

# APPROCHE DU RISQUE SANITAIRE LIÉ A LA CONSOMMATION DE CHAMPIGNONS CONTAMINÉS PAR LES ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES

Laetitia DAVRANCHE<sup>1</sup>  
Chantal VAN HALUWYN<sup>2</sup>  
Damien CUNY<sup>2</sup>

<sup>1</sup> : Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique, 235 Avenue de la Recherche, BP 86, 59373 Loos Cedex,  
ldavranch@appanpc.fr

<sup>2</sup> : Université Lille Nord de France, E.A. 2690, Toxiques et Cancérogènes Professionnels et Environnementaux, Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques, 3 rue du Professeur Laguesse, B.P. 86, 59800 Lille.  
chantal.vanhaluwyn@univ-lille2.fr  
damien.cuny@univ-lille2.fr

## RESUME

*Ce projet réalisé dans le cadre du PRASE (Programme Régional Action Santé Environnement) a pour but de caractériser le risque que représente la consommation de champignons sauvages pour la population vis-à-vis de leurs teneurs en éléments traces métalliques (plomb, zinc, cadmium, mercure, arsenic). En effet, les champignons sont des organismes qui ont la capacité d'accumuler les ETM contenus dans le sol. La consommation de champignons contaminés, récoltés à proximité d'émetteurs ou sur des friches industrielles, peut aggraver l'exposition et l'imprégnation des populations en métaux. Compte tenu du degré de contamination de certains sols du bassin minier et du ramassage de champignons résultant de coutumes ancestrales d'une partie de la population issue des pays de l'Est, cette étude est tout particulièrement indiquée.*

## INTRODUCTION

Le secteur industriel très largement développé depuis la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle dans la région Nord - Pas de Calais a entraîné l'installation de nombreuses entreprises, parfois d'envergure européenne, comme c'est le cas pour le secteur métallurgique. Celles-ci ont laissé des traces, suite aux rejets de nombreux polluants, en particulier les éléments traces métalliques (ETM), encore présents dans les sols de la région.

Les éléments traces métalliques étant très rémanents et accumulés par les êtres vivants, la population habitant à proximité de ces sites est exposée à cette contamination,

notamment via la chaîne alimentaire.

Dans cette étude, nous nous sommes intéressés aux champignons, qui sont de bons bioaccumulateurs des ETM contenus dans le sol. Compte tenu du degré de contamination de certains sols du bassin minier et de la consommation fréquente de champignons (liée notamment à des habitudes culturelles de certaines populations), des investigations sur l'évaluation de l'exposition aux ETM par ce biais ont été menées. Ce projet a été réalisé dans le cadre du PRASE (Programme Régional Action Santé Environnement).

## I-BIOACCUMULATION DES ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES PAR LES CHAMPIGNONS

### 1- Historique

C'est dans les années 1970 que sont publiés les premiers travaux sur la bioaccumulation des éléments traces métalliques par les champignons. Stijve et Besson (1976) s'intéressent à la contamination des espèces du genre *Agaricus* (le champignon de Paris, le rosé des prés appartient à ce genre) par le cadmium, le mercure, le plomb et le sélénium. Cuivre, mercure et sélénium sont les éléments étudiés par Quinche (1979) chez *Agaricus bitorquis*. A la même époque Seeger (1982) publie différents résultats dans la presse pharmaceutique allemande; Allen et Steiness (1978) étudient la contamination des champignons sauvages de Norvège. La « pollution mercurique des champignons » (Azema, 1978) et les « teneurs en quelques éléments métalliques de 17 espèces de champignons récoltés dans divers sites naturels » (Bourlier, 1978) sont les premières références françaises.

Ce sujet reste toujours d'actualité si on en juge par la régularité des publications scientifiques dans ce domaine depuis les années 1970. Au cours de cette dernière décennie, la grande majorité des travaux concerne l'Europe de l'est et l'Europe centrale où la consommation de champignons est importante. Ainsi en Tchéquie, on a estimé que 72 % des familles récoltent annuellement 7 kg de champignons par foyer (Šišák, 1996). La Pologne est le plus grand producteur et exportateur de champignons sauvages en Europe ; 2,38 millions de kilos de champignons ont ainsi été achetés par l'industrie alimentaire en 2002 (Rudawska et Leski, 2005). Il convient également de préciser que dans divers pays d'Europe centrale, la problématique des sols pollués est loin d'être négligeable ce qui entraîne une contamination très importante des champignons s'y développant (Komárek et al., 2007). La contamination métallique des champignons a été également étudiée sur d'autres continents comme à Mexico (Gasó et al., 2000), aux USA (Aruguete et al., 1998) et en Afrique

(Ita et al., 2008 ; Jonnalagadda et al., 2006).

Les travaux effectués ne concernent pas que les champignons sauvages, déjà en 1984, le laboratoire Coopératif de France s'est intéressé à la contamination des champignons mis en conserve et a mis ainsi en évidence la présence d'étain, de plomb, de cadmium et de mercure. Il est vrai que Laborde et al. (1972) préconisaient l'utilisation de résidus urbains pour l'élaboration du compost de culture du champignon de Paris. Devant les problèmes soulevés par l'accumulation des métaux lourds par les champignons, l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) a demandé dès 1980, de diminuer de moitié le pourcentage de compost urbain (pour ne pas dépasser 12 %).

Ce bref historique permet de mettre en exergue les points suivants : les champignons sont des bioaccumulateurs d'ETM et en ce sens peuvent parfois être utilisés pour caractériser la pollution d'un site, la contamination des champignons comestibles implique *ipso facto* celle des chaînes alimentaires humaine et animale (le gibier est un gros consommateur de champignons), certains éléments comme le cadmium, le mercure, le plomb et le sélénium font l'objet d'études plus spécifiques.

