

Le directeur général

Maisons-Alfort, le 24 avril 2018

## **Extrait de l'AVIS** **de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation,** **de l'environnement et du travail**

**relatif « au risque sanitaire lié à la mise sur le marché et à la consommation de productions végétales produites sur un site pollué en plomb et cadmium par l'ancienne fonderie Métaeurop »**

*Le présent document est un extrait de l'avis du 24 avril 2018, après suppression des parties confidentielles qui relèvent du secret statistique, non publiables.*

---

*L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.*

*L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.*

*Elle contribue également à assurer d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part à l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.*

*Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L.1313-1 du code de la santé publique).*

*Ses avis sont publiés sur son site internet.*

---

L'Anses a été saisie le 14 février 2017 par la Direction générale de l'alimentation, la Direction générale de la prévention des risques et la Direction générale de la santé pour la réalisation de l'expertise suivante : demande d'avis relatif au risque sanitaire lié à la mise sur le marché et à la consommation de productions végétales produites sur un site pollué en plomb et cadmium par l'ancienne fonderie Métaeurop.

### **1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE**

Les informations contextuelles fournies par le courrier de saisine sont les suivantes : « Depuis 2003, une pollution diffuse et rémanente du sol en plomb (Pb) et cadmium (Cd) a été mise en évidence dans le bassin industriel de Noyelles-Godault. Elle est consécutive à l'exploitation industrielle de l'usine Métaeurop de 1881 à 2003, date de sa fermeture. Les parcelles agricoles situées autour du site Métaeurop sont impactées par cette pollution. De 2003 à 2014, le dispositif de gestion sanitaire au regard des productions agricoles reposait sur le volontariat des agriculteurs afin de retirer certaines de leurs productions du marché. Depuis 2015, les dispositions sanitaires ont été renforcées par deux arrêtés préfectoraux en date du 29 mai 2015<sup>1,2</sup> qui prévoient des restrictions de mises sur le marché des productions agricoles d'origine animale et végétale.

---

<sup>1</sup> Arrêté préfectoral du 29 mai 2015 relatif à des restrictions sanitaires d'utilisation et de mise sur le marché de productions agricoles végétales issues des zones reconnues contaminées par des métaux lourds

<sup>2</sup> Arrêté préfectoral du 29 mai 2015 relatif à des restrictions de mise sur le marché de productions agricoles d'origine animale issues des zones reconnues contaminées par des métaux lourds

Suite à ces dispositions sanitaires de 2015, des périmètres soumis à restriction ont été définis en fonction de la teneur en cadmium et/ou en plomb des sols agricoles et établis sur la base d'une analyse de risque fondée sur les concentrations en plomb et cadmium dans les sols obtenues à la suite de l'étude menée par l'Institut Supérieur d'Agriculture (ISA) de Lille et par l'Ademe<sup>3</sup>. Trois zones ont été définies en fonction de la teneur en cadmium et/ou en plomb des sols agricoles allant de la zone la plus proche à la plus éloignée du site Métaleurop :

- zone 1 avec :  $[Pb] > 1000 \text{ mg.kg}^{-1}$  et  $[Cd] > 20 \text{ mg.kg}^{-1}$ ;
- zone 2 avec :  $500 < [Pb] \leq 1000 \text{ mg.kg}^{-1}$  et  $10 < [Cd] \leq 20 \text{ mg.kg}^{-1}$ ;
- et zone 3 avec :  $200 < [Pb] \leq 500 \text{ mg.kg}^{-1}$  et  $4 < [Cd] \leq 10 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

A partir des dispositions sanitaires issues des arrêtés préfectoraux du 29 mai 2015, les restrictions suivantes sont émises en fonction des zones :

- Zone 1 : interdiction totale de toutes productions agricoles végétales et activités d'élevage ;
- Zones 2 et 3 : pour les productions animales, une saisie systématique des foies et des reins des animaux (bovin, ovin, caprin, porc, volaille) ayant été détenus plus de trois mois dans une exploitation située en tout ou partie dans une des zones. Pour les productions végétales, une levée de consignation pour la mise sur le marché à destination de l'alimentation humaine ou animale de productions végétales à cycle long (céréales, maïs, protéagineux, pommes de terre, betteraves fourragères, fourrage) est conditionnée par des résultats d'analyse conformes aux seuils réglementaires pour le plomb et le cadmium. Si les résultats d'analyse de recherche en plomb et cadmium ne respectent pas les teneurs maximales réglementaires établies pour la consommation humaine, mais respectent celles plus élevées fixées pour l'alimentation animale, les productions agricoles d'origine végétale peuvent être déclassées vers l'alimentation animale. En revanche, si les teneurs en cadmium et plomb dans les productions végétales ne respectent pas les teneurs réglementaires (alimentation humaine ou animale), les cultures ne sont pas commercialisées.

Des contrôles officiels sont instaurés par l'arrêté préfectoral du 29 mai 2015<sup>1</sup>. L'article 7 indique que des prélèvements systématiques doivent être réalisés par échantillonnage de chaque parcelle de culture pour mesurer les concentrations en cadmium et en plomb dans les parties comestibles des végétaux.

Des campagnes de prélèvements des productions végétales produites sur le site pollué par Métaleurop en fonction du zonage agricole défini dans les arrêtés préfectoraux du 29 mai 2015 ont été menées en 2015 et 2016. Les analyses en plomb et en cadmium des productions végétales ont été effectuées par le service commun des laboratoires à l'issue des campagnes de prélèvements opérées par la direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt Hauts-de-France. Les analyses ont été réalisées à partir de prélèvements faits à la récolte, sauf dérogation où elles ont été effectuées avec des prélèvements réalisés 2 à 3 semaines avant la récolte du fait de l'absence de possibilité de stockage chez les exploitants. L'ensemble des résultats de ces analyses était annexé à la saisine soumise à l'Anses. »

L'Anses a été mandatée pour émettre un avis sur les propositions de mesures appropriées pour la mise sur le marché et la consommation de productions agricoles d'origine végétale produites sur le site pollué en plomb et en cadmium par l'ancienne fonderie Métaleurop de Noyelles-Godault au regard de la caducité des deux arrêtés préfectoraux du 29 mai 2015<sup>1,2</sup>, applicables jusqu'au 15 juin 2018. L'Anses était également sollicitée pour répondre aux questions suivantes:

<sup>3</sup> Institut Supérieur d'Agriculture, ISA (2011). Site Métaleurop à Noyelles-Godault (62) - Campagne de mesures des teneurs en plomb et en cadmium autour de l'ancien site industriel, Février 2011. Groupe ISA, Equipe Sols et Environnement, LGCgE Lille Nord de France

« - est-il pertinent de pérenniser les restrictions établies sur la base des teneurs réglementaires et de poursuivre les contrôles systématiques sur chaque parcelle : si oui, pour combien de temps ?

- ou est-il possible d'alléger les mesures de gestion établies, notamment en appliquant les mesures suivantes :

- Pour les nouvelles espèces cultivées sur une parcelle donnée et pour les cultures sur des parcelles en jachère les années précédentes : appliquer les procédures de l'arrêté préfectoral de 2015 (analyses libératoires pour les productions à cycle long, analyses non libératoires pour les autres productions).

- Pour les productions de maïs ensilage, d'avoine et les productions maraîchères : poursuivre ces mêmes analyses systématiques.

- Pour les productions de pommes de terre : poursuivre les analyses et prendre en compte le facteur variété.

- Pour les récoltes de blé et d'orge, sauf cas de parcelles particulières à expertiser, considérer les futures récoltes :

- comme pouvant être destinées à la consommation humaine sous réserve de recourir à un autocontrôle adapté.

- conformes pour l'alimentation animale (sans analyse libératoire ni autocontrôle) avec un plan de surveillance renforcé sur les produits à maturité.

- Pour les récoltes de maïs grain : considérer les futures récoltes conformes pour la consommation humaine, avec un plan de surveillance renforcé sur les produits à maturité.

- Pour les récoltes de féveroles : considérer les futures récoltes conformes pour l'alimentation animale avec un plan de surveillance renforcé sur le produit à maturité.

- De mettre en place un plan de surveillance renforcé sur les cultures du site. »

Au cours de l'expertise de cette saisine, l'Anses a été mandatée par les tutelles afin de faire, dans un premier temps, un retour sur la qualité des données d'analyse permettant de prévoir le recueil des données manquantes sur la campagne 2017. En effet, sur la base des résultats d'analyses en plomb et en cadmium des productions végétales obtenus pendant les campagnes de prélèvements de 2015 et 2016, l'Anses était sollicitée pour répondre aux questions suivantes :

- L'échantillonnage et la qualité des données obtenues sont-ils suffisants et pertinents pour l'émission d'un avis relatif aux conformités réglementaires des denrées produites ?

- Les résultats d'analyses obtenus sur des prélèvements faits avant récolte (2 à 3 semaines avant récolte) sont-ils aussi indicateurs / fiables au regard de la teneur maximale réglementaire que des prélèvements réalisés à la récolte ? Peut-on en déduire (en utilisant un facteur correctif) le degré de contamination probable du produit à maturité tel qu'il est mis sur le marché ?

Puis, l'Anses était sollicitée pour faire un second point d'étape sur les premiers résultats. Ces points d'étape ont fait l'objet de notes transmises aux tutelles le 4 mai et le 20 septembre 2017.

## **2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE**

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) ».

L'expertise collective a été réalisée sur la base d'un rapport initial rédigé par six rapporteurs issus des comités d'experts spécialisés (CES) « Evaluation des Risques Chimiques liés aux Aliments (ERCA) » et « Alimentation Animale (ALAN) ». Les travaux ont été présentés aux CES tant sur les

aspects méthodologiques que scientifiques entre février 2017 et mars 2018. Ils ont été adoptés par le CES ERCA réuni le 15 mars 2018.

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet de l'Anses ([www.anses.fr](http://www.anses.fr)).

Les résultats des analyses des campagnes de prélèvements des productions végétales produites sur le site pollué de Métaleurop conduites en 2015 et 2016 dans le contexte des arrêtés préfectoraux du 29 mai 2015 ont été annexés à la saisine et ont fait l'objet d'une analyse dans le cadre du traitement de la saisine.

Dans le cadre de cette expertise, des auditions du responsable de l'équipe Sols et Environnement du Laboratoire Génie Civil et géoEnvironnement Lille Nord de France (LGCgE) de l'Institut Supérieur d'Agriculture (ISA) ainsi que du chef de service friches urbaines et sites pollués de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) et du chef de projets sites et sols pollués de l'ADEME Hauts-de-France ont été réalisées le 5 décembre 2017.

### **3. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU CES ERCA**

#### **3.1. Caractérisation du danger des contaminants identifiés dans la saisine**

##### **3.1.1. Le cadmium**

Le cadmium (Cd) est un élément trace métallique (ETM) ubiquitaire, qui se retrouve dans les différents compartiments de l'environnement (sol, eau, air) du fait de sa présence à l'état naturel dans la croûte terrestre et des apports anthropiques (activités industrielles et agricoles).

La population générale est majoritairement exposée du fait de l'inhalation active et passive de fumée de tabac et de la consommation d'eau et d'aliments contaminés d'après l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS/WHO, 2010). Le cadmium a un comportement bioaccumulable et se révèle être un contaminant de la chaîne alimentaire potentiellement préoccupant (EFSA, 2009).

Une exposition prolongée par voie orale au cadmium induit une néphropathie, une fragilité osseuse, des troubles de la reproduction ainsi qu'un risque accru de cancer de plusieurs organes (poumon, prostate et rein). Ainsi, le cadmium est classé « cancérogène pour l'Homme » (groupe 1) par le Centre International de Recherche sur le Cancer (IARC/CIRC, 2012).

##### **3.1.2. Le plomb**

Le plomb (Pb) est un métal ubiquitaire naturellement présent dans la croûte terrestre. Son utilisation intensive par l'Homme (activités minières et industrielles : fonderies, accumulateurs, pigments, alliages, munitions, etc.) est à l'origine d'une forte dispersion dans l'environnement.

Dans la population générale, l'Homme y est exposé par les aliments et l'eau qu'il consomme mais aussi *via* l'air, le sol, les poussières, ainsi que d'autres sources plus spécifiques. Le plomb est bioaccumulable.

Chez l'Homme, le principal organe cible est le système nerveux central, en particulier au cours du développement chez le fœtus et le jeune enfant. En cas d'intoxication massive, des signes de saturnisme apparaissent (troubles neurocomportementaux). Une relation inversement proportionnelle a été démontrée entre la concentration sanguine en plomb (plombémie) et les scores de quotient intellectuel (Budtz-Jorgensen *et al.* 2013, Canfield *et al.* 2003, Lanphear *et al.* 2005).

Chez l'adulte, le plomb a des effets sur les reins (augmentation de la prévalence de maladies chroniques rénales) et sur le système cardiovasculaire (élévation de la pression sanguine systolique). Le plomb inorganique est classé par le CIRC dans le groupe 2A « probablement cancérigène chez l'Homme » : cette forme est présente de manière prépondérante dans l'environnement (EFSA, 2013). Quant au plomb organique, son effet cancérigène n'a pas été démontré à ce jour, il est donc classé par le CIRC dans le groupe 3 « qui ne peut pas être classé pour sa cancérigénicité chez l'Homme » (IARC/CIRC, 2006).

### **3.1.3. Réglementation relative au cadmium et plomb dans les denrées alimentaires**

Le règlement (CE) n°1881/2006<sup>4</sup> du 19 décembre 2006 fixe les teneurs maximales réglementaires (TM) de certains contaminants dans les denrées assorties d'une disposition générale interdisant la mise sur le marché de toute denrée dont la concentration en contaminants dépasse la TM correspondante.

Pour le cadmium, des TM ont été fixées notamment pour les légumes (feuilles/-tubercules/-racines et autres), fruits, champignons, céréales, produits à base de cacao, viandes et abats, poissons, crustacés, mollusques, préparations infantiles (à base de lait ou de céréales), et certains compléments alimentaires et produits à base de soja. Elles varient entre 0,005 et 3 mg.kg<sup>-1</sup> (de poids à l'état frais) en fonction des aliments. Quant au plomb, des TM ont été fixées pour les mêmes types de denrées alimentaires avec des valeurs variant de 0,01 à 3 mg.kg<sup>-1</sup> (de poids à l'état frais) selon les denrées.

## **3.2. Eléments de contexte liés au site de l'ancienne fonderie Métaleurop**

### **3.2.1. Le site « Métaleurop Nord »**

Le site « Métaleurop Nord » est implanté au cœur de l'ancien bassin minier du Nord-Pas de Calais entre Lens et Douai et s'étend sur plus de 120 km<sup>2</sup> qui couvrent les communes de Courcelles-lès-Lens, Noyelles-Godault, Dourges, Evin-Malmaison, Ostricourt, Oignies, Leforest, Roost-Warendin, Auby, Flers en Escrebieux, Cuincy. Ce site se rapporte à l'ensemble du territoire affecté à des degrés divers par les activités métallurgiques passées de deux fonderies de plomb et de zinc : Métaleurop Nord à Noyelle-Godault et une fonderie (encore en activité à ce jour) à Auby, distantes toutes deux de 3,5 km. A noter que, au regard de l'existence d'une fonderie en fonctionnement à proximité de l'ancienne fonderie Métaleurop, il serait important d'intégrer ses impacts éventuels dans une gestion cumulée des risques dans le cadre de la surveillance des productions agricoles de ce site.

### **3.2.2. Etat des lieux des sols**

#### **3.2.2.1. Contexte et généralités**

Les sols se forment aux dépens de roches (exemples : basaltes, granites, calcaires) ou des formations superficielles (telles les alluvions, les lœss). Chaque sol hérite de son matériau parental un certain nombre de propriétés majeures, notamment sa composition géo-chimique initiale. Les teneurs en ETM mesurées aujourd'hui dans les sols résultent donc d'abord de processus naturels : une composition chimique initiale héritée du matériau géologique dont le sol est issu, plus ou moins modifiée ensuite par l'évolution du sol en absence de tout apport d'origine humaine. La concentration pédo-géochimique naturelle (CPGN) résulte de cet état initial. D'un endroit à un autre du territoire, cette CPGN peut varier grandement, en fonction de la nature du matériau

<sup>4</sup> Règlement (CE) n° 1881/2006 de la commission du 19 décembre 2006 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires



parental (héritage), de l'histoire géologique et pédologique locale, d'où la nécessité de prendre en compte son niveau local.

