs guides	Oui	Oui (PCDD/F)	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui															
Méthode adaptée au contexte local :																																
- Industriel	+	+	0	+	+	+	+	+	++	++	++	++	0	++	0	++	0															
- Urbain	+	+	0	+	+	+	+	+	++	++	++	++	+	++	0	++	0															
- Périurbain	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	++	+															
- Rural	++	++	++	++	+	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	++															
<b>Mise en œuvre</b>																																
Contrainte matérielle	Forte	Moyenne	Faible	Moyenne	Faible	Faible	Faible	Faible	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Faible	Moyenne	Faible	Forte	Faible																
Contrainte d'exploitation, de gestion	Forte	Moyenne	Faible	Moyenne	Faible	Faible	Faible	Faible	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Faible	Moyenne	Faible	Forte	Faible																
Nombre de prélèvements	2 à 9	2 à 6	~5	~3	~5	~5	~30	3 à 4	~5	~5	2 à 7	~5	~5	~5	~3	~5																
Risque de vandalisme	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non																
<b>Divers</b>																																
Expression des résultats	ng/m <sup>3</sup>	pg à ng/m <sup>2</sup>	ng à mg/kg de sol sec	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	Indice (0 à 20)	Indice (1 à 5)	ng à mg/kg de matière sèche	ng à mg/kg de matière sèche	ng à mg/kg de matière sèche	ng à mg/kg de matière sèche	ng à mg/kg de matière sèche	ng à mg/kg de matière sèche	ng à mg/kg de matière sèche	ng à mg/kg de matière sèche	ng à mg/kg de matière sèche																
Existence de prestataires	Forte	Forte	Forte	Forte	Forte	Forte	Faible	Faible	Faible	Faible	Forte	Forte	Faible	Faible	Faible	Faible																
Maturité	Mature	Mature	Mature	Mature	Mature	Mature	Récent	Récente	Innovante	Innovante	Mature	Mature	Mature	Mature	Innovante	Mature																
Coût global par campagne en routine (à titre indicatif)	17 à 20 k€	~15 k€	5 à 10 K€	~5 k€	~5 k€	~5 k€	~6 k€	5 à 10 K€	~10 k€	~10 k€	10 à 12 k€	8 à 10 k€	~10 k€	8 à 10 k€	~50 k€	8 à 10k€																
Acceptation sociale (perception)	Moyenne	Moyenne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Moyenne	Bonne																
Communicabilité des résultats (lisibilité)	Bonne	Moyenne	Moyenne	Bonne	Moyenne	Bonne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Bonne	Bonne	Moyenne	Bonne	-	Bonne																

## Contexte local et caractéristiques du site

	Dosage dans l'air ambiant	Collecte des particules sur surfaces artificielles	Dosage dans les sols	Dosage dans eaux souterraines	Dosage dans eaux de surfaces et sédiments	(Bio-intégration) Indice Biologique Global Normalisé (IBGN)	(Bio-intégration) comptage dans lichens ou mousses autochtones	(Bio-accumulation) dosage dans lichens ou mousses autochtones	(Bio-accumulation) dosage dans lichens allochtones	(Bio-accumulation) dosage dans mousses allochtones	(Bio-accumulation) dosage dans végétaux supérieurs autochtones	(Bio-accumulation) dosage dans végétaux supérieurs allochtones	(Bio-indication) diagnostic dans végétaux supérieurs autochtones	(Bio-accumulation) dosage dans le lait	(Bio-accumulation) dosage dans abeilles et produits de la ruche	(Bio-accumulation) dosage dans chair, graisses et organes cibles	Commentaires
	AIR	SOL	EAU			LICHENS ET MOUSSES				VEGETAUX			ANIMAUX				
Fiches	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
<b>DESCRIPTION DU SUIVI</b>																	
Existence de suivi environnemental																	
Présence du substrat visé																	
Conditions de mises en œuvre réunies																	
Conditions météorologiques adaptées																	
Nécessité d'accéder chez un tiers																	
<b>CONSTRAINTES DU SITE</b>																	
Sources exogènes interférentes																	
Historique du site																	
Zone urbaine																	
Zone industrielle																	
Zone agricole																	
Voies de circulation																	
Utilisation sensible des sols																	
Zone récréative																	
Zone résidentielle																	
Zone agricole																	
Site naturel																	



