

# Raisonner les apports d'amendements organiques pour limiter les risques de pollution par les éléments traces

Alain Bardet (Ctifl) [bardet@ctifl.fr], Dominique Berry (SERAIL) [berry.serail@wanadoo.fr]

## Introduction

Les problématiques d'apport d'éléments traces (ET) au sol par les intrants organiques et de leur transfert dans les espèces cultivées sont anciennes ; elles ont suscité des travaux divers mais restent d'actualité avec l'apparition sur le marché des produits organiques d'origine variée. L'étude dont les résultats sont présentés ici est réalisée en partenariat ADEME-Ctifl-SERAIL. Elle est une poursuite du travail en culture de légumes amorcé par J. Le Bohec *et al.* en 1980-1986 sur le site Ctifl de Carquefou. Ces résultats sont également publiés dans Info-Ctifl de mai 2003, accompagné d'une synthèse sur les éléments traces dans les amendements, les sols et les végétaux.

## Méthodologie

Les essais sont conduits sur deux sites sous la forme de blocs de Fischer à 3 répétitions :

En Rhône-Alpes à la station SERAIL sur un dispositif permanent mis en place en 1995 avec une modalité témoin sans apport organique et 5 amendements :

- 28 t/ha de fumier frais de bovin (6,7 t/ha de MS),
- 8 t/ha de fumier de bovin déshydraté (granulé, 6.8 t/ha de MS),
- 26 t/ha de compost de déchets verts périurbains (14,5 t/ha de MS),
- 26 t/ha de compost d'écorce de feuillus + fumier volaille, lisier et algues (17 t/ha de MS),
- 11,7 t/ha compost de tourteau de café + chiquette et fumier de mouton (8 t/ha de MS) ;

En Aquitaine au centre Ctifl de Lanxade sur un dispositif mis en place en 2000 avec une modalité témoin sans apport organique et 4 amendements :

- 60 t/ha de fumier frais de bovin (13 t/ha de MS),
- 18 t/ha de compost de tourteau de café, chiquettes et fumier de mouton,
- 21 t/ha de compost végétal enrichi avec tourteaux, guano, vinasse (17 t/ha de MS),
- 41 t/ha de compost de déchets verts périurbains.

La texture des sols des 2 sites est assez proche, sablo-limoneux avec 14 à 18 % d'argile à la SERAIL et sablo-limoneux à Lanxade. Les cultures légumières de référence de la campagne 2001 sont Laitue et Epinard dans le Rhône et Laitue (2 rotations) en Dordogne.

Les analyses des éléments traces ont été réalisées par les laboratoires INRA d'Arras pour les sols ayant reçu ou non les apports d'amendements, et INRA de Bordeaux pour les produits organiques et les plantes à la récolte.

## Principaux résultats

### **Teneur en éléments traces des produits organiques**

Pour les intrants organiques (2000 et 2001) de la SERAIL, les analyses en ET (tableau 1) ne décèlent aucun dépassement des valeurs limites envisagées par les futures normes amendements organiques de l'AFNOR. Par contre on observe des dépassements par rapport aux préconisations de l'ECOLABEL européen pour le compost d'écorce et de bois (Zn et Cu en 2000, Cu, Cd, Cr et Ni en 2001), pour le compost de déchets verts en 2001 (Cd, Cr, Ni) et pour le compost tourteaux café en 2000 (Zn). On remarque également les variations importantes entre années pour un même produit, phénomène qui milite pour un renouvellement régulier des analyses d'ET.

Les seuils des normes AFNOR sont également respectés pour les produits organiques du Ctifl (tableau 2) mais certaines teneurs sont supérieures aux préconisations de l'ECOLABEL, en cuivre pour le compost de tourteaux de café et en plomb pour le compost de déchets verts.

### **Teneur en éléments traces dans les sols**

La mesure des ET dans les sols permet de juger des risques d'accumulation à moyen terme engendrés par des apports répétés (SERAIL, 6 années) et de l'effet de l'apport de l'année au regard du témoin non amendé (Lanxade). Aucun dépassement des seuils de toxicité et de tolérance n'est observé après 6 années d'apport à la SERAIL, quel que soit l'amendement (tableau 3). L'apport des différents amendements à l'exception du fumier tend à une augmentation des concentrations en éléments traces (hormis le mercure et l'arsenic).

