

La biosurveillance : outil de surveillance de l'impact sur l'environnement des émissions atmosphériques industrielles et d'évaluation des risques sanitaires

Biomonitoring: an environmental impact monitoring tool for industrial air emissions and health risk assessment

Rémi Merlen*

Résumé

L'étude des effets d'un site industriel sur l'environnement est depuis longtemps inscrite dans la réglementation et s'exprime notamment au travers de la directive 2010/75/UE relative aux émissions industrielles. L'évaluation des incidences potentielles et réelles des installations sur l'environnement est aujourd'hui étroitement accompagnée par l'étude des risques sur la santé humaine. La biosurveillance végétale et fongique de la qualité de l'air, qui fait l'objet d'un usage répandu pour le suivi de la qualité de l'environnement, notamment depuis la normalisation de certaines méthodes, peut alors prendre une dimension nouvelle en apportant une réponse couplée. C'est le cas de la norme utilisant les ray-grass, la norme NF X 43-901, permettant d'apporter une appréciation de l'impact environnemental mais également une intégration de données dans la démarche d'évaluation des risques sanitaires. Dans le premier cas, la mise en place d'une surveillance environnementale pourra bénéficier de valeurs d'interprétation pour évaluer la qualité des fourrages liée à l'impact des dépôts atmosphériques. Dans le deuxième cas, les résultats pourront être directement exploités dans l'évaluation de l'exposition des populations. Ceci est rendu possible grâce à l'évaluation des niveaux de contamination des fourrages et des transferts dans la chaîne alimentaire. Cet article permet d'appréhender ces concepts par le biais de résultats acquis dans le cadre d'une étude de cas mettant en avant des anomalies dans l'environnement. L'utilisation de la norme NF X 43-901 devient alors un outil de diagnostic initial qui peut ensuite évoluer vers des diagnostics complémentaires pour confirmer ou infirmer la situation constatée et servir l'évaluation des risques sanitaires.

Mots-clés

biosurveillance, qualité des milieux, risques sanitaires, risques industriels

Abstract

The study of the effects of industrial sites on the environment has long been a part of regulations and is formulated specifically in Directive 75-2010-EU on industrial emissions. Evaluation of the actual and potential impact of industrial facilities on the environment is closely accompanied by the study of human health risks. Air quality biomonitoring using plants and fungi is a widespread practice for environmental monitoring, in particular following the standardization of certain methods, and can therefore take on a new dimension with a combined response. This is the case for the NF X43-901 standard using ray-grass, which allows for environmental impact assessment but also the integration of data into the health risk assessment process. In the first case, the initial setup of environmental monitoring may benefit from interpretation values for assessing fodder quality in relation to the impact of atmospheric deposition of contaminants. In the second case, the results can be used directly in the assessment of population exposure, which is made possible through the assessment of both contamination levels in fodder and food chain transfer. The goal of this article is to clarify these concepts using results acquired through a case study highlighting anomalies in the environment. The use of standard NF X 43-901 thus becomes an initial diagnostic tool, which can then be developed toward additional diagnostics in order to confirm or invalidate an observed situation and for use in environmental health risk assessment.

Keywords

biomonitoring, environmental quality, health risks, industrial risks

* *BioMonitor*, 25, rue Anatole France 54 530 Pagny-sur-Moselle, France.
remi.merlen@biomonitor.fr

1. Le contexte

La qualité de l'environnement est une préoccupation aujourd'hui prépondérante, à l'origine d'un grand nombre de procédures, normes, méthodes permettant de l'apprécier. Dans ce contexte, la dispersion des contaminants environnementaux issus des activités anthropiques, leur détection et leur réduction sont des enjeux majeurs que l'on retrouve au niveau national à travers un cadre législatif (Loi 2010-788 Grenelle II du 12 juillet 2010 par exemple)¹. Ainsi, la surveillance au sens large, c'est-à-dire la capacité à tracer et à quantifier les polluants dans différents médias environnementaux, constitue une priorité.

L'évaluation des effets d'un site industriel (figure 1) sur l'environnement est définie depuis 1976 dans la réglementation des installations classées, et plus particulièrement dans le décret du 21 septembre 1977². Mais c'est l'arrêté du 2 février 1998³ qui donne les premières impositions soumettant les industries à la mise en place de programmes de surveillance permettant de qualifier l'état de leur environnement. Quelques années plus tard, les arrêtés sectoriels du 20 juin et du 20 septembre^{4,5,6} viendront apporter des précisions sur la surveillance environnementale pour certains secteurs d'activité.

Plusieurs guides méthodologiques, publiés notamment par l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS), sont venus donner des orientations techniques permettant de répondre aux attentes réglementaires. C'est ainsi que certaines méthodes de surveillance de la qualité de l'environnement ont connu un fort développement ces dix dernières années car elles répondent aux exigences des services de l'État.

1 Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement.

2 Décret n° 77-1133 du 21 septembre 1977 pris pour l'application de la loi n°76-663 relative aux ICPE.

3 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 Arrêté du 20 juin 2002 relatif aux chaudières présentes dans une installation nouvelle ou modifiée d'une puissance supérieure à 20 MWth.

5 Arrêté 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.

6 Arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets dangereux.

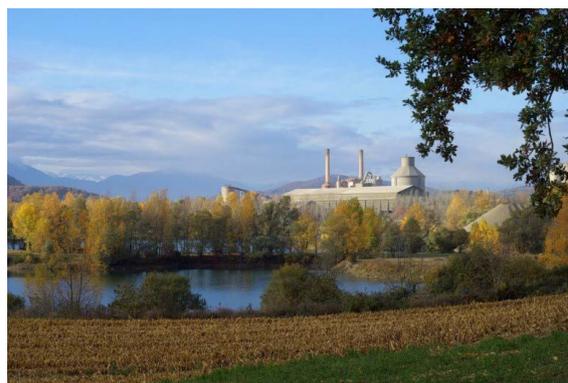


Figure 1. Contexte d'un site industriel (source : BioMonitor).

The environment of an industrial site.

Parmi celles-ci, la biosurveillance végétale et fongique de la qualité de l'air a été de plus en plus employée, profitant des propriétés de certains de ces organismes vivants à réagir à une modification de leur environnement. Une présentation du principe et des différentes applications est proposée par Garrec et Van Haluwyn⁷. Dans ces méthodes, se distinguent notamment les bio-accumulateurs qui, par leur capacité à concentrer les polluants, permettent de révéler et de suivre l'évolution d'une contamination atmosphérique. Ils font l'objet aujourd'hui d'un usage répandu, aidé par le fait que les méthodes qui les portent sont aujourd'hui normalisées.