A ces valeurs d'origine naturelle s'ajoutent des apports liés à l'activité humaine comme par exemple les intrants agricoles (exemple: fertilisants minéraux, boues, composts, produits de traitement phytosanitaire) ou les retombées atmosphériques (exemple : liées à la circulation automobile, aux activités industrielles). Compte tenu de ces apports anthropiques, la notion de CPGN ne s'applique plus puisqu'à l'héritage pédo-géologique initial sont venus s'ajouter ces divers apports d'ETM : on parle alors de teneurs agricoles habituelles (Baize, 2009) qui correspondent aux gammes de concentrations observées le plus fréquemment dans les horizons de surface des sols agricoles soumis à des pratiques agricoles usuelles.

### 3.2.2.2. Géologie et fond pédo-géochimique du Nord-Pas de Calais

Le substrat géologique du Nord-Pas de Calais est constitué de sédiments marins déposés depuis le Primaire jusqu'au Crétacé. Il s'agit de roches massives et dures (telles que des calcaires durs, des grès ou des schistes), ou bien des roches telles les craies et, parfois, des argiles ou des sables. Ces substrats affleurent rarement car ils sont généralement recouverts par des formations superficielles quaternaires: le plus souvent des lœss ou des lœss sableux, mais également des colluvions ou des alluvions. Dans cette région, les processus pédogénétiques ont peu modifié la composition héritée des matériaux parentaux. Ainsi, contrairement à d'autres régions, il n'existe pas d'anomalies géochimiques naturelles connues (Baize *et al.*, 1999, 2006, Birke *et al.*, 2017).

Sterckeman *et al.* (2007) ont réalisé un inventaire géochimique des sols du Nord-Pas de Calais, selon une approche stratifiée par type de sol. Le choix des unités de sol à échantillonner a été réalisé en considérant les facteurs connus pour influencer la distribution des teneurs en éléments en traces. Ces facteurs sont le matériau parental, la pédogenèse, l'usage du sol et la distance aux sources de contamination. Ce dernier facteur a été pris en compte lors du choix des sites d'échantillonnage. N'ont ainsi été retenus que des points de prélèvements éloignés des sources potentielles connues de contamination (exemple : usines, routes à trafic intense, zones urbanisées). Les usages de sol retenus sont la culture annuelle, largement dominante avec 232 sites échantillonnés, la prairie permanente (25 sites) et la forêt (14 sites).

Ainsi, après ouverture de fosses et description des sols, 271 horizons de sol de surface<sup>5</sup> (horizons LA pour les sites cultivés et A sous forêt ou prairie permanente) ont été échantillonnés et analysés pour déterminer les concentrations totales en aluminium, fer et 18 éléments en traces (dont le Cd et le Pb). Parallèlement, les paramètres pédologiques habituels (exemple : pH, carbone organique) ont été mesurés.

Ce travail permet de proposer la distribution en Cd et en Pb dans les sols du Nord-Pas de Calais (tableau 1). Ainsi, en dehors de toute contamination connue, les concentrations médianes issues de ces travaux pourraient être considérées comme des références pour le Cd et le Pb dans la région, à savoir 0,4 et 29,7 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivement. Aussi, 75 % des valeurs de la distribution sont inférieures à 0,53 et 38,3 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivement pour le Cd et le Pb. A titre indicatif, ces valeurs sont légèrement supérieures à celles rencontrées à l'échelle nationale, sur la distribution du Réseau de Mesure de la Qualité des Sols (RMQS) (GIS Sol<sup>6</sup>, 2011) ce qui pourrait témoigner, compte tenu de l'absence d'anomalies géochimiques connues, d'une légère contamination diffuse généralisée (exemple : les médianes mesurées à l'échelle nationale sont plus basses pour les deux éléments). Ceci est très certainement lié au passé minier et industriel de la région. Il faut

<sup>5</sup> Les échantillons ont été collectés par horizon, après ouverture des fosses. Les profondeurs ne sont donc pas fixes mais dépendent de la nature des sols. Pour les sols cultivés par exemple, c'est l'horizon de labour qui est prélevé, généralement compris entre 0 et 30 cm.

<sup>6</sup> GIS Sol : Groupement d'intérêt scientifique Sol (GIS Sol) créé en 2001 pour constituer et gérer un système d'information sur les sols de France et répondre aux demandes des pouvoirs publics et de la société au niveau local et national. Le GIS Sol conçoit, oriente et coordonne l'inventaire géographique des sols, le suivi de leurs propriétés et l'évolution de leurs qualités, et gère le système d'information sur les sols. Le GIS Sol assure également la valorisation des données sur les sols de France, en cohérence avec les programmes européens.

cependant noter que les stratégies d'échantillonnage sont différentes entre les 2 programmes puisque pour le RMQS, les profondeurs de prélèvement sont fixes (entre 0 et 30 cm) et que les échantillons sont collectés selon une grille régulière, ne cherchant pas à éviter d'éventuelles contaminations. Pour les 2 programmes, les analyses ont été réalisées par le même laboratoire (INRA-Laboratoire d'Analyse des Sols, Arras) suivant le même protocole (minéralisation au moyen d'un mélange d'acides fluorydrique et perchlorique).

**Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques des horizons de sols de surface prélevés dans le cadre du programme de l'établissement du référentiel pédo-géochimique du Nord-Pas de Calais** (les sols échantillonnés ont été choisis loin de toute source de contamination connue) (Sterckeman *et al.*, 2007) **et comparaison avec les valeurs nationales** (GIS Sol, 2011).

	Sterckeman <i>et al.</i> , 2007		GIS Sol, 2011	
	Cd	Pb	Cd	Pb
Unité	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>
Nombre d'échantillons	271	271	2200	2200
Moyenne	0,44	35,8	0,30	32,8
Médiane	0,40	29,7	0,20	27,9
Min	0,03	13,4	< 0,01	2,9
Max	1,39	198,1	5,53	624,0
Centiles				
75 <sup>ème</sup>	0,53	38,3	0,34	37,7
95 <sup>ème</sup>	0,88	81,5	-	-

### 3.2.2.3. Teneurs agricoles habituelles en Cd et Pb en Nord-Pas De Calais

Afin de compléter les connaissances sur les éléments traces dans les sols de surface de la région et ainsi préciser les teneurs agricoles habituelles, Baize *et al.* (2010) ont ajouté aux données sur le fond pédo-géochimique, des analyses géo-référencées issues des programmes régionaux ou nationaux décrits dans le tableau 2. Il convient de noter que les résultats réunis pour ce travail de recherche compilent des analyses réalisées sur des échantillons prélevés de manière différente (exemple : profondeur variable) et à l'aide de mises en solution différentes.

Les traitements réalisés ont permis de produire des cartes (figures 1 et 2) et des statistiques descriptives caractérisant ainsi les valeurs habituelles en éléments traces, rencontrées dans la région Nord-Pas de Calais (tableau 3) et décrites ci-après.

Tableau 2 : Principales caractéristiques des cinq programmes utilisés par Baize *et al.*, 2010

Programme	Stratégie d'échantillonnage des sols	Cible du programme	Nombre d'ETM analysés	Mise en solution	Nombres de sites
Référentiel Pédogéochimique du Nord-Pas de Calais (RPG) [1] et Cordier [2]	Fosses creusées loin de toute source de pollution connue	Contamination diffuse en zones rurales	18	HF*	276
Réseau de Mesure de la Qualité des Sols (RMQS) régional adapté [3]	Echantillonnage selon une grille 16 x 16 km	Monitoring systématique	13	HF*	48
Programme de Recherches Concertées (PRC) [4]	Proximité de fonderies de plomb et de zinc	Sites critiques de pollution industrielle	7	HF*	11
Mortagne-du-Nord [5]	Idem	Idem	4	HF*	156
Collectes régionales d'analyses 1998 [6] et 2007	Horizon de surface de parcelles agricoles susceptibles de recevoir des boues	Sols agricoles	7 ou 8	HF* ou le plus souvent ER**	3 438

[1] Sterckerman *et al.*, 2007. [2] Cordier, 1999 [3] Douay *et al.*, 2005 [4] Sterckerman *et al.*, 1996 ; [5] Van Oort *et al.*, 2002 [6] Baize *et al.*, 2006

\*HF : Minéralisation au moyen d'un mélange d'acides fluorydrique et perchlorique (concentrations totales, norme NF ISO 11466)

\*\*ER : Minéralisation à l'eau régale (norme NF ISO 14869-1)

Par rapport au tableau 1 qui ne considérait que des analyses de sols issues de zones *a priori* exemptes de contamination (soit seulement 271 analyses), le tableau 3 décrit l'ensemble des échantillons collectés et disponibles à l'époque sur toute la région (soit près de 4 000 analyses). La prise en compte d'échantillons de sols, indépendamment de leur situation vis-à-vis de sources de contaminations potentielles (exemples : routes, usines, etc.) met en évidence des concentrations beaucoup plus fortes, tant pour le Cd que pour le Pb, qui témoignent de pollutions. Ainsi, même si les médianes changent peu, le 3<sup>ème</sup> quartile (ou 75<sup>ème</sup> centile) est très impacté, augmentant de plus de 20 %, tout comme les valeurs maximales (multipliées par 87 pour le Cd et par 40 pour le Pb).



Tableau 3 : statistiques descriptives des analyses de Cd et Pb des sols du Nord-Pas de Calais (Baize *et al.*, 2010)

	Cd		Pb	
	HF*	ER**	HF*	ER**
Mise en solution	HF*	ER**	HF*	ER**
Unité	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>
Nombre d'échantillons	740	3142	741	3187
Moyenne	Compte tenu de la distribution des valeurs, le calcul de la moyenne n'a pas été réalisé			
Médiane	0,43	0,4	31,6	23,0
Min	0,03	0,02	13,4	7,6
Max	121,9	8,6	8136	908,7
Centiles				
75 <sup>ème</sup>	0,71	0,53	45,2	29,6
90 <sup>ème</sup>	1,370	0,68	8136	908

\*HF : Minéralisation au moyen d'un mélange d'acides fluorhydrique et perchlorique (concentrations totales, norme ISO NF 14869-1)

\*\*ER : Minéralisation à l'eau régale (norme NF ISO 11466)

Les analyses étant géo-référencées, il est possible d'étudier la répartition des valeurs sur le territoire du Nord-Pas de Calais, que ce soit pour le Cd (figure 1) ou le Pb (figure 2). Ces informations ont été retraitées pour produire des cartes continues de distribution des éléments traces visibles en annexe 2.

Au regard de la contamination en Cd et Pb, les figures 1 et 2 mettent tout particulièrement en évidence l'impact des sites critiques de la région, notamment du site Métaeuroop aux abords de Noyelles-Godault. En revanche, les zones rurales semblent moins affectées par les contaminations diffuses. Pour le Pb, les superficies impactées par un niveau de contamination élevé sont beaucoup plus restreintes que pour le Cd. En effet, la très grande majorité des mesures en zones rurales reste inférieure à 35 mg.kg<sup>-1</sup>.

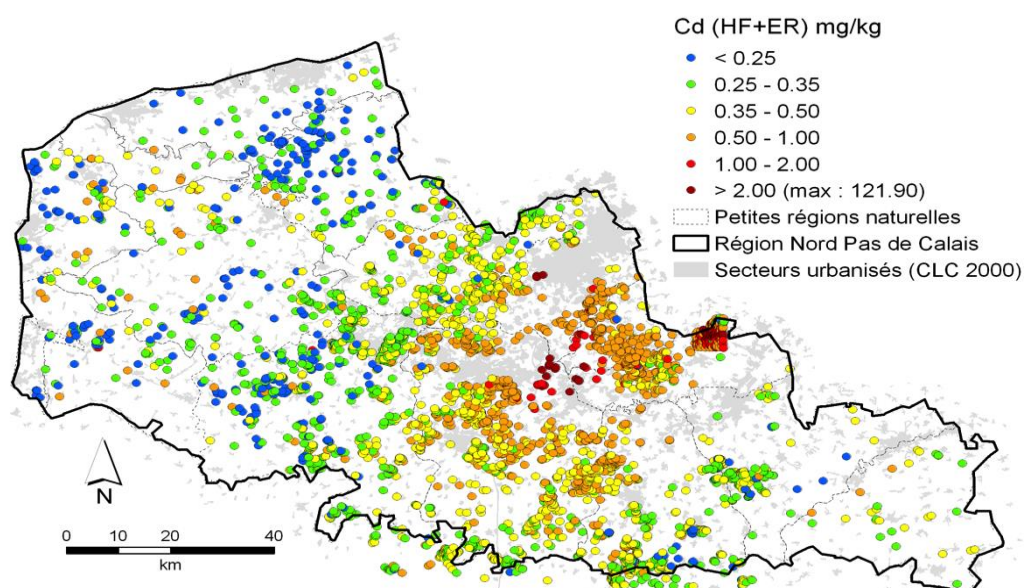


Figure 1. Carte des contaminations en cadmium du sol dans le Nord-Pas de Calais (Baize *et al.*, 2010).

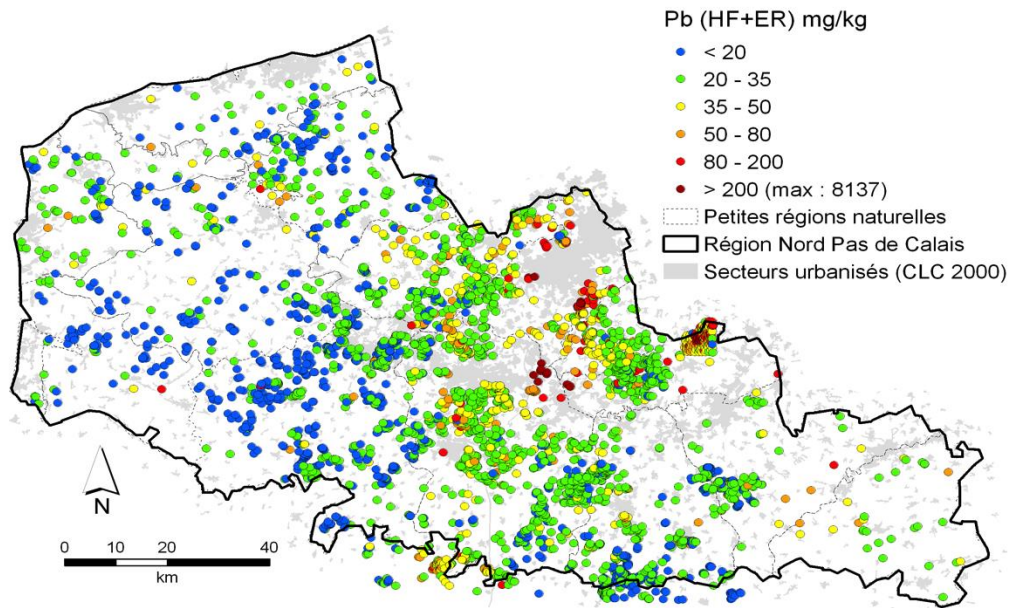


Figure 2. Carte des contaminations en plomb du sol dans le Nord-Pas de Calais (Baize *et al.*, 2010).

#### 3.2.2.4. Comparaison par rapport à la zone d'étude

La contamination en Pb et Cd des sols autour de Metaleurop à Noyelles-Godault est notoirement connue depuis les travaux en 1979 de Luttringer et de Cormis. Divers programmes ont été mis en place à l'échelon régional ou national pour évaluer le degré de contamination des sols du secteur aux alentours de l'usine, mais également pour étudier les impacts des polluants sur l'environnement, la biosphère et plus particulièrement la santé des populations vivants sur les sols contaminés. Les analyses de sol disponibles spécifiquement autour de la zone de Métaeurop (sur une surface de 40 km<sup>2</sup>) ont fait l'objet d'un recensement (Douay *et al.*, 2011a). Parallèlement, de nouvelles caractérisations ont été conduites sur plus de 500 échantillons de sols dont 190 échantillons issus de sols agricoles (tableau 4). Ces nouvelles analyses étaient nécessaires car celles précédemment collectées manquaient pour certaines de précisions (exemples : manque d'information sur la profondeur d'échantillonnage, ou la géolocalisation précise, ou sur le descriptif de la méthode d'analyse, ou encore sur la manque d'exhaustivité dans la répartition des prélèvements). Compte tenu de la surface à couvrir, cette nouvelle campagne visait à améliorer la densité des analyses sur les 40 km<sup>2</sup> autour de l'ancienne usine.

Tableau 4 : Statistiques descriptives des analyses de Cd et Pb des sols autour de Métaeurop (Douay *et al.*, 2011a).

