

MÉTAUX LOURDS DANS LA MATIÈRE FERMENTESCIBLE VÉGÉTALE D'ORDURES MÉNAGÈRES MAROCAINES

El Maati Naifar*, Jean-Louis Pineau**, Taïb Marghiche*** et Ahmed El Yahyaoui****
École nationale de l'industrie minérale (Rabat Agdal, Maroc) - LEM ENS - BRPM (Rabat, Maroc) - Laboratoire de radiochimie (Rabat, Maroc)

Les teneurs en plomb, inférieures à 6 mg/kg matière sèche (m.s), des végétaux rejetés dans des ordures ménagères de l'agglomération de Rabat (Maroc), sont nettement plus faibles que celles données dans la littérature, supérieures à 80 mg/kg m.s. La répartition du plomb suivant les végétaux dépend d'un comportement physiologique propre au végétal puisqu'une relation linéaire entre les teneurs en plomb, zinc, chrome exprimées en mg/kg explique pour partir les teneurs en cendres exprimées en pourcent. De plus, certains végétaux tel que le persil ont des teneurs en plomb du même ordre de grandeur que la limite de concentration acceptable pour une mise sur le marché, donnée par le Conseil supérieur d'hygiène publique de France

Lead contents inferior at 6 ppm of dry matter (d.m) of wasted vegetals in garbage of Rabat (Morocco) are less than that given in literature, over 80 ppm d.m. The lead distribution according to vegetals depends on the physiological behaviour. In fact a linear relation between lead, zinc, chromium having low contents in ppm explains the ash content given in percent. Moreover some plants as parsily have a grade of lead approaching the limit of the acceptable concentration for saling according to the rules given by the french higher committee of health.

Les ordures ménagères (OM) du Maroc sont constituées pour les 2/3 de matières fermentescibles et le traitement généralement retenu est le compostage [Bennani, 1987]. Comme d'une part la matière fermentescible et les fines constituent la matière première à l'origine du compost obtenu à partir d'un compostage classique des OM et que d'autre part le plomb est un métal réputé toxique, présent dans les composts européens avec des teneurs élevées de l'ordre de 500 mg/kg de matière sèche (m.s.), une reconnaissance du comportement de cette matière première en relation avec ce métal a été menée avec des essais de lixiviation. Les concentrations en plomb des lixiviats ont été en moyenne de 0,7 mg/l [Naifar, 1996] qui est une valeur élevée. Cette quantité non négligeable de plomb qui provient d'une matière fermentescible extraite manuellement d'OM fraîches et

des fines (-2 cm) obtenues lors du tri sur un crible constitue un frein à l'application du compostage à l'ensemble des OM, inertes inclus. En effet, 90 % du plomb des OM en France se trouve dans les inertes [Ademe, 1996]. En partant de l'article de Morvan [Morvan et al., 1995] sur ce sujet dans lequel l'auteur explique des teneurs de 300 mg/Kgm.s. en plomb de composts avec une teneur en plomb de 170 mg/Kg m.s de la matière fermentescible qu'il a étudiée, nous avons orienté notre travail vers l'analyse individuelle des différents végétaux rejetés dans les OM de Rabat. Nous avons dosé en plus le cuivre, le zinc et le chrome dont les teneurs avec celle du plomb sont souvent données dans la littérature. Dans une première partie nous présentons les résultats de l'étude bibliographique, dans une deuxième partie les résultats de notre étude expérimentale.

ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES MÉTAUX DU COMPOST ET DES VÉGÉTAUX

Nous présentons les résultats des études bibliographiques sur les teneurs des 4 métaux dans différents composts, sur la répartition de ces métaux dans des végétaux et sur les conséquences de l'utilisation du compost.

Les métaux lourds dans le compost d'ordures ménagères

C'est une étude statistique descriptive menée sur 24 analyses de composts français, allemands, belges, italiens et chinois, correspondant à la période 1975-1985 données dans la synthèse bibliographique de Lineres [Lineres, 1989] complétées par quelques analyses données dans d'autres articles [Anred, 1980] [Morvan et al., 1995].

Les histogrammes des teneurs des métaux

Les histogrammes de la figure 1 décrivent la distribution des teneurs (mg/Kg m.s.) des métaux des composts dont la synthèse est donnée dans le tableau 1.

Comme aucun des histogrammes n'est de type gaussien, la description la plus sûre est la définition des classes modales avec les valeurs minimales et maximales.