### 3<sup>ème</sup> partie : prestataires et bibliographie.

#### Liste des prestataires (non exhaustive)

<b>Prestataires</b>	Air	Sols	Eau	Lichens & Mousses	Végétaux	Animaux
UPDS (Ingénierie)	✓	✓	✓		✓	
Réseau de surveillance de la qualité de l'air	✓					
Aair Lichens				✓		
Biomonitor		✓		✓	✓	
PHR Conseil (abeilles)						✓
Laboratoires de prélèvement et d'analyse (résultats bruts)	✓	✓	✓		✓	✓

## Bibliographie

1. Durif M. Méthode de surveillance des retombées des dioxines et furanes autour d'une UIOM. INERIS, décembre 2001, 24p.
2. Garrec J-P & Van Haluwyn Chantal. Biosurveillance végétale de la qualité de l'air, 2002, 114p.
3. AAIR LICHENS. Documentation technique, 2000 – 2001, 7p.
4. AAIR LICHENS. Les lichens et les dioxines (LI-DIOX<sup>®</sup>), 10p.
5. Asta et al. European guideline for mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress, 2002, 20 p.
6. C.C.M. Analyser votre sillage. Environnement Magazine. N° 1634. Janvier-Février 2005, p 56-57.
7. Mortgat B. Surveillance de la qualité de l'air, La biosurveillance végétale. Environnement & Technique. N° 243. Janvier-Février 2005, p 40-43.
8. ADEME. Bioindicateurs végétaux de la qualité de l'air, rencontres et journées techniques, textes des communications, 1995, 143 p.
9. INERIS. Utilisation d'une technique de biosurveillance pour évaluer les retombées de métaux lourds, cas d'un site de seconde fusion du plomb, juin 2004, 65 p.
10. Durif M. Utilisation des végétaux pour la biosurveillance de la pollution atmosphérique. INERIS, 2003, 6 p.
11. BRGM. Gestion des sites (potentiellement) pollués - version 2, BRGM Editions, mars 2000.
12. BRGM. Guide méthodologique pour la mise en place et l'utilisation d'un réseau de forages permettant d'évaluer la qualité de l'eau souterraine au droit ou à proximité d'un site (potentiellement) pollué, 2001, 61 p.
13. Centre d'Expérimentation Pédagogique de Florac. IBGN, Indice Biologique Général Normalisé, une méthode de détermination de la qualité des eaux courantes, février 1996, 9p.
14. DIREN Lorraine. Evaluation de l'influence du choix des placettes de prélèvements sur l'indice IBGN, mai 2005, 122 p.
15. UNEP. Basel Convention, Technical Guidelines on Incineration on Land, septembre 1995, 22p.

