

## INCINERATEURS ET CONTAMINATION DE CHAMPIGNONS PRATICOLES PAR LES MÉTAUX LOURDS

Par Olivier DAILLANT \*

Jean MORNAND \*\*

Chantal Van HALUWYN \*\*\*

**RESUME** : Cinq espèces de champignons práticos récoltés à proximité d'un incinérateur et sur des sites témoins supposés non pollués ont fait l'objet d'analyses de métaux lourds (cadmium, mercure et plomb) ainsi que de l'arsenic ; des comparaisons font apparaître que l'arsenic et le cadmium peuvent atteindre des taux approchant ou dépassant la limite admissible.

**ABSTRACT** : Five species of macromycetes were sampled near a waste incineration plant and on supposedly unpolluted sites ; the following metals were analysed : arsenic, cadmium, mercury and lead ; comparisons have shown that arsenic and cadmium may be problematic.

**MOTS-CLES** : Arsenic - Cadmium - Incinérateur - Métaux lourds

**KEY WORDS** : Arsenic - Cadmium - Incineration plants - Heavy metals.

Observatoire mycologique - 71 250 Mazille

\*\* Société d'Etudes Scientifiques de l'Anjou - Arboretum - 49 000 ANGERS

\*\*\* Université de Lille - Faculté de Pharmacie - rue du Pr. Laguesse ; BP 83 - 59 006 Lille CEDEX.

### INTRODUCTION

Il est désormais bien connu que certaines espèces de champignons sont aptes à concentrer de façon parfois spectaculaire certains éléments. A l'étranger, des études ont été publiées dès 1974 : en Suisse (Stijve et Cardinale) et en Allemagne (Schelenz et Diehl).

Dans les années qui suivirent, les publications sur le sujet se sont multipliées dans beaucoup de pays mais pas en France, où la question n'a été abordée qu'à partir de 1978 (Azéma) et où il a fallu attendre 1990 (Mornand) pour que des analyses faites sur le territoire français connaissent une véritable diffusion. Seuls deux livres destinés à un public de mycologues abordent la question (Giacomoni, 1989 et Fourré, 1990).

En Suisse, Quinche publiait un article (1990) où est mentionnée la contamination en mercure, cadmium et plomb de *Lycoperdon perlatum* ayant poussé à proximité de l'incinérateur de Lausanne (voir tableau IV).

Dans la mesure où les propriétés des métaux ici étudiés ne sont pas nécessairement connues de tous, quelques rappels sont utiles.

### GENERALITES

Les métaux lourds, de masse volumique supérieure à 5 kg/dm<sup>3</sup>, font partie des métaux de transition dans la classification périodique des éléments. Ils possèdent des propriétés voisines et on les retrouve souvent associés. Les trois principaux pris en compte du fait de leur taux pouvant atteindre des valeurs élevées chez les champignons et de ce fait dangereux pour la santé humaine sont : le cadmium, le mercure et le plomb, le cadmium étant probablement le plus toxique pour l'homme. Bien que l'arsenic ne soit

pas à proprement parler un métal lourd, nous l'incorporons dans cette étude du fait de sa toxicité.

Les substances incinérées étant d'origines très diverses, il est intéressant de donner quelques provenances possibles des métaux analysés :

◆ Cadmium (Cd) : il provient principalement des revêtements de protection des aciers contre la corrosion (cadmiage) et des accumulateurs au cadmium-nickel, mais il est présent aussi dans certaines peintures et emballages spéciaux.

◆ Mercure (Hg) : C'est le seul métal liquide à température ordinaire ; le métal pur est utilisé en manométrie et en thermométrie, dans certains interrupteurs à basculement et dans les piles au mercure ; sa vapeur est utilisée comme gaz de remplissage dans nombre de tubes électroniques à gaz et ses composés dans de nombreux produits destinés à l'agriculture.

◆ Plomb (Pb) : C'est le plus utilisé dans l'industrie : accumulateurs, gaines de protection de câbles, tuyauteries, joints d'étanchéité, protection contre les radiations, élément d'addition dans les alliages. La principale source de pollution est due à sa présence comme additif dans l'essence.

Arsenic (As) : Il est employé en faibles quantités comme additif dans la fabrication de verres, de céramiques, d'alliages, de couleurs. On l'utilise en mégisserie, en chimiothérapie, comme raticide et dans les bouillies arsénicales en viticulture. Sa toxicité varie énormément en fonction du type de dérivé chimique.