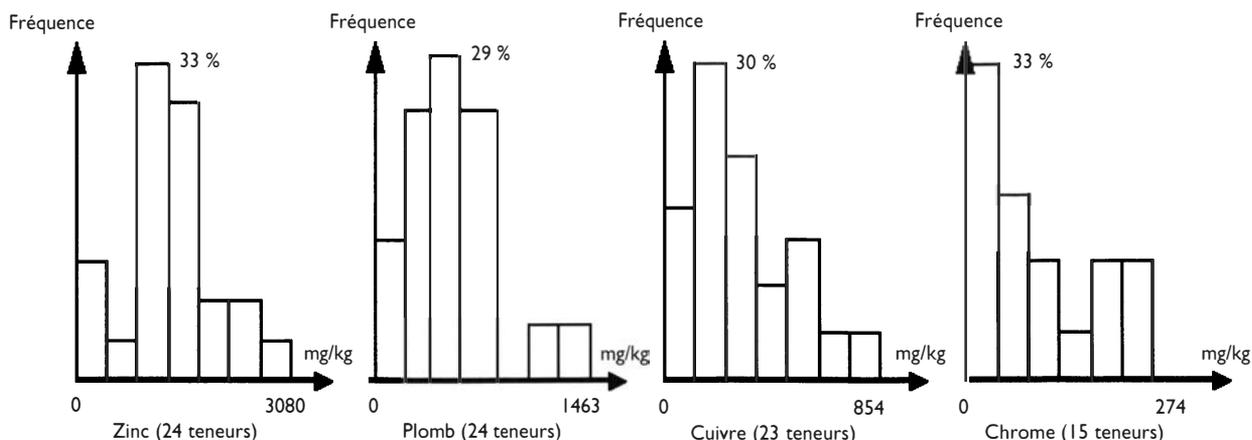


Figure 1 : Histogrammes des métaux dans les composts

Tableau 1 : Teneurs en métaux de différents composts						
Métal	Nombre d'analyses	Nombre de classes	Classe modale	Pourcentage de classe	Valeur minimale	Valeur maximale
Zn	24	7	800-1800	60	185	2830
Pb	24	7	200-800	80	26	1280
Cu	23	7	0-400	70	13	745
Cr	15	6	0-90	50	7	235

Bien qu'il y ait une forte dispersion, il n'a pas été possible de montrer que la dispersion des résultats est liée à une origine géographique, à la date du compostage, à la durée du compostage. La dispersion apparaît plus liée à la matière première. Comme les végétaux alimentaires sont *a priori* globalement les mêmes pour tous les pays, nous regroupons toutes les données afin de mettre en évidence de façon plus sûre des liaisons entre les métaux dont le résultat de l'étude est donné ci-après.

La liaison entre les métaux

La liaison la plus simple est l'approximation linéaire. 14 observations regroupant les 4 métaux ont permis d'établir la matrice de corrélation donnée dans le tableau 2. Nous remarquons une forte corrélation entre le cuivre, le plomb et le zinc avec un coefficient de corrélation de 0,8, soit une part explicative de la dispersion des teneurs d'un métal par celles d'un des deux autres de 2/3 environ. Le chrome a une position marginale.

Comme le cuivre, le zinc et le plomb sont en commun dans 9 autres analyses dans lesquelles ne figure pas le chrome, l'étude précédente de la liaison est complétée par celle des 3 métaux à partir des 23 analyses. Le tableau 3 dans lequel figurent les nouveaux coefficients de corrélation, ne confirme pas les résultats précédents. Seule la liaison cuivre/zinc reste relativement forte.

Le coefficient de corrélation Cu/Zn n'est plus que de 0,70, soit une part explicative réduite à 50 %. La figure 2 décrit cette relation.

Nous complétons cette étude avec celle sur la répartition relative de ces 3 métaux dans certains végétaux.

Tableau 2 : Matrice de corrélation des métaux de différents composts				
	Zn	Pb	Cu	Cr
Zn	1,00			
Pb	0,82	1,00		
Cu	0,81	0,81	1,00	
Cr	0,52	0,48	0,53	1,00

Tableau 3 : Matrice du Zn, Pb, Cu dans différents composts			
	Zn	Pb	Cu
Zn	1,00		
Pb	0,54	1,00	
Cu	0,71	0,53	1,00