Toutefois, la surveillance environnementale ne peut plus être dissociée de l'étude des impacts sur la santé d'une activité industrielle. Les études sanitaires apparaissent dès la fin des années 1990 avec la loi n° 96-1236 sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie⁸ qui impose une étude des effets sur la santé. Le lien entre la surveillance environnementale et l'évaluation des risques sanitaires est apparu plus récemment avec la directive 2010/75/UE relative aux émissions industrielles, qui impose l'étude des « incidences potentielles et réelles des installations concernées sur la santé humaine et l'environnement, compte tenu des niveaux et des types d'émissions, de la sensibilité de l'environnement local et des risques d'accidents »⁹.

7 Garrec J.P., Van Haluwyn C. (2002). *Biosurveillance végétale de la qualité de l'air : concepts, méthodes et applications*, Paris, Tec et Doc. 111 p.

8 Loi n° 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie.

9 Directive 2010/75/UE du parlement européen et du conseil du 24 novembre 2010 relative aux émissions industrielles (prévention et réduction intégrées de la pollution).

Ce lien se retrouve également dans le code de l'environnement, dans les guides méthodologiques¹⁰ et, *de facto*, est considéré dans les dossiers d'autorisation d'exploiter ainsi que dans les études d'impact imposées par les arrêtés préfectoraux.

Certaines études de biosurveillance peuvent alors prendre une dimension nouvelle en apportant une réponse couplée. La norme NF X 43-901¹¹, faisant appel à des cultures de graminées, peut être notamment choisie à cet égard, car l'interprétation des résultats apporte des éléments de réponse qui permettront à l'exploitant d'évaluer son impact environnemental. Parallèlement, cet outil peut intégrer une démarche d'évaluation des risques sanitaires et devenir un véritable outil d'alerte permettant d'agir de façon précoce, voire préventive avant que l'état des milieux ne se dégrade et ne nécessite la mise en œuvre d'actions réductrices ou suppressives de la pollution, souvent coûteuses pour l'exploitant.

2. La surveillance des effets sur l'environnement

2.1. Le phénomène étudié : les émissions atmosphériques d'origine industrielle

À l'émission d'une source fixe, les polluants résiduels non retenus par un éventuel traitement des fumées sont émis dans l'atmosphère à un certain débit, une certaine température et une certaine vitesse d'éjection. La dispersion des polluants dans l'atmosphère va ensuite être tributaire de plusieurs phénomènes physiques propres à l'environnement local (conditions météorologiques, rugosité et topographie) et des paramètres chimiques intrinsèques aux polluants rejetés. Aux facteurs physiques qui influencent la dispersion peuvent être ajoutés des paramètres propres aux polluants et notamment leur propension à rester sous forme gazeuse ou à s'associer plus ou moins rapidement à des particules/aérosols de tailles diverses. En fonction des conditions dispersives, de la taille, de la composition et de la granulométrie des particules, ces dernières ont un temps de résidence plus ou moins long dans

¹⁰ INERIS. (2013). *Évaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires - Démarche intégrée pour la gestion des émissions de substances chimiques par les installations classées - Impact des activités humaines sur les milieux et la santé*. 1^{re} édition, 102 p.

¹¹ NF X 43-901. (2008). *Biosurveillance active de la qualité de l'air à l'aide de ray-grass : des cultures à la préparation des échantillons*. Norme AFNOR, 12 p.

l'atmosphère et vont être éliminées selon deux processus de dépôts atmosphériques :

- les retombées sèches (par gravitation, par mouvement brownien ou par impaction et interception) ;
- les retombées humides (lessivage durant les précipitations ou piégeage par les gouttes d'eau nuageuses).

La surveillance des effets sur l'environnement concerne alors les abords de l'installation bien au-delà des limites administratives de l'usine. La difficulté est de fixer les limites de l'aire dans laquelle seront appréciés l'impact de l'usine et les techniques de mesures adaptées au suivi de cet impact des polluants.

2.2. Les outils de surveillance

Les techniques de mesure permettant un suivi des retombées atmosphériques peuvent être privilégiées par rapport au suivi direct de la concentration dans l'air ambiant, notamment en raison du mode de transfert principal des polluants généralement suivis dans ce contexte, à savoir les dioxines/furannes (PCDD/F), les polychlorobiphényles (PCB), les métaux, ou les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). C'est ainsi que la technique de mesure par collecteurs de précipitations¹² est largement utilisée en France.

La surveillance environnementale peut également faire appel à des indicateurs tels que les fourrages, le lait de vache, la viande, les œufs ou les légumes de potagers. On parle alors de surveillance environnementale et sanitaire car l'information peut être traitée sur les deux niveaux. La dimension sanitaire ne fait aucun doute, encore que les résultats obtenus sur des prélèvements réalisés sur une station ponctuelle de mesure soient difficilement extrapolables à une population. La dimension environnementale peut, quant à elle, être facilement mise en cause en arguant la difficulté de lier une source de contamination, l'usine surveillée, aux contaminants retrouvés dans une de ces matrices biologiques. En effet, les biais cachés sont nombreux et rarement pris en compte, comme la nature et l'âge du cheptel, la rotation des pâtures, les additifs alimentaires et les pratiques culturelles.

¹² NF X 43-014. (2003). *Qualité de l'air - Air ambiant - Détermination des retombées atmosphériques totales - Échantillonnage - Préparation des échantillons avant analyses*. Norme AFNOR.

La biosurveillance évolue aux côtés de tous ces outils de mesures. Dans la pratique, se distinguent aujourd'hui deux principales approches de biosurveillance :

- l'approche dite de surveillance passive qui consiste à utiliser les matrices environnementales *in situ* ;
- l'approche dite de surveillance active qui consiste à transférer l'indicateur d'un point à un autre et de mesurer ensuite les évolutions.

Parmi celles-ci, ce sont les indicateurs d'accumulation qui permettent de détecter et de quantifier des polluants spécifiques dans l'environnement. Dans le cas présent, nous ne parlerons ici que de la méthode de biosurveillance active basée sur la norme NF X 43-901.