Les teneurs en ET de la parcelle d'essai Ctifl (tableau 4) sont faibles, et seul le cuivre dépasse légèrement les valeurs moyennes maxi observées par ailleurs. L'apport des produits organiques a engendré au regard du témoin une augmentation, d'ampleur variable selon l'élément et l'amendement, de la teneur en ET du sol (horizon supérieur) :

- en cuivre, cadmium et mercure dans le cas du fumier,
- en mercure, cuivre, arsenic et cadmium pour le compost de tourteaux de café,
- en cadmium, cuivre, mercure et plomb pour le compost végétal enrichi,
- en arsenic, cadmium, mercure et cuivre pour le compost de déchets verts.

Les teneurs en chrome, nickel et plomb n'ont pas varié.

## **Teneur en éléments traces dans les plantes**

Si aucun effet dépressif imputable aux ET n'a été observé sur les cultures, les analyses des plantes révèlent toutefois des concentrations en ET influencées par l'apport du produit organique. Il existe des valeurs seuil réglementaires uniquement pour le cadmium, le mercure et le plomb : respectivement 0,2, 0,03 et 0,5 mg par kilogramme de matière brute en salade et épinard. Dans les tableaux 5 et 6 la colonne « valeur courante » présente la fourchette des concentrations en ET couramment observées en légumes feuilles.

A la SERAIL, en culture de laitue (tableau 5) le compost d'écorce et de bois a un effet très marqué sur la concentration en chrome et nickel (+ 150 % par rapport au témoin), en plomb (+ 50 %) et mercure (+ 30 %). Le compost de tourteaux de café provoque une augmentation du nickel (+ 100 %), alors que les autres amendements n'ont pas d'effet.

En culture d'épinard (tableau 6) c'est surtout le compost de déchets verts qui se distingue avec une très forte augmentation des concentrations dans les plantes du chrome et du nickel (+ 350 %), du plomb (+ 75 %), du zinc (+ 50 %), du mercure (+ 50 %) et du cuivre (+ 40 %). Le compost d'écorce induit ici les mêmes effets que sur laitue. Les composts végétaux ont l'influence la plus marquée. Bien que cultivé après la laitue, l'épinard a des concentrations en ET supérieures, qui peuvent s'expliquer pour partie par une affinité plus forte et pour partie peut-être par une disponibilité plus grande des ET du sol en automne.

Au Ctifl (tableau 7) les valeurs des ET analysés sur les laitues en fin de première culture dans le cas du témoin et des différentes modalités produits organiques sont dans la fourchette «valeur courante» ou très proche pour le cadmium dans le cas du compost de tourteaux de café et du compost végétal enrichi.

Le prélèvement d'un ET par la plante ne dépend pas uniquement de la concentration de l'amendement ou du sol en cet ET. Le phénomène est variable selon l'élément. On peut supposer que le degré de fixation par le sol, ou à l'inverse la grande solubilité et donc les risques de lessivage, peuvent faire varier sa bio-disponibilité.

## **Conséquences sur la gestion des apports**

L'ensemble des résultats obtenus fait ressortir l'augmentation effective de la concentration en ET des sols, de façon variable selon les éléments, l'amendement considéré et l'apport (dose et cumul dans le temps). Dans nos essais les seuils sol ne sont pas dépassés et les teneurs dans les plantes sont très en deçà des seuils de toxicité. Par contre les quantités d'amendements apportés génèrent des flux d'ET dont les niveaux sont aujourd'hui soumis à des recommandations et seront prochainement intégrés à la réglementation des produits organiques.

### **Flux annuels maximum**

Le flux moyen correspond à la quantité moyenne annuelle de chacun des ET fournis par les différents

amendements. Ces flux moyens annuels sont comparés à des flux maximum annuels (moyenne sur 10 ans) recommandés par la procédure d'homologation de la CMFSC (MAP 2000).