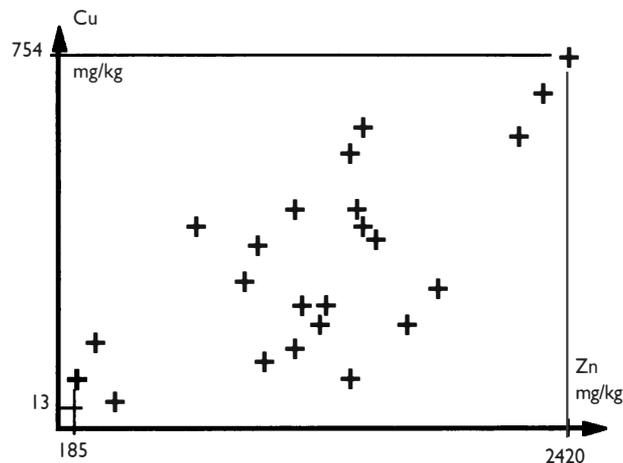


Figure 2 : Relation Cu/Zn pour différents composts

Etude de la répartition du zinc, cuivre et plomb dans des végétaux

La figure 3 décrit la relation du cuivre et du zinc en fonction de la partie analysée du végétal [Bauvois et al, 1994], [Kovacs et al, 1994], [Schwartz et al, 1995].

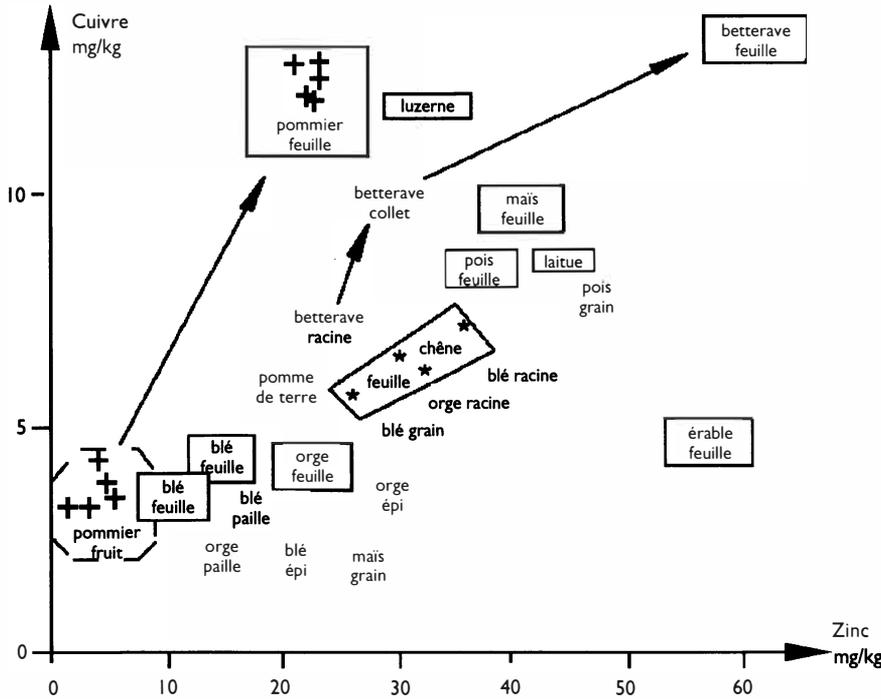


Figure 3 : Diagramme Cu/Zn dans les végétaux

De ce diagramme, excepté le cas de la feuille d'érable, il ressort que le cuivre est légèrement lié positivement au zinc confirmant la corrélation du tableau 3. L'influence réelle de la partie de la plante sur les variations des teneurs de ces 2 métaux pour les différents végétaux n'est pas significative. Concernant ce point, la différence de répartition apparaît avec le plomb (tableau 4). Les feuilles des différents végétaux ont les teneurs les plus élevées, proches, comprises entre 2,5 et 4,6 mg/kg alors que les teneurs des autres parties de la plante varient fortement d'un végétal à l'autre mais restent inférieures à celle de la feuille.

En conclusion, il existe une relation globale cuivre/zinc et une concentration en plomb dans les feuilles. Dans la partie suivante, nous donnons les conclusions de quelques études

Tableau 4 - Répartition du plomb dans des végétaux

Végétal	Parties plante	mg Pb/Kg m.s.	Feuille mgPb/Kg m.s.
Betterave	racine	1,44	4,51
	collet	2,83	
Maïs	grain	2,29	4,63
Pois ¹	grain	1,44	4,59
Pommier ²	fruit	0,194	2,60
	fruit	0,211	2,53
	fruit	0,199	2,61
	fruit	0,231	3,04
	fruit	0,264	3,37
Blé ³	racine	0	3,91
	paille	0	
	épi	0	
Orge	racine	0	3,14
	paille	0	
	épi	0	

1. Bauvois et al, 1994 2. Pinamonti et al., 1997 3. Kovacs M et al, 1994

menées sur la conséquence de l'utilisation du compost.