## 2- Mécanisme d'accumulation des ETM par les champignons

Avant d'envisager l'accumulation de quelques éléments par les champignons, il convient de donner un bref rappel sur la nature et la physiologie de ces organismes. Les champignons sont très particuliers, en ce sens que leur état normal (qui devrait s'appeler « champignon ») est réduit à un feutrage de filaments (mycélium), souterrain et le plus souvent pérenne. La production de sporophores par ce mycélium (que l'on appelle à tort « champignons ») n'est qu'un accident dans la vie du champignon. Non chlorophylliens, ils sont hétérotrophes et doivent donc vivre directement aux dépens de la matière organique. Leur mode de nutrition se fait par absorption (ce sont des absorbotrophes). Il en résulte ainsi une activité métabolique et une exposition aux contaminants tout à fait originales. En ce qui concerne la fixation des ETM, la paroi des hyphes mycéliennes fonctionne un peu comme une résine échangeuse d'ions en libérant des protons et en captant des cations. D'autres molécules produites en quantité par les champignons (acides organiques, acides aminés) assureront également la chélation des cations. Ces organismes sont également capables de synthétiser des protéines spécifiques de fixation des métaux telles que les métallothionéines. Les mécanismes de transfert du mycélium vers le sporophore sont encore mal connus. En fonction des espèces et en fonction des éléments, les concentrations en ETM seront très variables selon les différentes parties du sporophore (chapeau, stipe, hyménophore). Le mode de vie va également beaucoup interférer sur l'accumulation des ETM selon que l'espèce considérée est saprophyte (exploitation de la matière organique morte), mycorrhizienne (vivant en symbiose avec des racines de végétaux) ou parasite. Il est possible de transposer aux champignons les stratégies d'accumulation

généralement utilisées pour les végétaux. Certaines espèces fongiques seront des accumulatrices en ce sens que le ratio concentration dans le champignon / concentration dans les substrats est supérieur à 1. C'est le cas pour le cadmium, le cuivre et le mercure (Kalač et Svoboda, 2000). Les espèces du genre *Agaricus* notamment la section des agarics jaunissants (Flavescentes) accumuleraient particulièrement le cadmium. Selon les mêmes auteurs, les champignons seraient des indicateurs de contamination du substrat par le manganèse et le zinc (ratio égal à 1) et résistants vis-à-vis du fer et du plomb (ratio inférieur à 1).

Une grande majorité des champignons est capable de transformer le mercure en méthyl-mercure, composé neurotoxique, responsable de la « maladie de Minamata ». Cette biotransformation est variable (de 2 à 26 %) selon les espèces; malheureusement, ce sont les meilleurs comestibles qui biotransforment le mieux : le petit mousseron des prés (*Marasmius orades*), le genre *Agaricus* (rosé des prés, champignon de Paris), le coprin chevelu (*Coprinus comatus*), l'amanite rougissante (*Amanita rubescens*).

Le sélénium est surtout étudié par le fait que c'est un élément souvent apporté en complémentation alimentaire. Selon Kalač et Svoboda (2000), certaines espèces de bolets (*Boletus edulis*, *B. pinophila*, *B. aestivalis*, *Xerocomus badius*) accumuleraient jusqu'à 20 mg/kg (Matière Sèche), les concentrations habituellement observées dans les champignons étant de l'ordre de 1 à 5 mg/kg (MS).

## 3- Consommation de champignons contaminés

Peu de travaux se sont intéressés au devenir des métaux lors de la préparation des champignons avant leur consommation (ce qui correspondrait à l'évaluation de la part biodisponible). Svoboda et al. (2002) ont étudié l'influence de la lyophilisation, du séchage, de la congélation et du traitement à l'eau bouillante du bolet bai (*Xerocomus badius*) sur l'évolution des teneurs en cadmium, mercure et plomb. La congélation et le traitement à l'eau bouillante diminuent sensiblement les concentrations en cadmium et plomb; le mercure n'étant que faiblement éliminé. L'objectif principal d'une grande partie des travaux publiés jusqu'à présent est le risque encouru par les mycophages. Certains états et institutions européennes et mondiales ont établi des seuils limites de concentrations en cadmium et plomb dans les champignons comestibles (Rudawska et Leski, 2005). En République Tchèque, le seuil limite pour le cadmium est de 2 mg/kg (MS) pour les champignons sauvages et de 1 mg/kg (MS) pour les champignons cultivés; il est de 10 mg/kg (MS) pour le plomb (espèces sauvages et cultivées confondues). En Pologne, les teneurs dans les champignons séchés ne doivent pas dépasser 1 mg/kg pour le cadmium et 2 mg/kg pour le plomb. Il existe une recommandation européenne (Commission Regulation [EC] N° 466/2001) concernant les champignons cultivés : 0,2 mg/kg (poids frais) pour le cadmium et 0,3 mg/kg (poids frais) pour le plomb. En fonction de la concentration moyenne en eau dans les champignons, ces valeurs équivalent à 2 mg/kg (MS) pour le cadmium et