La présence des métaux lourds dans la nature

Les teneurs moyennes des métaux étudiés dans différents types de roches sont présentées dans le tableau I ainsi que la moyenne des moyennes (valeurs de CLARKE). Sur ce tableau figurent aussi, à titre indicatif, les valeurs pour le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le nickel (Ni) et le zinc (Zn). Pour des études plus poussées, il serait nécessaire d'effectuer des analyses de sols en même temps que celles effectuées sur les champignons, en ayant aussi des données chiffrées obtenues en zones témoins (sols et champignons).

Les incinérateurs :

Les pollutions que peut occasionner un incinérateur sont multiples : outre les métaux, il faut tenir compte de la pollution chlorée, soufrée, des oxydes d'azote (NOX), de l'émission de dioxines. On estime en général que pour limiter au minimum ces dernières, une température de combustion de 800° au moins est nécessaire dans toutes les parties du four.

L'incinérateur dont il est question ici n'est censé brûler que des ordures ménagères. C'est une unité de petite capacité (1 tonne par heure environ), non équipée de dispositifs d'épuration des fumées.

Toxicité des métaux lourds

Le cadmium (Cd) : C'est un toxique cumulatif : la quantité éliminée par l'organisme est de l'ordre de 0,001% ! La quantité de cadmium totale dans l'organisme d'un fœtus à la naissance est de 1 mg ; chez un adulte moyen, non exposé et non fumeur, cette quantité est de 40 mg. Quelle que soit l'exposition (digestive ou pulmonaire), le cadmium passe dans le sang puis s'accumule dans les os, le foie et surtout les reins. La mise en évidence de son élimination urinaire est révélatrice de lésions rénales et correspond à une quantité accumulée d'au moins 200 mg.

**L'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) recommande de ne pas dépasser une ingestion hebdomadaire de 0,5 mg de cadmium.**

Le mercure (Hg) : Le mercure métal est inassimilable sous cette forme par les muqueuses intestinales ; il est éliminé à 98% dans les selles ; Par contre le méthylmercure (CH<sub>3</sub>-HG) est particulièrement toxique. Cette toxicité se manifeste principalement par une neuropathie, initialement décrite comme " maladie de

**L'OMS recommande de ne pas dépasser une ingestion hebdomadaire de 0,3 mg de mercure.**

Le plomb (Pb) : L'intoxication chronique se traduit par :

- Des troubles hématologiques par inhibition de la synthèse de l'hémoglobine ;
- Des troubles intestinaux ;
- Des atteintes du système nerveux périphérique ;
- Des atteintes du système nerveux central (encéphalopathies)

Des atteintes rénales

Le plomb, suivant le métabolisme du calcium, se retrouve dans les os et les dents où sa demie-vie est de 20 ans (contre 20 à 30 jours dans les globules rouges, le foie et les reins).

L'enfant est beaucoup plus vulnérable que l'adulte : lors d'une pénétration digestive, 53% du plomb passent dans la circulation générale (contre 5% chez l'adulte) ; des régressions intellectuelles ont été observées et le risque d'encéphalopathie est plus élevé. Il ne faut pas oublier que le plomb passe la barrière placentaire et se retrouve également dans le lait maternel.

**L'OMS recommande de ne pas dépasser une dose hebdomadaire de 3 mg de plomb.**

L'arsenic (As) : La toxicité aiguë de l'arsenic sous ses formes non organiques se manifeste à partir de 100 mg.

Il y a intoxication chronique lorsque les analyses décèlent plus de 1 mg/kg dans les urines, plus de 3 à 5 mg dans les cheveux et plus de 0,025 mg pour 100 millilitres de sang. Elle se traduit par des troubles digestifs, cutanés et neurologiques, voire des troubles généraux (atteintes hépatique, rénale, cardiaque).

**L'OMS recommande de ne pas dépasser une ingestion hebdomadaire de 1 mg d'arsenic pour les composés inorganiques.**

Les personnes désireuses d'élargir leurs connaissances en matière de toxicologie des métaux lourds pourront consulter J.C. Hachet.

## **ANALYSES ET PRELEVEMENTS**

Les échantillons ont été analysés dans deux laboratoires différents :

● ERC (Etudes, Recherches, Contrôle) : 9, rue Jean Jaurès 59 970 FRESNE SUR ESCAUT)

● INRA Laboratoire d'Analyse des Sols : 273, rue de Cambrai - 62 000 ARRAS.

Les champignons ont été prélevés aux abords d'un incinérateur d'ordures ménagères en Saône-et-Loire situé sur un terrain argilo-calcaire ; les échantillons témoins ont également été prélevés sur terrain argileux (*sauf Macrolepiota excoriata*) dans des zones supposées exemptes de pollution.

Il s'agit de 5 espèces pratiquement comestibles.