16. Collet S. Facteurs d'émission, Emissions de dioxines, de furanes, et d'autres polluants liées à la combustion de bois naturels et adjuvantés. INERIS, février 2003, 68p.
17. Boudet C. Evaluation de l'impact sur la santé des rejets atmosphériques des tranches charbon d'une Grande Installation de Combustion, partie 1 : Etude de l'exposition et du risque par inhalation. INERIS, mai 2003, 126p.
18. Bonnard R. Evaluation de l'impact sur la santé des rejets atmosphériques des tranches charbon d'une Grande Installation de Combustion, partie 2 : Exposition par voies indirectes. INERIS, juin 2003, 28p.
19. InVS & AFSSA. Exposition aux dioxines de la population vivant à proximité des UIOM, juin 2003, 244p.
20. InVS. Stockage des déchets et santé publique. Septembre 2004, 348p.
21. Commission des Communautés Européennes. Proposition de directive du conseil sur l'incinération des déchets, octobre 1998, 68p.
22. Société Française de Santé Publique, L'incinération des déchets et la santé publique : bilan des connaissances récentes et évaluation du risque, novembre 1999, 367p.
23. A.G.H.T.M. Association Générale des Hygiénistes et Techniciens Municipaux. Guide méthodologique pour l'évaluation des risques sanitaires dans les études d'impacts des installations de stockage de déchets ménagers et assimilés (ISDMA), janvier 2004, 127 p.
24. Conseil de l'Europe. La contamination des denrées alimentaires par les dioxines, février 2000, 18 p.
25. Comité de la Prévention et de la Précaution. Annexe technique à la recommandation « Dioxines », avril 1998, 13 p.
26. INSERM. Dioxines dans l'environnement : Quels risques pour la santé?, 2000, 406 p.
27. Institut Universitaire d'Hygiène et de Santé Publique. Evaluation du risque pour la santé lié aux émissions atmosphériques des incinérateurs soumis aux nouvelles valeurs limites de l'Union Européenne, septembre 2001, 21 p.
28. Réseau Santé Déchets (étude RE.CO.R.D.). Approche méthodologique pour l'évaluation des risques sanitaires liés à l'incinération des déchets industriels spéciaux, décembre 2002, 72 p.
29. Bonvallet N. Incinérateurs et Santé : Guide pour la conduite à tenir lors d'une demande locale d'investigations sanitaires autour d'un incinérateur d'ordures ménagères. InVS, 2002, 104 p.
30. Rivière D. & Servas V. Impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur l'agglomération Orléanaise. InVS, juin 2001, 40 p.

31. Laperche V., Mossman J.R. (2004) - Protocole d'échantillonnage des sols pollués par du plomb. RP-52928-FR, 26p, 9 ill.
32. Prost R. Protocole du suivi de la qualité des sols, des eaux et des végétaux autour des installations de deuxième fusion du plomb (document provisoire). INRA, septembre 2000.
33. BRGM. Guide méthodologique pour l'analyse de sols pollués, BRGM Editions, 2001, 83p.
34. OMS. Qualité de l'air : recommandations pour l'Europe, 2000, 273 p.

## Glossaire

**BIO-INTEGRATION** : Méthode de biosurveillance reposant sur des études de flore ou de faune, c'est à dire des comptages du nombre d'individus par espèce et de la diversité d'espèces dans une communauté. Le classement des espèces selon différents niveaux de polluo-résistance et de polluo-sensibilité et la détermination des proportions de chaque niveau au sein d'une communauté permet d'attribuer une note globale au site observé.

**BIO-INDICATION** : Méthode de biosurveillance reposant sur l'observation des effets visibles au niveau de l'individu se traduisant par des altérations morphologiques, tissulaires ou physiologiques. La comparaison de la surface touchée avec des visuels de référence permet d'estimer le pourcentage de la surface altérée et la concentration dans l'air du composé responsable.

**BIO-ACCUMULATION** : Méthode de biosurveillance reposant sur le dosage chimique de composés bio-accumulés dans les substrats biotiques (feuilles, chair, œufs, ...).

**IMPACT** : Effet d'une action, d'un aménagement, d'une exploitation de matière première, ..., sur un milieu naturel, des organismes, un écosystème, des paysages, ...

**INDICE DE QUALITÉ** : Indice, basé sur des biomarqueurs, des bioessais, des indicateurs biocénétiques et écologiques, permettant de déterminer l'état des systèmes aquatiques. Des grilles d'interprétation particulières s'appliquent à ces indices. Les indices de qualité biologique les plus couramment utilisés en France sont actuellement : Indice biotique de Verneaux et Tuffery, Indice de Qualité Biologique Global, Indice Biologique Global Normalisé (Norme AFNOR T90-350).