Les conséquences de l'utilisation du compost

Le tableau 5 décrit le sens de la variation des teneurs en métaux des végétaux étudiés [Lineres, 1989] cultivés sur du compost soit mis en pot, soit étendu en plein champ.

D'après le tableau 5, le zinc est le métal le plus facilement concentrable, vient ensuite le cuivre, puis le plomb. Le chrome est pratiquement indifférent. Ces conclusions sont légèrement différentes de celles des tableaux 6a et 6b qui donnent les teneurs en métaux dans les feuilles et les fruits de pommiers en fonction du type de sol. [Pinamonti et al., 1997].

Le sol qui n'a pas reçu de compost et qui sert de référence à la dénomination *control*. Les autres sols ont reçu soit 80 t, soit 160 t de compost à l'hectare. Sb est un compost de boues et d'écorces,

Tableau 5 : Variations des teneurs

	Pots				Plein champ			
	nbre observ.	augm. teneur	dimin. teneur	même teneur	nbre observ.	augm. teneur	dimin. teneur	même teneur
	Zn	36	81	0	19	37	81	0
Pb	33	36	6	58	27	33	4	63
Cu	33	64	6	30	33	58	0	42
Cr	19	21	0	79	18	22	0	78

Tableau 6a : Teneurs des feuilles et fruits de pommiers en fonction du sol

Type de sol	Zc		Pb		Cu		Cr	
	mg/Kg	m.s.	mg/Kg	m.s.	mg/Kg	m.s.	mg/Kg	m.s.
Control	23,0	3,53	2,60	0,194	12,9	3,46	0,75	0,136
Sb80	22,4	3,14	2,53	0,211	12,8	3,30	0,82	0,144
Sb160	22,9	3,41	2,61	0,199	13,0	3,05	0,89	0,136
Sw80	21,0	3,63	3,04	0,231	13,2	3,73	0,92	0,183
Sw160	23,4	3,81	3,37	0,264	12,1	3,59	0,95	0,204

Tableau 6b : Composition des sols

Sol	Zn mg/Kg m.s.	Pb mg/Kg m.s.	Cu mg/Kg m.s.	Cr mg/Kg m.s.
Control	107	53,0	37,1	30,5
Sb80	128	52,2	40,6	29,0
Sb160	135	54,3	45,7	34,3
Sw80	143	74,3	48,5	35,0
Sw160	172	84,6	54,0	42,9

sw est un compost d'ordures ménagères. Les analyses des sols sont données dans le tableau 6b.

Il y a un accroissement des teneurs des 4 métaux dans les pommes. Les accroissements relatifs les plus importants ont lieu avec le chrome avec plus de 100 % et le plomb avec 60 % environ. L'accroissement de la teneur dans les feuilles n'a lieu qu'avec ces métaux avec 50 et 65 % respectivement. Cette remarque sur ce comportement différentiel figure dans le texte de Bauvois [Bauvois et al, 1994]. Il est évident que plus il y a du plomb dans les sols, en particulier avec l'utilisation de compost d'ordures ménagères, plus la possibilité d'une concentration de ce métal dans les végétaux alimentaires sera effective d'une part et différente suivant la partie de la plante, indépendamment du statut du métal dans le sol et de l'importance de la barrière géochimique d'autre part.

Comme les 2/3 des OM marocaines sont de la matière fermentescible, que cette matière présente de fortes teneurs en métaux lourds d'après le tableau 7, que nous avons trouvé des quantités non négligeables de zinc et de plomb dans le lixiviat d'un mélange de matières fermentescibles et de fines issues d'un tri d'OM de trois secteurs de l'agglomération de Rabat (tableau 8) et qu'enfin nous n'avons pas trouvé d'analyses propres à chacun des constituants de la matière fermentescible, nous avons étudié la répartition métal dans les constituants de la matière fermentescible végétale pour comprendre l'origine des métaux.

Tableau 7 : Analyse de matières premières du compost

Origine matières	Zn mg/Kg m.s	Pb mg/Kg m.s	Cu mg/Kg m.s	Cr mg/Kg m.s
Espagne ¹	169	87	42	40
France ²	83 (p.r.50 %)	170 (p.r.50 %)	17 (p.r.100 %)	6 (p.r.100 %)
Suisse ³	74	235	24	-

1. Van de Kerkhove, 1990 2. Morvan, 1997 (p.r. : précision relative)
3. Maystre et al. 1994

Tableau 8 : Concentration en Zn et Pb de lixiviats [Naifar, 1996]