3 mg/kg (MS) pour le plomb. La FAO (Food and Agriculture Organization) et la WHO (World Health Organization) ont établi des doses limites hebdomadaires d'ingestion (Provisional Tolerable Weekly Intakes – PTWIs) (FAO/WHO, 2000). Ces doses limites sont les suivantes : pour le cadmium : 7 µg par kg de poids corporel (soit 0,42 mg par semaine pour une personne de 60 kg) et pour le plomb : 25 µg par kg de poids corporel (soit 1,50 mg par semaine pour une personne de 60 kg). Pour le mercure, l'OMS recommande de ne pas dépasser une dose hebdomadaire de 0,3 mg soit 0,2 mg de méthylmercure. Le SCF (European Scientific Committee on Foods) fixe à 100 µg, la dose journalière de sélénium à ne pas dépasser. Il convient de préciser que ces calculs sont réalisés à partir des concentrations totales présentes dans les sporophores. Nous donnons ci-après quelques exemples concrets pour illustrer la part importante que prend la consommation de champignons dans la contamination humaine. Rudawska et Leski (2005) ont interprété les concentrations en cadmium observées dans les champignons récoltés sur le site le plus exploité en Pologne pour la consommation locale et pour l'exportation. Il en ressort que l'ingestion de cadmium par la consommation du bolet bai est 1,4 fois supérieure aux PTWIs fixées et 2 fois supérieures lors de la consommation de l'amanite rougissante (*Amanita rubescens*). A partir des teneurs observées dans des bolets récoltés à proximité d'une fonderie de plomb, Kamárek et al. (2007) ont estimé que deux repas avec des cèpes de Bordeaux (*Boletus edulis*) suffisaient pour dépasser la dose hebdomadaire d'ingestion de plomb pour une personne de 60 kg ; pour le cadmium le seuil était dépassé avec un seul repas. Ces différents calculs ont été faits sur une base de consommation de 300 g de champignons frais par repas, quantité habituellement ingérée par les mycophages (Kalač et Svoboda, 2000).

Cocchi et al. (2006) ont analysé plus de mille exemplaires d'environ soixante espèces différentes récoltées dans la province de Reggio Emilia en Italie. Les teneurs en cadmium de grands comestibles comme l'oronge (*Amanita caesarea*), le cèpe de Bordeaux (*Boletus edulis*) et le bolet des pins (*Boletus pinophilus*) dépassent les recommandations faites par la directive européenne. L'agaric, *Agaricus macrosporus*, présente des taux 50 fois supérieurs à la dose maximale hebdomadaire préconisée par la FAO/WHO. Les teneurs en mercure sont également très importantes chez les espèces des genres *Agaricus* et *Boletus*. L'étude menée en Italie par Cocchi et al. (2006) révèle que les espèces du groupe *Boletus edulis* sont riches en sélénium, l'ingestion de 10 g de *Boletus pinophilus* frais suffit à dépasser la dose journalière admissible.

Il ne faut pas négliger la contamination de la chaîne alimentaire animale. Pokorný et al. (2004) ont étudié en Slovénie les variations saisonnières des teneurs en métaux des reins du cerf. Un pic de contamination apparaît en été et en automne en raison d'une forte consommation de champignons. Cette relation entre consommation de champignons et contamination animale a été mise en évidence à la fois par l'examen des spores fongiques présentes dans les fèces et la détermination des teneurs en ETM des sporophores correspondants. Ainsi, deux espèces de gastéromycètes sont majoritairement présentes

dans les fèces (58 % des spores observées) et présentent les teneurs en ETM les plus élevées. Une relation presque linéaire existe entre le nombre de spores de champignons et les teneurs en mercure des fèces.

Si l'activité industrielle est la cause principale de la contamination des champignons, les émissions dues au trafic routier sont également à l'origine de teneurs parfois élevées en ETM. Il est coutume de recommander aux « cueilleurs » de champignons de ne pas récolter à proximité de voies de circulation. Ainsi, sur 12 stations de repos de l'autoroute A1 (Lille-Paris), Cuny et al. (2001) ont observé de nombreuses espèces comestibles. L'analyse du plomb et du cadmium de quelques espèces (comestibles ou non) a mis en évidence des concentrations comprises entre 0,19 et 7,24 µg/kg (MS) pour le cadmium et 2,4 et 19,5 µg/kg de plomb.

Benbrahim et al. (2006), se sont intéressés à la contamination des champignons comestibles récoltés dans des placettes forestières de pin maritime du sud-ouest de la France ayant reçu des épandages de boues. Une légère augmentation des taux de cadmium, mercure et plomb a été observée sur certains sites. Ce phénomène n'est toutefois pas généralisable car il est dépendant à la fois des types de boues utilisées et des caractéristiques des sites étudiés.

## II-MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 1- Les sites de récolte

Le choix de la zone d'étude s'est orienté sur le secteur d'Evin-Malmaison, Auby, Leforest, Noyelles-Godault et Courcelles-Lens (soit 31000 habitants concernés) du fait de la contamination des sols. En effet, la présence d'entreprises de traitement des métaux non ferreux [Metaleurop (exercice de 1894 à 2003) à Noyelles-Godault et Umicore (ex-Union Minière) à Auby] a entraîné une pollution des sols d'une ampleur particulière dont les effets perdurent aujourd'hui et sont à l'origine d'impacts non négligeables.

Dans les années 1980, diverses campagnes de dosages dans les sols (INRA d'Arras, DRIRE) autour de Metaleurop et d'Umicore, ont montré que des ETM comme le plomb et le cadmium, peu mobiles et peu solubles, restent confinés dans les couches superficielles du sol (0-40 cm – ce qui correspond souvent à un horizon de matière organique peu dégradé). Toutefois, d'autres comme le zinc peuvent migrer plus profondément. Il a été également montré que la teneur en plomb dépassait 1000 µg/g sur une zone de plus d'1 km<sup>2</sup> autour de Metaleurop. De même autour d'Umicore, la pollution des sols était supérieure à 1000 ppm pour le plomb et à 200 ppm pour le cadmium, sur une profondeur de 30 cm.

