

# **Synthèse sur la contamination en cadmium des productions végétales de grandes cultures**



**Laurence Denaix, Christophe Nguyen, Valérie Sappin-Didier, André Schneider**

UMR 1220 TCEM – INRA Centre Bordeaux Aquitaine

**Janvier 2010**

## Introduction

L'accroissement de la population mondiale et donc de sa demande en productions végétales ne permet pas d'envisager l'abandon des sols qui ont été soumis à des contaminations diffuses. Au contraire, dans les zones périurbaines, la pression est importante pour utiliser des sols en maraîchage et cultures de proximité. La politique de recyclage des déchets organiques est une tendance actuelle soutenue par les objectifs du 'Grenelle de l'Environnement' qui prévoit de favoriser leur valorisation agronomique et mentionne que "*l'évaluation de l'impact environnemental et sanitaire des modes de gestion des déchets doit être une priorité et les travaux dans le domaine renforcés*". Cette problématique sera particulièrement pertinente dans le contexte du développement de l'agriculture en zone périurbaine pour raccourcir les circuits de distribution. La valorisation agronomique des déchets organiques urbains et la pollution atmosphérique contribueront à augmenter le risque de contamination métallique des sols cultivés en périphérie des agglomérations.

Parallèlement, la demande sociale d'une alimentation de qualité est de plus en plus forte. Sur la base d'une étude épidémiologique récente, l'European Food Safety Authority (EFSA) a publié le 30 Janvier 2009 (EFSA, 2009), une recommandation spécifiant que l'exposition humaine au cadmium (Cd) par voie alimentaire ne devrait pas dépasser 2.5 µg Cd par kilogramme de masse corporelle par semaine. Ce seuil est presque 3 fois inférieur au précédent proposé par l'OMS (7 µg Cd kg<sup>-1</sup> de masse corporelle). L'EFSA conclue que l'exposition des populations doit être réduite. La sécurité alimentaire est également une préoccupation du 'Grenelle de l'Environnement' dont un des objectifs est de "*renforcer les connaissances dans le domaine des liens entre l'environnement et la santé*". Le contexte est donc très propice à un durcissement de la réglementation concernant la teneur en éléments trace des produits agricoles à destination de l'alimentation humaine et animale, aussi bien au niveau national qu'europpéen.

Dans ce contexte se pose la question des niveaux actuels de contamination des productions agricoles et des facteurs explicatifs de ces niveaux de contamination et des facteurs agronomiques sur lesquels il serait possible de jouer pour limiter les contaminations des récoltes.

Cette courte synthèse se propose de faire un point rapide sur l'état actuel des connaissances sur ces sujets.

## Niveaux de contamination en cadmium des grandes cultures.

Plusieurs études ont été réalisées dans le monde pour recenser les niveaux de contaminations des productions de grande culture (céréales et oléagineux) en conditions d'agriculture classique, non soumise à des pollutions identifiées. Ces études (Tableau 1) montrent que, dans la plupart des cas, les valeurs moyennes ou médianes sont inférieures aux valeurs actuellement réglementées en Europe pour l'alimentation humaine (EC 1881/2006 : 0.2 mg/kg MF pour le blé, le riz et le soja, 0.1 mg/kg MF pour les autres céréales). Par contre, les maxima sont systématiquement supérieurs à ces valeurs sauf pour l'avoine dans l'étude finlandaise, le blé dans l'étude française et le maïs doux.