	Données anciennement collectées		Données nouvelles	
	Cd	Pb	Cd	Pb
Unité	mg.kg <sup>-1</sup>			
Nombre d'échantillons	337		190	
Moyenne	6,2	324	5,1	276
Médiane	4,8	240	4,5	240
Min	1,4	58	1,8	96
Max	44,2	3 005	15,7	828

Les données obtenues autour de Métaleurop mettent clairement en évidence le niveau de contamination de cette zone. En effet, la gamme des valeurs mesurées sur cette zone présente notamment des médianes pour le Pb et le Cd, quel que soit le jeu de données (récent ou plus ancien), pouvant être jusqu'à 10 fois supérieures au fond pédo-géochimique (tableau 1) ou encore aux valeurs agricoles habituelles (tableau 3).

La spatialisation de ces données permet d'observer une décroissance des concentrations pour les deux éléments, lorsqu'augmente la distance entre la source (ancienne usine) et le site de prélèvement de l'échantillon.

### **3.2.2.5. Bilan**

Les sols agricoles situés autour de l'ancienne usine de Métaleurop présentent des médianes de concentrations anormales jusqu'à 10 fois plus élevées par rapport aux valeurs usuelles de la région. Cette même zone présente un gradient de contamination : les concentrations en Cd et Pb dans les sols diminuent lorsque la distance à la source augmente. Cependant, les concentrations des sols agricoles restent élevées même au-delà de 4 km. Cette observation a permis de proposer les trois zones des arrêtés préfectoraux du 29 mai 2015<sup>1,2</sup>.

Pour le reste de la région, les données collectées et spatialisées illustrent le fait que, si une contamination diffuse semble généralisée, les valeurs classiquement mesurées sont bien inférieures à celles des trois zones autour de Métaleurop. Les niveaux importants de contaminants mesurés dans les sols sont donc très localisés, notamment autour des anciens sites industriels. La pratique de l'agriculture n'a pas à être remise en cause ou surveillée au-delà de ces périmètres impactés.

Par ailleurs, selon Douay *et al.* (2011b), les environs de Métaleurop gardent les stigmates de plus d'un siècle d'activités. De nombreuses investigations ont été réalisées à partir de la fin des années 1970, celles-ci s'étant approfondies dès 1994 dans le cadre de programmes de recherche ou de partenariats institutionnels et industriels, et notamment à la suite de l'établissement du Projet d'Intérêt Général en 1999 par les autorités publiques. Elles ont contribué à préciser le degré de contamination des sols du secteur étudié. Selon Douay *et al.* (2011b), les activités de l'ancienne fonderie de plomb et de zinc qu'est Métaleurop ont aussi conduit à une forte contamination en zinc (Zn), non considérée dans l'objet de cette saisine, ainsi qu'une contamination en argent (Ag), antimoine (Sb), mercure (Hg), bismuth (Bi), arsenic (As), cuivre (Cu), thallium (Tl), sélénium (Se) ou encore en étain (Sn) des sols aux alentours de Métaleurop. Leurs concentrations dans les sols du secteur excèderaient largement les teneurs agricoles habituelles régionales (Douay *et al.*, 2011b). Ainsi, un élargissement des investigations de la zone à d'autres contaminants devrait être envisagé, notamment par l'intermédiaire d'analyses multi-élémentaires favorisant l'obtention d'information sur la présence de métaux dans la zone.

### **3.2.3. Les données d'imprégnation en plomb et cadmium de la population**

Les préoccupations sanitaires relatives à une surexposition au Cd et Pb des populations vivant à proximité de l'ancien site de Métaleurop ainsi que de l'usine d'Auby ont conduit à plusieurs études d'imprégnation, notamment chez les enfants. Plusieurs campagnes de dépistage du saturnisme infantile ont été réalisées dans cette zone dès le milieu des années 1980 par l'Observatoire Régional de la Santé. Les résultats obtenus jusqu'à la fermeture de l'usine Métaleurop en 2003 montrent qu'un des déterminants de la prévalence du saturnisme infantile sur la zone est la proximité de l'habitation avec l'usine (Declercq *et al.*, 2005). Des plombémies obtenues chez des adultes sur cette même zone d'étude confirment, parmi les facteurs explicatifs des teneurs en Pb, la distance de l'habitation avec le site de l'usine ; la consommation d'abats est également identifiée comme étant associée à des plombémies plus élevées dans le cas des femmes (Leroyer *et al.* 2001).

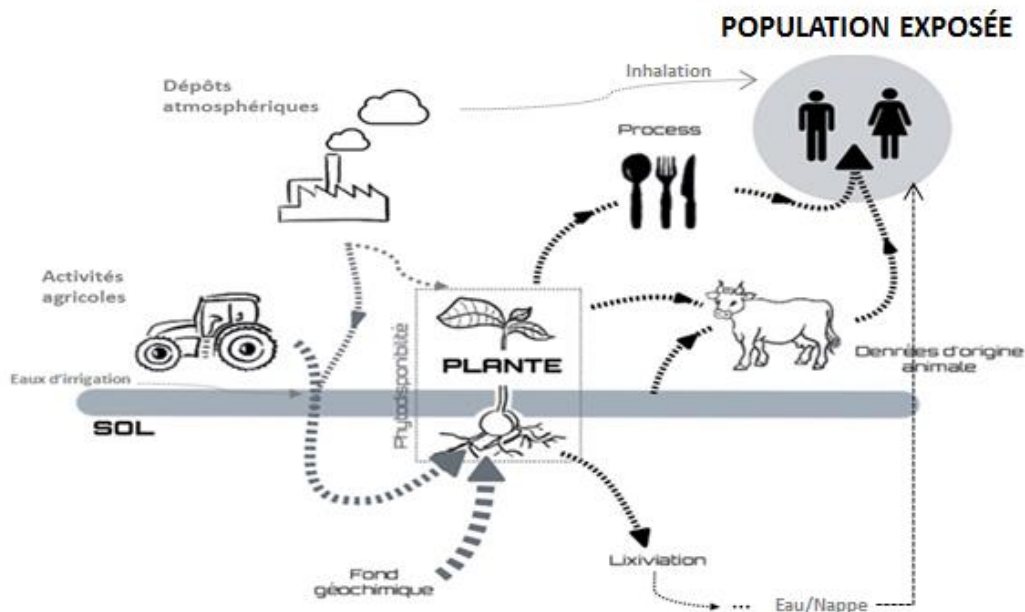
Le dépistage systématique du saturnisme chez les enfants de la zone s'est poursuivi jusqu'en 2007, puis il a été arrêté, les données indiquant une baisse des plombémies<sup>7</sup>. Des études sont toutefois poursuivies par Santé Publique France (l'Agence nationale de santé publique), en raison de niveaux d'imprégnation restant préoccupants (supérieurs à  $12 \mu\text{g.L}^{-1}$ , seuil proposé par l'EFSA en 2012, au-dessus duquel il existerait une augmentation du risque de perte de capacité intellectuelle). De tels niveaux d'imprégnation peuvent s'expliquer du fait de la consommation de certains légumes du jardin contaminés (exemples : carottes, laitues, poireaux) qui surexpose la population locale au Cd et Pb (Pelfrène *et al.*, 2015).

Plus récemment, en 2017, une campagne de dépistage sur l'imprégnation au cadmium des adultes vivant à proximité de l'ancienne usine Métaleurop a été organisée par l'Agence Régionale de santé (ARS). Les résultats de ces analyses devraient être disponibles prochainement.

### 3.3. Etude du transfert du cadmium et du plomb depuis un site et des sols pollués

#### 3.3.1. Principe général

Depuis un site ou un sol pollué, les contaminants, comme les ETM, sont transportés et transférés au sein des réseaux alimentaires jusqu'au consommateur par de multiples voies et processus (figure 3).



**Figure 3 : Principe général du transfert des éléments-traces métalliques vers la population exposée.**

<sup>7</sup> Sur la période 1999-2003, la prévalence des plombémies supérieures ou égales à  $100 \mu\text{g.L}^{-1}$  s'établit autour de 10-11% chez les enfants en école maternelle sur les communes de Courcelles-lès-Lens, Dourges, Evin-Malmaison, Leforest et Noyelles-Godault. Les résultats d'une campagne réalisée avec la même méthodologie en 2003-2004 montrent une baisse significative de la prévalence des plombémies supérieures ou égales à  $100 \mu\text{g.L}^{-1}$  avec des valeurs entre 2,6 et 6,7% pour les écoles de Courcelles-lès-Lens, Noyelles-Godault et Evin-Malmaison (communes pour lesquelles la plombémie est la plus élevée sur l'ensemble de la zone échantillonnée). Une campagne effectuée en 2004-2005 donne des résultats similaires : entre 1,9 et 8,7 % de prévalence. Le dépistage s'est poursuivi pour les enfants sur ces trois communes jusqu'en 2007 : le nombre total d'enfants ayant une plombémie diminuée au fil des ans (*i.e.* 8 en 2003-2004, 1 seul en 2005-2006 ainsi qu'en 2006-2007) (Douay *et al.* 2011b).



Dans le cas des ETM, dans le sol, la spéciation ou forme chimique de l'élément est liée à sa nature et aux paramètres du milieu. Ainsi, il peut être sous une forme ionique, oxydée, réduite, organique ou encore former des sels avec d'autres éléments, ce qui influence sa solubilité et son encombrement stérique, agissant en conséquence sur sa mobilité. Celle-ci est aussi conditionnée par des facteurs propres au sol (pH, teneurs en matières organiques, capacité d'échange cationique, etc.) et aux conditions climatiques (exemples : température, humidité).

L'exportation des contaminants du sol ou encore *via* les ré-envols de poussières de sol s'effectue essentiellement par leur absorption par la végétation et par leur lixiviation vers les eaux superficielles et souterraines, processus qui ne doit pas être négligé (Baize et Tercé, 2002 ; Denaix *et al.*, 2001, 2002).

Le transfert des contaminants vers les plantes s'effectue principalement par les racines et aussi, lorsque des particules fines atmosphériques sont générées, par l'intermédiaire des parties aériennes de la plante. Il est modulé par de nombreux paramètres morphologiques et physiologiques liés à l'espèce et à la variété de plante cultivée (Marschner, 2011), ainsi qu'à des facteurs relatifs aux caractéristiques de l'environnement local (climat, structure et fonctionnement du sol, pratiques agricoles, etc.) (Tremel-Schaub et Feix, 2005).

Pour les animaux (voir 3.3.3), ces transferts peuvent se faire *via* leur consommation de plantes contaminées ou bien l'ingestion directe de sol lors de leur alimentation (exemple : terre attenante aux plantes broutées).

*In fine*, le consommateur se trouve potentiellement exposé à des denrées alimentaires contaminées, résultant de la consommation de denrées d'origine végétale à l'état transformé ou non, et aussi de denrées alimentaires d'origine animale *via* des animaux de rente ou de chasse exposés par les sols et leur alimentation. L'exposition directe *via* la consommation de sol est généralement considérée comme négligeable (aliments lavés), sauf pour les jeunes enfants. Par ailleurs, l'inhalation (à la suite par exemple d'émissions atmosphériques) constitue une autre voie d'exposition de l'Homme à ces contaminants.

### **3.3.2. Transfert du Cd et Pb depuis le sol jusqu'à la culture**

La qualité des végétaux (à vocation alimentaire ou non alimentaire) cultivés sur un sol contaminé dépend de plusieurs facteurs qui sont principalement :

- La concentration totale et la nature des éléments-trace métalliques présents dans le sol;
- Les caractéristiques du sol (pH, texture, matières organiques en particulier) ;
- Les caractéristiques des végétaux cultivés ;
- La qualité de l'air ;
- Les pratiques agricoles.

En premier lieu, la nature de l'élément influence le transfert vers les végétaux (voir 3.3.1). Le plomb et le cadmium ont des comportements contrastés dans l'environnement. En effet, le cadmium, beaucoup plus phytodisponible<sup>8</sup> que le plomb, est absorbé par les racines des végétaux alors que le plomb, relativement peu mobile dans le sol, peut significativement enrichir les végétaux par transfert foliaire *via* l'air ou le ré-envol de poussières.

Dans le cas du site Métaleurop, la contamination des sols en Pb et Cd est généralement issue des émissions atmosphériques passées. Ce type de pollution sous forme de particules fines peut favoriser la phytodisponibilité des métaux en raison des surfaces spécifiques élevées (Schreck *et al.* 2015, Uzu *et al.* 2012).

<sup>8</sup> La « phytodisponibilité » correspond à la fraction de la quantité totale de la substance présente dans un sol qui est susceptible d'être absorbée par les racines des plantes.



Dans cette zone aux abords de l'ancienne fonderie Métaleurop, où les sols sont d'autant plus contaminés qu'ils sont proches de la source, plusieurs publications scientifiques (Douay, 2011, Schreck *et al.*, 2014, 2015 ; Xiong *et al.*, 2014, 2016 ; Shahid *et al.*, 2017) indiquent qu'en plus des transferts racinaires, les transferts foliaires de métaux sont aussi à prendre en compte sur cette zone suite aux ré-envols de poussière. Ce phénomène de transfert foliaire des métaux a été souligné dans le cadre du projet Dimension (2013-2015) et de la thèse de Xiong (2015).

En résumé, les risques de transferts depuis le sol sont donc plus importants pour le Cd que pour le Pb (confirmé également en section 3.4.2).

### 3.3.3. Transfert du Cd et Pb depuis le sol jusqu'aux denrées d'origine animale

En plus de leur alimentation et de l'eau ingérée, les animaux peuvent être exposés au plomb et cadmium se trouvant dans le sol. Dans certains cas, l'exposition par cette voie peut atteindre un niveau important. Cela concerne autant les animaux domestiques, d'élevage que sauvages, y compris ceux qui sont chassés.

En effet, les animaux élevés en plein air ingèrent du sol, en grande majorité de manière involontaire. Chez les ruminants, cette ingestion oscille dans des bonnes conditions de pâturage aux alentours de 2 % de la matière sèche totale ingérée (Jurjanz *et al.*, 2012 ; Field et Purves, 1964). Cependant cette proportion peut augmenter de manière notable lors de la détérioration des conditions de pâturage. En effet, la littérature rapporte une ingestion de sol de 10 % chez les bovins lors d'une offre fourragère restreinte (Jurjanz *et al.*, 2017) et en conditions extrêmes jusqu'à 18 % chez les ovins (pâturage hivernal, Abrahams et Thornton, 1983) ou encore 25 % chez les jeunes bovins en conditions arides (Kirby et Stuth, 1978).

L'ingestion de sol lors de l'élevage d'animaux monogastriques en plein air est moins étudiée. Elle semble modérée chez le jeune oiseau (poulet en croissance) avec guère plus de 2 % de la matière sèche (MS) ingérée (Jurjanz *et al.*, 2015) mais peut atteindre jusqu'à 30 % chez la poule pondeuse (Jondreville *et al.*, 2010) et les rares études menées chez le porc rapportent 15 à 20 % de sol ingéré chez la truie gestante élevée en plein air (Jurjanz *et al.*, 2014).

Concernant le transfert du cadmium dans les denrées alimentaires d'origine animale, un avis récent de l'Anses (2017)<sup>9</sup>, en s'appuyant sur des articles scientifiques, mentionne un transfert maximum de 1 % vers le lait (Smith *et al.*, 1991, pour la dose la plus faible) mais en général bien inférieur à 0,5 % (Smith *et al.*, 1991 pour les doses plus élevées, Vreman *et al.*, 1986 ; Blüthgen, 2000 et chez la chèvre Milhaud *et al.*, 2000). Les composants solubles semblent entraîner des concentrations en Cd plus élevées dans le lait sans cependant dépasser 0,4 µg.L<sup>-1</sup> (Vreman *et al.* 1986).

La synthèse de MacLachlan (2011) résume le peu de données disponibles sur le transfert du cadmium vers l'œuf qui est chiffré à un facteur de bioaccumulation (BAF)<sup>10</sup> inférieur à 0,001. Le modèle de Prankel *et al.* (2004) prédit un enrichissement relativement faible du cadmium dans le muscle du mouton. Par contre, la concentration réglementaire dans le foie et les reins est dépassée après une ingestion par l'animal d'un aliment respectant la concentration autorisée de 1 mg.kg<sup>-1</sup> après une exposition de 130 jours. Vreman *et al.* (1986) rapportent également un enrichissement du foie en Cd supérieur à 1 mg.kg<sup>-1</sup> poids frais et pour les reins supérieur à 6 mg.kg<sup>-1</sup> poids frais pour des sources solubles de Cd. Cela laisse supposer un dépassement nettement plus rapide si l'alimentation apporte plus de 1 mg.kg<sup>-1</sup>.

Ainsi, les denrées les plus exposées à un transfert du cadmium sont le foie et les reins.

<sup>9</sup> Anses, 2017. Avis de l'Anses relatif à la hiérarchisation des dangers chimiques en alimentation animale. (saisine n°2015-SA-0075), Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, Maisons-Alfort.