La Région Nord - Pas de Calais a lancé en 1993 un Programme de Recherches Concertées (P.R.C.) intitulé « étude d'un secteur pollué par les métaux, approche géologique, hydrologique et recherches en sciences humaines ». Les travaux menés dans ce cadre ont confirmé les observations préalables sur la contamination des sols avec des teneurs en plomb variant de



58 à 1709  $\mu\text{g/g}$  (moyenne de 195  $\mu\text{g/g}$ ). Il a été estimé que 5 % de la population pouvait être exposée à des concentrations avoisinant ou dépassant les 1000  $\mu\text{g/g}$ . Les valeurs les plus élevées observées sur les sols agricoles étaient situées autour de Metaeurop. Quant aux concentrations en cadmium, elles variaient de 1,1 à 24,8  $\mu\text{g/g}$  (moyenne de 4,5  $\mu\text{g/g}$ ) et 10 % de la population pouvait être exposée à des valeurs supérieures à 10  $\mu\text{g/g}$ . Les teneurs les plus importantes ont été observées autour du site de Metaeurop, d'Umicore et dans la commune d'Evin-Malmaison. De plus, l'étude réalisée par l'ISA et l'INRA (1999) sur la qualité des productions végétales sur le secteur du PRC, a montré que les teneurs en plomb dans les sols des jardins potagers variaient de 165 à 5280  $\mu\text{g/g}$  et pour le cadmium de 3,8 à 33,5  $\mu\text{g/g}$ . Les valeurs les plus élevées en plomb et cadmium ont été observées dans les jardins du secteur d'Auby.

Suite aux enquêtes menées à partir de 1995 (collaboration INRA, Ecole des Mines de Douai, ISA, BRGM) et jusqu'en 1999, un Projet d'Intérêt Général (PIG) a vu le jour et des arrêtés préfectoraux visant à l'interdiction de construction en zones polluées, ont été signés en 1997 et 1999.

C'est dans ce contexte que nous avons réalisé cette étude. Nous avons choisi 5 sites de récolte de cette zone : l'étang de Flers-en-Escrebieux, une friche en bordure du site d'Umicore, le parc de la piscine d'Auby, le terril et l'étang à proximité de Metaeurop et dans la zone de la déchetterie d'Evin-Malmaison.

## 2- Campagnes de récolte des champignons

Les récoltes de champignons ont été effectuées en 2004 et 2005 par l'APPA Nord – Pas de Calais et le Laboratoire de Botanique de la Faculté de Pharmacie de Lille pendant la saison mycologique qui a lieu de fin août à début novembre. Lors des sorties terrain, nous avons rencontré bon nombre de cueilleurs de champignons, ce qui confirme l'intérêt tout particulier de ce travail.

Après détermination au laboratoire et repérage des espèces comestibles, les 75 échantillons ont été séchés puis nettoyés des débris de végétaux et de terre, et broyés avant d'être conservés au froid pour dosage.

## 3- Prélèvements de sol

Nous avons complété les dosages réalisés chez les champignons par des dosages des horizons superficiels des sols des sites de récolte. Ainsi, 3 prélèvements de sol ont été réalisés sur chacun des sites d'étude grâce à une tarière (29 échantillons). Sachant que le mycélium occupe 1 à 2  $\text{m}^3$  à partir de la surface du sol, nous avons prélevé les 20 premiers cm. Les échantillons de sol ont été séchés en chambre à température constante pendant plusieurs jours pour ensuite être tamisés à l'aide d'un tamis de 2 mm de maille.

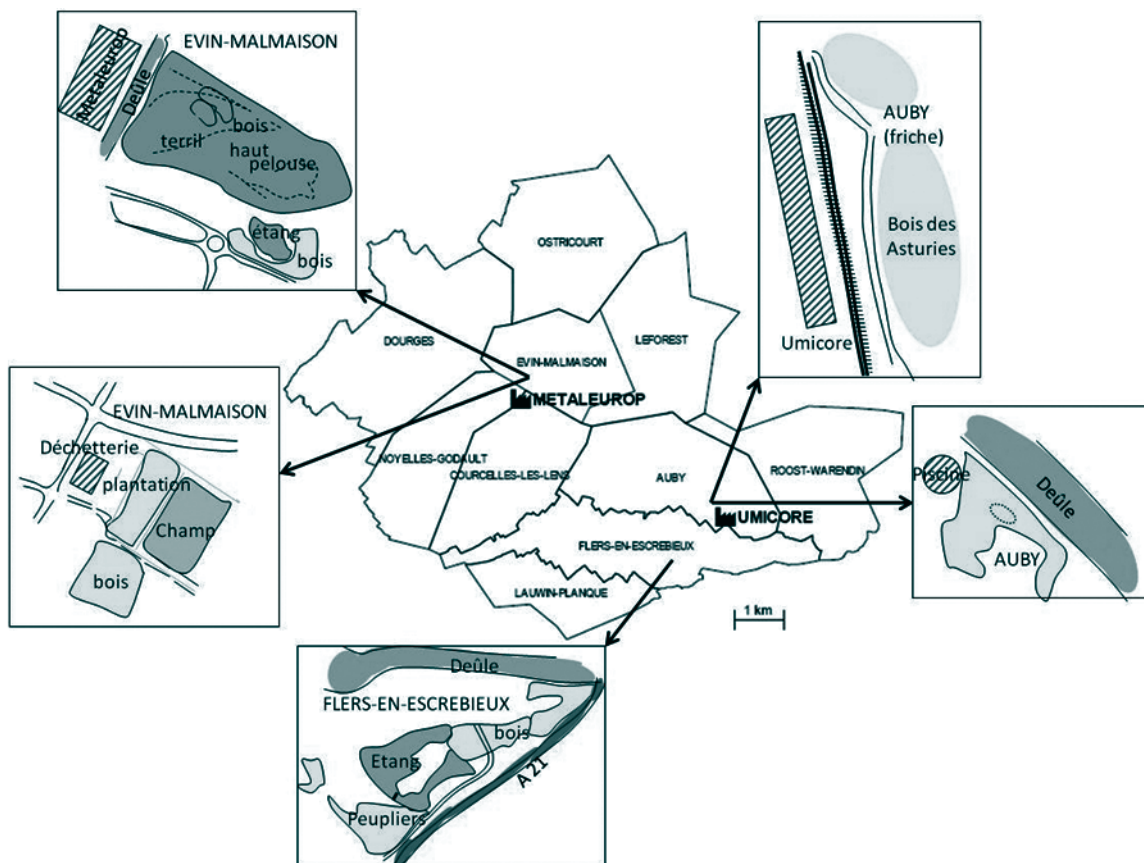


Figure 1 : Localisation des sites de récolte des champignons



## 4- Dosages des ETM

Les échantillons de champignon et de sol ainsi préparés ont été analysés par le Laboratoire Eau et Environnement de l'Institut Pasteur de Lille. Le plomb (Pb), le cadmium (Cd), le zinc (Zn), l'arsenic (As) et le mercure (Hg) ont été dosés par spectrométrie à absorption atomique, après mise en solution par un mélange d'acides.