**Tableau 1 : Niveau de contamination en cadmium mesuré dans des grains ou graines récoltés en plein champ.**

Végétal	Origine de l'étude	n	Unité	Année (s)	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Auteur(s)
Blé tendre	Pays Bas	84	mg/kg MF	1976-1977	0.02	0.35	0.07	0.06	Wiersma et al., 1986
	USA	288	mg/kg MF		<0.0017	0.207	0.043	0.030	Wolnik et al., 1983
	Grande-Bretagne	242	mg/kg	1982	0.016	0.18	0.052	0.045	Chaudri et al. 1995
		369	MS	1992	0.008	0.27	0.042	0.035	
330			1993	0.004	0.31	0.038	0.034		
France	128	mg/kg MS	1998	0.015	0.169	0.054	0.045	Sappin-Didier et al., 2002	
Blé dur	France		mg/kg MS	1997-1999				0.108-0.196 <sup>1</sup>	Baize et al., 2003
Orge	Pays Bas	45	mg/kg MF	1976-1977	0.01	0.54	0.13	0.11	Wiersma et al., 1986
	Finlande	47	mg/kg MF		0.004	0.037	0.021	-	Varo et al., 1980
Avoine	Pays Bas	39	mg/kg MF	1976-1977	0.03	0.22	0.09	0.08	Wiersma et al., 1986
	Finlande	36	mg/kg MF		0.004	0.068	0.041	-	Varo et al., 1980
Riz	USA	166	mg/kg MF		<0.001	0.23	0.012	0.0045	Wolnik et al., 1985
Soja	USA	322	mg/kg MF		0.02	1.11	0.059	0.041	Wolnik et al., 1983
Maïs doux	USA	268	mg/kg MF		<0.0001	0.039	0.0031	0.0017	Wolnik et al., 1983
Maïs grain	USA	277	mg/kg MF		<0.001	0.32	0.012	0.0035	Wolnik et al., 1985
Maïs ensilage	Pays Bas	46	mg/kg MS	1976-1977	0.14	6.8	0.43	0.24	Wiersma et al., 1986

<sup>1</sup> Variable suivant l'année

Pour le blé, les études française et anglaise ont montré que respectivement 10% et 2 à 4% des lots analysés étaient supérieurs à la valeur cible de 0.1 mg/kg MF sans qu'aucune raison particulière n'ait pu expliquer ces valeurs extrêmes.

## Différences entre espèces végétales et entre organes

De nombreuses études ont montré des différences de prélèvement de cadmium entre différentes espèces végétales.

Un classement des capacités d'accumulation des différentes familles végétales (Kuboi et al., 1986) a permis de distinguer les familles peu accumulatrices (Légumineuses), les familles modérément accumulatrices (Graminées, Liliacées, Cucurbitacées et Ombellifères) et les familles fortement accumulatrices (Chénopodiacées, Crucifères, Solanacées, Composées).

Le cadmium s'accumule généralement plus dans les racines, puis les feuilles, les tiges et enfin les grains ou graines. Il est donc normal que les productions végétales « feuilles » présentent des concentrations plus élevées en cadmium. Cela explique aussi le fait que les niveaux de concentrations observés dans les maïs ensilage soient beaucoup plus élevés que ceux des maïs grains (tableau 1).

Les espèces de grande culture considérées comme les plus accumulatrice en cadmium dans leurs grains ou graines sont le tournesol, le lin, le riz et le blé dur. La moins accumulatrice semble être le maïs.

## Différences entre variétés

Des différences importantes s'expriment entre différentes variétés d'un même végétal. Le tableau 2 résume différentes études traitant des différences variétales. Les différences d'accumulation mesurés sont au minimum d'un facteur 2 et elles peuvent aller jusqu'à 12 dans le cas d'une étude particulièrement exhaustive conduite en Chine sur l'orge, espèce plutôt accumulatrice de cadmium.