<sup>10</sup> BAF = concentration dans le produit brut / concentration par kg matière sèche d'aliment

Concernant le transfert du plomb vers les denrées alimentaires d'origine animale, l'Anses rapporte dans son avis (2017), en s'appuyant sur des articles scientifiques, un transfert classé « négligeable » du plomb vers l'œuf (Leeman *et al*, 2007) et vers le lait (< 0,3 % Vreman *et al.*, 1986 ; jusqu'à 1 %, Blüthgen 2000). Le transfert vers le muscle est également considéré comme « négligeable » par l'EFSA (2004) et chiffré à un BAF inférieur à 0,005 par MacLachlan (2011).

Par contre, les transferts vers le foie et la graisse sont nettement plus élevés. Néanmoins, les BAF calculés restent dans des valeurs faibles, avec des BAF respectivement compris entre 0,01 et 0,04 ou de 0,012 (MacLachlan, 2011). Vreman *et al.* (1986) obtiennent des concentrations dans les reins entre 20 et 51 µg.kg<sup>-1</sup> de poids frais et dans le foie entre 260 et 560 µg.kg<sup>-1</sup> de poids frais en exposant des vaches à différentes sources pendant 28 mois, ces concentrations sont 10 fois inférieures dans les muscles.

En conclusion, les denrées les plus exposées à un transfert du plomb sont le foie et les graisses avec des taux de transfert entre 1 et 4 %.

En résumé, les abats sont les tissus les plus exposés à un transfert induisant une concentration forte des deux métaux considérés.

### **3.3.4. Bilan**

Au regard de la problématique de la saisine, le cadmium et le plomb sont des ETM persistants dans les sols. De plus, des transferts de ces ETM peuvent se produire dans l'environnement induisant une dispersion de ces polluants (éco)toxiques et donc de possibles impacts sanitaires et écologiques. Selon le contexte pédoclimatique et la spéciation chimique, des transferts de métaux plus ou moins intenses se produisent entre les différents horizons des sols ou entre les parcelles. Des transferts peuvent également se produire entre le sol et l'atmosphère et vers la biosphère : plantes et animaux. Plus que la concentration totale en ETM, ce sont leurs mobilité et phytodisponibilité qui entraînent une contamination des denrées produites, d'origine végétale ou animale ; ceci pouvant entraîner une exposition des populations selon différents scénarios liés aux activités et pratiques développées sur la zone.

## **3.4. Analyse des campagnes de prélèvements effectuées sur le site Métaleurop en 2015 et 2016**

### **3.4.1. Traitement statistique des données**

Lors de l'analyse préliminaire, les données relatives aux campagnes de prélèvements n'ont pas totalement suivi le protocole proposé par l'arrêté préfectoral. En effet, il apparaît que certaines parcelles et cultures n'ont pas fait l'objet de prélèvements. De plus, les protocoles de prélèvements des parcelles retenues ne sont pas bien renseignés et ne semblent pas harmonisés.

L'examen des données transmises dans le cadre de cette saisine montre que des données importantes n'ont pas été systématiquement collectées ou renseignées dans la base de données des résultats. Cette absence dans la collecte et la transmission des données empêche une analyse complète des campagnes de prélèvements de 2015 et 2016. De façon générale, les données manquantes concernent :

- le type de production végétale (destinée à la consommation humaine et/ou alimentation animale) produite sur le site pollué en fonction du zonage agricole défini par les arrêtés préfectoraux du 29 mai 2015<sup>1,2</sup> ;
- les denrées végétales faisant l'objet d'obligation de prélèvements pour la mise sur le marché selon les arrêtés préfectoraux du 29 mai 2015<sup>1,2</sup> ;
- les données relatives aux protocoles des prélèvements des productions végétales lors des campagnes de prélèvements ;

- les informations sur les méthodes d'analyse en cadmium et plomb. Les rapports des essais inter-laboratoires ne sont pas fournis, et aucune information sur les méthodes analytiques utilisées dans chacun des laboratoires n'est précisée dans le dossier. Il est également constaté que les limites de détection (LOD) et de quantification (LOQ) liées aux analyses en cadmium et plomb des productions végétales ne sont pas transmises ;
- La distinction entre les denrées végétales destinées à la consommation humaine et/ou à l'alimentation animale n'est pas toujours claire, liée à une absence d'harmonisation des codages des informations relatives aux différents échantillons constatée pour l'exploitation de ces données à l'examen des fichiers.

Concernant le nombre de prélèvements utilisés pour décrire la campagne 2015, au total, 251 prélèvements sont exploitables. Ils représentent une surface agricole de 478 hectares (ha), dont 33 ha en zone 2 (soit 91 % de la zone) et 446 ha en zone 3 (soit 74 % de la zone).

Concernant le nombre de prélèvements utilisés pour décrire la campagne 2016, au total, 220 prélèvements sont exploitables. Ils représentent une surface agricole de 425 ha, dont 26 ha en zone 2 (soit 74 % de la zone) et 404 ha en zone 3 (soit 67 % de la zone).

Certains échantillons peuvent à la fois être destinés à l'alimentation humaine mais aussi à l'alimentation animale en cas de déclassement. Les mêmes denrées peuvent donc être comptabilisées dans les deux catégories.

Les prélèvements identifiés pour le traitement statistique des données sont décrits dans le tableau 5.

**Tableau 5 : Présentation des échantillons identifiés pour le traitement statistique liés aux campagnes de prélèvements effectuées en 2015 et 2016.**

Année	Période d'échantillonnage	Denrées destinées à l'alimentation humaine		Denrées destinées à l'alimentation animale	
		Nombre d'échantillons	Surface des parcelles échantillonnées	Nombre d'échantillons	Surface des parcelles échantillonnées
2015	2 à 3 semaines avant récolte	222	454 ha	151	417 ha
	A la récolte	61	193 ha	76	195 ha
2016	2 à 3 semaines avant récolte	172	377 ha	183	395 ha
	A la récolte	43	163 ha	47	142 ha

Dans cette analyse statistique, les résultats des campagnes de prélèvements 2015 et 2016 ont été décrits selon deux indicateurs : le pourcentage de non-conformité et le niveau de contamination.

Les données retenues pour les diverses descriptions et analyses statistiques étaient exprimées en poids frais.

Le calcul des non-conformités a été réalisé par rapport aux teneurs maximales dans les produits agricoles d'origine végétale définies par la réglementation européenne et notamment le règlement (CE) n° 1881/2006<sup>11</sup> relatif aux denrées alimentaires ainsi que la directive 2002/32/CE<sup>12</sup> relative

<sup>11</sup> Règlement (CE) N° 1881/2006 de la commission du 19 décembre 2006 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires

aux aliments pour animaux. Les denrées ou aliments présentant des teneurs strictement supérieures aux teneurs maximales réglementaires sont considérés comme non-conformes. Les teneurs maximales utilisées dans le cadre de ce travail sont présentées ci-dessous :

- Plomb:
  - Alimentation humaine :
    - 0,2 mg.kg<sup>-1</sup> pour les céréales, légumineuses et légumes à cosse ;
    - 0,1 mg.kg<sup>-1</sup> pour les légumes à l'exclusion des choux feuilles, des salsifis, des légumes feuilles et fines herbes, des champignons, des algues marines et des légumes fruits. Dans le cas des pommes de terre, la teneur maximale s'applique aux produits pelés ;
    - 0,3 mg.kg<sup>-1</sup> pour les choux feuilles, salsifis, légumes feuilles à l'exclusion des fines herbes et des champignons suivants: *Agaricus bisporus* (champignon commun), *Pleurotus ostreatus* (pleurote) et *Lentinula edodes* (lentin du chêne);
    - 0,1 mg.kg<sup>-1</sup> pour les fruits à l'exclusion des airelles, des groseilles, des baies de sureau et des arbouses ;
    - 0,2 mg.kg<sup>-1</sup> pour les airelles, groseilles, baies de sureau et arbouses.
  - Alimentation animale :
    - 10 mg.kg<sup>-1</sup> pour les matières premières des aliments pour animaux d'une teneur en humidité de 12 %, à l'exception des fourrages : 30 mg.kg<sup>-1</sup> d'aliment pour animaux d'une teneur en humidité de 12 %.
- Cadmium :
  - Alimentation humaine :
    - 0,1 mg.kg<sup>-1</sup> pour les grains de céréales, à l'exclusion du blé et du riz;
    - 0,2 mg.kg<sup>-1</sup> pour les grains de blé, grains de riz, son de blé et germe de blé pour la consommation directe;
    - 0,05 mg.kg<sup>-1</sup> pour les légumes et fruits, à l'exclusion des légumes-racines et des légumes-tubercules, des légumes-feuilles, des fines herbes, des choux feuilles, des légumes-tiges, des champignons et des algues marines;
    - 0,2 mg.kg<sup>-1</sup> pour les légumes-feuilles, fines herbes, choux feuilles, céleri, céleri-rave, panais, salsifis, raifort et champignons suivants: *Agaricus bisporus* (champignon de Paris), *Pleurotus ostreatus* (pleurote en forme d'huître), *Lentinula edodes* (shiitake);
    - 0,1 mg.kg<sup>-1</sup> pour les légumes-racines et légumes-tubercules (à l'exclusion du céleri-rave, des panais, des salsifis et du raifort), légumes-tiges (à l'exclusion du céleri). Dans le cas des pommes de terre, la teneur maximale s'applique aux produits pelés.
  - Alimentation animale :
    - 1 mg.kg<sup>-1</sup> pour les matières premières des aliments pour animaux d'origine végétale d'une teneur en humidité de 12 %.

Le pourcentage de non-conformité a été calculé à partir de la mesure de la contamination en déduisant l'incertitude analytique liée à la mesure. Ce calcul a d'abord été effectué sur l'échantillon, sans aucune pondération, puis dans un second temps, il a de nouveau été calculé en prenant en compte la surface des parcelles dans lesquelles le prélèvement a été effectué (pourcentage de non-conformité pondéré par la surface), donnant ainsi plus de poids statistique aux grandes parcelles. Concernant la non-conformité en alimentation animale, la valeur de contamination mesurée en poids frais a été comparée directement à la teneur maximale réglementaire, cependant la teneur maximale en plomb et cadmium est exprimée en fonction du

<sup>12</sup> Directive 2002/32/CE du Parlement européen et du Conseil du 7 mai 2002 sur les substances indésirables dans les aliments pour animaux

taux d'humidité fixé à 12 % (pour les denrées appartenant à la fois à l'alimentation humaine et animale).

En complément, une comparaison de la conformité des prélèvements avant et à la récolte a été effectuée dans cette analyse, sur la base d'un test de Mc Nemar (alternative non-paramétrique au test T pour des échantillons appariés) (McNemar et Quinn, 1947) permettant de comparer deux échantillons dont les valeurs sont binaires.

Quant à l'analyse du niveau de contamination, la contamination en plomb et cadmium des denrées a été décrite sous forme de moyennes géométriques et arithmétiques ainsi que de centiles, minimum et maximum.

De plus, une comparaison de moyennes sur les prélèvements avant et à la récolte a été effectuée. Une transformation en logarithme népérien a été appliquée sur les données de contamination en plomb et en cadmium dans le but de mieux respecter les hypothèses de normalité associées aux tests réalisés sur les données appariées.

Enfin, pour les besoins de l'analyse statistique, les analyses statistiques étant différenciées selon le type d'alimentation, plusieurs variables ont été construites et sont décrites en annexe 3.

Les données retenues pour les diverses descriptions et analyses statistiques étaient exprimées en poids frais.

### **3.4.2. Résultats de l'analyse statistique**

#### **3.4.2.1. Résultats de l'analyse statistique de la contamination en cadmium des productions végétales**

Concernant l'analyse des données de contamination en cadmium des productions végétales, les pourcentages de non-conformité des denrées alimentaires destinées à la consommation humaine (règlement (CE) n°1881/2006) sont de 23,4 % [IC95 % : 18,0 ; 29,6] et 23,4 % [IC95 % : 17,2 ; 30,3] pour les prélèvements effectués 2 à 3 semaines avant la récolte respectivement en 2015 et en 2016, et de 39,3 % [IC95 % : 27,1 ; 52,7] et 41,9 % [IC95 % : 27,0 ; 57,9] pour les prélèvements effectués à la récolte respectivement en 2015 et 2016.

Concernant les taux de non-conformité au regard de la réglementation relative à l'alimentation animale, en 2015, 2,6 % [IC95 % : 0,32 ; 9,18] des aliments prélevés à la récolte sont non-conformes aux teneurs maximales fixées par la directive n°2002/32/CE (les prélèvements avant récolte étant tous conformes). En 2016, certains prélèvements effectués avant la récolte sont non-conformes soit 4,5 % [IC95 % : 2,27 ; 9,13] alors que les prélèvements réalisés à la récolte sont tous conformes.

Des dépassements des teneurs maximales en cadmium dans les denrées alimentaires destinées à la consommation humaine sont constatés dans les zones 2 et 3 telles que définies par les arrêtés préfectoraux du 29 mai 2015<sup>1,2</sup>, que ce soit pour des prélèvements réalisés à 2-3 semaines avant la récolte ou pour ceux réalisés à la récolte, en 2015 comme en 2016. Dans le cas des denrées alimentaires destinées à l'alimentation animale, lors de la campagne de collecte menée en 2015, seuls les aliments prélevés à la récolte en zone 3 (zone la plus éloignée du site Métaeurop) présentent une contamination en cadmium supérieure à la teneur maximale définie pour l'alimentation animale, tandis qu'à l'issue de la campagne de prélèvement de 2016, la non-conformité observée aussi uniquement en zone 3 concerne des échantillons prélevés avant la récolte.

Concernant l'analyse de la non-conformité en cadmium des denrées destinées à la consommation humaine en fonction des catégories définies dans le règlement (CE) n°1881/2006, que ce soit avant ou à la récolte en 2015 ou 2016, tous les groupes de denrées (collectés) présentent des



non-conformités. Pour la campagne 2015, le pourcentage de non-conformité varie entre 19,4 % (légumes et fruits avant récolte) et 53,6 % (blé à la récolte) ; les autres pourcentages, plus élevés, ne sont pas présentés car leurs calculs sont basés sur des effectifs trop faibles pour être pertinents. Quant à la période de collecte menée en 2016, ce pourcentage de non-conformités fluctue entre 6,7 % (légumes-tiges avant récolte) et 50 % (blé à la récolte) en fonction de la catégorie de denrées échantillonnée. En alimentation animale, une non-conformité est relevée seulement pour le blé échantillonné lors de certains prélèvements effectués à la récolte en 2015; cette non-conformité est présente dans toutes les catégories de denrées échantillonnées 2 à 3 semaines avant récolte lors de la campagne de 2016 avec un taux de non-conformité s'étendant de 1 % pour le blé à 9,8 % de non-conformité pour les céréales hors blé.

La non-conformité observée est présente à la fois dans les cultures à cycle court et celles à cycle long (tel que défini en annexe 3) pour les prélèvements effectués avant récolte en 2015 comme en 2016. Concernant les prélèvements effectués à la récolte lors de la campagne de 2015, certains échantillons sont non conformes qu'ils soient issus de cultures à cycle court ou long, tandis qu'en 2016, seules les denrées à cycle long présentent des non-conformités (les cultures à cycle court n'ayant pas été échantillonnées). Concernant l'analyse de la non-conformité en cadmium des denrées destinées à l'alimentation animale, seules les cultures à cycle long prélevées à la récolte lors de la campagne de 2015 présentent des non-conformités alors qu'en 2016 les cultures à cycle long prélevées avant récolte sont aussi non-conformes.

La comparaison des prélèvements réalisés 2-3 semaines avant la récolte avec ceux réalisés à la récolte en termes de non-conformité réglementaire en cadmium ne semble pas montrer de différence significative, cependant les faibles effectifs ne permettent pas de conclure de façon rigoureuse (annexe 4).

#### **3.4.2.2. Résultats de l'analyse statistique de la contamination en plomb des productions végétales**

L'analyse des données de contamination en plomb des productions végétales montre que les pourcentages de non-conformité des denrées alimentaires au regard du règlement (CE) n°1881/2006 sont de 0,45 % [IC95 % : 0,01 ; 2,48] et 1,7 % [IC95 % : 0,36 ; 5,01] pour les prélèvements effectués 2 à 3 semaines avant la récolte respectivement en 2015 et en 2016, et de 1,6 % [IC95 % : 0,04 ; 8,8] et 6,9 % [IC95 % : 1,46 ; 19,1] pour les prélèvements effectués à la récolte respectivement en 2015 et 2016.