2.3. Cas de la norme ray-grass (NF X 43-901)

L'approche sélectionnée (figure 2) fait appel à des cultures de ray-grass (*Lolium multiflorum*). La préparation et l'emploi de ces organismes bénéficient d'une longue expérience. La procédure est normalisée en Allemagne depuis 1985 (modifiée en 2003). Elle l'est aussi en France depuis 2008 (AFNOR NF X 43-901) et fait actuellement l'objet d'une procédure de normalisation européenne.

L'un des atouts majeurs de ces techniques est de fournir une information obtenue dans des conditions normalisées reproductibles. L'application de ces méthodes offre aussi des informations sur :

- les teneurs en polluants avant et après exposition ;
- la durée d'exposition ;
- le lien direct entre la contamination de l'environnement et l'exposition potentielle des populations animales ;
- la comparaison des teneurs en polluants observées aux valeurs réglementaires existantes concernant les aliments pour animaux.

C'est ici que la norme NF X 43-901 trouve un intérêt majeur, car elle permet de créer une relation évidente entre la surveillance des incidences de l'installation sur l'environnement et l'état d'un milieu d'exposition spécifique, notamment représenté par les parcelles agricoles réservées à la pâture ou à la culture des fourrages.

3. La surveillance sanitaire

L'analyse des effets sur la santé est réalisée dans le cadre réglementaire en constituant le volet sanitaire



Figure 2. Dispositif de mesures
(source : BioMonitor).

Measurement system.

d'une étude d'impact. Elle vise à apprécier les effets potentiellement induits par un projet d'installation ou une installation en fonctionnement.

La réalisation d'une étude de risques sanitaires, au sens de la circulaire du 9 août 2013¹³, est traditionnellement effectuée dans le cadre du dépôt du dossier d'autorisation d'exploiter lors de la réalisation de l'état initial.

Toutefois, sa mise en œuvre peut être demandée par les services de l'État :

- lors du réexamen des conditions d'exploitation imposé par de nouvelles directives (cas de la directive IED) ;
- lors d'une demande de changement des conditions d'exploitation effectuée par l'exploitant (cas d'un changement de process, d'une extension de la propriété, d'une augmentation des capacités de production) ;
- lors d'un dépassement des impositions réglementaires à l'émission (dépassements des valeurs limites à l'émission) ou d'une anomalie observée dans l'environnement ;
- lors d'évènements accidentels : cette mesure rentre notamment dans le cadre de l'application de la loi n° 2009-967¹⁴ et l'action 33 du deuxième Plan National Santé-Environnement (2009-2013) visant à améliorer la prévention et assurer la gestion des impacts sanitaires post-accident.

¹³ Circulaire du 9 août 2013 relative à la démarche de prévention et de gestion des risques sanitaires des installations classées soumises à autorisation.

¹⁴ Loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement.

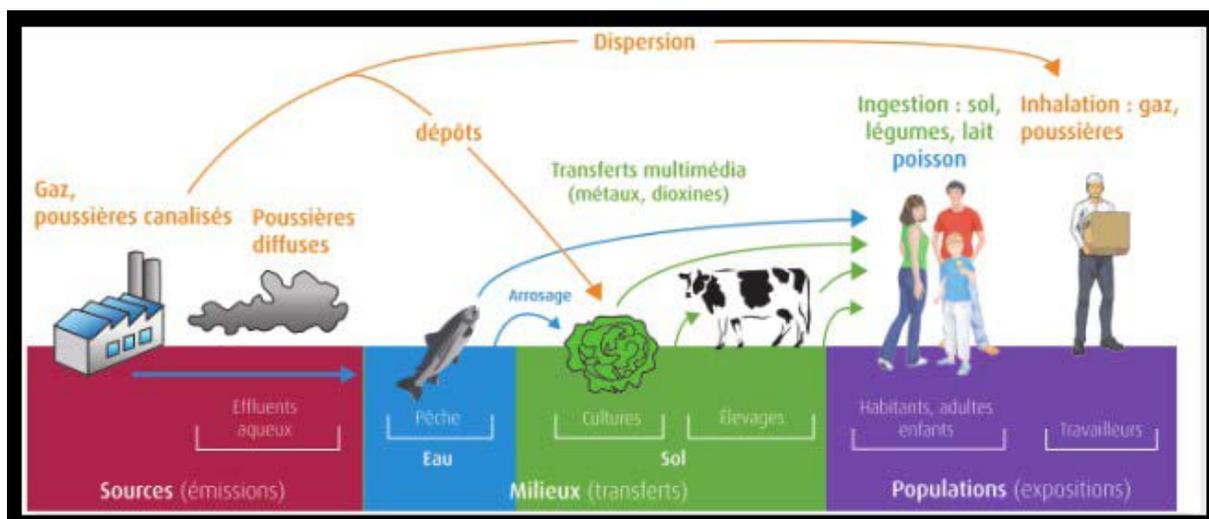


Figure 3. Exemple de schéma conceptuel autour d'une installation (source : INERIS, 2013).

Example of a conceptual diagram around an installation.

Après un retour d'expérience d'une quinzaine d'années, les Directions Générales de la Prévention des Risques et de la Santé, à travers leurs groupes de travail, ont montré la nécessité de mieux considérer le contexte environnemental autour des émetteurs pour évaluer de façon plus précise leurs impacts sanitaires potentiels en disposant de mesures réelles de contamination dans les différents milieux d'exposition.

L'outil d'interprétation de l'état des milieux, développé dans le cadre de la gestion des sites et sols pollués, est alors utilisé pour permettre d'évaluer la compatibilité des milieux rencontrés autour d'une installation avec les usages à l'échelle locale. Cette étape est un préalable avant d'engager ultérieurement la démarche d'évaluation des risques sanitaires permettant de décrire et quantifier les risques sanitaires consécutifs à l'exposition des personnes. La démarche est bien structurée et a fait l'objet d'un guide méthodologique par l'INERIS¹⁵.

Les intérêts d'une biosurveillance environnementale sont alors multiples puisque les résultats produits pourront intégrer à la fois le concept d'évaluation de l'état des milieux et la démarche d'évaluation des risques sanitaires. Dans le premier cas, la mise en place d'une surveillance environnementale pourra bénéficier de valeurs repères ou de valeurs de référence pour évaluer la qualité du milieu mesuré et

d'en constater l'évolution dans le temps et dans l'espace. Dans le deuxième cas, les résultats pourront être directement intégrés dans les démarches de caractérisation des expositions des populations et des risques sanitaires associés, car ils permettront d'évaluer les concentrations en polluants dans le milieu et *de facto* de déterminer les niveaux d'exposition aux contaminants.