**Tableau 2 : Rapport de concentration entre les variétés les plus accumulatrices et les variétés les moins accumulatrices en cadmium (Max/Min) pour différentes études sur des céréales et oléagineux.**

Végétal	Origine de l'étude	Année	Nombre de variétés différentes testées	Max/Min	Auteur(s)
Blé dur	Suède	1997	4	3	Greger et Lofsted, 2004
	USA		30	3	Li et al. 1997
	France	1999 - 2000	?	3 - 4	Baize et al., 2003
Blé tendre	Suède	1995	6	2	Greger et Lofsted, 2004
	France	1998-2000	68	2 - 6	Vinkel, 2001
	Japon	2005-2006	237	4 - 5	Kubo et al.2008
Orge	Chine	2003-2005	600	>12	Chen et al., 2007
Lin	USA		74	10	Li et al., 1997
Tournesol	USA		200	4	Li et al., 1995

Il semblerait que les différences entre les variétés les plus accumulatrices et les variétés les moins accumulatrices s'expliquent par une compartimentation différente entre racines et

parties aériennes ou par une différence de translocation du cadmium lors du remplissage du grain ou de la graine.

Ces différences ne semblent pas constantes en fonctions des sols. Suivant l'espèce et les variétés considérées, elles peuvent varier d'un site à un autre ou d'une année à une autre lors d'études en plein champ (Vinkel, 2001).

Plusieurs pays ont déjà sélectionnés des variétés de blé dur ou de blé tendre à faible teneur en cadmium (Clarke et al., 2009 a et b, Grant et al., 2008, Kubo et al., 2008).

## Différences entre les années de récolte

Pour le blé, des études ont été faites sur les mêmes parcelles expérimentales plusieurs années de suite. Pour une même variété et un même site, il apparaît très clairement des différences d'accumulation de cadmium dans les grains entre les années, d'un facteur 2 à 3. Ces différences n'ont actuellement pas été clairement expliquées. Cela peut conduire à des valeurs proches de 0.1 mg/kg MF, pour les variétés les plus accumulatrices, en conditions de cultures agricoles classiques (Vinkel, 2001).

Il est possible que ces différences soient liées à des années climatiques particulières puisque le prélèvement du cadmium par le blé augmente lorsque le flux de transpiration du végétal augmente (Tani et Barrington, 2005). Les relations entre les paramètres climatiques et les teneurs dans les grains et graines sont actuellement mal renseignés.

## Relations entre la composition du sol et la composition des récoltes

Le cadmium est naturellement présent dans les sols car il provient en partie de la roche. Sur les sols, il est également apporté par des retombées atmosphériques diffuses. Il a été montré que, sauf dans le cas de contaminations atmosphériques élevées, la majorité du cadmium présent dans les grains de céréales provenait du sol (Smolders, 2001). Le cadmium est également apporté aux sols agricoles par l'utilisation d'engrais minéraux, d'effluents animaux ou de boues et compost, par l'irrigation et par l'usage de certains produits phytosanitaires.

Les sols agricoles ont donc des concentrations en cadmium variables. Pour la France, des cartes de teneurs totales sont réalisées dans le cadre du Réseau de Mesure de la Qualité des Sols (<http://www.gissol.fr/programme/rmqs/rmqs.php>).

Mais il a été démontré par de nombreuses études qu'il n'y a **aucun lien direct entre la teneur totale en cadmium du sol et la concentration dans les végétaux**, notamment les concentrations dans les grains de céréales ou les graines oléagineuses (McLaughlin et Singh, 1999, Grant et al., 1998). La figure 2 illustre cela pour le jeu de données acquis sur blé dans les sols français (Sappin-Didier et al., 2002, Baize et al., 2009).

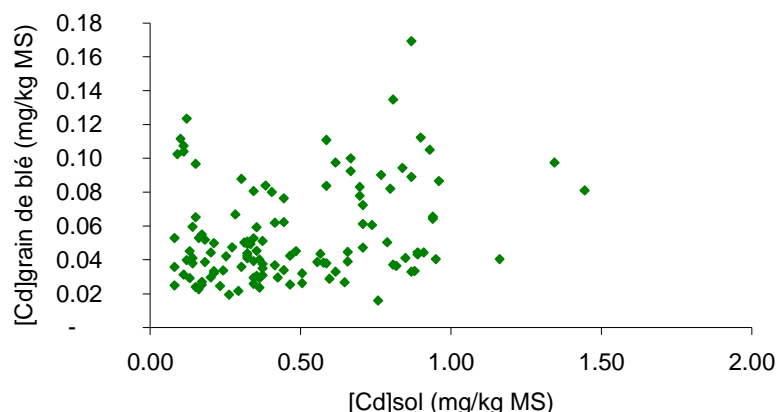


Figure 1 : Comparaison entre les teneurs totales de cadmium dans les sols et les teneurs dans le grain de blé (variété Trémie) pour l'étude QUASAR (d'après Sappin-Didier et al., 2002)