Aucun dépassement des teneurs maximales en plomb en alimentation animale fixées par la directive 2002/32/CE n'est constaté (0 % [IC95 % : 0 ; 1,96] et 0 % [IC95 % : 0 ; 3,87] respectivement pour des prélèvements effectués 2 à 3 semaines avant la récolte et à la récolte à l'issue de la campagne de prélèvements de 2015 ainsi que 0 % [IC95 % : 0 ; 6,18] pour des prélèvements à la récolte à l'issue de la campagne de prélèvements de 2016), sauf pour les prélèvements effectués avant la récolte lors de la campagne de 2016. En effet, le taux de non-conformité est de 0,5 % [IC95 % : 0,01 ; 3,01].

Lors de la campagne de prélèvements en 2015 et pour l'alimentation humaine, des dépassements des teneurs maximales sont observés en zone 3 (zone la plus éloignée du site Métaeurop) mais pas en zone 2. Lors de la campagne 2016, des dépassements sont observés en zone 2 ainsi qu'en zone 3 et ce, pour les prélèvements effectués avant et à la récolte.

Lors de la campagne de prélèvements de 2015, ces dépassements sont observés pour une denrée à cycle court (prélèvement réalisé à la récolte) et une denrée à cycle long (prélèvement réalisé 2 à 3 semaines avant la récolte), alors que lors de la campagne de 2016, les dépassements sont observés pour sept denrées à cycle long pour des prélèvements réalisés 2 à 3 semaines avant récolte ou à la récolte.

Concernant l'analyse de la non-conformité en plomb des denrées destinées à la consommation humaine en fonction des catégories définies dans le règlement (CE) n°1881/2006, pour la campagne de prélèvements de 2015, seules les denrées regroupées dans la catégorie « légumes » présentent des non-conformités. Le pourcentage de celles-ci s'élève à 2,1 % et 20 % respectivement pour les prélèvements effectués à 2 ou 3 semaines avant récolte et à la récolte. Pour la campagne de prélèvements de 2016, seules les denrées regroupées dans la catégorie « céréales, légumineuses, légumes à cosse » présentent un pourcentage de non-conformité. Celui-ci s'élève à 2,1 % et 7,3 % respectivement pour les prélèvements effectués à 2 ou 3 semaines avant récolte et à la récolte. En alimentation animale, la non-conformité est observée pour la campagne de prélèvement de 2016 avec des denrées liées à la catégorie « céréales, légumineuses » collectées 2 à 3 semaines avant récolte (0,5 %).

La comparaison des prélèvements réalisés 2 à 3 semaines avant la récolte et à la récolte lors de la campagne de collecte de 2015 montre que le pourcentage de non-conformité pour le plomb n'est pas significativement différent (annexe 4), alors qu'il est constaté à la suite de la comparaison des moyennes de contamination que, de façon significative, la contamination en plomb est plus élevée à la récolte que 2 à 3 semaines avant la récolte. Il est toutefois important de noter que cette analyse a porté sur un petit nombre d'échantillons communs aux deux périodes de prélèvement. La comparaison des prélèvements réalisés 2 à 3 semaines avant la récolte et à la récolte lors de la campagne de collecte de 2016, que ce soit en termes de pourcentage de non-conformité ou de moyenne de contamination, est difficilement interprétable en raison du faible nombre de prélèvements en commun au vu des niveaux de contamination de la zone.

#### **3.4.2.3. Synthèse du traitement statistique des données liées aux campagnes de prélèvements 2015 et 2016**

L'analyse statistique s'est poursuivie par la réalisation de cartes faisant correspondre les points de prélèvements liés aux campagnes de prélèvements 2015 et 2016 en fonction du zonage agricole du site Métaeurop et de l'identification de la conformité réglementaire ou non pour le Pb et le Cd selon le type de productions agricoles produites.

Au regard de l'analyse statistique menée à partir des données exploitables de contamination en plomb et cadmium des productions végétales des campagnes de prélèvement 2015 et 2016, il est constaté que les concentrations en plomb et cadmium dans les productions végétales ne semblent pas varier d'une année de campagne de prélèvements à l'autre ; toutefois l'ensemble des cultures n'a pas fait l'objet de prélèvement et le type de cultures peut varier d'une année sur l'autre.

Il est notamment remarqué un très fort taux de non-conformité des échantillons pour le cadmium allant jusqu'à 41,9 % [IC95 % : 27,0 ; 57,9] pour des denrées destinées à la consommation humaine à partir de prélèvements effectués à la récolte en 2016.

A ce stade de l'analyse, il est difficile d'estimer l'influence de la zone agricole définie par les arrêtés préfectoraux du 29 mai 2015<sup>1,2</sup> (zone 2, zone 3), ainsi que de la culture en elle-même sur le transfert et l'accumulation du plomb et du cadmium dans les denrées.

Concernant les résultats obtenus à partir des prélèvements réalisés 2-3 semaines avant la récolte ou à la récolte, à l'issue de cette analyse statistique des deux campagnes de prélèvements, il n'est pas possible de déterminer si les prélèvements réalisés avant récolte constituent un indicateur fiable de la teneur maximale réglementaire des prélèvements à la récolte. Il n'est donc pas possible de déduire un facteur correctif robuste permettant d'estimer, sur la base des concentrations des denrées 2 à 3 semaines avant récolte, le degré de contamination probable du produit à maturité tel qu'il est mis sur le marché. Dans cette étude, il était d'intérêt de réaliser des prélèvements à la benne à la récolte pour l'analyse du taux de non-conformité plutôt que 2 à 3 semaines avant récolte (les teneurs des contaminants pouvant varier jusqu'à la récolte selon le

stade de croissance et de développement de la culture liés à l'espèce végétale et sa physiologie, les pratiques agricoles ou encore l'influence du climat ou des précipitations). Par conséquent, le risque pourrait être potentiellement sous-estimé à partir des mesures liées à des prélèvements avant récolte.

#### 3.4.2.4. Comparaison avec les études existantes réalisées sur le site de l'ancienne fonderie Métaleurop

Les conclusions résultant du traitement statistique des campagnes de prélèvements faites en 2015 et 2016 sont mises en relief avec des travaux d'études existants et antérieurs sur le site Métaleurop. En effet, l'étude de la contamination des éléments traces métalliques dans différents milieux dont le site Métaleurop a débuté en 1979. Puis, de nombreuses investigations ont été conduites dès 1994 dans le cadre de programmes de recherche ou de partenariats institutionnels et industriels. Un Projet d'Intérêt Général avec la mise en place de servitudes sur les usages des sols urbains et agricoles liés au site Métaleurop a été instauré par les autorités publiques en 1999 et renouvelé par la suite. Dans ce cadre, de nombreuses investigations ont été renforcées et menées dans les années 2000 avant et après fermeture de la fonderie Métaleurop. Grâce à ces différents projets, des données sont disponibles et ont donc permis de raisonner certaines décisions de gestion des terres aux abords de l'ancienne usine Métaleurop.

Les résultats obtenus dans le cadre de l'analyse statistique des données liées aux campagnes de prélèvements 2015 et 2016 de la saisine montrent des similitudes avec ceux des études de l'ISA réalisées pour le compte de l'ADEME publiées en 2011 (Douay *et al.*, 2011a et b). Ces études font notamment l'état des connaissances sur la contamination des sols et des productions végétales aux alentours de l'ancienne fonderie en s'appuyant sur l'inventaire des données et campagnes existantes ainsi que sur la conduite d'une campagne de prélèvements en 2010 (Douay *et al.*, 2011a).

Dans ces rapports, il est également constaté que les non-conformités des productions agricoles pour l'alimentation humaine sont essentiellement liées à un dépassement des valeurs réglementaires en cadmium.

L'étude de Douay *et al.* (2011a) présente l'intérêt de comporter des prélèvements de productions agricoles et potagères à la récolte en y associant au pied des végétaux échantillonnés un prélèvement de terre dans la couche labourée (0 - 25 cm) de façon à renseigner les transferts en ETM sols / organes consommés des plantes.

Dans cette étude, à l'issue de la campagne de prélèvements des sols et cultures en 2010, les végétaux ont été préparés en fonction de leur destination et seules les parties habituellement consommées ont été analysées, notamment après lavage pour ceux à destination de la consommation humaine. Puis, les concentrations totales en plomb et cadmium mesurées dans les productions végétales ont été confrontées aux valeurs réglementaires en vigueur pour la consommation humaine et alimentation animale. Il est fait état qu'au regard de la réglementation en vigueur, la production agricole de végétaux pour l'alimentation humaine reste préoccupante dans une zone où les concentrations en cadmium dans le sol excèdent  $4 \text{ mg.kg}^{-1}$  (végétaux concernés : grain de blé, d'escourgeon, féverole et betterave sucrière), tandis que la plupart des productions sont conformes pour l'alimentation animale pour laquelle les seuils réglementaires tolèrent une concentration plus élevée (sauf les pailles de céréales et le maïs fourrager).

Dans cette étude est discuté l'impact de l'arrêt des activités de la fonderie Métaleurop sur les concentrations en Cd et Pb des blés (grain et paille) en comparant des campagnes de prélèvements réalisées en 2003-2005 similaires à celles réalisées entre 1996 et 2001, s'appuyant sur 15 parcelles liées à une gamme de contamination des sols comparable. Les observations faites dans cette étude tendent à montrer que la contamination des cultures est vraisemblablement davantage liée à un dépôt atmosphérique qu'à un transfert des ETM *via* les sols. L'analyse statistique des résultats a mis en évidence que, au regard des concentrations en Cd et en Pb, 80 % des grains de blé ne sont pas conformes aux teneurs maximales fixées par le règlement (CE) n°1881/2006 pour l'alimentation humaine. Ce taux était de 90 % durant l'activité de

Métaleurop Nord. En revanche, tous les grains sont conformes aux teneurs maximales en vigueur pour l'alimentation animale. En ce qui concerne les pailles, 66 % des échantillons ne sont pas conformes alors qu'ils étaient de 88 % avant la fermeture de la fonderie. Parallèlement à ces recherches, les résultats ont souligné la tendance à la baisse de la non-conformité des grains de blé et d'orge destinés à l'alimentation humaine depuis l'arrêt des activités de Métaleurop Nord (respectivement 47 et 44 % de non-conformités en 2004-2005 contre 90 et 77 % avant 2003). Ce constat met en relief, à la suite de l'arrêt de la fonderie, le rôle des retombées atmosphériques lors de l'activité de la fonderie sur la contamination des végétaux, plutôt qu'une baisse des niveaux de contamination des sols. Toutefois, selon les auteurs, il convient de rester prudent sur les conclusions de cette étude du fait du nombre limité d'échantillons, et de la non prise en compte des variabilités liées aux conditions climatiques.

La campagne de prélèvements menée en 2010 par Douay *et al.* (2011a) met en exergue la non-conformité systématique de certaines espèces végétales : grains d'escourgeon et avoine, betterave sucrière, grains de blé, de maïs et d'orge, pomme de terre, pois. La non-conformité des productions végétales agricoles destinées à l'alimentation humaine est essentiellement liée à des concentrations excessives en Cd. Ces taux varient mais restent relativement élevés quand les sols présentent des concentrations supérieures à 4 mg de Cd.kg<sup>-1</sup>. Les principales productions végétales agricoles sur les sols présentant plus de 200 mg Pb.kg<sup>-1</sup> ont fait l'objet d'un échantillonnage, soit au total 95 échantillons. Au regard de la réglementation portant sur les denrées destinées à l'alimentation humaine, l'ensemble des féveroles et des betteraves échantillonnées n'est pas conforme en ce qui concerne le plomb. La non-conformité est importante pour les grains de blé et d'escourgeon (près de 75 %) ainsi que pour les pommes de terre (50 %). Elle est moindre pour les gains de maïs (10 %).

Pour les productions agricoles destinées à l'alimentation animale, compte tenu de valeurs réglementaires moins contraignantes, les productions végétales agricoles étudiées (échantillon de foin compris) sont conformes, à l'exception d'une part importante des maïs fourragers (40 %) et pailles de blé (28 %). Ces résultats confirment à l'issue de la campagne de prélèvements de 2010 que la non-conformité observée est souvent liée à des concentrations en Cd trop élevées.

Des productions potagères dans les jardins ont également été étudiées par Douay *et al.* (2011a et b, 2013) : radis, carotte, laitue, pomme de terre, tomate, etc. La production de légumes au niveau des potagers est problématique car il est observé des concentrations supérieures aux teneurs maximales réglementaires pour l'alimentation humaine fixées par le règlement (CE) n°1881/2006. Ce constat est notamment fait pour des productions potagères les plus cultivées et souvent accumulatrices de métaux de type carotte, pomme de terre et poireau. Il est aussi noté dans ces rapports que plus de 80 échantillons de thym ont été analysés dans les jardins et tous présentaient pour cette plante pérenne difficile à nettoyer des concentrations supérieures aux teneurs maximales réglementaires fixées par le règlement (CE) n°1881/2006. Les productions potagères ou encore l'autoconsommation ne font pas l'objet de la présente saisine qui est focalisée sur les productions agricoles commercialisées. Cependant, les productions des jardins de cette zone sont à l'origine d'une exposition humaine aux métaux.

Dans ce cas, il faut noter que les sols de jardins sont très différents des sols agricoles, avec souvent des teneurs en matières organiques plus élevées et des scories d'origine industrielle riches en métaux dans les sols. Plusieurs études récentes réalisées à proximité de l'usine de Métaleurop et de l'actuelle usine d'Auby font état d'une contamination existante très variable des sols de jardins potagers privés, avec des niveaux de contamination (Cd, Pb et Zn) pouvant dépasser ceux observés pour les sols agricoles de la zone (Douay *et al.*, 2013). Une contamination par des dépôts atmosphériques ou ré-envols de poussière liés aux activités des deux usines, selon les vents dominants, explique pour partie ces teneurs variables ; l'apport de terres contaminées aux sols y contribue également.

Toutefois, une corrélation entre les teneurs en Cd et Pb du sol et celles mesurées dans les végétaux ayant poussé sur le sol n'a pas pu être établie, ces dernières étant également influencées par les pratiques agricoles (en particulier l'apport d'amendements modifiant le pH du



sol, et donc la mobilité des ETM, ou d'apports organiques contaminés en ETM) (Waterlot *et al.*, 2017 ; Douay *et al.*, 2013).

Dans ce contexte, il est aussi remarqué que la contamination de champignons sauvages susceptibles d'être récoltés sur des sols très contaminés à proximité des deux sites industriels est une source possible de surexposition des populations locales aux métaux, en particulier le Cd et le Pb (Davranche *et al.*, 2009).

Enfin, il est fait le constat que la population locale peut être en possession d'animaux en élevage familial. Pelfrène *et al.* (2015), dans le projet relatif à l'étude de la réduction de l'exposition aux métaux des populations en lien avec le jardinage et la consommation de denrées autoproduites, font état de la présence d'élevages familiaux, notamment de volailles dans les zones 2 et 3. Cette étude révèle des concentrations en Pb et Cd très élevées dans les œufs comparées aux contaminations mesurées dans les œufs du commerce.

Sur la base des études de Douay *et al.* (2011a et b), cela indique que, de manière générale, la situation est plus préoccupante en ce qui concerne les concentrations totales en cadmium observées dans les végétaux qu'ils proviennent de l'agriculture ou des potagers. Il est noté que la situation environnementale a peu évolué depuis l'arrêt de l'activité de l'usine. Cela s'explique par la persistance des métaux dans le sol et des stocks importants cumulés pendant des décennies d'activité industrielle. L'arrêt de l'usine a permis une amélioration de la qualité de l'air et donc une réduction des transferts foliaires de métaux. Il est souligné dans ces rapports que le dispositif en place devrait être renforcé pour garantir la sécurité sanitaire des aliments tout en assurant l'avenir de l'agriculture dans la zone concernée.

### **3.4.3. Bilan**

Au regard des résultats de l'analyse statistique des campagnes de prélèvements 2015 et 2016 joints à cette saisine, des dépassements fréquents des teneurs maximales réglementaires en cadmium dans les denrées, notamment pour la consommation humaine définies par le règlement (CE) n°1881/2006 sont constatés. Cela est corroboré par des études existantes et antérieures sur le site Métaleurop faisant état de l'observation des dépassements des limites réglementaires des teneurs en cadmium des denrées (Douay *et al.*, 2011a et b) sur la base de points de prélèvements des végétaux et sols (agricoles et jardins) associés.