Dans le cas spécifique de la biosurveillance au moyen de ray-grass, l'intérêt sera alors de permettre l'évaluation de l'impact des dépôts atmosphériques sur la qualité des fourrages. De manière globale, il s'agira de savoir si les niveaux de contamination des fourrages présentent des risques en termes de contamination des élevages de proximité et d'identifier *in fine* les risques pour l'homme à travers l'ingestion de denrées alimentaires d'origine animale (lait, produits laitiers et viande). Cette attention particulière prend tout son sens quand on considère que ces aliments constituent des vecteurs importants de l'exposition de la population aux polluants organiques persistants tels que les PCDD/F, PCD-DL ou PCB indicateurs¹⁶.

Les ray-grass restent néanmoins un indicateur de l'exposition locale de la population et il conviendra de s'attacher à identifier les autres milieux d'exposition et vecteurs de transferts locaux. La figure 3 présente la

¹⁵ INERIS (2013), *op. cit.*

¹⁶ ANSES. (2011). *Étude de l'alimentation totale française 2 (EAT 2), Tome 1. Rapport d'expertise*, 305 p.

base du schéma conceptuel qui permet de représenter les liens entre les sources d'émissions, les milieux, les usages et les populations.

4. Modalités d'interprétation des résultats de la biosurveillance

Détecter et quantifier les teneurs d'un polluant dans une matrice, qu'elle soit physique (sol, poussières, matériaux...) ou biologique (produits agro-alimentaires, végétaux) n'a de sens que s'il existe des outils permettant de juger du résultat constaté. En matière de biosurveillance, comme dans les autres domaines, la définition de seuils ne peut être envisagée qu'à la lumière d'une expérience suffisante concernant la matrice analysée, et donc sur la base d'une quantité de données importante.

4.1. Les valeurs bibliographiques

L'expérience acquise et le nombre croissant de données ont permis de construire des systèmes de discrimination capables de séparer les cas représentant une situation normale des cas représentant une situation où des retombées atmosphériques sont mises en évidence.

On peut alors proposer une grille de lecture à trois niveaux permettant de situer le niveau rencontré dans l'environnement sur une échelle de contamination. On fait alors appel à des valeurs repères, qui sont ici de nature bibliographique.

Le système proposé fait appel à deux seuils :

- le premier seuil (valeur repère 1) désigné de « bruit de fond¹⁷ » qui correspond à la concentration ubiquitaire dans les graminées au cours de la période où est menée l'étude de surveillance. Elle met en exergue les teneurs représentatives d'une situation de référence saisonnière. Elle est à la fois construite à partir d'une station témoin placée sous serre et d'un pool de stations témoins exposées dans les mêmes conditions que les stations exposées sur site (au niveau géographique et temporel) ;
- le second seuil (valeur repère 2) appelé « seuil de retombées » est utilisé pour faire la distinction entre la gamme des concentrations supérieures à

¹⁷ Le bruit de fond correspond aux niveaux de pollution les plus bas de la zone étudiée, pour lesquels on ne peut pas distinguer directement la contribution individuelle d'une source de pollution particulière. Ainsi, une pollution de fond correspond à un mélange assez homogène dans l'espace et dans le temps de pollutions d'origines variées (définition ADEME).

celles présentées par la référence saisonnière (mais non révélatrice d'une anomalie significative) et la situation à partir de laquelle un phénomène avéré de retombées atmosphériques est diagnostiqué.

Les deux seuils sont définis dans la figure 4 ci-après.

Ce système présente l'avantage d'offrir à l'utilisateur le moyen de juger clairement une situation donnée. Il permet également de prendre en compte la variabilité des concentrations naturelles observées dans l'environnement qui fluctuent au cours du temps au gré de différents paramètres (saison, conditions météorologiques).

À ce jour, la publication de ces seuils a fait l'objet de travaux de recherche pour l'industrie cimentière¹⁸ et un travail spécifique sur les dioxines/furannes a été réalisé pour l'ADEME en 2012¹⁹. Un travail de révision des seuils est actuellement réalisé par BioMonitor en collaboration avec l'université de Metz.

4.2. Les valeurs réglementaires

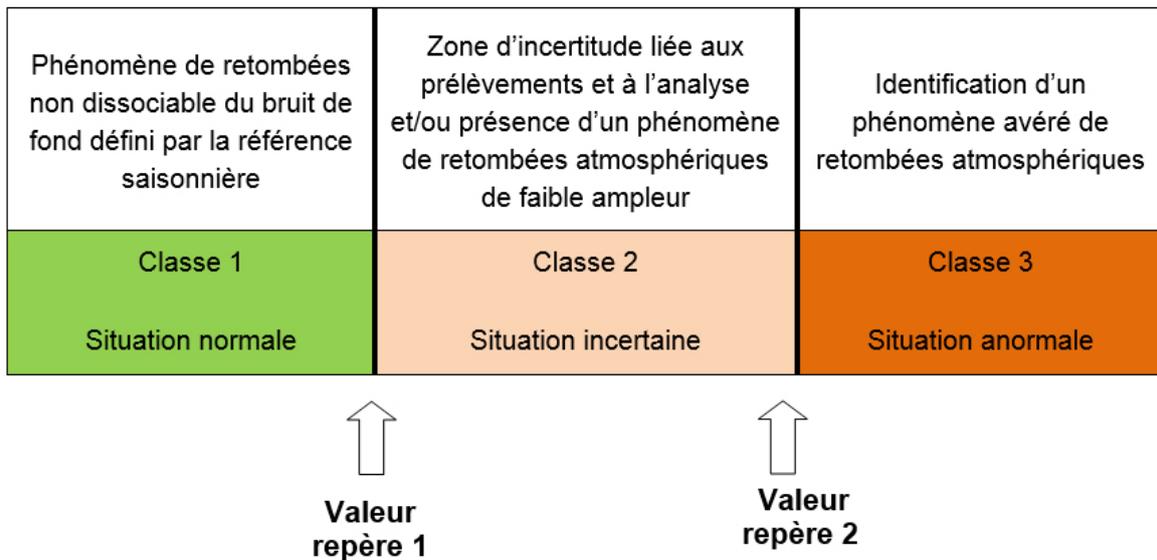
Le ray-grass peut être considéré comme un support végétal représentatif d'une partie du fourrage rentrant dans l'alimentation des animaux. On peut alors utiliser des valeurs de référence, à savoir des valeurs réglementaires. L'interprétation des résultats peut alors être réalisée sur la base de l'arrêté du 30 octobre 2013²⁰ fixant les teneurs maximales pour les substances et produits indésirables dans l'alimentation des animaux. Il fixe une teneur maximale en PCDD/F, en PCB-DL et quatre métaux (arsenic, cadmium, mercure et plomb) applicable à toutes les matières premières d'origine végétale pour aliments des animaux.