En effet, pour qu'un élément soit assimilé par une plante, il faut qu'il soit biodisponible et qu'il passe en solution.

Il n'est donc pas possible d'utiliser des cartes de teneurs totales pour en déduire des risques de transferts et de contamination des cultures.

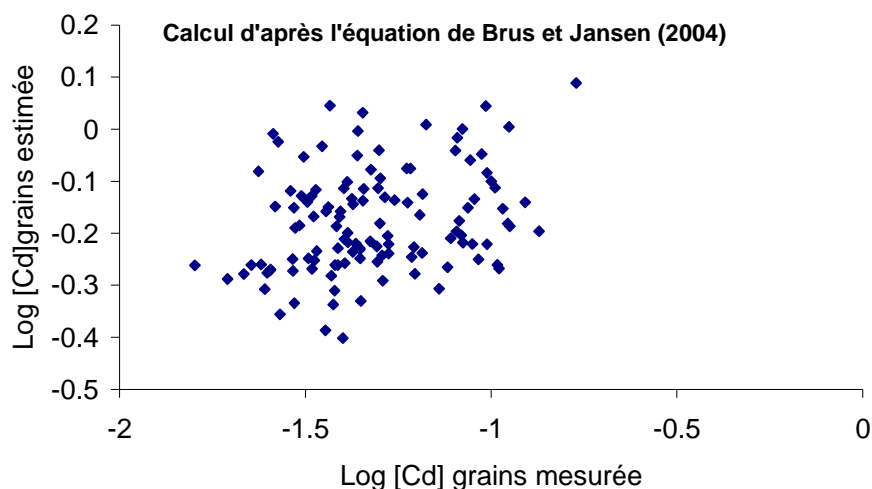
Le passage en solution du cadmium va se faire sous l'influence de différents facteurs, dont le plus important est le pH. Dans certains types de sols tels que les sols sableux, une relation a pu être trouvée entre le pH et les teneurs en cadmium dans les grains : les sols à pH acides induisent des concentrations plus élevées dans les céréales que les sols à pH alcalins (Sappin-Didier et al., 2002). Ceci est dû à l'effet du pH sur la mobilité du cadmium : plus le pH est acide, plus le cadmium aura tendance à passer de la matrice solide du sol vers la solution du sol, dans laquelle les racines puisent les éléments traces.

Mais des teneurs élevées en cadmium dans les grains de blé ont également été retrouvées dans certains sols alcalins (Sappin-Didier et al., 2002), sans qu'aucune explication n'ait pu être trouvée.

La teneur en matière organique du sol a aussi une influence sur la biodisponibilité : plus un sol est organique, moins les métaux, dont le cadmium, auront tendance à passer en solution.

Pour prédire la biodisponibilité des métaux d'un sol, différents extractants chimiques ont été utilisés :  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{CaNO}_3$ ,  $\text{HNO}_3$ , EDTA, DTPA... Il semble qu'il n'existe pas d'extractant universel qui puisse être corrélé à la teneur dans les grains de céréales ou les graines oléagineuses. Certains auteurs suggèrent l'utilisation de relations à plusieurs facteurs en utilisant différents extractants (Baize et al., 2009).