**SOURCE (DE POLLUTION)** : Terme générique désignant une entité (spatialement délimité, foyer) ou un ensemble d'entités dont les caractéristiques ou les effets permettent de les considérer comme à l'origine de nuisances ou de dangers. Il s'agit en général de zones où des substances dangereuses, des déchets ont été déposés, stockés ou éliminés.

# Remerciements

CSD AZUR remercie les organismes ayant collaboré à la réalisation de ce document :

## **Tuteurs :**

LAFARGE CEMENTS  
MEDD  
NOVERGIE  
SARP INDUSTRIES - ONYX  
SOCOTEC  
SOLVAY  
TREDI

## **Prestataires de surveillance :**

AAIR LICHENS  
BIOMONITOR  
BUREAU VERITAS  
CABINET MERLIN  
EUROFINS  
INERIS  
PHR CONSEIL

## **Exploitants d'UIOM :**

ONYX SAVED (UIOM de Lasse)  
SETMI (UIOM de Toulouse)  
SETOM SUD DE L'EURE (UIOM de Guichainville)  
SIVOM DE L'AGGLOMERATION MULHOUSIENNE (UIOM de Mulhouse)  
SMITOM CENTRE OUEST SEINE ET MARNAIS (UIOM de Vaux le Pénil)

## **Autres :**

ORAMIP (Réseau de surveillance de la qualité de l'air, Toulouse)



**ETUDE N° 05-1013/1A**

**SYNTHESE DE L'ETUDE**

**FRANÇAIS / ANGLAIS**

**ÉTAT DE L'ART DES METHODES DE SURVEILLANCE  
DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT AU VOISINAGE  
DES INSTALLATIONS D'INCINERATION ET  
DE CO-INCINERATION DE DECHETS**

**octobre 2005**

**T. CHASSAGNAC, C. CORNET, L. MATHIEU – CSD AZUR**

# Synthèse

L'application de l'arrêté ministériel du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets dangereux et non dangereux se traduit notamment par la mise en place d'un programme de surveillance de leurs impacts sur l'environnement :

*« L'exploitant doit mettre en place un programme de surveillance de l'impact de l'installation sur l'environnement. Ce programme concerne au moins les dioxines et les métaux ».*

*« Le programme est déterminé et mis en œuvre sous la responsabilité de l'exploitant et à ses frais ».*

*« Ses modalités sont précisées dans l'arrêté d'autorisation ».*

(extrait de l'AM du 20/09/2002)

Les membres de l'association RE.CO.R.D. ont manifesté leurs besoins d'informations concernant les différentes méthodes de surveillance et la nécessité de les rassembler sous la forme d'un document à l'usage des exploitants d'installations permettant l'évaluation de ces techniques pour lesquelles les conditions d'applications sont variées et fortement dépendantes du contexte.

L'objectif de cet état de l'art est donc d'identifier, de caractériser et de regrouper les méthodes de suivi des impacts sur l'environnement des installations d'incinération et de co-incinération de déchets.

L'étude a été organisée en 3 parties :

1<sup>ère</sup> partie : les méthodes de suivi environnemental.

2<sup>ème</sup> partie : synthèse.

3<sup>ème</sup> partie : liste non exhaustive de prestataires et bibliographie.

La première partie est constitué d'un inventaire des techniques disponibles pour la surveillance de l'environnement au voisinage d'un site sous la forme de fiches-méthode réunissant les informations essentielles les concernant.

Les techniques y sont présentées selon 2 catégories : les méthodes de surveillance dites « classiques » et les méthodes de biosurveillance, ainsi que selon les substrats auxquelles elles s'intéressent.

Parmi les méthodes classiques figurent les analyses dans l'air ambiant ainsi que dans les poussières récupérées par l'intermédiaire de différents types de collecteurs, les analyses de sol et de sédiments et les analyses d'eaux de surface ou souterraines.

Si les analyses dans l'air ambiant permettent un suivi séparé des substances gazeuses et particulaires (ponctuel ou de façon continu), leur coût d'installation et d'exploitation est par contre un frein à une utilisation plus large de cette technique.