## III-RÉSULTATS - DISCUSSION

L'accumulation des ETM dépend notamment du mode de vie (saprophytes, mycorhiziens, parasites ou symbiotiques) du champignon, de l'espèce et des éléments considérés. Ainsi, le fait de différencier les champignons par type mycologique permet d'expliquer que certaines espèces accumulent plus que d'autres les métaux, ce qui est le cas notamment pour les saprophytes.

Le genre *Agaricus* accumule fortement les ETM, de même que les gastéromycètes qui gardent une teneur en ETM élevée quel que soit leur milieu (Donadini, 1984). Tyler (1980) avait également noté des teneurs variables en métal dans les champignons. De faibles concentrations sont généralement rencontrées pour les polypores, parfois avec les russules, rarement pour les clitocybes. De fortes concentrations sont fréquentes pour les agarics, moins pour les bolets, les lactaires et les russules. Laaksovirta et Alakuijala (1978) retiennent que lors d'une étude près de voies de circulation, les champignons saprophytes contenaient plus de zinc et de cadmium que les champignons mycorhiziens. Cette dernière observation a été confirmée par Lodenius et al. (1981) où les valeurs étaient jusqu'à 25 fois plus importantes pour le cadmium. Ceci peut apparaître logique puisque les ETM se fixent facilement à la matière organique de l'horizon superficiel des sols, matière organique que dégradent les champignons saprophytes.

Sur notre secteur d'étude on note la présence de beaucoup de saprophytes parmi les espèces récoltées : *Agaricus semotus*, *Coprinus atramentarius*, *Coprinus comatus*, *Coprinus micaceus*, *Langermannia gigantea*, *Lepista sordida*, *Lycoperdon perlatum*, *Lyophyllum decastes*, *Auricularia auricula judae*, *Psathyrella candolleana*, *Pluteus cervinus*, *Volvariella gloiocephala*. Elles ont particulièrement été récoltées en milieux ouverts.

On note que les métaux les plus accumulés sont par ordre décroissant : le cadmium, le mercure et le plomb. Toutefois, trois phénomènes régissent la concentration en éléments traces d'un champignon. Tout d'abord, la toxicité des éléments pour les champignons eux-mêmes va stopper le développement du champignon voire le fait disparaître, ce qui rend toute analyse impossible. Enfin, en augmentant de volume, le champignon diminue de lui-même la teneur initiale en éléments traces. On suppose que l'extérieur ne compense pas la dilution par de nouveaux apports. En cas de développement lent du champignon, la teneur en éléments traces de la chair équivaut à la teneur des éléments traces des spores. En cas de développement rapide, le phénomène de dilution l'emporte.

## 1- Teneurs en plomb

Les valeurs retrouvées pour le plomb dans les champignons varient entre 2,1 (*Xerocomus chrysenteron*) et 1300 mg/kg pour *Coprinus micaceus* (bois de la déchetterie) qui peut parfois être consommé même s'il n'a pas de réel intérêt gustatif. Ce dernier a accumulé la plupart des métaux en teneurs assez importantes. On constate que les teneurs en plomb dans les champignons sont beaucoup plus importantes au niveau du teruil de Metaleurop que dans ceux prélevés plus bas au niveau de l'étang, contrairement à ce qui est observé pour d'autres métaux pour lesquels les teneurs sont les plus élevées pour le bois de Flers-en-Escrebieux.

Les teneurs en plomb dosées par Svoboda et al. (2006), dans *Xerocomus chrysenteron* sur une ancienne mine d'argent en Tchéquie, atteignaient 21,5 mg/kg tandis que celles observées par Cocchi et al. (2006) sur des sites non pollués en Italie, la valeur était d'environ 0,54 mg/kg. Sur notre aire d'étude, le plomb dosé dans ce champignon varie de 2,1 à 7,5 mg/kg (Flers-en-Escrebieux), ce qui nous rapproche des valeurs obtenues par Rudawska et al. (2005) dans des champignons récoltés en forêt de Pologne (3,2 ± 1,2 mg/kg).

Chez un autre comestible, *Coprinus comatus*, nous avons observé des teneurs en plomb comprises entre 13 (Flers-en-Escrebieux) et 160 mg/kg (teruil de Metaleurop). La valeur obtenue par Cocchi et al. (2006), en Italie sur un site non pollué, était de 0,80 mg/kg, mais dans de la matière fraîche de *Coprinus comatus*. Mendil et al. (2005), en Turquie, ont obtenu des valeurs de 6,9 ± 0,6 mg/kg.

Pour le comestible *Lyophyllum decastes*, nous obtenons des valeurs sur le teruil allant de 37 à 150 mg/kg sachant que la limite en plomb fixée par l'Europe est de 3. Nous sommes bien au-delà dans nos échantillons.

De manière générale, les champignons n'accumulent pas le plomb, ce qui signifie que la concentration du substrat est équivalente à la concentration contenue dans le champignon. Certaines espèces ont tendance à avoir des concentrations plus importantes en plomb que les autres : c'est le cas de *Agaricus campestris*, *Macropiota procera*, *Lepista nuda*, *Xerocomus badius*, et d'autres sont à consommer modérément : *Coprinus comatus*, *Marasmius oreades*, *Calocybe gambosa* sachant que certains de ces champignons ont été retrouvés sur le terrain.