Pour prédire les concentrations dans les grains, d'autres auteurs utilisent des régressions multiples avec des facteurs du sol tels que le pH, la CEC, la teneur en matière organique (Adams et al. 2004). Mais ces relations n'expliquent souvent que moins de 50% de la variabilité lorsque les jeux de données sont importants. Généralement, ces approches ne sont valides que lorsque les sols comparés sont relativement homogènes. Utilisées aux Pays-Bas, pays dans lequel la diversité des sols est plus restreinte qu'en France, elles ont permis de proposer des cartes de risques de contamination des cultures (Brus et Jansen, 2004). Par contre, si l'on applique les équations de Brus et Jansen (2004) à un jeu de données acquis sur les sols français (Projet QUASAR, Sappin-Didier et al., 2002), il est clair que la prédiction est mauvaise (figure 2).



**Figure 2 : Comparaison entre les teneurs en cadmium dans le grain de blé mesurées lors de l'étude QUASAR (Sappin-Didier et al., 2002) et les teneurs calculées grâce à l'équation de Brus et Jansen ( $\text{Log [Cd]}_{\text{grain}} = 0.086 - 0.126 \text{ pH} - 0.218 \log (\text{MO}_{\text{sol}} \%) + 0.542 \log (\text{argile } \%)$ ) à partir des données mesurées sur les sols. Les teneurs en Cd sont exprimées en mg/kg MS.**

Cette approche ne peut s'appliquer que si l'on établit les relations statistiques dans des situations sol-climat dans lesquelles elles seront appliquées par la suite.

## **Effet des pratiques agricoles**

Comme nous l'avons vu précédemment, le pH a une forte influence sur la biodisponibilité. Le chaulage est donc une pratique qui peut limiter le passage du cadmium en solution et l'accumulation de cadmium dans les grains et graines. De nombreuses études ont montré qu'une augmentation de pH suite à un chaulage conduisait à une diminution de la biodisponibilité et une diminution du prélèvement par les végétaux (Krebbs et al., 1998 ; Tyler and Olsson, 2001). Les résultats sont clairs si on s'intéresse à des productions végétales de type « feuilles » telles que la laitue ou l'épinard (Lehoczhy et al, 2000). Par contre, pour les céréales, les résultats sont moins nets (Hooda et Alloway, 1996): la diminution de concentration dans les grains est soit faible (Oliver et al., 1996) soit non significative. De plus, il existe très peu d'études conduites en plein champ sur des sols agricoles non contaminés. La plupart des études ont été réalisées en pot, en conditions contrôlées, ou sur des sols contaminés, notamment suite à des apports de boues de station d'épuration. Le faible effet du chaulage sur la concentration dans les grains est soit la conséquence d'une forte régulation des flux de cadmium vers la graine, soit un prélèvement d'éléments dans les horizons profonds, non affectés par le chaulage (Li et al., 1996).

L'apport de matières organiques va avoir une influence sur la mobilité du cadmium et va avoir tendance à diminuer sa biodisponibilité. Ainsi, des apports de fumiers, lisiers ou boues vont contribuer à piéger le cadmium. Cet effet est notable dans le cas de sols fortement contaminés (Ram et Verloo, 1985) mais beaucoup plus faible dans le cas de sols agricoles non contaminés (Narwal et Singh, 1998). Là encore, les essais en plein champ sont rares.

L'apport de phosphate au sol va conduire à un apport de cadmium, puisque celui-ci est présent en impuretés dans ce fertilisant, en quantité non négligeable et dépendant de la provenance de la roche phosphatée. Un apport répété de phosphate conduit à une augmentation modérée de la concentration en cadmium dans les sols. Par contre, les effets sur les végétaux sont moins clairs. Sauf dans les cas de phosphates fortement contaminés (He and Singh, 1995), il n'a pas pu être démontré un effet notable sur l'accumulation dans les végétaux de grande culture (Grant et al., 1999).

L'apport de fertilisant azoté ou phosphaté peut conduire à une augmentation du prélèvement de cadmium liée à une augmentation de la mobilité du métal sous l'effet de l'augmentation de la force ionique en solution ou d'une modification du pH du sol (Choudhary et al. 1994 , Grant et al., 1996 , Mitchell et al., 2000).