### **3.5. Analyse des propositions de mesures agricoles de la saisine**

Au regard de la caducité des deux arrêtés préfectoraux du 29 mai 2015<sup>1,2</sup> visant la gestion sanitaire de la zone, l'Anses est mandatée sur les mesures d'encadrement liées à la mise sur le marché et à la consommation de productions végétales produites sur un site pollué en plomb et cadmium par l'ancienne fonderie Métaleurop. L'Anses est en l'occurrence sollicitée pour émettre un avis sur la proposition de mesures allégées dans la saisine :

*« est-il possible d'alléger les mesures de gestion établies, notamment en appliquant les mesures suivantes :*

*- Pour les nouvelles espèces cultivées sur une parcelle donnée et pour les cultures sur des parcelles en jachère les années précédentes : appliquer les procédures de l'arrêté préfectoral de 2015 (analyses libératoires pour les productions à cycle long, analyses non libératoires pour les autres productions).*

*- Pour les productions de maïs ensilage, d'avoine et les productions maraîchères : poursuivre ces mêmes analyses systématiques.*

*- Pour les productions de pommes de terre : poursuivre les analyses et prendre en compte le facteur variété.*

*- Pour les récoltes de blé et d'orge, sauf cas de parcelles particulières à expertiser, considérer les futures récoltes :*



- *comme pouvant être destinées à la consommation humaine sous réserve de recourir à un autocontrôle adapté.*
- *conformes pour l'alimentation animale (sans analyse libératoire ni autocontrôle) avec un plan de surveillance renforcé sur les produits à maturité.*
- *Pour les récoltes de maïs grain : considérer les futures récoltes conformes pour la consommation humaine, avec un plan de surveillance renforcé sur les produits à maturité.*
- *Pour les récoltes de féveroles : considérer les futures récoltes conformes pour l'alimentation animale avec un plan de surveillance renforcé sur le produit à maturité.*
- *De mettre en place un plan de surveillance renforcé sur les cultures du site. »*

Dans la zone de Métaleurop sont cultivées des plantes :

- à vocation non alimentaire (environ 20 % des surfaces en 2017) comme le miscanthus (Al Souki *et al.*, 2017 ; Douay et Bidar, 2015) liées à des projets à des fins énergétiques et relatifs à la phytostabilisation sur des sols contaminés par des métaux ; en effet ces plantes piègent les métaux dans les racines, limitant leur translocation vers les parties aériennes valorisées ;
- à vocation alimentaire principalement (80 % des surfaces) cultivées par les agriculteurs (betteraves, céréales, pommes de terre etc.) (Douay *et al.*, 2011b) et également diverses plantes potagères dans des jardins de particuliers (Pelfrène *et al.*, 2015).

Sur la seule base des données exploitables des campagnes de prélèvements réalisés dans le cadre des arrêtés préfectoraux du 29 mai 2015, les mesures des teneurs en métaux des végétaux ne sont pas accompagnées de celles dans les sols. Il est par conséquent difficile de renseigner les zones les plus à risque compte tenu du manque d'information couplée « sol-plante ».

Il est noté que les teneurs en métaux dans les végétaux sont présentées sous l'angle de la conformité (ou non) aux seuils réglementaires européens, souvent avec des prélèvements réalisés 2-3 semaines avant récolte. Cela crée de l'hétérogénéité et de l'incertitude relatives aux données disponibles réduisant les possibilités de comparaison rigoureuse avec les études antérieures, réalisées principalement par Douay *et al.* (2011a et b). Toutefois, sur la base des données disponibles, il est confirmé le transfert du Cd et du Pb dans les plantes de la zone d'étude.

Le cadmium et le plomb sont des éléments au caractère persistant dans les sols. La persistance est aussi liée à la nature des sols et à leur capacité à stabiliser les métaux. Par conséquent, le sol de la zone étudiée constitue une source de cadmium et de plomb qui peuvent être transférés jusqu'à des organismes vivants se trouvant de façon permanente ou occasionnelle dans cette zone.

Par ailleurs, l'évolution des teneurs en contaminants dans les productions agricoles dans les prochaines années est difficile à prévoir. En effet, les pratiques agricoles peuvent évoluer et modifier le pH ou la teneur en matières organiques des sols et donc la mobilité du cadmium et du plomb dans ceux-ci. Il serait souhaitable à l'avenir de développer un modèle prédictif lié, à partir d'un site pollué, à l'étude de l'évolution de la contamination des sols et des productions agricoles quelle que soit la culture.

**Par conséquent, en l'état actuel des connaissances, il n'est pas envisageable d'alléger le suivi sur la zone.**

L'Anses était également sollicitée pour émettre un avis sur la question suivante :

« est-il pertinent de pérenniser les restrictions établies sur la base des teneurs réglementaires et de poursuivre les contrôles systématiques sur chaque parcelle : si oui, pour combien de temps ? »

**Au regard du caractère persistant du cadmium et plomb dans les sols, il apparaît nécessaire de pérenniser le système de contrôle tant que les productions agricoles sont destinées à l'alimentation humaine ou animale. Ce système devra s'appuyer sur des prélèvements systématiques par échantillonnage de chaque parcelle de culture afin de mesurer les concentrations en cadmium et plomb dans les parties comestibles des végétaux, à la benne à la récolte ; et il devra recueillir lors des campagnes de prélèvement toutes les informations nécessaires pour la bonne analyse des données (cf section 3.4.1 et notes du 04 mai et 20 septembre 2017 transmises aux tutelles).**

### 3.6. Recommandations

Au regard du contexte, il est recommandé de **pérenniser un dispositif d'accompagnement visant à continuer d'orienter progressivement la production agricole du site Métaleurop vers des filières à vocation non alimentaire.**

Il est noté l'intérêt dans la zone du développement de plusieurs filières agricoles à vocation non alimentaire liées à la production :

- d'énergie et de matériaux *via* la production de biomasses comme le bois et le miscanthus, permettant également la phytostabilisation des sols contaminés par les métaux ;
- d'énergie par méthanisation de cultures ;
- d'huiles essentielles végétales.

En fonction des filières mises en place, notamment pour l'énergie, il conviendra de s'assurer du devenir des cendres de combustion ou des digestats (qui concentrent les ETM). Celles-ci ne devront pas constituer des sources de pollution diffuses secondaires dans d'autres secteurs.

Toutefois, si l'option de gestion retenue était celle d'une valorisation alimentaire des productions agricoles d'origine végétale, il est recommandé d'orienter celles-ci exclusivement vers l'alimentation animale, à la condition d'un contrôle de conformité systématique. En effet, il est observé des dépassements fréquents des teneurs maximales réglementaires dans les denrées destinées à la consommation humaine, avec un taux de non-conformité des échantillons destinés à la consommation humaine pour le cadmium pouvant atteindre 41,9 % [IC95 % : 27,0 ; 57,9] à partir de prélèvements effectués à la récolte en 2016. En revanche, les taux de non-conformité pour les denrées destinées à l'alimentation animale sont nettement plus faibles (taux de non-conformité allant jusqu'à 4,5 % [IC95 % : 2,27 ; 9,13] dans le cas du cadmium à partir de prélèvements effectués avant récolte en 2016) ; les seuils réglementaires étant plus élevés pour les matières premières destinées à l'alimentation animale.

Toutefois, au regard de la sécurité sanitaire, le CES privilégie le fait que les productions agricoles d'origine végétale produites sur le site Métaleurop soient orientées vers une filière à vocation non alimentaire. En effet, le fait d'orienter celles-ci vers l'alimentation animale constitue, *in fine*, une voie d'entrée dans l'alimentation humaine pour des contaminants tels que le plomb et le cadmium, qui sont déjà des sources de préoccupations sanitaires importantes (Anses, 2011a et 2016).

Par ailleurs, au regard de l'alimentation animale, il est conseillé d'éviter des pratiques telles que celles dites des circuits courts qui, liées à un fonctionnement en circuit local, entretiennent le cycle de contamination.

Enfin, dans le cadre d'une gestion de mesures appropriées au risque sanitaire lié au site pollué par l'ancienne fonderie Métaleurop, l'Anses alerte sur d'autres situations à considérer en plus de la

mise sur le marché et la consommation de productions végétales produites sur ce site contaminé par le plomb et le cadmium qui sont :

- Les denrées alimentaires d'origine animale ;
- L'autoconsommation.

### **Les denrées alimentaires d'origine animale**

Il a été décrit plus haut (section 3.3.3) que les abats sont les organes les plus susceptibles de contamination par les deux métaux considérés. Par conséquent, bien que les arrêtés préfectoraux du 29 mai 2015 fassent état de la saisie systématique des foies et reins des animaux élevés durant au moins trois mois sur le site Métaleurop, le CES alerte sur le risque sanitaire lié à la contamination des denrées alimentaires d'origine animale issues de la zone.

Par ailleurs, la quantité de plomb ou de cadmium éliminée par voie fécale peut être conséquente. Le CES attire l'attention sur le fait que les fertilisations ou amendements réalisées avec du fumier ou des lisiers par exemple peuvent entraîner un risque de retour de la contamination au champ et ainsi entretenir le cycle de contamination par ces éléments.

### **L'autoconsommation**

Il a été décrit plus haut (section 3.4.2.4) que les cultures produites dans les jardins potagers peuvent être contaminées à des niveaux très élevés et supérieurs aux teneurs maximales réglementaires pour l'alimentation humaine fixées par le règlement (CE) n°1881/2006, et ce pour des sols très contaminés et des cultures accumulatrices de métaux (exemples : carotte, radis, pomme de terre, poireau, légume-feuilles). Par conséquent, bien que l'autoconsommation ne soit pas l'objet de la saisine, le CES alerte sur le risque de surexposition au Cd et Pb pour les populations locales autoconsommatrices.

#### 4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail endosse les conclusions du CES ERCA et précise:

- que la mise sur le marché des productions végétales des trois zones contaminées par le site Métaleurop nécessite la poursuite des contrôles libératoires du cadmium et du plomb, avec un relevé cadastral précis. Un allègement du dispositif (mesures fixées dans l'arrêté caduc) n'est donc pas envisageable au vu du fort taux de non-conformités ;
- que, par ailleurs, une conversion progressive des productions vers des filières non alimentaires doit se poursuivre.

L'Anses rappelle, en outre, que les denrées animales et d'origine animale, bien que ne faisant pas l'objet du présent avis, doivent être prises en compte dans les contrôles officiels liés à la mise sur le marché des productions animales issues des animaux actuellement détenus sur les zones 2 et 3. Il conviendrait de vérifier par ces contrôles si la levée des mesures de saisie systématique des abats des animaux détenus sur la zone d'influence de l'usine est possible. Dans l'attente, compte tenu des données toxicocinétiques de la littérature, l'Anses recommande de proroger les modalités de l'arrêté préfectoral qui prévoyaient une saisie des foies et reins des animaux de ces zones.

L'Anses rappelle également que l'orientation des denrées alimentaires végétales vers la filière de l'alimentation animale, quand cela est possible d'un point de vue réglementaire (la directive 2002/32 fixant des niveaux acceptables en général supérieurs dans les aliments pour animaux à ceux de l'alimentation humaine), entraîne *de facto* la consommation, par les animaux concernés, d'aliments présentant des teneurs plus élevées que les concentrations usuelles du bruit de fond de contamination. L'absence de conséquence de ces pratiques devrait être mieux objectivée, par exemple en renforçant les contrôles sur les DAOA issues des animaux nourris à partir des végétaux de la zone polluée, surtout quand ces végétaux constituent la part exclusive ou majeure du régime.

D'une façon générale, l'exportation, même à des fins technologiques, de produits végétaux contaminés peut induire un déplacement de la pollution hors de la zone identifiée comme polluée. C'est pourquoi l'impact de ces procédés devrait être apprécié.

Enfin, l'Anses appelle l'attention sur les risques de surexposition des consommateurs induits par les consommations de produits « de proximité » (c'est-à-dire issus de l'autoproduction : jardins, potagers et basses-cours domestiques), de denrées végétales comme de denrées animales : réglementairement, ces productions ne sont pas soumises aux teneurs maximales établies par la réglementation (qui régit *stricto sensu* la mise sur le marché des aliments destinés à l'Homme et aux animaux), mais vu les teneurs mesurées dans les productions qui y sont soumises, elles doivent faire l'objet d'une surveillance et de recommandations spécifiques, déjà existantes mais à réitérer régulièrement.

## MOTS-CLES

Métaleurop, sols pollués, plomb, cadmium, productions agricoles végétales

Métaleurop, polluted soils, lead, cadmium, agricultural crops

## BIBLIOGRAPHIE

Al Souki K., Louvel B., Douay F., Pourrut B. 2017. Assessment of *Miscanthus x giganteus* capacity to restore the functionality of metal-contaminated soils: *Ex situ* experiment. *Applied Soil Ecology* 115 (2017) 44–52

Anses. 2011a. Avis de l'Anses et rapport d'expertise relatifs à l'Étude de l'alimentation française 2 (EAT2) – Tome 1 : contaminants inorganiques, minéraux, polluants organiques persistants, mycotoxines, phyto-estrogènes. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, Maisons-Alfort.

Anses. 2011b. Avis de l'Anses relatif à la révision des teneurs maximales en cadmium des denrées alimentaires destinées à l'Homme (saisine n° 2011-SA-0194). Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, Maisons-Alfort.

Anses. 2016. Rapport d'expertise relatif à l'Étude de l'Alimentation Totale Infantile (EATi) - Tome 2 -Partie 2 : composés inorganiques, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, Maisons-Alfort.

Anses. 2017. Avis de l'Anses relatif à la hiérarchisation des dangers chimiques en alimentation animale. (saisine n°2015-SA-0075), Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, Maisons-Alfort.

ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2012. Toxicity profile for cadmium. U.S. Department of Health and Human Services.

Baize, D., Deslais, W., & Gaiffe, M. 1999. Anomalies naturelles en cadmium dans les sols de France. *Etude et gestion des Sols*, 2, 85-104.

Baize D., Tercé M. 2002. Les éléments traces métalliques dans les sols. *Approches fonctionnelles et spatiales*, INRA, Paris, 565 p.

Baize, D., Saby, N., Deslais, W., Bispo, A., & Feix, I. 2006. Analyses totales et pseudo-totales d'éléments en traces dans les sols. Principaux résultats et enseignements d'une collecte nationale. *Etude et Gestion des Sols*, 13(3), 181-200.

Baize D. 2009. Éléments traces dans les sols - Fonds géochimiques, fonds pédogéochimiques naturels et teneurs agricoles habituelles: définitions et utilités. *Courrier de l'environnement de l'INRA* n° 57, juillet 2009.

Baize *et al.*, 2010. Les éléments en traces dans les sols agricoles du Nord-Pas-de-Calais. I. Étude et cartographie des teneurs des horizons de surface. *Etude et Gestion des Sols*, Volume 17, 3-4, 2010 - pages 213 à 237.

Birke M., Reimann C., Rauch U., Ladenberger A., Demetriades A., Jähne-Klingberg F., Oorts K., Gosar M., Dinelli E., Halamić J., The GEMAS Project Team. 2017. GEMAS: Cadmium distribution and its sources in agricultural and grazing land soil of Europe — Original data versus cl-transformed data. *Journal of Geochemical Exploration* 173 (2017) 13–30.

Blüthgen, A.H., 2000. Contamination of milk from feed. *Bull. Int. Dairy Feder.* 356, 43–47.