Les concentrations en plomb mesurées dans les sols sont comprises entre 40 et 11000 mg/kg. Les valeurs les plus élevées se situent sur la friche d'Auby, ce qui peut s'expliquer par la présence d'anciens remblais de l'usine Umicore. On atteint toutefois des valeurs importantes à la piscine d'Auby (2000 mg/kg) et dans le bois du bas du teruil de Metaleurop (100 et 1200 mg/kg). De manière générale, le plomb est surtout abondant dans les horizons de surface (0 à 20 cm de profondeur) en raison de son affinité avec la matière organique. Cela a été démontré dans l'étude de Yassougou et al. (1987) qui a mis en évidence des concentrations maximales en plomb dans les premiers centimètres du sol.



## 2- Teneurs en cadmium

Les teneurs en cadmium varient de 3,4 à 1400 mg/kg. La plus faible valeur est rencontrée chez *Lyophyllum decastes* sur le terril de Metaleurop. En Italie, Cocchi et al. (2006) obtient pour ce champignon en milieu non pollué, des teneurs en cadmium de 2,39 mg/kg (matière fraîche). Nous observons des valeurs entre 3,40 et 10 mg/kg (MS), ce qui reste supérieur à la limite en cadmium fixée en Pologne qui est de 1 mg/kg (MS) (Rudawska et al., 2005), et à celle de l'Union Européenne : 2 mg/kg.

Les plus fortes concentrations ont été observées chez *Paxillus involutus* récolté à Flers-en-Escrebieux, au niveau de l'étang. Bien que le *Paxillus involutus* soit considéré comme non comestible, le risque pour la santé est à prendre en considération car celui-ci est récolté par les populations originaires d'Europe de l'Est pour la préparation de certains plats (notamment polonais). Par comparaison à la littérature, ont été retrouvées en forêt de Pologne des teneurs en cadmium chez *Paxillus involutus* de  $0,88 \pm 0,2$  mg/kg (Rudawska et al., 2005) alors que nous observons des teneurs allant de 4,5 à 1400 mg/kg. Nos teneurs sont bien plus élevées, ce qui implique un risque potentiel quant à la consommation de ces champignons. De même, chez *Agaricus semotus* (étang du terril de Metaleurop) nous avons des concentrations de l'ordre de 660 mg/kg. Nous remarquons que les teneurs en cadmium pour le *Lycoperdon* au niveau du champ de la déchetterie sont un peu plus importantes que dans le bois à proximité. Cela pourrait s'expliquer par l'influence des amendements agricoles qui peuvent contenir des ETM. *Agaricus* et *Lycoperdon* sont reconnus d'excellents accumulateurs de micropolluants métalliques toxiques. Selon Lepsova & Kral (1987), les concentrations de cadmium dans diverses espèces d'Agaricales, restent supérieures au « bruit de fond » jusqu'à 6 km à la ronde d'une fonderie.

Le cadmium s'accumule bien dans les champignons tout en sachant que chez certaines espèces le phénomène d'accumulation peut être particulièrement important. De même, le taux de cadmium est très variable pour une même espèce de champignons. Contrairement au plomb, le cadmium est accumulé dans les lamelles du champignon (le chapeau en contient 5 fois moins et le stipe pas du tout), surtout chez *Agaricus* (facteur de 2,3) (Bourlier, 1978).

Ainsi, les tricholomes, les agarics jaunissants, *Lepiota naucina* (culture) sont des espèces à éviter pour la consommation, du fait de leur fort pouvoir accumulateur en cadmium.

Dans les sols, les plus fortes concentrations sont rencontrées pour la friche d'Auby avec des valeurs comprises entre 170 et 210 mg/kg pour les 3 prélèvements effectués. Sur les autres sites, les teneurs en cadmium varient de 2 (piscine à Auby) à 39 mg/kg (bois de Flers-en-Escrebieux). Sachant que le seuil dans les sols est de 2 mg/kg, nous sommes bien au-delà. Tout comme le plomb, le cadmium se rencontre surtout en surface mais il est plus uniformément réparti dans le profil.

## 3- Teneurs en zinc

Chez les champignons, les plus fortes valeurs sont observées pour les espèces suivantes : *Coprinus micacaeus* (1200 mg/kg), *Tricholoma sculpturatum* (1200 mg/kg), *Clitocybe dealbata* (1100 mg/kg), *Hebeloma crustuliniforme* (1400 mg/kg) et 1200 mg/kg chez *Xerocomus chrysanteron* (les teneurs de base en Pologne chez ce dernier étant de  $128 \pm 23,5$  mg/kg d'après Rudawska et al., 2005). Ces champignons ont été récoltés sur les sites de Flers-en-Escrebieux (bois) et sur la friche d'Auby. Pour Crocqfer (1994) les concentrations les plus élevées ont notamment été constatées, dans le même secteur que notre étude à Auby, pour le zinc mais aussi le plomb et le cadmium et ce, quelle que soit l'espèce de champignon considérée.

La plus faible valeur a été dosée dans les échantillons de *Lyophyllum decastes* (récolté sur le terril) : 62 mg/kg. On note que les teneurs en zinc au niveau du terril sont plus importantes qu'au niveau de l'étang de Metaleurop.

On peut parler d'accumulation pour le zinc. Parmi les champignons qui en sont les plus riches, on reconnaît quelques espèces notoires pour leur accumulation en cadmium. Dans le cas de faible concentration en zinc, le système de transport du zinc est capable de prendre en charge le cadmium, ce qui n'est plus le cas à forte concentration. Le système de transport du cadmium n'est pas capable de transporter le zinc même en cas de fortes concentrations de ce métal (Schmitt, 1987).