C'est à ce niveau d'interprétation que la technique de mesures apporte une dimension supplémentaire à l'étude, permettant de faire le lien avec l'évaluation des risques sanitaires.

¹⁸ BIOMONITOR. (2009) *Guide technique pour la surveillance de l'impact sur l'environnement des cimenteries*.

¹⁹ ADEME. (2012). *Biosurveillance des retombées de dioxines/furannes : guide de lecture et d'interprétation des résultats*. Étude réalisée par BioMonitor.

²⁰ Arrêté du 30 octobre 2013 modifiant l'arrêté du 12 janvier 2001 fixant les teneurs maximales pour les substances et produits indésirables dans l'alimentation des animaux.

**Situation normale :**

Cette situation correspond à la gamme de concentrations pour laquelle on ne peut pas distinguer directement la contribution d'un phénomène de retombées du bruit de fond local.

Situation incertaine :

Cette situation correspond à la gamme de concentrations qui ne peut pas être dissociée du bruit de fond ou associée à un phénomène significatif de retombées atmosphériques, notamment si l'on considère les incertitudes de mesures.

Situation anormale :

Cette situation correspond à la gamme de concentrations pour laquelle un phénomène de retombées atmosphériques est clairement identifié. Les retombées sont dissociables du bruit de fond et des incertitudes liées à l'analyse/prélèvements et restent caractéristiques d'une situation de contamination. Il est important de remarquer que ce dernier terme ne préjuge en rien d'un niveau de toxicité sur le plan environnemental et encore moins sur un plan sanitaire.

Figure 4. Signification des seuils de retombées.

Significance of the impact thresholds.

5. Exemple d'une application pour un cas générique

5.1. Présentation du contexte de l'étude

Un programme de mesures est réalisé de façon annuelle pour évaluer les impacts sur l'environnement d'une activité de co-incinération de déchets.

Cette surveillance s'inscrit depuis plusieurs années dans le cadre de l'arrêté ministériel relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux. Le chapitre VIII et l'article 30 de l'arrêté du 30 octobre 2013 imposent une surveillance de l'impact sur l'environnement. L'exploitant doit donc mettre en œuvre des moyens visant à qualifier et quantifier les effets que pourraient avoir son activité sur la qualité de son environnement.

Hormis des exigences minimales de fréquence annuelle, de polluants concernés, l'arrêté ne détaille toutefois pas les modalités de mise en application de

la surveillance. Le choix de la stratégie de mesures est donc laissé libre. La méthode choisie doit toutefois permettre d'amener à une quantification de l'impact maximum de l'installation en recherchant un éventuel signal dans l'environnement et d'en évaluer son évolution au cours du temps. La stratégie de mesures a été définie préalablement sur la base de l'analyse des émissions du site, des caractéristiques environnementales de la zone d'étude afin d'identifier et de hiérarchiser les choix du programme de surveillance.

Cette surveillance est ciblée et s'attache au suivi des dioxines/furannes (PCDD/F) et des métaux.

Le plan de surveillance s'appuie sur la mise en œuvre d'une série de mesures de 28 jours avec la méthode de biosurveillance NF X 43-901. Les dispositifs ont été installés après avoir évalué le contexte environnemental local et les sources exogènes de la zone d'étude. Les mesures ont notamment été réalisées sur la base de l'étude de dispersion et en considérant les lieux dits sensibles de l'aire d'étude

(écoles, par exemple). Cette méthode a été choisie en raison du caractère rural de la zone. Le programme de mesures a mis en évidence des dépassements de la valeur repère 2 et de la valeur réglementaire pour les dioxines/furannes dans la zone de dispersion principale des polluants atmosphériques. En réponse à la constatation de cet impact de l'environnement, une évaluation des risques sanitaires a été réalisée.

L'organisation générale de l'étude a suivi la démarche présentée sur la figure 5 ci-après.

5.2. Organisation spatiale de la surveillance

La surveillance est construite autour d'un réseau de mesures permettant de disposer :

- de trois stations de mesures situées dans la zone d'impact localisée en zone rurale afin d'évaluer la décroissance des concentrations le long de l'axe principal de dispersion (stations 1, 2 et 3). La station intermédiaire (station 2) est placée au cœur du village situé à proximité ;
- d'une station de mesures placée dans l'axe de dispersion secondaire en zone rurale (station 4) ;