- Budtz-Jorgensen, E., D. Bellinger, B. Lanphear, P. Grandjean, and Investigators International Pooled Lead Study. 2013. "An international pooled analysis for obtaining a benchmark dose for environmental lead exposure in children." *Risk Anal* 33 (3):450-61. doi: 10.1111/j.1539-6924.2012.01882.x.
- Caboche J. 2009. Validation d'un test de mesure de la bioaccessibilité. Application à 4 éléments traces métalliques dans les sols : AS, Cd, Pb et Sb. Thèse de doctorat de l'INPL, Nancy 28 septembre 2009, 249 p.
- Canfield, R. L., C. R. Henderson, Jr., D. A. Cory-Slechta, C. Cox, T. A. Jusko, and B. P. Lanphear. 2003. "Intellectual impairment in children with blood lead concentrations below 10 microg per deciliter." *N Engl J Med* 348 (16):1517-26. doi: 10.1056/NEJMoa022848.
- Cordier L., 1999 - Les éléments en traces dans les limons du Nord -Pas-de-Calais (France). Contribution à l'établissement d'un référentiel pédogéochimique. Mém. fin d'étude d'ing. agro., Fac. Univ. Sc. Agronomiques de Gembloux, 74 p.
- Davranche L., Van Haluwyn C., Cuny D. 2009. Approche du risque sanitaire lié à la consommation de champignons contaminés par les éléments traces métalliques. *Air Pur* 77:21-28.
- Declercq C., Ladrière L., Brigaud T., Gueudré C., Leclercq M., Haguenoer J-M. 2005. Programme de dépistage du saturnisme infantile autour du site METALEUROP de Noyelles-Godault. Bilan de la campagne 2002-2003. ORS Nord Pas-de-Calais.
- Denaix L., Semlali R.M., Douay F. 2001. Dissolved and colloidal transfer of Cd, Pb and Zn in a silt loam soil affected by atmospheric industrial deposition. *Environ. Pollut.*, 114 : 29 –38.
- Denaix L., Semlali R.M., Douay F. 2002. Transferts de Zn, Pb et Cd par voie soluble ou colloïdale. Les éléments traces métalliques dans les sols. Approches fonctionnelles et spatiales. D. Baize, M. Tercé ed., INRA éditions, pp. 255 - 267.
- DIMENSION. 2013. Détermination de l'impact environnemental des métaux de nanoparticules issues d'activités anthropiques et composés modèles synthétisés. Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par PR Camille DUMAT, Contrat Ademe ADEME 1072C0008.
- Douay F., Fourrier H., Pruvot C., Schvartz C., Deram A. et Descamps M. 2005 -Programme complémentaire au Réseau de Mesures de la Qualité des Sols dans la Région Nord-Pas-de-Calais. Conseil Régional Nord-Pas-de-Calais, ADEME, Agence de l'Eau Artois Picardie, DIREN. 49 p., annexes.
- Douay F., Planque J., Loriette A. et Fourrier H. 2011a. Site Metaleurop Nord à Noyelles-Godault (62)-Campagnes de mesures des teneurs en plomb et en cadmium autour de l'ancien site industriel-Rapport final. ADEME, 138p.
- Douay F., Aligon D., Cadière F. 2011b. Site atelier Metaleurop. Synthèse des travaux de recherche réalisés autour de l'ancienne fonderie de Noyelles-Godault, juillet 2011.ADEME, 385p.
- Douay F., Pelfrène A., Planque J., Fourrier H., Richard A., Roussel H., Girondelot B. 2013. Assessment of potential health risk for inhabitants living near a former lead smelter. Part 1: metal concentrations in soils, agricultural crops, and homegrown vegetables. *Environ Monitor Assess* 185:3665-3680.
- Douay F., Bidar G. 2015. Synthèse du projet PHYTENER – Rapport final. ADEME. 33.
- EFSA. 2009. Cadmium in food. Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. *The EFSA Journal* 980, 1-139.
- EFSA. 2010. Scientific Opinion of the EFSA panel on Contaminants in the Food Chain on Lead in Food. In *The EFSA journal*, N°8 (4). Parma: EFSA.

- EFSA. 2013. Scientific Opinion of EFSA panel on Contaminants in the Food Chain on lead in Food. In *The EFSA journal*, N°8 (4). Parma: EFSA.
- HCSP. 2014. Expositions au plomb : détermination de nouveaux objectifs de gestion.
- IARC/CIRC. 2006. International Agency for Research on Cancer. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Inorganic and Organic Lead Compounds. N°87. Lyon: IARC.
- IARC/CIRC.2012. International Agency for Research on Cancer. Cadmium. Vol 100C.121-145.
- JECFA. 2000. Safety evaluation of certain food additives and contaminants. In *WHO Food Additives Series*, N° 44 (53rd meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). Geneva: WHO.
- JECFA. 2011. Evaluation of certain food additives and contaminants. In *WHO Technical Report Series*, N°960 (73rd report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). Geneva: WHO.
- Jondreville C., Travel A., Besnard J., Dziurla M-A., Feidt C. 2010. Intake of herbage and soil by free-range laying hens offered a complete diet compared to a whole-wheat diet. In *Proc. XIIIth European poultry conference*, M. Duclos and Y. Nys, (Eds.), 23–27 August 2010, Tours, France, *World's Poult. Sci. J.*, CD of proceedings, EISSN number 1743–4777, pp 4.
- Jurjanz S., Feidt C., Pérez-Prieto L.A., Ribeiro Filho H.M.N., Rychen G., Delagarde R. 2012. Soil intake of lactating dairy cows in intensive strip-grazing systems. *Animal* 6, 1350-1359
- Jurjanz S., Roinsard A. 2014. Valorisation de l'herbe par des truies en plein air. *AlterAgri* 108 (Mai-Juin), 25-26.
- Jurjanz S., Germain K., Juin H., Jondreville C. 2015. Intake of plants and soil of free ranged chicken reared outside in plots under trees or covered with grass. *Animal* 9, 888-898
- Lanphear, B. P., R. Hornung, J. Khoury, K. Yolton, P. Baghurst, D. C. Bellinger, R. L. Canfield, K. N.Dietrich, R. Bornschein, T. Greene, S. J. Rothenberg, H. L. Needleman, L. Schnaas, G. Wasserman, J. Graziano, and R. Roberts. 2005. "Low-level environmental lead exposure and children's intellectual function: an international pooled analysis." *Environ Health Perspect* 113 (7):894-9.
- Leeman W.R., van den Berg K.J., Houben G.F. 2007. Transfer of chemicals from feed to animal products: The use of transfer factors in risk assessment. *Food additives and contaminants* 24, 1-13.
- Leroyer A., Hemon D., Nisse, C., Bazerques J., Salomez J-L., Haguenoer J-M. 2001a. Environmental exposure to lead in a population of adults living in northern France: lead burden levels and their determinants. *Sci Total Environ* 267:87-99.
- Luttringer M., et de Cormis L. (1979). La pollution par les métaux lourds à Noyelles-Godault et ses environs (Pas de Calais). INRA - Station d'Etude de la pollution atmosphérique, 12 p et annexes.
- MacLachlan DJ. 2011. Estimating the transfer of contaminants in animal feedstuffs to livestock tissues, milk and eggs: a review. *Animal Production Science* 51, 1067-1078.
- McNemar, Quinn. 1947. "Note on the sampling error of the difference between correlated proportions or percentages". *Psychometrika*. 12 (2): 153–157. doi:10.1007/BF02295996. PMID 20254758.
- Marschner H. 2011. Mineral nutrition in higher plants 3rd edition. Academic Press, 672 p.
- Milhaud G.E., Delacroix-Buchet A., Han M., Mehennaoui S., Duché A., Enriquez B., Kolf-Clauw M. (2000). Devenir du cadmium du lait de chèvre dans la crème et les caillés présure et lactique. *Lait* 80, 277 – 288.
- NTP. 2012. "NTP Monograph on health effects of low-level lead." NTP Monogr:xiii, xv-148.

- OMS/WHO. 2010. Exposure to cadmium: a major public health concern. Geneva: WHO.
- Pelfrène A., Grard O., Heyman C., Douay F. 2015 - Projet REPJAR - Réduction de l'exposition aux métaux des populations en lien avec le jardinage et la consommation de denrées autoproduites. Rapport ARS Nord – Pas de Calais, pp 98.
- Prankel, S.H., Nixon, R.M., Phillips, C.J.C., 2004. Meta-analysis of feeding trials investigating cadmium accumulation in the livers and kidneys of sheep. *Environ. Res.* 94 (2), 171–183.
- Prankel, S.H., Nixon, R.M., Phillips, C.J.C., 2005. Implications for the human food chain of models of cadmium accumulation in sheep. *Environ. Res.* 97 (3), 348–358.
- Schreck E., Foucault Y., Sarret G., Sobanska S., Cécillon L., Castrec-Rouelle M., Uzu G., Dumat C. 2012. Metal and metalloid foliar uptake by various plant species exposed to atmospheric industrial fallout: mechanisms involved for lead. *Science of the Total Environment*, 427, 253-262.
- Schreck, E., Laplanche, C., Le Guédard, M., Bessoule, J.-J., Austruy, A., Xiong, T., et al. 2013. Influence of fine process particles enriched with metals and metalloids on *Lactuca sativa* L. leaf fatty acid composition following air and/or soil-plant field exposure. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, 179, 242–249. doi:10.1016/j.envpol.2013.04.024
- Shahid M., Dumat C., Khalid S., Schreck E., Xiong T., Khan Niazi N. 2016. Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake. *Journal of hazardous materials*, 5, 325, p36-58. doi: 10.1016/j.jhazmat.2016.11.063.
- Smith R.M., Leach R.M., Mulles L.D., Griel, Jr. L.C., Bakefi D.E. 1991. Effects of long-term dietary cadmium chloride on tissue, milk, and urine mineral concentrations of lactating dairy cows. *Journal of Animal Science* 69, 4088-4096.
- Sterckeman T., Douay F., Proix N. et Fourrier H. 1996 - Programme de Recherches Concertées. Étude d'un secteur pollué par des métaux. Typologie et cartographie des sols, inventaire des polluants minéraux, étude de la migration verticale de Cd, Cu, Pb et Zn. 29 p. Rapport Conseil Régional Nord-Pas-de-Calais. Secrétariat d'état à la Recherche. - ISA -INRA, Lille.
- Sterckeman T., Douay F., Fourrier H, Proix N. 2002. Référentiel pédo-géochimique du Nord-Pas-de-Calais. Rapport final (130 p.) et annexes (306 p). INRA Arras, ISA Lille.
- Sterckeman T., Douay F., Baize D., Fourrier H., Proix N., Schwartz C. 2007. Référentiel pédo-géochimique du Nord-Pas-de-Calais. Méthode et principaux résultats. *Étude et gestion des sols*, 14, 2, p. 153-168.
- Tremel-Schaub A. et Feix I. 2005. Contamination des sols : transfert des sols vers les plantes. EDP Sciences
- Uzu G., Sobanska S., Aliouane Y., Pradere P., Dumat C. 2009. Study of lead phytoavailability for atmospheric industrial micronic and sub-micronic particles in relation with lead speciation. *Environmental Pollution*, 157(4), 1178-1185.
- Van Oort F., Gaultier J.-P., Hardy R. et Bourennane H. 2002 – Contaminations d'origine industrielle - Mortagne-du-Nord. Distributions spatiales et stratégies d'échantillonnage. In: "Les Éléments traces métalliques dans les sols - Approches fonctionnelles et spatiales" D. Baize et M. Tercé coord. INRA Éditions, Paris. 570 p.
- Vreman K., van der Veen N.G., van der Molen E.J., de Ruig W.G., 1986. Transfer of cadmium, lead, mercury and arsenic from feed into milk an various tissues of dairy cows: chemical and pathological data. *Neth J. of agric. Sci.* 34, 129-144.
- Waterlot C., Pruvot C., Marot F., Douay F., 2017. Impact of a phosphate amendment on the environmental availability and phytoavailability of Cd and Pb in moderately and highly carbonated kitchen garden soils. *Pedosphere* 27(3):588-605. doi:10.1016/S1002-0160(17)60354-0

Wu J., Dumat C., Lu H., Li Y., Li H., Xiao Y., Zhuang P., Li Z. 2016. Synergistic improvement of crop physiological status by combination of cadmium immobilization and micronutrient fertilization. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 7, p6661-6670.

Xiong, T., Lévêque, T., Shahid, M., Foucault, Y., & Dumat, C. 2014. Lead and cadmium phytoavailability and human bioaccessibility for vegetables exposed to soil or atmospheric pollution by process ultrafine particles. *Journal of Environmental Quality*, 43(5), 1593–1600. doi:10.2134/jeq2013.11.0469

Xiong T. 2015. Biodisponibilité des métaux et métalloïdes de particules atmosphériques fines et nanométriques en relation avec leur phyto-disponibilité. Thèse de l'Université de Toulouse. Hydrologie, Hydrochimie, Sols, Environnement.

Xiong T., Dumat C., Pierart A., Shahid M., Kang Y., Li N., Bertoni G., Laplanche C. 2016. Measurement of metal bioaccessibility in vegetables to improve human exposure assessments: field study of soil–plant–atmosphere transfers in urban areas, South.. *Environmental geochemistry and health*, 38, 6, 1283-1301.

## ANNEXE 1

### Présentation des intervenants

**PRÉAMBULE :** Les experts membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, *intuitu personae*, et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

#### RAPPORTEURS

---

M. Pierre-Marie BADOT - Professeur des universités – compétences en transfert des contaminants

M. Antonio BISPO – Directeur de l'unité INFOSOL à l'Institut National de Recherche Agronomique INRA - Docteur es science en écotoxicologie et en sciences agronomiques

Mme Valérie CAMEL- Professeur des universités – compétences en chimie analytique

Mme Camille DUMAT- Professeur des universités – compétences en agronomie, biogéochimie et risque, INPT et CERTOP-Axe Transition Ecologique.

M. Jean-Philippe JAEG – Maître de conférences, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – compétences en pharmacologie et toxicologie

M. Stephan JURJANZ – Maître de conférences, Université de Lorraine – compétences en physiologie et alimentation animales, transfert de micropolluants et résidus

#### RELECTEUR

---

Mme Karine TACK- Responsable de laboratoire - compétences en chimie analytique

#### COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ

---

Les travaux, objets du présent rapport ont été suivis et adoptés par le CES suivant :

**CES « Evaluation des risques physico-chimiques liés aux aliments »** – 15 février 2017, 13 septembre 2017, 24 janvier 2018, 15 mars 2018

##### Président

M. Cyril FEIDT – Professeur des universités – compétences en transfert des contaminants

##### Membres

M. Claude ATGIE – Professeur des universités – compétences en toxicologie

M. Pierre-Marie BADOT - Professeur des universités – compétences en transfert des contaminants

M. Jacques BELEGAUD – Professeur honoraire – compétences en toxicologie

Mme Valérie CAMEL- Professeur des universités – compétences en chimie analytique

Mme Martine CLAUW- Professeur des universités - compétences en toxicologie

M. Guillaume DUFLOS- Responsable de laboratoire - compétences en chimie analytique

Mme Camille DUMAT- Professeur des universités – compétences en agronomie, biogéochimie et risque, INPT et CERTOP-Axe Transition Ecologique.



M. Jérôme GAY- QUEHEILLARD- Maître de conférence des universités - compétences en impacts digestifs et métabolisme  
M. Thierry GUERIN – Directeur de recherche – compétences en chimie analytique  
Mme Nicole HAGEN-PICARD - Professeur des universités - compétences en toxicologie  
Mme Laila LAKHAL- Ingénieur animateur de projets - compétences en toxicologie  
M. Claude LAMBRE - Retraité - compétences en toxicologie  
M. Bruno LE BIZEC - Professeur des universités - compétences en chimie analytique  
Mme Raphaële LE GARREC - Maître de conférence des universités - compétences en toxicologie  
M. Eric MARCHIONI - Professeur des universités - compétences en chimie analytique  
M. César MATTEI - Maître de conférence des universités - compétences en toxicologie  
Mme Sakina MHAOUTY-KODJA - Directeur de recherche - compétences en toxicologie  
M. Fabrice NESSLANY- Directeur de laboratoire - compétences en toxicologie  
M. Alain-Claude ROUDOT - Professeur des universités - compétences en modélisation mathématique  
Mme Karine TACK - Responsable de laboratoire - compétences en chimie analytique  
Mme Paule VASSEUR - Professeur émérite - compétences en toxicologie  
M. Eric VERDON - Responsable de laboratoire - compétences en chimie analytique  
M. Jean-Paul VERNOUX - Professeur émérite - compétences en toxicologie

## **PARTICIPATION ANSES**

---

### **Coordination scientifique**

Mme Géraldine CARNE – Chargée de projets scientifiques – Anses  
M. Gilles RIVIERE – Adjoint au chef de l'unité Evaluation des Risques liés aux Aliments

### **Contribution scientifique**

Mme Virginie DESVIGNES – Chargée de projets scientifiques – Anses  
Mme Caroline BOUDERGUE – Chef de projets scientifiques - Anses

### **Secrétariat administratif**

Mme Angélique LAURENT – Anses  
Mme Catherine FRANCOIS - Anses

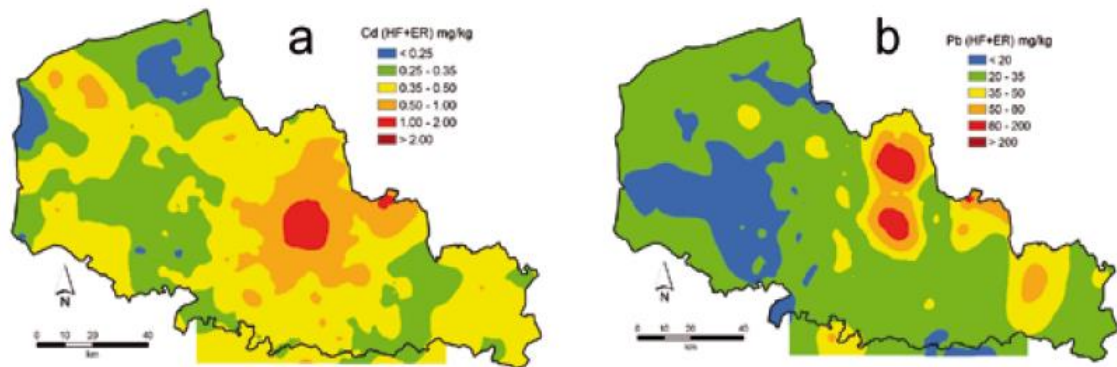
## **AUDITION DE PERSONNALITÉS EXTÉRIEURES**

---

M. Francis DOUAY – Responsable LGCgE - ISA - Yncréa Hauts-de-France  
M. Bertrand GIRONDELOT – Chef de projets sites et sols pollués - ADEME Hauts de France  
M. Patrice PHILIPPE – Chef de service friches urbaines et sites pollués - ADEME

ANNEXE 2

Carte des contaminations en cadmium (a) et plomb (b) dans le sol dans le Nord-Pas de Calais après krigeage des données (Baize *et al.*, 2010)



ANNEXE 3

Traitement statistique des données liées aux campagnes de prélèvements effectuées en 2015 et 2016 - définition des variables

- Définition des groupes de denrées appartenant à l'alimentation humaine ou animale

Le groupe « **alimentation humaine** » est constitué à partir des noms de cultures fournis dans le fichier de données, tels que : « Asperges », « aubergines », « Avoine de printemps », « Avoine d'hiver », « Betteraves rouges », « Betterave sucrière », « Blé de printemps », « Blé de semence », « Blé tendre d'hiver », « Carotte », « carottes conservation », « Colza », « Colza d'hiver », « Concombre », « Courgettes », « Céleri », « Céleris-raves feuilles », « Céleris-raves tubercules », « Chou-fleur », « Choux de Bruxelles », « chou frisé », « Épeautre », « Epinard », « Escourgeon », « Fraise pleine terre », « Féveroles », « Groseilles », « Haricots verts », « Maïs Grain », « Maïs grain », « Maraîchage », « Méteil », « mures », « musquée de Provence », « Navet », « Oignons », « Orge d'hiver », « Orge de printemps », « Persil », « Petit-pois », « Poireaux », « Poivrons », « Pomme de terre », « Pomme de terre Primeur », « Pommes de terre de consommation », « potimarron », « Radis », « Rhubarbe », « Salade », « Tomate cerise », « tomates », « Échalotes ».