Les sols sont riches en zinc, notamment au niveau de la friche d'Auby : 39000 et 43000 mg/kg. Les 3 prélèvements du bois de Flers-en-Escrebieux atteignent des valeurs comprises entre 2400 et 3900 mg/kg. Les plus faibles teneurs sont rencontrées sur la pelouse du terril de Metaleurop avec 200 mg/kg. Il est possible que cette terre soit un rajout car les teneurs dans le bois, à côté du terril sont relativement importantes avec environ 1000 mg/kg de zinc. Selon Yassouglou et al. (1987) le zinc se comporte comme le cadmium de façon assez uniforme dans le profil des sols.

## 4- Teneurs en arsenic

L'arsenic est en concentrations importantes dans 4 des champignons récoltés : *Paxillus involutus* (Flers-en-Escrebieux), *Agaricus semotus* (terril), *Lycoperdon perlatum* (champ de la déchetterie avec une possible influence de l'agriculture sur ce site), *Panaeolus candoleana* (terril), d'autant plus que ces espèces peuvent être comestibles. Les valeurs varient entre 1100 et 4100 mg/kg. La plus faible teneur est de 8,5 mg/kg pour un *Lactarius pubescens* (Flers-en-Escrebieux). On constate que le bois de Flers-en-Escrebieux présente des concentrations importantes en arsenic et en zinc.

De manière générale, l'arsenic peut se trouver dans les champignons mais son accumulation est plutôt rare (sauf chez *Laccaria amethystina*). La plupart des champignons contiennent de l'arsenic de 1 à 2 mg par kg de matière sèche. Les teneurs en arsenic des accumulateurs notoires varient énormément, y compris au sein de la même espèce. Souvent ces espèces accumulatrices convertissent l'arsenic en dérivés qui sont beaucoup moins toxiques que l'anhydride arsénieux.



Il serait donc intéressant de pouvoir disposer de la forme de l'arsenic incriminé (notamment de type III et V) au niveau des dosages.

Dans le sol, les concentrations sont également très importantes pour la friche d'Auby, soit entre 630 et 860 mg/kg. Les autres teneurs dans les sols varient de 10 à 110 mg/kg. D'après le fond géochimique, les teneurs maximales mesurées dans les sols sont de 110 mg/kg dans des horizons de formation argilo-marneuses de Callovo-Oxfordien et sur du sol de culture. Ainsi, les faibles teneurs observées dans les sols ne peuvent expliquer la concentration importante de certains champignons, et notamment sur des sites, considérés comme moins contaminés.

### 5- Teneurs en mercure

Le mercure mesuré est le mercure total c'est-à-dire les formes Hg et Hg<sup>2+</sup> CH<sub>3</sub>-Hg (méthyl-mercure). Les teneurs en mercure dosées dans les champignons sont essentiellement inférieures à 1 mg/kg et atteignent un maximum de 13 mg/kg. Cette forte teneur est observée chez *Lepista sp* à l'étang de Flers-en-Escrebieux. De même, certains champignons récoltés dans la pelouse de la piscine d'Auby ont des concentrations élevées en mercure.

Des recherches faites en Allemagne par Seeger montrent que la teneur en mercure dépend surtout de l'espèce mais aussi du genre auquel le champignon appartient. Le cèpe en est assez riche, ainsi que certains tricholomes, des *Lycoperdons*, le coprin chevelu, le marasme de l'oreade, l'amanite rougissante et presque tous les membres du genre *Agaricus*. Par contre, les Ascomycètes (comme les Morilles), les Chanterelles et tous les champignons poussant sur le bois ne contiennent que peu de mercure.

Les concentrations en mercure dans le sol sont comprises entre 0,07 mg/kg et 6,6 mg/kg. Les valeurs les plus concentrées se trouvent sur le site de la friche d'Auby.

## CONCLUSION

Dans le cadre de notre action, les résultats montrent que les teneurs en ETM dans les champignons récoltés à proximité de sites pollués peuvent être très importantes, notamment pour certaines espèces comestibles. La récolte et la consommation de champignons sur certains des sites risquent donc d'accroître l'exposition de la population aux métaux lourds sur ce secteur.

Il importe de limiter au maximum l'exposition de la population à ces toxiques en prenant certaines précautions. Tout d'abord, il est conseillé de ne pas récolter de champignons au bord des routes, sur des friches industrielles ou des décharges et en milieu urbain. De même, la quantité de champignons consommés doit être limitée dans le temps. On conseille de ne pas consommer plus de 210 à 250 g de champignons sauvages par semaine (la consommation occasionnelle de doses plus

élevées est acceptable). Il serait bon de réduire la consommation des espèces qui accumulent les micropolluants métalliques toxiques, plus particulièrement les agarics, les tricholomes, le faux-mousseron. Dans la préparation des champignons il est souhaitable d'éliminer les lamelles (ou les tubes) et si possible le revêtement du chapeau, parties contenant les plus fortes proportions de micropolluants métalliques toxiques. De plus, il est préférable de ne pas associer les champignons à des aliments sensibles aux métaux lourds comme les rognons, foie, autres abats de boucherie et les poissons.

## REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre du PRASE (Programme Régional Action Santé Environnement) grâce à des financements du Conseil Régional Nord - Pas de Calais. Nous tenons à remercier le Pr. R. Courtecuisse ainsi que le Dr. P.A. Moreau, du Laboratoire des Sciences Végétales et Fongiques de la Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques, pour leur aide dans la détermination des espèces récoltées.