Les collecteurs de précipitations sont plus abordables du fait de leur simplicité de mise en œuvre et de leur autonomie mais présentent une faible sensibilité aux composés gazeux notamment et une faible représentativité temporelle.

Les analyses dans les sols, si elles permettent la mesure d'une pollution cumulée dans le temps, ne se révèlent être que peu adaptées pour un suivi annuel. Elles sont également relativement peu adéquates pour des environnements industriels.



Quant aux analyses d'eaux souterraines qui pourraient se révéler intéressantes du fait de la surveillance déjà existante de ce milieu pour toute installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE), elles ne permettent pas de répondre à l'objectif de ce contrôle selon l'arrêté. Elles sont en effet peu représentatives de l'impact chronique du site et correspondent plutôt à une surveillance de pollutions accidentelles.

Les analyses des eaux de surface, peu onéreuse du fait du peu de matériel nécessaire à leur réalisation, présentent les inconvénients de toutes mesures ponctuelles, c'est-à-dire une faible représentativité temporelle (mesure instantanée non cumulée). Elles sont plus intéressantes couplées à l'analyse de leurs sédiments qui présentent des propriétés d'accumulation et qui correspondent donc à des temps d'intégration plus longs.

Les méthodes de biosurveillance se distinguent quant à elles selon les substrats végétaux ou animaux auxquelles elles s'intéressent mais également selon le type de surveillance qu'on y applique. Celle-ci peut en effet être de 3 types :

- On parle de **bio-intégration** lorsque l'analyse se limite au comptage d'un nombre d'individu par espèces au sein d'une communauté ; une note étant attribuée selon la diversité et la vitalité des espèces observées.
- On parle de **bio-indication** lorsque l'observation est centrée sur un individu (elle peut-être « moyennée » sur un certains nombres d'entre eux) et qu'elle concerne les effets visibles d'un impact, telles les nécroses des feuilles par exemple. Une estimation de la surface touchée permet d'estimer l'importance de la pollution.
- On parle de **bio-accumulation** lorsqu'il s'agit de mesures par des techniques physico-chimiques de teneurs de polluants dans les échantillons.

L'indice Biologique Global Normalisé (ou IBGN) est un indice global de qualité des eaux, basé sur l'étude de la faune et la flore des eaux de surface. Sa mesure nécessite l'intervention d'un biologiste et il constitue un bon outil de premier niveau de surveillance. En effet, il est suffisant pour mettre en évidence l'existence d'un impact mais il ne permet pas de déterminer avec précision la nature de celui-ci. Il doit donc être complété s'il y a lieu par des investigations plus poussées.

Les lichens et les mousses quant à eux présentent l'avantage d'être des organismes ubiquistes à forte capacité de bioaccumulation et pouvant être représentatifs de longues durées d'exposition. Ils peuvent être utilisés pour la bio-intégration et la bio-accumulation. Il est à noter que le nombre de prestataires proposant ce service est réduit (quasi-monopole). L'utilisation de transplants de lichens ou de « moss-bags » permet la mise en place de ces méthodes également sur des sites dépourvus initialement de tout lichen ou mousse.

Les végétaux supérieurs présentent globalement les mêmes avantages : ils permettent de suivre les polluants gazeux et particulaires, ils sont représentatifs de longues durées d'exposition, ils peuvent être apportés sur le site (cultures normalisées). De plus certains d'entre eux, tels que le chou ou la salade, peuvent être utilisés pour la bio-indication. Ils sont par contre soumis aux variations saisonnières et peuvent souffrir d'interférences propres aux substrats vivants (stress biotiques non liés à la pollution atmosphérique).

Les substrats animaux quels qu'ils soient (abeilles, miel, lait, œufs, chair, etc.) sont quant à eux uniquement utilisables pour la bio-accumulation et les analyses chimiques de polluants. Ils présentent des contraintes d'autorisation d'accès et de prélèvements d'échantillons. La surveillance réalisée sur les abeilles nécessite par exemple la mise en place d'un rucher expérimental très coûteux. Ces mesures (notamment celles réalisées dans des substrats directement consommables) sont par contre de bons outils de communication qui correspondent bien aux attentes des riverains mais dont les résultats peuvent également se révéler délicats à présenter.