Dans le cas de l'essai SERAIL deux amendements dépassent nettement les flux maxi annuels : le compost d'écorce pour les flux de zinc, de cuivre, de cadmium, de chrome et de nickel, et le compost de déchets verts pour les flux de chrome et de nickel (tableau 8).

Dans l'essai Ctifl des dépassements des flux maxi sont observés (tableau 9) :

- de façon importante pour le chrome, le plomb, le zinc, le nickel et en moindre mesure pour le cadmium avec le compost de déchets verts,
- de manière assez conséquente en cuivre avec le compost de tourteaux de café,
- très légèrement pour le chrome et le nickel avec le compost végétal enrichi.

### **Conséquences sur les apports annuels maximum**

Dans le cas des produits de l'essai Ctifl, les quantités maximales annuelles à ne pas dépasser sont, par rapport à la matière brute :

- 86 t/ha de fumier,
- 12 t/ha de compost de tourteaux de café,
- 18 t/ha de compost végétal enrichi
- 8 t/ha de compost de déchets verts.

On trouve dans les composts végétaux des deux essais (compost d'écorce, composts de déchets verts, compost végétal enrichi) des concentrations supérieures aux recommandations pour certains ET. Ceci engendre des flux importants en zinc, cuivre, cadmium, chrome, nickel et plomb et induit la nécessité de réduire les doses annuelles d'apport de ces produits afin de limiter l'accumulation dans les sols et les risques de prélèvements par les plantes.

## **Conclusion**

La teneur en éléments traces des produits organiques doit être connue, de même qu'il serait souhaitable de connaître la richesse de sa parcelle en ces éléments, de façon à éviter les risques d'accumulation par des apports excessifs. Les produits organiques, quels qu'ils soient, contiennent en quantité variable des éléments traces. Leur absorption par les plantes est fonction de l'espèce et de leur bio-disponibilité généralement plus grande en condition de sol acide [dans ces essais le pH était de 6,9 aussi bien au Ctifl qu'à la SERAIL, avec une influence des amendements sur ce pH : minimum de 6,65 pour le fumier déshydraté et maximum de 7,15 pour le compost de déchets verts (en 2001 à la SERAIL)]. Dans nos conditions d'expérimentation, parcelles peu chargées en ET et flux d'ET dépassant pour certains apports organiques la tolérance, la concentration des ET dans les laitues issues des parcelles avec produits organiques tend à dépasser la concentration des témoins mais reste à un niveau normal par rapport aux références bibliographiques. La tendance est semblable dans le cas des épinards avec toutefois un dépassement non négligeable

(+ 75 %) de la teneur en chrome pour la modalité compost de déchets verts.

La conséquence directe à court terme de la présence d'éléments traces dans les amendements est la

restriction potentielle des quantités annuelles apportées pour respecter les flux maximum recommandés.

**Tableau 1 :** Teneurs en ET des amendements SERAIL, valeurs 2000 (celles de gauche) et 2001 (celles de droite)

	Valeur limite NFU 44-095*	Concentration en mg/kg de MS					Préconisations ECOLABEL
		Fumier	Fumier transformé	Compost déch. verts	Compost écorce bois	Compost tourteaux café	
Cadmium	3	0,25-0,33	0,26-0,36	0,67-1,05	0,97-1,13	0,385-0,66	1
Chrome	120	6,4-5,4	9,5-15,3	76,6-103	92,1-105	47,7-38,1	100
Cuivre	300	11,1-34,3	28,6-28,9	40,7-68,1	227-105	33,2-35,1	100
Nickel	60	3,9-3,8	6,7-11,2	37,8-62,7	43,4-64,2	15,7-17,5	50
Plomb	180	2-3,24	1,9-3,1	35,1-66,1	57-32,3	2,3-3	100
Zinc	600	48,1-128	126-85,6	132-141	368-285	141-305	300
Mercure	2	0,034-0,117	0,021-0,027	0,13-0,16	0,154-0,08	0,02-0,02	1
Sélénium	12	0,1-0,26	0,1-0,14	0,1-0,1	0,1-0,12	0,1-0,1	1,5