## **RESULTATS**

Les résultats bruts figurent sur le tableau II.

Concernant le mercure, les résultats sont à considérer comme des minimums dans la mesure où certains échantillons avaient été stockés longtemps sans précautions (le mercure est volatil) ; notons tout de même 5,5 mg/kg pour l'échantillon d'*Agaricus albertii* (= *macrosporus*) proche de l'incinérateur.

Au chapitre des résultats peu significatifs, mentionnons que le chrome et le nickel ont également été mesurés mais qu'il n'y avait aucune différence ne pouvant être expliquée par une abondance de ces métaux dans le terrain : dans un cas (*Macrolepiota excoriata*), la teneur en chrome du témoin (10,2 mg/kg) était même légèrement supérieure à celle de l'échantillon proche de l'incinérateur (7,6mg/kg).

Le plomb est souvent plus abondant chez les échantillons proches de l'incinérateur : 4,3 au lieu de 2,2 pour *Agaricus campestris* et 6,4 au lieu de < 2 pour la totalité de la différence à l'incinérateur. \* ↓

Concernant l'arsenic par contre, tous les échantillons prélevés à proximité de l'incinérateur étaient plus touchés que les témoins, ou que ceux dont les résultats ont été puisés dans la littérature. Le tableau III permet de visualiser cet état de fait.

Si l'on retient l'un des coprins (8,5 mg/kg), le mousseron (5,9 ppm) ou le rosé des prés (6,5 mg/kg), on s'aperçoit en faisant un rapide calcul (diviser les résultats sur la matière sèche par 10 pour avoir le résultat approximatif sur la matière fraîche) qu'en mangeant 1 kg de champignons on est très proche de la limite hebdomadaire de l'OMS. Pour *Marasmius oreades* \* Le fait qu'une route passe à proximité ne permet pas d'attribuer avec certitude \* s'il s'agit d'un zinc inorganique

Enfin, concernant le cadmium, les résultats sont impressionnants : tous les échantillons de l'incinérateur en contenaient notablement plus que les témoins : 2 et 4 mg/kg au lieu de 1,57 pour les coprins, 2,4 au lieu de 0,9 pour la Lépiote excoriée, 0,52 au lieu de 0,38 (la différence la moins nette, mais attention à l'arsenic et au plomb !) pour le mousseron, 0,7 au lieu de 0,22 pour le rosé des prés et 121 au lieu de 59,8 pour la boule de neige.

## DISCUSSION

S'il ne faut donc pas abuser de coprins ou de lépiotes excoriées ayant poussé près d'un incinérateur, il va de soi que l'*Agaricus albertii* (= *macrosporus*) doit être banni de la consommation dans tout site suspect (il convient même de s'interroger sur sa comestibilité tout court). L'échantillon prélevé près de l'incinérateur a été pesé frais ; le rapport poids frais/poids sec était d'environ 7 ; exprimé en matière fraîche, la teneur en cadmium était encore de 17 mg/kg ; en d'autres termes, la consommation d'un kilogramme aurait fait dépasser de 35 fois la dose maximale hebdomadaire admissible.

D'une manière générale, les taux sont beaucoup plus élevés que les taux moyens figurant dans la plupart des publications : Byrne & al. (1976) parlent de 7 espèces ayant des teneurs élevées (" high levels ") de cadmium de 10 mg/kg ou plus, dont *Macrolepiota procera* (7 et 11 mg/kg), le record absolu étant de 40 mg/kg (*Hygrocybe punicea*) et la moyenne sur 27 espèces de 5 mg/kg.

Quinche (1992) a analysé *Coprinus comatus* sur 17 sites (pollués et non pollués) et la moyenne totale pour le cadmium est de 2,6 avec une médiane de 1,1.

Pour les Agarics jaunissants (*flavescentes*) à l'exception de *Agaricus xanthoderma*, Stijve (1993) cite les travaux de Laub & al. : 33,8 mg/kg en moyenne, ce qui est considéré comme considérable puisque les rubescentes ne contiennent en moyenne que 2,5 mg/kg et *Agaricus xanthoderma* 3,45 mg/kg.

Concernant l'arsenic, il faut noter que les espèces récoltées ne sont pas réputées le concentrer. Les taux les plus élevés ont été trouvés par Stijve chez *Laccaria amethystina* (16 à 250mg/kg) et chez une espèce toxique *Sarcosphaera coronaria* (360 à 2130 mg/kg !).

Stijve & Bourqui (1991) citent Byrne qui pense que l'arsenic présent dans les *Laccaria* ne l'est pas sous une forme particulièrement toxique ; il s'agirait principalement de diméthyl-arsenic.