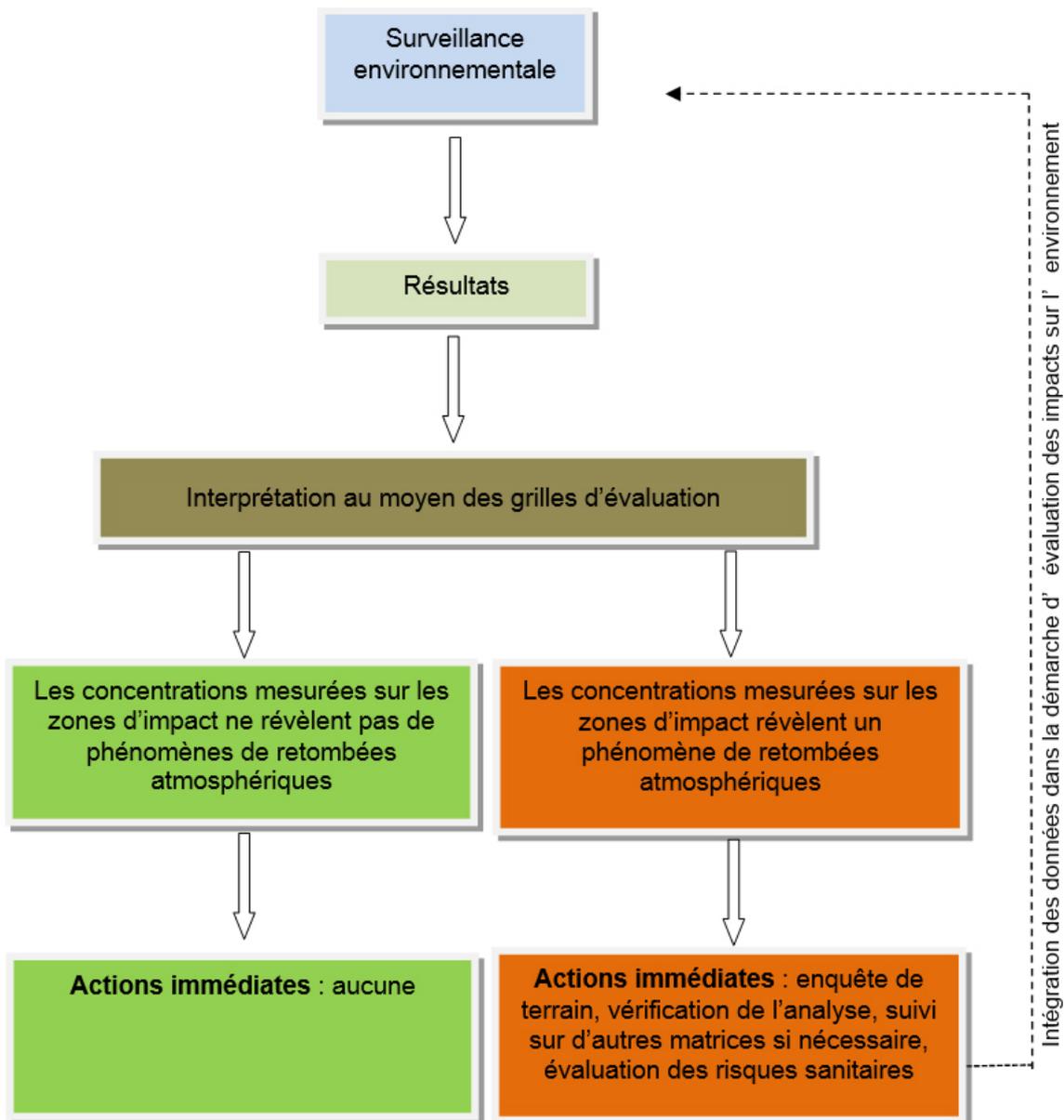


Figure 5. Organisation générale de l'étude.

General organization of the study.

- d'une station de surveillance placée dans une zone représentative du bruit de fond local (station 5).

Les emplacements des stations sont représentés sur la figure 6.

5.3. Présentation et interprétation des résultats

5.3.1. Les phases de contrôle

Le préalable à l'interprétation des résultats est de :

- confirmer la typologie des stations choisies en considérant les fréquences d'exposition aux vents et en analysant les conditions de dispersion pendant la phase de mesures avec celles retenues initialement pour définir les stations de surveillance ;
- confirmer l'absence d'anomalies dans les cultures exposées sur site.

Dans ce deuxième cas, le programme de mesures s'accompagne systématiquement d'une mesure effectuée dans un lot contrôle. Il s'agit de ray-grass maintenus sous serre en même temps que ceux exposés sur

site. L'analyse des dioxines/furannes et des métaux sur cet échantillon permet d'apprécier les niveaux de concentrations ubiquitaires et d'apprécier les éventuels problèmes de contamination liés à la manipulation des dispositifs de prélèvement au cours de leur préparation.

Parallèlement, la référence saisonnière est également intégrée à l'étude afin d'identifier les concentrations naturelles attendues dans les graminées au terme d'une exposition de 28 jours sur la période de l'année choisie pour conduire l'étude. Ultérieurement, elle représentera le seuil 1 utilisé pour l'interprétation des résultats.

Les principaux résultats obtenus pour cette étude sont présentés dans le tableau I ci-après.

Les résultats observés dans le lot contrôle et la référence saisonnière ne présentent aucune anomalie. Les concentrations sont conformes à la gamme de valeurs ubiquitaires habituellement observées dans ce type de matrice. Ces résultats permettent donc

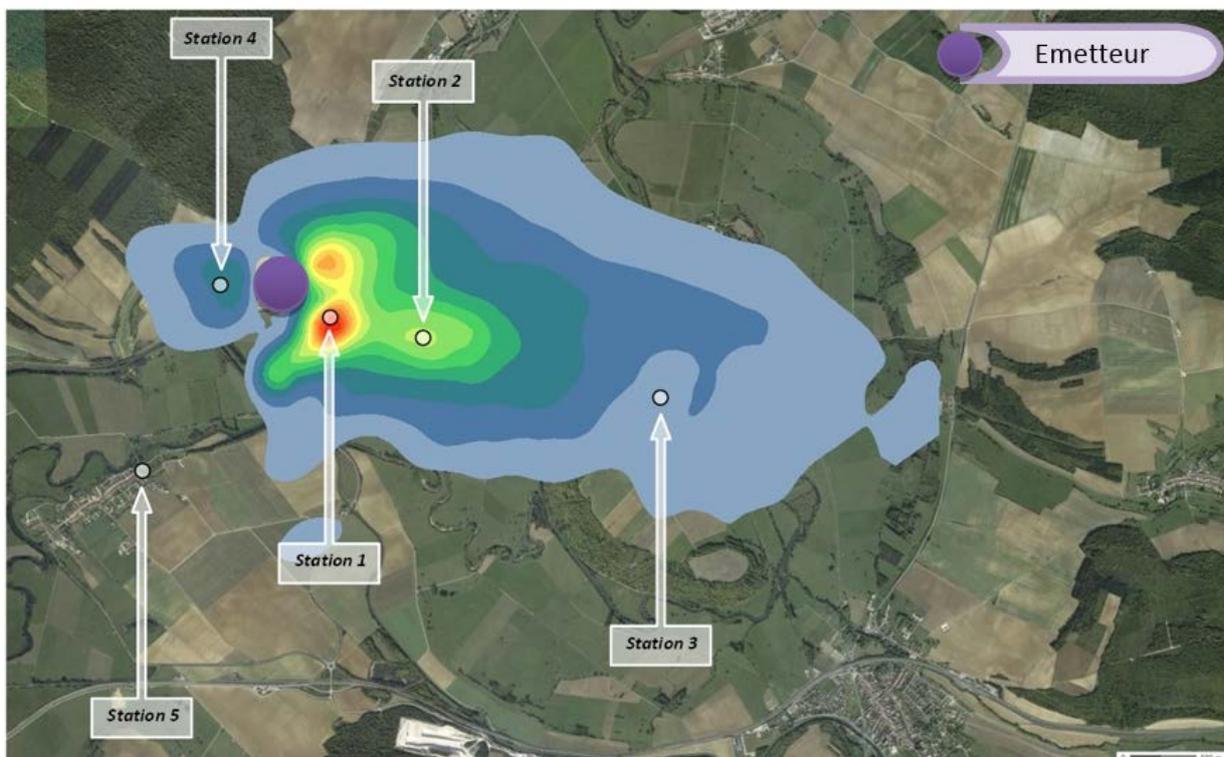


Figure 6. Présentation de la localisation des aires d'étude

(source : BioMonitor, 2014).