	Zn mg/l	Pb mg/l
Centre Rabat	4,27	0,81
Ryad	4,2	0,7
Hajja	2,6	0,6

pulpe 38 % solide (mélange matière fermentescible + fines), 3j. de lixiviation

ÉTUDE DES MÉTAUX DANS LES CONSTITUANTS DE LA MATIÈRE FERMENTESCIBLE VÉGÉTALE

La matière fermentescible provient de 3 échantillons de 100 kg environ chacun, prélevés dans les 3 secteurs précédents

de l'agglomération de Rabat, en janvier 1998. Chaque secteur produit 65 000 t +/- 10 000 t d'OM par an. Les différents constituants de la matière fermentescible végétale ont été extraits, pesés, séchés, calcinés et analysés. Les résultats de l'analyse sont donnés dans la première partie, l'étude de la fiabilité des données dans la deuxième partie et l'analyse des résultats dans la troisième.

Description de la matière fermentescible végétale

Le tri des OM a donné 49 % de matière végétale, 6 % de viande, 4 % de pain soit 59 % de matière fermentescible. Le restant est constitué de 32 % du mélange : plastique, papier, verre, métal et 9 % de fines. La description des végétaux est donnée dans le tableau 9. Les parts pondérales sont relatives à la masse végétale. Chaque constituant a été séché. Une partie de la fraction sèche a été analysée. Les résultats sont ceux du brut du tableau 9. L'autre partie a été incinérée et analysée. Les résultats sont dans le tableau 9 avec les teneurs en cendres (cendre) et l'analyse des cendres. Les analyses chimiques ont été faites par ICP-MS

Les peaux d'oranges constituent la part prépondérante avec 44 %, viennent ensuite les pommes de terre (épluchures) avec 10 % et les petits pois (gousses) avec 7 %, puis un groupe de 2 à 5 % : les carottes (épluchures), les bananes (peaux) et les pommes (épluchures), les oignons (pelures), le persil et la menthe (branches). Le restant a une part pondérale individuelle faible. Ce résultat nous permet de faire les remarques suivantes qui ne sont pas des conclusions puisque nous ne connaissons pas d'études similaires :

- bien que le pourcentage de matières fermentescibles soit dans la fourchette attendue avec 60 % en poids pour l'ensemble des OM, l'importance des peaux d'oranges et la faible quantité relative des autres végétaux laissent supposer que le facteur saison avec la pleine production des oranges en période hivernale n'est pas un facteur secondaire ;

- les 5 % de peaux de bananes traduisent une modification dans le choix des fruits depuis que celle-ci est cultivée au Maroc et est à la portée de toute la population.

L'étude des teneurs en métaux du tableau 9 commence par une étude de fiabilité des résultats.

Étude de la fiabilité des résultats

L'étude de la fiabilité des données est nécessaire parce que les données sont uniques. L'étude se décompose en deux études établies à partir de deux redondances qui s'appuient sur l'hypothèse que pendant l'incinération à 450 °C pendant 24 heures, les 4 métaux étudiés sont restés dans les cendres. La première redondance consiste à calculer la teneur en métal du brut ($T_{MB\text{ calc.}}$) à partir de la teneur en cendres (t_c) et la teneur en métal des cendres réelle (t_{mC}) suivant la relation :

$$T_{MB\text{ calc}} = t_c \cdot t_{mC}$$

Si les données sont fiables, le rapport entre la donnée expé-

Tableau 9 : Description de la matière végétale

Végétal	% poids humid	hum %	cendre % tc	Brut secmg/Kg m.s TmB				Cendres mg/Kg tmc			
				Zn	Pb	Cu	Cr	Zn	Pb	Cu	Cr
Artichaut	6,06	90	22	53	4	13	15	216	18	59	65
Aubergine	0,38	88	13	26	6	10	8	210	46	75	52
Banane	5,44	89	39	88	5	12	19	196	10	28	38
Carotte	2,59	91	24	51	5	11	7	174	15	30	24
Chou fleur	0,99	94	20	47	3	3	10	270	16	17	49
Concombre	0,98	90	10	37	1	9	11	358	11	78	117
Courgette	0,21	91	6	24	1	6	25	385	22	100	433
Fenouil	1,19	92	21	44	5	8	7	196	24	37	36
Haricot	0,24	86	8	52	3	7	16	586	35	72	200
Kiwi	1,64	78	14	45	4	10	8	314	32	64	73
Menthe	3,41	81	6	12	3	2	7	206	42	41	73
Navet	2,04	90	13	42	6	4	21	298	37	28	125
Oignon	3,78	84	12	43	5	8	26	354	38	76	229
Orange	43,89	78	4	21	2	4	16	330	35	63	249
Persil	4,45	84	14	33	6	5	9	210	40	32	66
Petit pois	7,11	87	12	39	4	11	40	346	32	93	341
Piment	0,25	90	21	38	4	5	14	179	19	30	76
Pomme	2,24	85	6	37	2	10	27	649	37	157	445
Pomme de terre	9,48	88	15	55	6	9	17	338	39	59	110
Salade	0,60	90	11	38	4	11	7	341	36	107	73
Tomate	3,03	93	12	42	4	9	33	354	34	86	265