Le choix du substrat est fortement lié au contexte local, en particulier à l'existence du substrat visé.

Il est à noter que, dans bien des cas, d'autres sources d'émissions peuvent interférer sur l'évaluation de l'impact. Ces sources peuvent être d'origine diverse : autres activités industrielles, épandage de boues, brûlages divers etc. Il peut s'avérer important de connaître l'historique du site. L'enjeu est effectivement celui-ci : mettre en place un programme de surveillance de l'impact sur l'environnement au voisinage de l'installation approprié au contexte local, afin de permettre de distinguer dans la mesure du possible l'influence du site concerné. Cet aspect reste encore délicat à appréhender pour de nombreuses méthodes. La caractérisation des sources émettrices par type d'activité est complexe et au stade de développement à ce jour. Il n'est pas de la responsabilité de l'exploitant de caractériser les autres sources d'émission.

L'autre limite de la plupart de ces méthodes est la représentativité des résultats qu'elles fournissent. En premier lieu, l'interprétation des résultats doit nécessairement prendre en compte les conditions météorologiques lors du suivi, afin d'être en mesure d'identifier les points mesurés sous ou hors influence du site. Les méthodes sont plus ou moins sensibles aux variations météorologiques. La période et la fréquence du suivi seront choisies de façon à être représentatif du fonctionnement moyen du site. Pour s'assurer d'une certaine reproductibilité des résultats, il est recommandé d'effectuer le suivi à la même période de l'année. Pour les sites existants, il existe rarement d'état zéro, c'est-à-dire avant l'existence du site. De plus, l'environnement du site est susceptible d'évoluer. C'est pourquoi la difficulté majeure est d'évaluer le bruit de fond et son évolution éventuelle.

Pour finir, il existe peu de valeurs réglementaires ou de valeurs cibles permettant d'interpréter les résultats. De plus, certaines méthodes peuvent mettre en œuvre différents types de substrats qui ne peuvent être comparés entre eux (par exemple, différents types de végétaux supérieurs).

Pour un site donné, l'évolution dans le temps des résultats de mesures dans les substrats visés permet d'évaluer l'impact. Les résultats obtenus par les programmes de suivi permettront d'enrichir la connaissance dans ce domaine.

D'autre part, quelle que soit la méthode considérée, la présentation des résultats sous forme de cartes et de courbes d'isovaleurs n'est possible que si le nombre de points de prélèvement est suffisant et les résultats représentatifs.

Il existe en effet des difficultés liées à la répartition spatiale des polluants, à leurs concentrations, voire à leur nature. Il est ainsi délicat de repérer géographiquement une source polluante (ex : incidence d'un panache éloigné de pollution, origine ancienne ayant disparu, etc.).

Les méthodes présentées ici ne fournissent pas toutes le même niveau d'information concernant l'influence du site sur son environnement. Certaines méthodes par bio-intégration<sup>1</sup> sont qualitatives telles que l'IBGN et le comptage des lichens ou mousses permettent une évaluation qualitative de l'impact. En général, les méthodes de biosurveillance permettent d'intégrer une longue période de suivi. Ces méthodes sont simples de mise en œuvre et peu coûteuses, mais sont en revanche délicates d'emploi (facteurs d'incertitudes). Concernant la mise en place du programme de surveillance tel qu'exigé par la réglementation, l'exploitant

---

<sup>1</sup> Par comptage (Cf. glossaire).

aura recours à des méthodes quantitatives, c'est-à-dire permettant de déterminer la concentration des dioxines, furanes et métaux lourds dans l'environnement.