Location of the study sites.

Tableau I. Présentation des concentrations mesurées dans le lot contrôle et la référence saisonnière.

Concentrations measured in the control lot and the seasonal reference.

	PCDD/F	As	Cd	Hg	Ni	Pb	Tl
Unité	pg OMS ₂₀₀₅ - TEQ/g de matière sèche	mg/kg de matière sèche					
Lot contrôle	0,12	0,11	0,03	<0,03	6,5	0,19	<0,13
Référence saisonnière locale	0,31	0,12	0,04	<0,03	3,2	0,24	<0,13

d'autoriser l'interprétation des résultats qui seront obtenus sur le site d'étude.

5.3.2. Modalités d'interprétation des résultats

Le programme de mesures a prévu l'implantation d'une station témoin supposée être à l'abri des vents dominants en provenance de l'usine et des autres sources locales. Les résultats d'analyses effectuées sur les graminées exposées sur cette station doivent donc être représentatifs des teneurs naturelles habituellement mesurées dans l'environnement local. Un premier niveau d'interprétation consiste alors à comparer l'ensemble des résultats en utilisant ceux relevés sur la station témoin et en mettant en avant les résultats marquants, en considérant notamment les conditions météorologiques et les influences exogènes de la zone d'étude.

Un deuxième niveau d'interprétation consiste à apprécier les niveaux obtenus par rapport aux valeurs de référence citées dans le paragraphe 4.

5.3.3. Les résultats et leur interprétation

La figure 7 présente les résultats d'analyse des métaux et des dioxines/furannes (PCDD/F) dans les graminées exposées dans l'environnement du site industriel.

L'exposition des graminées sur les stations de mesures met en avant des valeurs proches des teneurs ubiquitaires sur la majorité des stations si l'on considère la référence saisonnière et la valeur observée sur le témoin site. Pour la majorité des paramètres suivis, aucun impact environnemental n'est observé sur les stations d'étude choisies. La campagne de mesure

met toutefois en évidence un gradient de concentrations pour les dioxines/furannes, l'arsenic et le nickel. Dans le cas spécifique des dioxines/furannes, les teneurs relevées sont supérieures à la valeur repère définie par le seuil 2 sur les stations 1 et 2, dans la zone de dispersion principale. Pour les autres paramètres, à savoir l'arsenic (As) et le nickel (Ni), un constat d'impact de faible ampleur est mis en exergue sur la station 2.

Si l'on considère le modèle d'exposition utilisé (les cultures normalisées de ray-grass) comme représentatif de la contamination des fourrages, l'interprétation des résultats peut être également réalisée sur la base de l'arrêté du 30 octobre 2013 fixant les teneurs maximales pour les substances et produits indésirables dans l'alimentation des animaux. Elle montre également un dépassement de la valeur de référence sur les stations 1 et 2.

5.3.4. Bilan et orientations

À ce stade de l'étude, il est difficile de statuer sur l'impact de l'activité de l'industriel suivi sur son environnement si l'on considère les seuls résultats de la biosurveillance puisqu'on a mis en évidence des valeurs plus élevées dans le village situé à proximité parallèlement à un dépassement de la valeur repère au point d'impact maximal.

Des investigations complémentaires ont donc été nécessaires *a posteriori* pour confirmer ou infirmer la situation constatée et rechercher d'éventuelles autres sources locales. Elles ont montré la présence d'un dysfonctionnement à l'émission et l'existence d'une activité de brûlage de déchets verts dans le village pendant la période d'exposition des graminées.

Des études complémentaires ont donc été réalisées selon le principe décrit sur la figure 5 :

- sur des légumes de potager afin de confirmer l'existence de dépôts actuels de dioxines/furannes ;
- en réalisant une évaluation des risques sanitaires.