rimentale du brut et la donnée calculée est égal à 1. Comme le biais qui existe entre la moyenne des rapports assimilés à des variables aléatoires gaussiennes et 1, est généralement faible, nous analysons les différents rapports en fonction d'une précision relative de 20 % autour de 1. La précision est établie à partir de la teneur en plomb du brut dont la plus forte est égale à 6 mg/kg et l'unité le mg/kg. La plupart des différents rapports est proche de 1 exceptés quelques cas répartis en deux groupes suivant l'explication de la dispersion. Le premier groupe est celui des carottes et des oranges. Pour les carottes, les rapports des 4 métaux sont tous trop forts : 1,22 pour le zinc, 1,39 pour le plomb, 1,53 pour le cuivre et 1,22 pour le chrome. Nous expliquons ce résultat avec la valeur expérimentale de la teneur en cendre qui apparaît trop faible. Elle devrait être égale à 32 % au lieu de 24 %. Il en est de même avec les oranges dont la teneur en cendre devrait être égale à 6 % au lieu de 4 %. Le deuxième groupe se limite à quelques métaux tels que le plomb des courgettes, le cuivre des piments et des haricots et le chrome des kiwis, des navets, de la menthe et des aubergines. Ces rapports sont soit trop forts, soit trop faibles. Nous expliquons les différences par une imprécision sur les teneurs correspondantes. Nous complétons cette étude avec la deuxième redondance appliquée aux seules teneurs en métaux pour établir le niveau de l'imprécision.

Nous calculons le rapport entre les teneurs de deux métaux du brut et nous le comparons à celui des cendres pour ces 2 mêmes métaux. Les rapports doivent être semblables en

terme statistique relativement à la précision relative retenue. Nous retrouvons pratiquement les mêmes métaux qui sont à l'origine des différences constatées précédemment excepté le plomb de l'oignon. De fait, en complément, nous avons estimé les teneurs des constituants bruts que nous aurions dû avoir (tableau 10) pour les métaux qui présentent la plus forte imprécision. Nous avons estimé la teneur du brut préférentiellement à celle des cendres parce qu'étant plus faible, elle a plus de chances d'être moins précise.

Nous concluons à une incertitude pour certaines teneurs que nous relativisons avec l'étude suivante.

Répartition métallique dans les différents végétaux

Une description rapide des teneurs du tableau 9 permet de préciser leurs domaines de variation. Elles varient pratiquement uniformément entre 12 et 53 % pour le zinc exceptée la banane, entre 1 et 6 % pour le plomb, entre 2 et

Tableau 10 : Comparaison des teneurs

Végétal	Métal	Ten. estimée	Ten. réelle
Oignon	Pb	4	5
Courgette	Pb	1,5	1
Piment	Cu	6	5
Kiwi	Cr	9	8
Menthe	Cr	5	7

Tableau 11 : Matrice de corrélation des métaux des végétaux bruts secs				
	Zn	Pb	Cu	Cr
Zn	1,00			
Pb	0,35	1,00		
Cu	0,54	0,18	1,00	
Cr	0,08	-0,14	0,17	1,00

13 % pour le cuivre et entre 7 et 40 % pour le chrome qui décrivent, de fait, les dispersions statistiques. La comparaison de ces dispersions avec les écarts entre les teneurs estimées et réelles les moins précises (tableau 10) montre que

sont indépendants, exception faite de la légère liaison Cu/Zn en accord avec les figures 2 et 3.

La très faible dépendance des métaux nous permet d'appliquer l'ACP sur l'ensemble des données. Le résultat est résumé avec la figure 4 qui décrit le nuage des différents végétaux et les métaux dans un plan de projection dont l'inertie est de 73 %.