Les taux les plus couramment rapportés sont cependant inférieurs à 1 mg/kg. (Voir aussi le tableau III).

Il est difficile de dire quelle est la part des métaux lourds entraînés dans l'environnement sous forme particulaire (aérosols) et la part émise sous forme gazeuse : le point d'évaporation varie en effet selon le composé chimique dans lequel entre ce métal et nous ne connaissons pas avec précision les réactions chimiques se déroulant à l'intérieur d'un incinérateur.

D'une façon générale, on peut noter que les éléments les plus problématiques sont ceux qui ont les points de fusion (ou de sublimation) et d'évaporation les plus bas : le cadmium et l'arsenic ici, mais aussi le plomb et le mercure d'après Fiedler & Rösler (1993). Le chrome et le nickel ont des points de fusion (1857° et 1453° respectivement) beaucoup plus élevés ; ce fait, conjugué à leur plus grande abondance dans les sols, expliquerait qu'il n'a pas été possible ici de démontrer une corrélation avec les incinérateurs.

Il convient aussi d'être prudent dans l'interprétation des résultats, car les composés chimiques dans lesquels se trouvent les métaux à la sortie de l'incinérateur ne sont peut-être pas les mêmes que ceux des métaux se trouvant depuis longtemps dans le terrain et leur absorption par les champignons est peut-être différente.

La distance sur laquelle un incinérateur est susceptible de contaminer l'environnement est difficile à évaluer sans une étude systématique à grande échelle ; dans le cas présent, on peut espérer qu'elle est relativement réduite : il s'agit d'une petite unité à cheminée très basse. La seule pollution pouvant être estimée rapidement est la pollution acide : un coup d'oeil à la végétation de lichens montre que celle-ci est notablement modifiée sur quelques centaines de mètres. L'influence des métaux ne s'exerce sans doute pas selon les mêmes paramètres : il est notoire que le plomb diminue déjà fortement à quelques dizaines de mètres d'une route à forte circulation alors que le cadmium et le mercure peuvent voyager très loin.

Pour des informations concernant la contamination des feuilles d'arbres par le plomb et le mercure aux environs d'une usine d'incinération, on pourra consulter l'étude de Quinche (1983).

## CONCLUSION

Il semble évident que les champignons provenant des abords d'un site d'incinération ne devraient pas être consommés ; toutes les espèces sont susceptibles d'absorber, d'accumuler ou de concentrer un ou plusieurs métaux lourds ou d'autres métaux et substances toxiques. Il convient aussi de s'interroger sur le caractère comestible d'*Agaricus albertii* (= *macrosporus*), même lorsqu'il provient d'un site réputé non pollué.

S'il est vrai que dans le cas présent il s'agit d'une petite unité, non équipée de dispositifs d'épuration, il n'est pas dit qu'une installation plus moderne soit innocente : en supposant un filtrage nominal de 96% qui serait de 90% dans la pratique et une hauteur de cheminée qui multiplie par 10 la dilution, un incinérateur moderne conçu pour brûler cent fois plus de déchets, occasionnerait la même pollution que dans le cas présent, mais sur une superficie beaucoup plus grande... Des variations sur ce thème peuvent être soumises comme sujet d'étude à des étudiants.

Quelle que soit la solution proposée pour résoudre le problème des déchets (recharge, incinération), les analyses faites sur les champignons peuvent apporter une contribution utile pour la détection et la surveillance des pollutions. Il n'en est pas moins que c'est à la source que se trouve le remède idéal

**Tableau I**

Concentrations moyennes des métaux analysés dans la croûte terrestre (valeur de Clarke) et dans différents types de roches (d'après Vinogradov, 1962, in F. Rösler 1993) :

Chiffres exprimés en mg/kg.

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Clarke	1,7	0,13	83	47	0,05	58	16	83
Granit	1,5	0,1	25	20	0,04	8	20	60
Argile	6,6	0,3	100	57	0,27	95	20	80
Grès	1	-	35	-	0,03	2	7	15
Calcaire	1	0,03	11	4	0,04	20	9	20

**Tableau II**

Résultats bruts exprimés en milligrammes par kilogramme (matière sèche). Les vides correspondent à des analyses qui n'ont pas été faites.