Les méthodes qualitatives peuvent être néanmoins des outils complémentaires aux méthodes quantitatives dans le cadre de la mise en place du programme de suivi. C'est ce qui est d'ailleurs fait pour la détermination de l'indice de qualité de l'air pour la méthode de dosage dans l'air ambiant. Notamment pour les lichens, la méthode de comptage est en général une étape préalable à la méthode de dosage.

Au moment du choix de la méthode de surveillance à mettre en place, l'exploitant devra intégrer l'aspect communicabilité des résultats dans sa recherche. Par exemple en ce qui concerne certaines techniques de biosurveillance, il est important de savoir que même si les méthodes fonctionnant sur la base de substrats directement consommables (comme le lait, les œufs ou les légumes par exemple) sont demandées par les riverains, elles nécessitent beaucoup de précaution lors de la diffusion et de la présentation des résultats.

Dans l'absolu, il n'existe pas de méthode « universelle » applicable à toutes les configurations. Car c'est bien là l'objectif d'une surveillance efficace de l'environnement. La prise en compte des spécificités de la source émettrice et du contexte local est nécessaire et c'est à l'exploitant d'intégrer ces paramètres dans l'étude préalable au choix de la méthode de surveillance à mettre en place.

Il est à noter que certaines méthodes de surveillance peuvent aussi être employées en cas de pollution accidentelle afin d'évaluer l'impact éventuel sur l'environnement.

# Synthesis

The ministerial decree from the 20<sup>th</sup> September 2002 regarding waste incineration facilities, has made necessary the monitoring of the environmental impact of these facilities. It has especially made compulsory the measurement of dioxins, furans and heavy metals concentration in their neighbourhoods.

This monitoring comes in addition to the continuous monitoring of some gaseous compounds of the incineration process, which is already needed. RE.CO.R.D. association members, as many other companies and plants, have been confronted with the issue of choosing amongst the different methods available, the one which would be the most adequate for their sites. It then clearly appeared that there was a need for a study that lists the different techniques which can be used for monitoring purposes and includes the main characteristics of principle, reliability, cost, advantages, drawbacks...

The aim of the study was then to collect and organize information about the various techniques for environmental impact monitoring of waste incineration facilities.

The document is organized in 3 parts :

- 1<sup>st</sup> part : the different environment monitoring methods.
- 2<sup>nd</sup> part : synthesis.
- 3<sup>rd</sup> part : list of monitoring techniques providers and bibliography.

The first part is an inventory of the different techniques available for monitoring the environment of incineration facilities, made up of descriptive method cards containing relevant information.

The different methods which have been identified as potentially suitable for the monitoring of dioxins, furans and heavy metals have been pigeonholed in two categories: the classic techniques and the bio-monitoring, using biological substrates as sensors or samples.

This study also pointed out that every technique has its own advantages and drawbacks :

- For example, the surrounding air sampling and analysis enables the monitoring of both gaseous compounds and particles, but it costs far too much for this method to be widespread.
- The rain and dust collectors are much cheaper, but their sensibilities are not as good. They are autonomous, handy and easy to use but their results are not representative of gaseous compounds concentrations.
- The main soil analysis advantage is that the pollution measured is an accumulated concentration of the substances for the functioning period of the incineration facilities. But the results evolve so slowly that this technique is not suitable for yearly analysis. Soil sampling is often performed once every 3 to 5 years.
- Despite the fact that the underground water analysis is compulsory for incineration facilities, it is more likely to be useful for warning of the accidental leak of substances than for chronic pollution monitoring.

- Surface water analysis has the main drawback of instantaneous technique : it is not representative of a long period, which is a problem when analysis is performed only once a year. Taking into account sediments can be interesting, because measurements in water give instant values whereas measurements in sediments lead to accumulated concentration values for the functioning period of the facilities.

There are three different ways of using bio-monitoring for an industrial purpose.