Les végétaux se répartissent uniformément dans le plan. La seule discrimination qui a été trouvée est liée à la teneur en cendres avec une limite à 13 %. Cette remarque a été affinée à partir de la liaison entre la teneur en cendres et la somme des teneurs centrées réduites positivement pour le plomb et le zinc, négativement pour le chrome. Le coefficient de corrélation est de 58 %. Ce résultat montre que les végé-

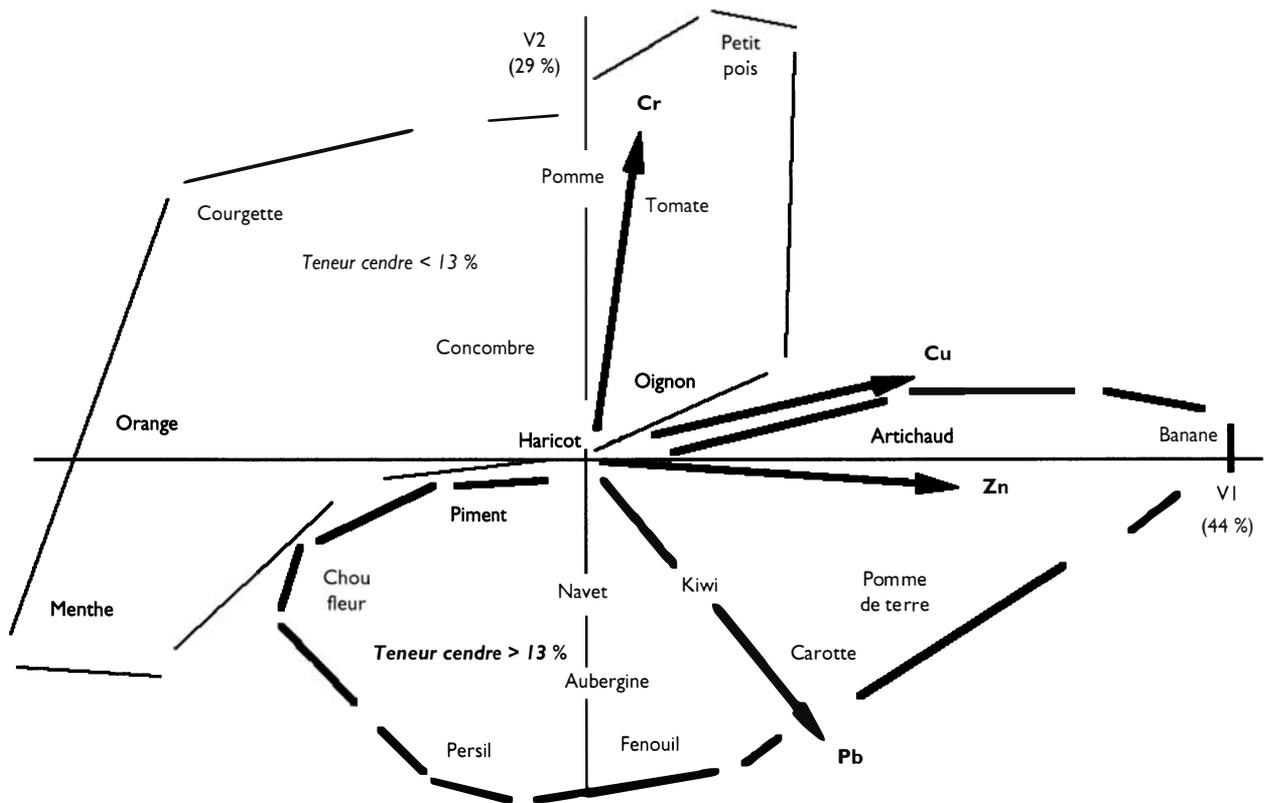


Figure 4 : Représentation de constituants en fonction des métaux

les écarts sont nettement plus faibles. Par conséquent, nous considérons que les valeurs des teneurs des différents constituants bruts sont suffisamment précises pour notre étude. Ceci nous permet d'estimer les teneurs de la matière fermentescible sèche reconstituée pour les 4 métaux. Elles sont égales à 31 % pour le zinc, 3 % pour le plomb, 6 % pour le cuivre et 17 % pour le chrome. Elles sont différentes de celles du tableau 7, en particulier pour le plomb avec une teneur au minimum 30 fois inférieure. Nous proposons une explication à la fin du paragraphe suivant.

Pour la description relative, nous utilisons l'analyse en composantes principales (ACP) et la matrice de corrélation des 4 métaux (tableau 11). Le tableau 11 montre que les métaux

ont des comportements physiologiques propres, indépendants de la présence de chlorophylle. Les végétaux qui sont enclins à avoir le plus de plomb au niveau de leur déchet sont le fenouil, le persil, l'aubergine, la carotte, la pomme de terre.