Toutes les pratiques qui vont avoir un effet, direct ou indirect, sur le pH, la teneur en matières organiques ou la force ionique de la solution du sol peuvent induire un effet sur le prélèvement de cadmium par le végétal. Ainsi, la nature des rotations, le labour, l'enfouissement de résidus de culture peuvent conduire à des effets indirects.

## **Quelques pistes pour gérer le niveau de contamination des récoltes**

Pour limiter les teneurs en cadmium dans les grains et graines, plusieurs voies sont possibles : soit jouer sur le matériel végétal, soit jouer sur les pratiques agronomiques, soit limiter les cultures des plantes les plus accumulatrices sur les zones de faible biodisponibilité, soit limiter les intrants en cadmium. L'idéal serait de pouvoir jouer sur ces différents facteurs à la fois.

Il est possible de sélectionner des variétés plutôt faiblement accumulatrices mais il faut s'assurer que la réponse du végétal, souvent établie dans des conditions sol-climat déterminées, sera conservée dans les conditions sol-climat de la zone d'utilisation du cultivar.

Pour limiter la biodisponibilité du cadmium, deux paramètres majeurs sont à contrôler : le pH et la teneur en matières organiques. Il est nécessaire de bien contrôler le pH des sols, les sols acides ( $\text{pH} < 6$ ) présentant plus de risque pour un transfert élevé du cadmium.

L'apport de matières organiques exogènes, à conditions quelles soient peu contaminées en cadmium, peut être un moyen de bloquer le cadmium dans les sols et d'éviter son transfert vers les végétaux. Mais les effets dépendront souvent des sols.

Il faut aussi veiller à limiter les flux de cadmium à la parcelle, lorsque cela est possible.

Ces pistes proposées sont très générales et il conviendrait confirmer les processus identifiés lors d'études en pots par des études de plein champ, qui comme nous l'avons vu à différentes reprises, manquent souvent. Cette validation est indispensable pour extrapoler des recommandations à l'ensemble d'un territoire.