- **Bio-integration** is the flora study of a community of often lichens or moss which consists in counting the specimens from the different species. Knowing that some species are resistant to certain substances and others not, it is possible to evaluate from their proportion in the community, the environmental impact of the incineration facilities. The less non-resistant specimens there are, the more important the impact. According to the specific scale, a mark is allocated to the site.
- **Bio-indication** is the observation of the visible physiological changes on specimens like plants necrosis. The proportion of plants' leaves that are subject to necrosis allows for an estimation of the impact on the environment to be evaluated. The necrosed surface can even enable the estimation of the concentration of a specific pollutant in the air, by comparison with references tables.
- Finally **bio-accumulation** is the chemical analysis of biological samples (vegetable or animal).

Bio-monitoring characteristics depend on the technique used (as seen above), but also on the substrates studied :

- Bio-integration methods are obviously the first level of monitoring because they only allow the pointing out of an impact without giving any information on its nature (substances, quantities...).
- Lichens and moss can be used for bio-integration as well as bio-accumulation. Such methods are easy to use and almost cost-less because those substrates often exist on the site and there is no need for specific equipment. Lichens and moss can even be brought to sites where there is none. The main issue with those techniques is that there is almost a monopoly.
- Plants have the same advantages (especially pollutants accumulating properties), and can be used in the bio-indication way as well. But plants are affected by seasonal climate change and can't be used during some periods of the year depending on weather conditions.
- Finally, animal substrates (eggs, organs, honey, milk...) can only be used for bio-accumulation. Neighbours often ask for such analysis, but the results are pretty difficult to handle for both impact studies and local communication.

The choice of the substrate studied is often defined by the local contexts. Indeed the substrate need to be found easily in the sites environment.

It is important to keep in mind that in most cases there are more than one source of emissions, which means that impact assessment often suffers from interferences. These sources are from various nature : other industrial activities, waste burning... It may be useful to know the story of the sites. Indeed the main purpose is to monitor the impact of a facility on its environment using a technique that suits the local context of the site, and which allows

to determine as accurately as possible the influence of the site studied. This aspect remains one of the issues for most methods. The managers from incineration facilities are not responsible for characterising other sources of emissions.

The second issue with most methods is that it is difficult to know whether their results are representative of the impact on the environment. Indeed it is necessary to take into account the weather conditions when analyzing results. The influence of weather conditions on the results depends on the technique used. In order to get results as representative as possible of the impact on the environment, it is important that the site monitoring is performed at the same year period every year. For existing sites, there are hardly results on the environment before the facility's building. Furthermore, the site environment may change. This is the reason why it is difficult to evaluate the background impact and its evolution.

Moreover there are few legislation threshold values to help compare and understand results. Some methods can even be based on more than one substrate (for example different plants), and it can be difficult to compare results between different substrates.

The results evolution allows to assess the impact on the environment.

The results concerning the influence of a site on its environment are not of the same accuracy depending on the method used. Bio-integration methods for example are relevant for getting evidences of an existing impact, but they cannot be used for impact assessment. If there are evidences of an impact, further and more accurate investigations have to be performed. In general biomonitoring techniques are representative for a long exposition period. These methods are easy to use and cheap, but their results suffer from uncertainty factors. Incineration facilities need to be equipped with quantitative techniques, which means techniques that allow to determine the concentration of dioxins, furans and heavy metals in the environment. Qualitative methods can nevertheless be used as complementary tools for monitoring the impact.

When choosing a method for monitoring their sites, facility's managers will have to take into account all the aspects related to communication, regarding the technique itself and its results. For example, it is important to know that even if neighbors often ask for biomonitoring methods using edible substrates (like milk, eggs or vegetables), it is difficult to communicate on these techniques' results.

Finally, the main result which has been drawn up from the study is that there is not a single technique that can be used in almost every situation without taking into account the local contexts of the sites. Those are far too various and correspond with too many criteria to be exhaustively studied. It means that the waste incineration facility's manager has an important role to play when it comes to choosing a method for monitoring his or her sites. Indeed he or she is the one with the most global vision of the site (in terms of pollutants quantities emitted, average atmospheric conditions, awareness of the neighbourhood...).