Ces données sur le plomb sont à analyser en fonction des limites maximales admissibles (LMA) données par le Conseil supérieur d'hygiène publique de France (avis en date 10 décembre 1992). Elles sont égales à 0,3 mg de Pb/kg pour les légumes et fruits et à 0,5 mg de Pb/kg pour la salade, céleri, épinard et choux. Suivant cet avis, l'arrêté du 22/9/1998 paru au JO de la République Française a suspendu la mise sur le marché des légumes et feuilles cultivés

dans la vallée de l'Orbiel (France) qui présentaient des teneurs supérieures aux LMA. L'humidité des végétaux que nous avons étudiés étant de l'ordre de 90 %, les teneurs en plomb des déchets des végétaux frais qui ont le plus de plomb, sont égales au minimum à 0,5 mg/kg. Elles sont égales, voire dépassent les LMA. Cette remarque nous permet de proposer l'explication annoncée à la fin du précédent paragraphe. Comme nous sommes à la limite de l'acceptabilité avec des végétaux dont la teneur en plomb la plus forte est 15 fois inférieures, nous pensons que le plomb des matières fermentescibles décrites par le tableau 7 ne peut avoir qu'une autre origine, autre qu'organique telle que des fines particules de vieilles peintures collées sur le déchet.

CONCLUSION

Les fortes teneurs en métaux lourds des composts tels que le zinc, le plomb, le cuivre ne proviennent pas de la matière fermentescible végétale. L'origine des métaux est autre. Aussi, si le Maroc veut traiter ses déchets urbains par compostage qui est la solution la plus adaptée puisque la part pondérale de la matière végétale fermentescible dans les OM est très importante, il faut éviter un apport étranger de métaux lourds et si cet apport ne peut pas être parfaitement contrôlé, ne pas utiliser ce compost en tant qu'amendement pour certaines cultures tel que le persil. En effet ce végétal concentre préférentiellement le plomb.

* El Maati Naifar

École nationale de l'industrie minière - BP 753 - Rabat Agdal (Maroc)

** Jean-Louis Pineau

LEM ENS géologie - BP 40 - 54500 Vandoeuvre

*** Taïb Marghiche

BRPM - Quartier Industriel - Avenue Fadilla - Rabat (Maroc)

**** Ahmed El Yahyaoui

Laboratoire de Radiochimie BP 1014 Fac. des Sciences Rabat (Maroc)

Bibliographie

- Ademe, 1996, *Du produit au déchet : comprendre l'origine des métaux lourds dans les ordures ménagères* - rapport interne non confidentiel.
- Anred, 1980, *Compostinformation* n° 3 n° spécial 28 p.
- Bauvois F., Ireland-Ripert J., Ducauze C., 1985, *Évaluation du degré de contamination des sols et des cultures consécutives à des épandages de boues d'achères*- INAPG 136 p. Paris 6/85.
- Bennani A.C. 1987, *Le compostage : bilan et perspectives d'une action au niveau national, le cas du Maroc*- Colloq. intern. gestion déchets ménag. dans pays en dévelop- Paris sept.1987.
- Kovacs M. et al 1994, *Comparative investigation of the distribution of chemical elements in an aceri tatarico-quercetum plant community and in stands of cultivated plants* - Environmental sampling for trace analysis-Edit. Bernd Market p. 434-442 -1994.
- Lineres M., 1989, *Bibliographical study of agronomic experiments related to the use of urban waste composts. The problem of heavy metals*- R & D prog. on recycling, utilization of Waste CCR DGXII 181p.
- Maestre L. et al., 1994, *Déchets urbains, nature et caractérisation* - Collect. Presses polytechn.univers. Romandes 219 p.
- Morvan B., Carré J., 1995, *Oligo-éléments et micropolluants dans les composts*. TSM n° 2 1995 p138-140.
- Naifar E.M., 1996, *La situation actuelle de l'élimination des O.M. de l'agglomération de Rabat (Maroc)*, Thèse 3° cycle Univers. Mohammed V, Fac Sc.
- Pinamonti F., Stringari G., Gaspari F., Zorzi G. 1997, *The use of compost : its effects on heavy metal levels in soil and plants*. Resourc. conserv. and recycl. 21 p. 129-143 Elsevier.
- Schwartz C., Fetzer K.D., Morel J.L., 1995, *Factors of contamination of garden soils by heavy metals* - third int. conf. of the Biogeochem. of trace elements -Paris 15-19 mai 1995.
- Van de Kerkhove J. M., 1990, *Evolution de la maturité de 3 déchets urbains en cours de compostage*, thèse doct INPL Sc. Agro. 14/9/90- 77 p.