Le groupe « **alimentation animale** » est constitué à partir des noms de cultures fournis dans le fichier de données, tels que : « Avoine de printemps », « Avoine d'hiver », « Betterave fourragère », « Blé de printemps », « Blé de printemps- paille », « Blé tendre d'hiver », « Blé tendre d'hiver – paille », « Colza », « Colza d'hiver », « Fourrage annuel », « Fourrages », « Féveroles », « Maïs Grain », « Maïs ensilage », « Maïs grain », « Orge d'hiver », « Orge d'hiver – paille », « Orge de printemps », « Orge de printemps – paille », « Prairie », « Prairie permanente », « Prairie temporaire », « Prairies ».

- Définition des groupes de denrées tels que précisés dans le Règlement (CE) n° 1881/2006<sup>13</sup>

Les noms de cultures (fournis dans le fichier) ont été regroupés en 5 modalités selon le règlement (CE) n°1881/2006 lié à la contamination en plomb :

- **Céréales, légumineuse, légumes à cosse** : « Avoine de printemps », « Avoine d'hiver », « Blé de printemps », « Blé de semence », « Blé tendre d'hiver », « Colza », « Colza d'hiver », « Épeautre », « Escourgeon », « Féveroles », « Haricots verts », « Maïs grain », « Maïs Grain », « Méteil », « Orge d'hiver », « Orge de printemps », « Petit-pois » ;
- **Légumes** : « Asperges », « aubergines », « Betteraves rouges », « Betterave sucrière », « Carotte », « carottes conservation », « Concombre », « Courgettes », « Céleri », « Céleris-raves feuilles », « Céleris-raves tubercules », « musquée de Provence », « Navet », « Oignons », « Poireaux », « Poivrons », « Pomme de terre », « Pomme de terre Primeur », « Pommes de terre de consommation », « potimarron », « Radis », « Rhubarbe », « Échalotes » ;
- **Choux feuilles, salsifis, légumes feuilles** : « Chou-fleur », « Choux de Bruxelles », « chou frisé », « Endive », « Epinard », « Salade », « Persil » ;
- **Fruits** : « Fraise pleine terre », « Maraîchage », « mures », « Tomate cerise », « tomates » ;
- **Airelles, groseilles, baies de sureau et arbouses** : « Groseilles ».

<sup>13</sup> Règlement (CE) N° 1881/2006 de la commission du 19 décembre 2006 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires

Les noms de cultures (fournis dans le fichier) ont été regroupés en 5 modalités selon le règlement (CE) n°1881/2006 lié à la contamination en cadmium :

- **Grains de céréales, à l'exclusion du blé et du riz** : « Avoine de printemps », « Avoine d'hiver », « Colza », « Colza d'hiver », « Épeautre », « Escourgeon », « Maïs grain », « Maïs Grain », « Orge de printemps », « Orge d'hiver » ;
  - **Grains de blé, grains de riz, son de blé et germe de blé** : « Blé tendre d'hiver », « Blé de printemps », « Méteil », « Blé de semence » ;
  - **Légumes et fruits**: « aubergines », « Chou-fleur », « Concombre », « Courgettes », « Fraise pleine terre », « Féveroles », « Groseilles », « Haricots verts », « Maraîchage », « mures », « musquée de Provence », « Oignons », « Petit-pois », « Poivrons », « potimarron », « Potiron », « Potiron (mélange de courges) », « Tomato cerise », « tomates », « Échalotes » ;
  - **Légumes-feuilles, fines herbes, choux feuilles, céleri, céleri-rave, panais, salsifis, raifort et champignons (*Agaricus bisporus* (champignon commun), *Pleurotus ostreatus* (pleurote) et *Lentinula edodes* (lentin du chêne))** : « Choux de Bruxelles », « choux frisé », « Céleri », « Céleris-raves tubercules », « Céleris-raves feuilles », « Endive », « Epinard », « Persil », « Salade » ;
  - **Légumes-racines, légumes-tubercules (à l'exclusion du céleri-rave, des panais, des salsifis et du raifort), légumes-tiges (à l'exclusion du céleri)** : « Asperges », « Betteraves rouges », « Betterave sucrière », « Carotte », « carottes conservation », « Navet », « Poireaux », « Pomme de terre », « Pomme de terre Primeur », « Pommes de terre de consommation », « Radis », « Rhubarbe ».
- Définition de la variable « cycle court / long »

Le groupe « **Cycle court** » est constitué à partir des noms de cultures fournis dans le fichier de données, tels que : « aubergines », « Asperges », « Carotte », « carottes conservation », « Chou-fleur », « Choux de Bruxelles », « choux frisé », « Colza », « Colza d'hiver », « Courgettes », « Céleri », « Céleris-raves feuilles », « Céleris-raves tubercules », « Endive », « Epinard », « Fraise pleine terre », « Groseilles », « Haricots verts », « Maraîchage », « mures », « musquée de provence », « Navet », « Oignons », « Persil », « Poireaux », « Poivrons », « potimarron », « Potiron », « Potiron (mélange de courges) », « Radis », « Rhubarbe », « Salade », « Tomato cerise », « tomates », « Échalotes » ;

Le groupe « **Cycle long** » est constitué à partir des noms de cultures fournis dans le fichier de données, tels que : « Avoine de printemps », « Avoine d'hiver », « Betterave fourragère », « Betteraves rouges », « Betterave sucrière », « Blé fourrager », « Blé Fourrager », « Blé de semence », « Blé de printemps », « Blé de printemps – Paille », « Blé tendre d'hiver », « Blé tendre d'hiver – Paille », « Escourgeon », « Épeautre », « Féveroles », « Fourrage annuel », « Fourrages », « Gel fixe/Foin », « Maïs Grain », « Maïs ensilage », « Maïs grain », « Méteil », « Orge d'hiver », « Orge d'hiver – Paille », « Orge de printemps », « Orge de printemps – Paille », « Paille de blé », « Petit-pois », « Pomme de terre », « Pomme de terre Primeur », « Pommes de terre de consommation », « Prairie permanente », « Prairie », « Prairie temporaire », « Prairies ».

- Constitution de groupes d'aliments destinés aux animaux tenant compte de la directive 2002/32/CE<sup>14</sup>

Les noms de cultures (fournis dans le fichier) ont été regroupés en 2 modalités en tenant compte de la directive 2002/32/CE liée à la contamination en plomb :

- **Autres** : « Betterave fourragère », « Colza », « Colza d'hiver », « Fourrage annuel », « Fourrages », « Gel fixe/Foin », « Prairie », « Prairie permanente », « Prairie temporaire », « Prairies » ;
- **Céréales, légumineuses** : « Avoine de printemps », « Avoine d'hiver », « Blé de printemps », « Blé de printemps – Paille », « Blé tendre d'hiver », « Blé tendre d'hiver – Paille », « Féveroles », « Maïs Grain », « Maïs ensilage », « Maïs grain », « Orge d'hiver », « Orge d'hiver – Paille », « Orge de printemps », « Orge de printemps – Paille ».

Les noms de cultures (fournis dans le fichier) ont été regroupés en 3 modalités en tenant compte de la directive 2002/32/CE liée à la contamination en cadmium :

- **Autres** : « Betterave fourragère », « Colza », « Colza d'hiver », « Gel fixe/Foin », « Fourrage annuel », « Fourrages », « Féveroles », « Prairie », « Prairie permanente », « Prairie temporaire », « Prairies » ;
- **Blé** : « Blé de printemps », « Blé de printemps – Paille », « Blé tendre d'hiver », « Blé tendre d'hiver – Paille » ;
- **Céréales hors blé** : « Avoine de printemps », « Avoine d'hiver », « Maïs Grain », « Maïs ensilage », « Maïs grain », « Orge d'hiver », « Orge d'hiver – Paille », « Orge de printemps », « Orge de printemps – Paille ».

---

<sup>14</sup> Directive 2002/32/CE du Parlement européen et du Conseil du 7 mai 2002 sur les substances indésirables dans les aliments pour animaux



**ANNEXE 4**

**Résultats statistiques sur la comparaison de conformité des prélèvements 2-3 semaines avant la récolte et à la récolte**

Une analyse des discordances a été menée entre les prélèvements faits 2 à 3 semaines avant récolte et à la récolte, dans le but d'apprécier la pertinence d'utiliser le statut de conformité des prélèvements faits 2 à 3 semaines avant la récolte comme indicateur du statut de conformité des prélèvements à la récolte.

Pour les campagnes de prélèvement 2015 et 2016, cette comparaison est basée respectivement sur deux échantillons de 61 et 42 prélèvements en ce qui concerne les denrées destinées à la consommation humaine, et sur deux échantillons de 55 et 46 prélèvements pour les denrées destinées à l'alimentation animale. Ces effectifs étant très faibles et ne couvrant pas toutes les catégories de denrées issues de la réglementation, les résultats de ces tests sont non robustes, et ne permettent pas de conclure définitivement.

Les tableaux suivants présentent, selon la campagne de prélèvement, le contaminant et la destination des denrées, l'évolution de la conformité des paires de prélèvements faits 2 à 3 semaines avant récolte d'une denrée dans une parcelle précise puis à la récolte de la même denrée et dans la même parcelle.

**Tableau 4.1 : Analyse des discordances des statuts de conformité au regard du cadmium avant et à la récolte des échantillons destinés à la consommation humaine à l'issue de la campagne de prélèvement 2015**

Statut de conformité avant récolte (Effectif)	Statut de conformité à la récolte (Effectif)		
	Conforme	Non conforme	Total
Conforme	33	7	40
Non conforme	4	17	21
Total	37	24	61

Sur les 40 échantillons conformes 2 à 3 semaines avant la récolte, 33 d'entre eux étaient conformes vis-à-vis des teneurs maximales et 7 étaient « devenus » non conformes. Sur les 37 échantillons conformes à la récolte, 33 étaient conformes avant récolte alors que 4 étaient non conformes. A l'issue de l'analyse de discordance, le test indique qu'il n'y a pas de changement significatif du statut de conformité avant et à la récolte ( $p$ -valeur=0,37).

**Tableau 4.2 : Analyse des discordances des statuts de conformité au regard du cadmium avant et à la récolte des échantillons destinés à la consommation humaine à l'issue de la campagne de prélèvement 2016**

Statut de conformité avant récolte (Effectif)	Statut de conformité à la récolte (Effectif)		
	Conforme	Non conforme	Total
Conforme	23	6	29
Non conforme	1	12	13
Total	24	18	42

Sur les 29 échantillons conformes 2 à 3 semaines avant la récolte, 23 d'entre eux étaient conformes et 6 étaient devenus non conformes. Sur les 24 échantillons conformes à la récolte, 23 étaient conformes avant récolte alors qu'un seul était non conforme. A l'issue de l'analyse de discordance, le test indique qu'il n'y a pas de changement significatif du statut de conformité avant et à la récolte ( $p$ -valeur=0,058). Cependant la  $p$ -valeur est très proche du seuil de 0,05 et l'analyse

porte sur un effectif faible, il est donc difficile de conclure quant à l'utilisation des prélèvements collectés avant récolte en tant qu'indicateur.

**Tableau 4.3 : Analyse des discordances des statuts de conformité au regard du cadmium à la récolte et avant récolte des échantillons destinés à l'alimentation animale à l'issue de la campagne de prélèvement 2015**

Statut de conformité avant récolte (Effectif)	Statut de conformité à la récolte (Effectif)		
	Conforme	Non conforme	Total
Conforme	54	1	55
Total	54	1	55

À l'issue de cette analyse, une seule discordance a été observée.

**Tableau 4.4 : Analyse des discordances des statuts de conformité au regard du cadmium à la récolte et avant récolte des échantillons destinés à l'alimentation animale à l'issue de la campagne de prélèvement 2016**

Statut de conformité avant récolte (Effectif)	Statut de conformité à la récolte (Effectif)		
	Conforme	Non conforme	Total
Conforme	45	0	45
Non-conforme	1	0	1
Total	46	0	46

À l'issue de cette analyse, une seule discordance a été observée.

**Tableau 4.5 : Analyse des discordances des statuts de conformité au regard du plomb avant et à la récolte des échantillons destinés à la consommation humaine à l'issue de la campagne de prélèvement 2015**

Statut de conformité avant récolte (Effectif)	Statut de conformité à la récolte (Effectif)		
	Conforme	Non conforme	Total
Conforme	60	1	61
Total	60	1	61

À l'issue de l'analyse, une seule discordance a été observée, c'est-à-dire que sur les 61 prélèvements conformes avant récolte, un seul est devenu non conforme à la récolte.

**Tableau 4.6 : Analyse des discordances des statuts de conformité au regard du plomb avant et à la récolte des échantillons destinés à la consommation humaine à l'issue de la campagne de prélèvement 2016**

Statut de conformité avant récolte (Effectif)	Statut de conformité à la récolte (Effectif)		
	Conforme	Non conforme	Total
Conforme	36	3	39
Non conforme	3	0	3
<b>Total</b>	39	3	42

À l'issue de l'analyse, 6 discordances sont observées, c'est-à-dire que sur les 39 prélèvements conformes avant récolte, trois étaient devenus non conformes à la récolte et les 3 prélèvements non conformes avant récolte étaient devenus conformes à la récolte.

Concernant les échantillons destinés à l'alimentation animale, lors de la campagne de prélèvement de 2015, aucune non-conformité, au regard du plomb, des aliments destinés à l'alimentation animale, n'est observée que ce soit 2 à 3 semaines avant la récolte ou à la récolte. Par conséquent, aucune discordance n'a été détectée.

Lors de la campagne de prélèvement de 2016, aucune non-conformité des aliments destinés à l'alimentation animale n'est observée à la récolte, par contre un taux de 0,55% de non-conformité au regard du plomb est observé 2 à 3 semaines avant récolte. Pourtant, à l'issue de l'analyse de discordances, aucune discordance n'a été détectée sur les 46 prélèvements communs avant et à la récolte.

En conclusion, compte-tenu des faibles effectifs, les résultats ne sont pas assez robustes pour affirmer qu'il n'y a pas de changement de statut de conformité avant et à la récolte. Ce résultat est valable pour les analyses effectuées pour le plomb et le cadmium que ce soit pour des cultures destinées à l'alimentation humaine ou animale.