## Bibliographie:

- Adams, M. L., Zhao, F. J., McGrath, S. P., Nicholson, F. A. & Chambers, B. J. (2004) Predicting cadmium concentrations in wheat and barley grain using soil properties. *Journal of Environmental Quality*, 33 (2): 532-541.
- Baize D., Mench M., Sappin-Didier V., Mocquot M., Gomez A., Proix N., Sterckeman T., (2003), Phytodisponibilité des éléments traces métalliques dans les grains de blé, Dossier de l'Environnement de l'INRA, 25, 45-62.
- Baize, D., Bellanger, L. & Tomassone, R. (2009) Relationships between concentrations of trace metals in wheat grains and soil. *Agronomy for Sustainable Development*, 29 (2): 297-312.
- Brus, D. J. & Jansen, M. J. W. (2004) Uncertainty and sensitivity analysis of spatial predictions of heavy metals in wheat. *Journal of Environmental Quality*, 33 (3): 882-890.
- Brus, D. J., de Gruijter, J. J., Walvoort, D. J. J., de Vries, F., Bronswijk, J. J. B., Romkens, P. & de Vries, W. (2002) Mapping the probability of exceeding critical thresholds for cadmium concentrations in soils in the Netherlands. *Journal of Environmental Quality*, 31 (6): 1875-1884.
- Chaudri, A. M., Zhao, F. J., McGrath, S. P. & Crosland, A. R. (1995) The cadmium content of british wheat grain. *Journal of Environmental Quality*, 24: 850-855.
- Chen, F., Dong, J., Wang, F., Wu, F. B., Zhang, G. P., Li, G. M., Chen, Z. F., Chen, J. X. & Wei, K. (2007) Identification of barley genotypes with low grain Cd accumulation and its interaction with four microelements. *Chemosphere*, 67 (10): 2082-2088.
- Choudhary, M., Bailey, L. D. & Grant, C. A. (1994) Effect of Zinc on Cadmium Concentration in the Tissue of Durum-Wheat. *Canadian Journal of Plant Science*, 74 (3): 549-552.
- Clarke, J. M., Knox, R. E., DePauw, R. M., Clarke, F. R., Fernandez, M. R., McCaig, T. N. & Singh, A. K. (2009) Brigade durum wheat. *Canadian Journal of Plant Science*, 89 (3): 505-509.
- Clarke, J. M., Knox, R. E., DePauw, R. M., Clarke, F. R., McCaig, T. N., Fernandez, M. R. & Singh, A. K. (2009) Eurostar durum wheat. *Canadian Journal of Plant Science*, 89 (2): 317-320.
- EFSA, 2009, Cadmium in food, Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain EFSA Journal, 980, 1 - 139.
- Grant, C. A. & Bailey, L. D. (1997) Effects of phosphorus and zinc fertiliser management on cadmium accumulation in flaxseed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 73 (3): 307-314.
- Grant, C. A. & Bailey, L. D. (1998) Nitrogen, phosphorus and zinc management effects on grain yield and cadmium concentration in two cultivars of durum wheat. *Canadian Journal of Plant Science*, 78 (1): 63-70.
- Grant, C. A., Bailey, L. D. & Therrien, M. C. (1996) The effect of N, P and KCl fertilizers on grain yield and Cd concentration of malting barley. *Fertilizer Research*, 45 (2): 153-161.
- Grant, C. A., Buckley, W. T., Bailey, L. D. & Selles, F. (1998) Cadmium accumulation in crops. *Canadian Journal of Plant Science*, 78 (1): 1-17.
- Grant, C. A., Clarke, J. M., Duguid, S. & Chaney, R. L. (2008) Selection and breeding of plant cultivars to minimize cadmium accumulation. *Science of the Total Environment*, 390 (2-3): 301-310.

- Grant, C. A., Dribnenki, J. C. P. & Bailey, L. D. (2000) Cadmium and zinc concentrations and ratios in seed and tissue of solin (cv Linola(TM) 947) and flax (cvs McGregor and Vimy) as affected by nitrogen and phosphorus fertiliser and Provide (Penicillium bilaji). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80 (12): 1735-1743.
- Greger, M. & Lofstedt, M. (2004) Comparison of uptake and distribution of cadmium in different cultivars of bread and durum wheat. *Crop Science*, 44 (2): 501-507.
- He, Q. B. & Singh, B. R. (1995) Cadmium Availability to Plants as Affected by Repeated Applications of Phosphorus Fertilizers. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 45 (1): 22-31.
- Hooda, P. S. & Alloway, B. J. (1996) The effect of liming on heavy metal concentrations in wheat, carrots and spinach grown on previously sludge-applied soils. *Journal of Agricultural Science*, 127: 289-294.
- Krebs, R., Gupta, S. K., Furrer, G. & Schulin, R. (1998) Solubility and plant uptake of metals with and without liming of sludge-amended soils. *Journal of Environmental Quality*, 27 (1): 18-23.
- Kubo, K., Watanabe, Y., Oyanagi, A., Kaneko, S., Chono, M., Matsunaka, H., Seki, M. & Fujita, M. (2008) Cadmium concentration in grains of Japanese wheat cultivars genotypic difference and relationship with agronomic characteristics. *Plant Production Science*, 11 (2): 243-249.
- Kuboi, T., Noguchi, A. & Yazaki, J. (1986) Family-dependent cadmium accumulation characteristics in higher plants. *Plant and Soil*, 92: 405-415.
- Lehoczky, E., Marth, P., Szabados, I. & Szomolanyi, A. (2000) The cadmium uptake by lettuce on contaminated soils as influenced by liming. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31 (11-14): 2433-2438.
- Li, Y. M., Chaney, R. L., Schneiter, A. A. & Johnson, B. L. (1996) Effect of field limestone applications on cadmium content of sunflower (*Helianthus annuus* L.) leaves and kernels. *Plant and Soil*, 180 (2): 297-302.
- Li, Y. M., Chaney, R. L., Schneiter, A. A. & Miller, J. F. (1995) Genotypic Variation in Kernel Cadmium Concentration in Sunflower Germplasm under Varying Soil-Conditions. *Crop Science*, 35 (1): 137-141.
- Li, Y. M., Chaney, R. L., Schneiter, A. A., Miller, J. F., Elias, E. M. & Hammond, J. J. (1997) Screening for low grain cadmium phenotypes in sunflower, durum wheat and flax. *Euphytica*, 94 (1): 23-30.
- McLaughlin, M. J. & Singh, B. (1999). *Cadmium in soils and plants: Kuwer Academic Publishers*).
- Mitchell, L. G., Grant, C. A. & Racz, G. J. (2000) Effect of nitrogen application on concentration of cadmium and nutrient ions in soil solution and in durum wheat. *Canadian Journal of Soil Science*, 80 (1): 107-115.
- Narwal, R. P. & Singh, B. R. (1998) Effect of organic materials on partitioning, extractability and plant uptake of metals in an alum shale soil. *Water Air and Soil Pollution*, 103 (1-4): 405-421.
- Oliver, D. P., Tiller, K. G., Conyers, M. K., Slattery, W. J., Alston, A. M. & Merry, R. H. (1996) Effectiveness of liming to minimise uptake of cadmium by wheat and barley grain grown in the field. *Australian Journal of Agricultural Research*, 47 (7): 1181-1193.
- Ram N., Verloo M. (1985) Influence of organic materials on the uptake of heavy metals by corn in a polluted Belgian soil, *Pedologie*, XXXV-2, 147-153.