		As	Cd	Hg	Pb
<i>Agaricus albertii</i> (= <i>macrosporus</i> )	Incin.	2	121	5,5	
	témoin	< 2	59,8		
<i>Agaricus campestris</i>	Incin.	6,5		0,7	4,3
	témoin		0,2		2,2
<i>Marasmius oreades</i>	Incin.	5,9	0,52		6,4
	témoin	< 2	0,38		< 2
<i>Macrolepiota excoriata</i>	Incin.		2,4		
	témoin		0,9		
<i>Coprinus comatus</i>	Incin 1	0,76	2	0,8	
	Incin 2	8,5	4		3,7

**TABLEAU III** : Résultats obtenus en France (Incinérateur - Saône et Loire en 1991 et 1992) pour l'arsenic et comparaison avec les résultats de Stijve en Suisse (1990 et 1991) et de Byrne et al. en Slovénie (1976). Résultats exprimés en milligrammes par kilogramme (ou ppm) sur la matière sèche (d'après Daillant 1992). Lorsque plusieurs échantillons ont été analysés, le premier chiffre correspond à la valeur la plus basse et le second à la valeur la plus élevée.

ESPECE	France	Suisse	Slovénie
Coprinus comatus	0,76 - 8,5	0,15 - 0,94	0,75
Marasmius oreades	5,9	1,1 - 2,4	
Agaricus campestris	6,5	1,8 - 2,3	0,35
Agaricus albertii	2	1,5 - 17	
<b>Moyenne générale</b>	<b>4,7</b>		<b>1,25</b>

**TABLEAU IV**

Teneurs en métaux lourds de *Lycoperdon perlatum* (d'après Quinche 1990) récoltés sur trois stations proches d'un incinérateur à Lausanne et comparaison avec la moyenne de 14 échantillons témoins. Chiffres exprimés en mg/kg (matière sèche).

	Cd	Hg	Pb
Lausanne			
(Incinérateur)			
Montmeillan	10,3	29,5	43,9
Sauvabelin	6,2	12,3	10,5
Le Signal	15	5,4	21,4
Moyenne sur sites non pollués (14 échantillons)	<b>1</b>	<b>3,27</b>	

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AZEMA R.C. - 1978 : La Pollution mercurique des Champignons ; *Doc. Myc.* 8 (29).
- BYRNE A.R., RAVNIK V. & KOSTA L. - 1976 : Trace Element Concentrations in Higher Fungi ; *The Sc. of the Tot. Env.* 6.
- DAILLANT O. - 1992 : Présence d'Arsenic dans les Champignons ; *Bull. de l'AEMBA* N° 26.
- FIEDLER H.J. & ROESLER J. 1993 : Spurenelemente in der Umwelt ; G. Fischer Verlag - Stuttgart.
- FOURRÉ G - 1990 : Dernières Nouvelles des Champignons ; 152, Av. J. Jaurès 79 000 NIORT.

GIACOMONI L. - 1989 : Les Champignons : Intoxications, Pollutions, Responsabilités ; Ed. Billes - Malakoff.

HACHET J.C. - 1992 : Dictionnaire de Toxicologie Clinique ; Masson.

MORNAND J. - 1990 : Présence de métaux lourds dans les Champignons ; *Bull. Soc. Myc. F.* t 106 ; fasc. 1.

OMS - 1989 : Joint Report of the FAO/WHO Expert Committee on Food Additives - World Health Organisation Technical Report Series 776.

QUINCHE J.P. - 1983 : Contamination du feuillage des arbres par le plomb et le mercure aux environs d'une usine d'incinération des ordures ménagères ; *Bull. ARPEA* N° 117.

QUINCHE J.P. - 1990 : *Lycoperdon perlatum*, un Champignon accumulateur de métaux lourds et de sélénium ; *Mycologia Helvetica* Vol. 3 N° 4.

QUINCHE J.P. - 1992 : Les Teneurs en éléments traces de carpophores de *Coprinus comatus* ; *Mycologia Helvetica* 5 - 133.

SCHELENZ R & DIEHL JF - 1974 : Quecksilber in Pilzen ; *Z. Lebensm. und Forsch.* 154.

STIJE T. & CARDINALE E - 1974 : Selenium and Mercury Content of some Edible Mushrooms ; *Trav. Chim. Aliment. Hvg.* : 65.

STIJE T & BOURQUI B. - 1991 : Arsenic in Edible Mushrooms ; *Deutsche LebensmittelR.* N°10.

STIJE T. - 1993 : Accumulation des métaux lourds par certains champignons supérieurs ; *Obs. Myc.* N°4

ERRATA : p. 22

- 3<sup>e</sup> paragraphe :

lire après < 2 : pour *Marasmius oreades*.

Le fait qu'une route passe à proximité ne permet pas d'attribuer la totalité de la différence à l'incinérateur.

- 5<sup>e</sup> paragraphe

lire après OMS : s'il s'agit d'arsenic inorganique.