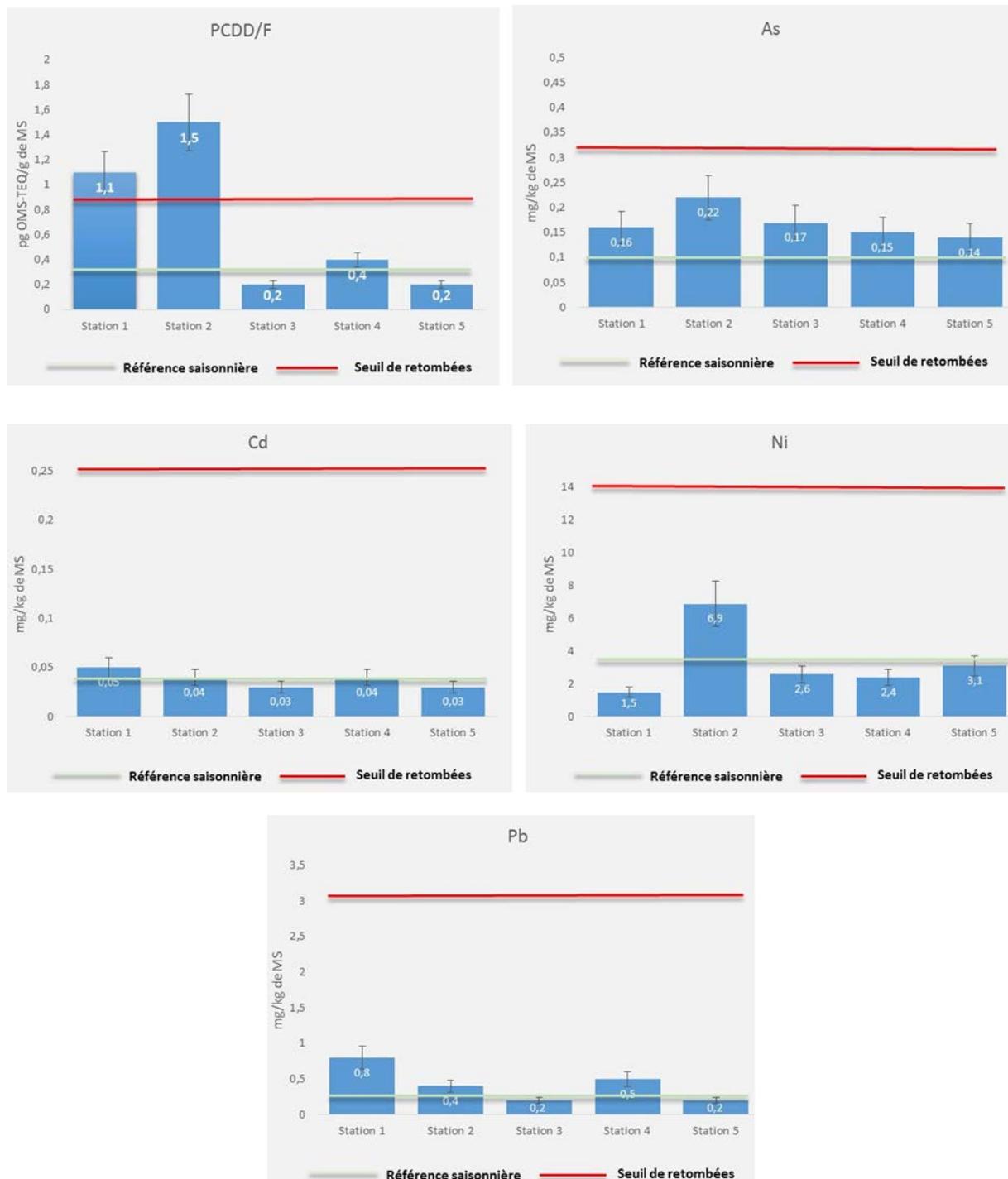


Figure 7. Teneurs mesurées dans l'environnement du site industriel et comparaison aux valeurs repères.

Levels measured in the environment of the industrial site and comparison with reference values.

5.4. La surveillance sanitaire et l'évolution du plan de surveillance

Dans le cas concret de cette étude, les résultats de la biosurveillance ont été utilisés à différentes étapes de l'évaluation des risques sanitaires visant à évaluer la situation annuellement :

1 : lors de la sélection des traceurs du risque (substances d'intérêt) ; les substances révélant une anomalie dans les graminées ayant été priorisées ;

2 : lors de l'étude de dispersion des polluants atmosphériques et de l'étude des transferts dans toute la chaîne alimentaire sur toute la zone d'étude. Les paramètres entourant l'étude de biosurveillance (biomasse produite et concentrations) ont permis le calage des modèles, notamment à partir de l'estimation des coefficients de biotransfert des polluants entre l'air et la plante. Ces derniers ont été ajustés en comparant les résultats modélisés aux résultats mesurés ;

3 : lors de la caractérisation des expositions des animaux au droit des points d'exposition choisis pour la surveillance. Le calcul de la dose journalière d'exposition liée à l'ingestion de fourrage a considéré les concentrations obtenues dans les graminées normalisées.

L'évaluation des risques sanitaires a conclu sur l'absence de risque chronique imputable à l'activité du site industriel suivi. Toutefois, il a été proposé, à la suite de cette étude, d'élargir les futurs programmes environnementaux, en mettant en place une biosurveillance passive selon la norme NF EN 16414²¹ (utilisation de bryophytes terrestres prélevées *in situ*) afin de détecter une éventuelle dérive en dehors de la période d'exposition des graminées.

6. Conclusion

La surveillance de l'impact sur l'environnement et la santé d'une activité industrielle évolue aujourd'hui dans un cadre réglementaire développé et grâce à une méthodologie qui lui est directement connectée. Certaines techniques de mesures utilisées pour la

surveillance de l'impact environnemental des émissions atmosphériques présentent alors des avantages en pouvant créer un lien avec la surveillance sanitaire.

Parmi elles, on peut retenir la biosurveillance faisant appel à la culture de ray-grass et présentée dans la norme NF X 43-901. Grâce à l'existence de valeurs repères bibliographiques, elle permet de mesurer le niveau d'impact des retombées atmosphériques sur l'environnement. Couplée aux valeurs de référence citées dans la réglementation, elle permet également de juger de la qualité des fourrages qui pourraient être produits dans la zone d'étude ciblée et renseigner *de facto* sur l'exposition potentielle des animaux. Cette biosurveillance vient ainsi compléter les outils traditionnels de surveillance de la qualité de l'environnement (mesures dans les eaux, les sols ou l'air) afin d'apporter les éléments nécessaires à la compréhension des mécanismes de transfert dans l'environnement et des impacts sur la santé.

Les résultats obtenus dans les ray-grass peuvent ainsi être utilisés dans la démarche d'évaluation des risques sanitaires en apportant des éléments de réponse lors de l'évaluation de l'état des milieux. Cette biosurveillance devient alors un véritable outil d'alerte en permettant d'agir avant que le milieu ne se dégrade et que des risques sanitaires n'apparaissent dans les autres milieux d'exposition.

De manière plus large, les différentes techniques de biosurveillance permettent de répondre aux besoins d'information et de communication auprès des certificateurs lors des démarches ISO 14001²² ou du concept de responsabilité sociétale des entreprises (RSE), mais aussi des riverains ou des associations locales. La biosurveillance reste aussi bien un outil de mesure qui va être un indicateur de la qualité environnementale au voisinage d'un site que le témoignage de l'effort consenti par l'industriel pour respecter son environnement. Le but reste toujours le même : faire perdurer sa politique de développement durable.

21 NF EN 16414. (2014). *Air ambiant - Biosurveillance à l'aide de mousses - Accumulation des contaminants atmosphériques dans les mousses prélevées in situ : de la récolte à la préparation des échantillons - Air ambiant - Biosurveillance à l'aide de mousses - Accumulation des contaminants atmosphériques dans les mousses prélevées in situ : de la récolte à la préparation des échantillons.*

22 NF EN ISO 14001. (2004). *Systèmes de management environnemental - Exigences et lignes directrices pour son utilisation.*