- Sappin-Didier V., Brayette S., Jadé C., Baize D., Masson P., Mench M. (2002) Phytodisponibilité du cadmium pour le blé. Rôles des paramètres pédologiques et agronomiques. In Les éléments traces dans les sols ; Baisez D. et Tercé M. Ed. INRA Editions, 481-504.
- Smolders, E. (2001) Cadmium uptake by plants. International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health, 14 (2).
- Tani, F. H.& Barrington, S. (2005) Zinc and copper uptake by plants under two transpiration rates. Part I. Wheat (*Triticum aestivum* L.). Environmental Pollution, 138 (3): 538-547.
- Tyler, G.& Olsson, T. (2001) Plant uptake of major and minor mineral elements as influenced by soil acidity and liming. Plant and Soil, 230 (2): 307-321.
- Varo P., Lahelma O., Nuurtano M. Saari E., Koivistoinen P.(1980) Acta Agric. Scand. Suppl. 22, 27.
- Vinkel, B. (2001). Analyse de la composition en éléments traces dans le grain de variétés de blé - Programme QUASAR, ISPED: 86.
- Wiersma, D., van Goor, B. J.& van der Veen, N. G. (1986) Cadmium, lead, mercury, and Arsenic concentrations in Crops and Corresponding Soils in the Netherlands. Journal Agric Food Chem., 34 (6): p 1067-1074.
- Wolnik, K. A., Fricke, F. L., Capar, S. G., Braude, G. L., Meyer, M. W., Satzger, R. D.& Bonnin, E. (1983) Elements in Major Raw Agricultural Crops in the United-States .1. Cadmium and Lead in Lettuce, Peanuts, Potatoes, Soybeans, Sweet Corn, and Wheat. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 31 (6): 1240-1244.
- Wolnik, K. A., Fricke, F. L., Capar, S. G., Meyer, M. W., Satzger, R. D., Bonnin, E.& Gaston, C. M. (1985) Elements in major raw agricultural crops in the United States. 3. Cadmium, lead, and eleven other elements in carrots, field corn, onions, rice, spinach, and tomatoes. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 33 (5).