\* et future NFU 44-051

**Tableau 2 :** Teneurs en ET des amendements Ctifl 2001

	Valeur limite* NFU 44095	Concentration en mg/kg de MS				Préconisations ECOLABEL
		Fumier frais	Compost tourteau café	Compost végétal enrichi	Compost déchets verts	
Cadmium	3	0,47	0,22	0,844	0,914	1
Chrome	120	14,8	28,9	37,6	57,4	100
Cuivre	300	55,5	<b>103,0</b>	54,9	35,0	100
Nickel	60	16,4	16,8	19,7	35,0	50
Plomb	180	3,89	3,24	3,71	<b>171,0</b>	100
Zinc	600	157,0	69,0	116,0	175,0	300
Mercure	2	0,07	0,031	0,019	0,108	1
Sélénium	12	0,204	0,1	0,1	0,1	1,5

\* et future NFU 44-051

**Tableau 3 :** Concentration en ET des sols SERAIL après 6 années d'apports (en mg/kg de sol)

	Seuil de tolérance*	Témoïn	Fumier	Fumier transformé	Compost déch. verts	Compost écorce bois	Compost tourteaux café	Seuil de toxicité*
Cadmium	0,45	0,15	0,18	0,16	0,2	0,19	0,13	2,5
Chrome	90	30	28,8	31,9	34,6	35,6	27,3	75
Cuivre	20	13,7	13,3	15,6	19,1	19,2	12,8	100
Nickel	60	14	13,1	14,7	15,8	16,6	12,5	25
Plomb	50	38,9	38,1	40,3	44	49,1	43,3	50
Zinc	100	48,2	47,8	55,6	70,1	62,1	45,2	70
Mercure	0,2	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,3
Sélénium	0,7	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14	< 0,1	5
Arsenic	25	18,42	17,01	15,76	11,33	20,01	15,48	85

**Tableau 4 :** Concentration en ET dans les sols Ctifl (en mg/kg de sol)

	Seuil de tolérance*	Teneur avant apport	Teneur fin culture					Seuil de toxicité*
			Témoïn	Fumier frais	Compost tourteau café	Compost végétal enrichi	Compost d. verts	
Cadmium	0,45	0,1	0,12	0,16	0,15	0,17	0,16	2,5
Chrome	90	41,5	23,6	43,0	41,2	43,1	39,5	75
Cuivre	20	26,4	23,3	38,2	35,2	35,6	34,3	100
Nickel	60	15,3	10,6	15,4	16,1	16,2	14,9	25
Plomb	50	24,2	24,6	27,1	27,5	29,7	28,0	50
Zinc	100	60,1	39,0	64,0	66,3	68,0	61,9	70
Mercure	0,2	0,0	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04	0,3
Sélénium	0,7	0,1	0,1	0,15	0,14	0,15	0,15	5
Arsenic	25	5,4	5,2	6,42	6,98	8,19	8,64	85

\* synthèse de données bibliographiques

**Tableau 5 : Teneurs ET sur laitues - SERAIL (en mg/kg sec)**

	Valeurs courantes*	Témoïn	Fumier	Fumier transformé	Compost déch. verts	Compost écorce bois	Compost tourteaux café
Cadmium	0,1 à 0,4	0,36	0,35	0,32	0,24	0,27	0,34
Chrome	0,1 à 2	<b>7,29</b>	<b>5,72</b>	<b>8,66</b>	<b>8,40</b>	<b>20,8</b>	<b>15,9</b>
Cuivre	3 à 20	7,19	6,45	7,06	7,15	6,15	7,19
Nickel	0,1 à 1	<b>3,89</b>	<b>3,06</b>	<b>4,65</b>	<b>4,54</b>	<b>11,5</b>	<b>8,85</b>
Plomb	2 à 5	2,18	2,23	2,25	1,89	3,88	1,24
Zinc	69	39,4	31,5	30,6	40,4	35,5	38,5
Mercure	0,001 à 0,04	0,011	0,018	0,001	0,007	0,015	0,010
Sélénium	0,01 à 2	< 0,1	< 0,1	0,142	0,11	0,15	< 0,1