## BIBLIOGRAPHIE

- Allen R.O., Steiness E. (1978). Concentrations of some potentially toxic metals and other trace elements in wild mushrooms from Norway, *Chemosphere* 4, 317-378.
- Aruguete D.M., Aldstadt J.H.III, Mueller G.M. (1998). Accumulation of several heavy metals and lanthanides in mushrooms (Agaricales) from the Chicago region. *The Science of the Total Environment* 224, 43-56.
- Azema R.C. (1978). La pollution mercurique des champignons, *Documents Mycologiques* 8, 29, 1-13.
- Benbrahim M., Denaix L., Thomas A.L., Balet J., Carnus J.M. (2006). Metal concentrations in edible mushrooms following municipal sludge application on forest land, *Environmental Pollution* 144, 847-854.
- Bourlier (1978). Teneurs en quelques éléments métalliques de 17 espèces de champignons supérieurs récoltés dans divers sites naturels, *CR. Académie Agricole de France* 1147-1156.
- Byrne A.R., Slejkovec Z., Stijve T., Fay L., Gössler W., Gailer J., & Irgolic K.J. (1995). Arsenobetaine and other arsenic species in mushrooms, *Applied Organometallic chemistry*, 9, 305-313.
- Cuny D., Van Haluwyn C. & Pesch R. (2001). Biomonitoring of trace elements in air and soil compartments along the major motorway in France, *Water Air and Soil Pollution*, 125, 273-289.
- Crocqfer L. (1994). Les champignons : témoin de la contamination en métaux lourds dans le Douaisis, *thèse*, 78 p.
- EC Commission Regulation 466/2001. Setting maximum levels for



- certain contaminants in foodstuffs, *Off J Eur. Communities* 77, 1-13.
- FAO/WHO (Food and Agriculture Organization of the United Nations/ World Health Organization). (2000). *Joint FAO/WHO expert communities on food additives, 55th meeting*, Geneva.
- Gasó M.I., Segovia N., Morton O., Cervantes M.L., Godinez L., Peña P., Acosta E. (2000). 137Cs and relationships with major and trace elements in edible mushrooms from Mexico, *The Science of the Total Environment* 262, 73-89.
- Cocchi L., Vescovi L., Petrini L.E., Petrini O. (2006). Heavy metals in edible mushrooms in Italy, *Food Chemistry* 98, 277-284.
- Ita B.N., Ebong G.A., Essien J.P., Eduok S.I. (2008). Bioaccumulation potential of heavy metals in edible fungal sporocarps from the Niger delta region of Nigeria, *Pakistan Journal of Nutrition* 7, 93-97.
- Jonnalagadda S.B., Pienaar D.H., Haripersad K. (2006). Elemental distribution in selected *Agaricus* and *Rhizina* mushrooms in South Africa, *J. Environ. Sci. Health A. Tox. Hazard Subst. Environ. Eng.* 41, 507-514.
- Kalac P., Burda J. & Staskova I., (1991). Concentrations of lead, cadmium, mercury and copper in mushrooms in the vicinity of a lead smelter, *The Sciences of the Total Environment*, 105, 109-119.
- Kalač P., Svoboda L. (2000). A review of trace element concentrations in edible mushrooms, *Food Chemistry* 69, 273-281.
- Komárek M., Chrástný V., Štichová J. (2007). Metal/metalloid contamination and isotopic composition of lead in edible mushrooms and forest soils originating from a smelting area, *Environmental International* 33, 677-684.
- Laaksovirta K. & Alakujala P. (1978), Cadmium and zinc content of fungi in the parks of Helsinki, *Ann. Bot. Fennici*, 15, 253-257.
- Laborde J., Delmas J., Lamau J.L., Berthaud J. (1972). La préparation express des substrats (P.E.S.) pour la culture du champignon de couche, *Mushr. Sci.* 8, 675-706.
- Lepsova A. & Kral R., (1988), Lead and cadmium in fruiting bodies of macrofungi in the vicinity of a lead smelter, *The Sciences of the Total Environment*, 76, 129-138.
- Mendil D., Uluozlu O.D., Tuzen M., Hasdemir E., Sarı H., (2005). Trace metal levels in mushroom samples from Ordu, Turkey, *Food Chemistry*, n°91, 463-467.
- Pokorný B., Al Sayegh-Petkovšek S., Ribarič-Lasnik C., Vrtačnik J., Doganoc D.Z., Adamič M. (2004). Fungi ingestion as an important factor influencing heavy metal intake in roe deer: evidence from faeces, *The Science of the Total Environment* 324, 223-234.
- Quinche J. (1979). L'Agaricus bitorquis, un champignon accumulateur de mercure, de sélénium et de cuivre, *Revue Suisse Vitic. Arboric. Hortic.* 11, 189-192.
- Rudawska M., Leski T. (2005). Macro- and microelement contents in fruiting bodies of wild mushrooms from the Notecka forest in west-central Poland, *Food Chemistry* 92, 499-506.
- SCF (Scientific Committee on Food). (2000). Opinion of the scientific committee on food on the tolerable upper intake level of selenium, *European Commission; Health and Consumer Protection Directorate-General*.
- Seeger R. (1982). Toxische Schermettelle in Pilzen, *Deutsche Apotheker Zeitung* 122, 1835-1844.
- Šišák, L. (1996). The importance of forests as a source of mushrooms and berries in the Czech Republic. *Mykologický Sborník* 73, 98-101.
- Stijve T., Besson R. (1976). Mercury, cadmium, lead and selenium content of mushroom species belonging to the genus *Agaricus*, *Chemosphere* 5, 151-158.
- Stijve T. (1993), Accumulation des métaux lourds par certains champignons supérieurs. *Bulletin de l'Observatoire Mycologique*, n°4, p.1-28.
- Stijve T., (1996). Arsenic dans les champignons, les dérivés minéraux et organiques dans les espèces accumulatrices, *Bulletin de l'Observatoire Mycologique*, n° 10.
- Svoboda L., Kalač P., Špička J., Janoušková D. (2002). Leaching of cadmium, lead and mercury from fresh and differently preserved edible mushroom, *Xerocomus badius*, during soaking and boiling, *Food Chemistry* 79, 41-45.
- Svoboda L., Havlickova B., Kalac P. (2005). Contents of cadmium, mercury and lead in edible mushrooms growing in a historical silver-mining area, *Food Chemistry*, n°96, 580-585