\* valeur moyenne normalement observée sur laitue ou feuille de légumes

**Tableau 6 : Teneurs en ET sur épinards - SERAIL (en mg/kg sec)**

	Valeurs courantes	Témoïn	Fumier	Fumier transformé	Compost déch. verts	Compost écorce bois	Compost tourteaux café
Cadmium	0,1 à 0,4	<b>0,59</b>	<b>0,48</b>	<b>0,56</b>	<b>0,46</b>	<b>0,34</b>	<b>0,51</b>
Chrome	0,1 à 2	<b>7,58</b>	<b>15,8</b>	<b>12,8</b>	<b>28,9</b>	<b>17,5</b>	<b>15,8</b>
Cuivre	3 à 20	11,3	11,9	11,9	12,8	11,5	11,6
Nickel	0,1 à 1	<b>4,37</b>	<b>8,75</b>	<b>7,33</b>	<b>17</b>	<b>9,62</b>	<b>8,16</b>
Plomb	2 à 5	2,94	3,18	1,84	4,21	3,33	2,73
Zinc	69	<b>87,9</b>	<b>105</b>	<b>112</b>	<b>106</b>	<b>102</b>	<b>116</b>
Mercure	0,001 à 0,04	0,025	0,029	0,025	0,031	0,029	0,028
Sélénium	0,01 à 2	0,12	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

**Tableau 7 : Teneurs en ET sur laitue - Ctifl (en mg/kg sec)**

	Valeurs courantes	Témoïn	Fumier frais	Compost tourteau café	Compost végétal enrichi	Compost déchets verts
Cadmium	0,1 à 0,4	0,33	0,38	<b>0,41</b>	0,38	<b>0,43</b>
Chrome	0,1 à 2	1,03	0,96	0,81	1,63	0,93
Cuivre	3 à 20	10,41	9,65	8,77	12,15	8,42
Nickel	0,1 à 1	0,72	0,62	0,53	0,98	0,57
Plomb	2 à 5	0,78	0,31	0,45	0,65	0,38
Zinc	69	40,65	38,05	38,3	48,30	46,25
Mercure	0,001 à 0,04	0,008	0,007	0,007	0,007	0,007
Sélénium	0,01 à 2	/	/	/	/	/

**Tableau 8 : Flux d'ET moyen annuel des apports 2000 et 2001 - site SERAIL (en g/ha)**

	flux maxi annuel	Fumier	Fumier transformé	Compost déch. verts	Compost écorce bois	Compost tourteaux café
Cadmium	15	1,9	2,0	14,6	<b>17,2</b>	4,4
Chrome	600	40,8	81,7	<b>1546</b>	<b>1609</b>	367
Cuivre	1000	145	187	915	<b>2775</b>	292
Nickel	300	26,4	59,4	<b>846</b>	<b>874,2</b>	142
Plomb	900	17,4	16,4	841	742,5	22,8
Zinc	3000	568	684	2403	<b>5389</b>	1902
Mercure	10	0,5	0,2	2,5	2,0	0,2
Sélénium	60	1,2	0,6	0,8	1,3	0,7

**Tableau 9 : Flux d'ET moyen annuel -site Ctifl (en g/ha).**

	flux maxi annuel	Fumier frais	Compost tourteau café	Compost végétal enrichi	Compost d. verts
Cadmium	15	5,9	3,2	14,7	<b>23,6</b>
Chrome	600	186	423	<b>654</b>	<b>1483</b>
Cuivre	1000	699	<b>1509</b>	955	904
Nickel	300	207	246	<b>343</b>	<b>904</b>
Plomb	900	49	47	65	<b>4417</b>
Zinc	3000	1978	1011	2017	<b>4520</b>
Mercure	10	0,9	0,5	0,3	2,8
Sélénium	60	2,6	1,5	1,7	2,6