

Tableau 42 : teneurs en composés traces organiques dans les composts de digestats de FFOM issue d'OMr + déchets verts

Paramètres	Nombre de digestats	Moyenne en µg/kg MS	Minimum en µg/kg MS	Maximum en µg/kg MS	Teneurs limites 44-051 & 44-095 µg/kg MS	Teneurs limites arrêté 8 janvier 1998 µg/kg MS
HAP						
Fluoranthène	19	521	400	764	4000	4000
Benzo(b)fluoranthène	19	235	130	340	2500	2500
Benzo(a)pyrène	19	203	130	272	1500	1500

Les teneurs en CTO sont, comme pour les digestats de BTU, inférieures, aux critères établis par les normes sur les amendements organiques.

9.1.4 Impact des post-traitements sur les teneurs en HAP obtenues pour les digestats urbains

Pour les Trois HAP, la tendance est que le compostage présente les teneurs les plus faibles, comparativement aux autres post-traitements. De plus, le compost de FFOM issue d'OMr présente les teneurs les plus faibles par rapport aux digestats contenant des BTU.

Dans ce jeu de données, aucun dépassement des teneurs limites n'a été observé pour les HAP. La comparaison des intrants et des traitements est présentée dans la Figure 55, la Figure 56 et la Figure 57.

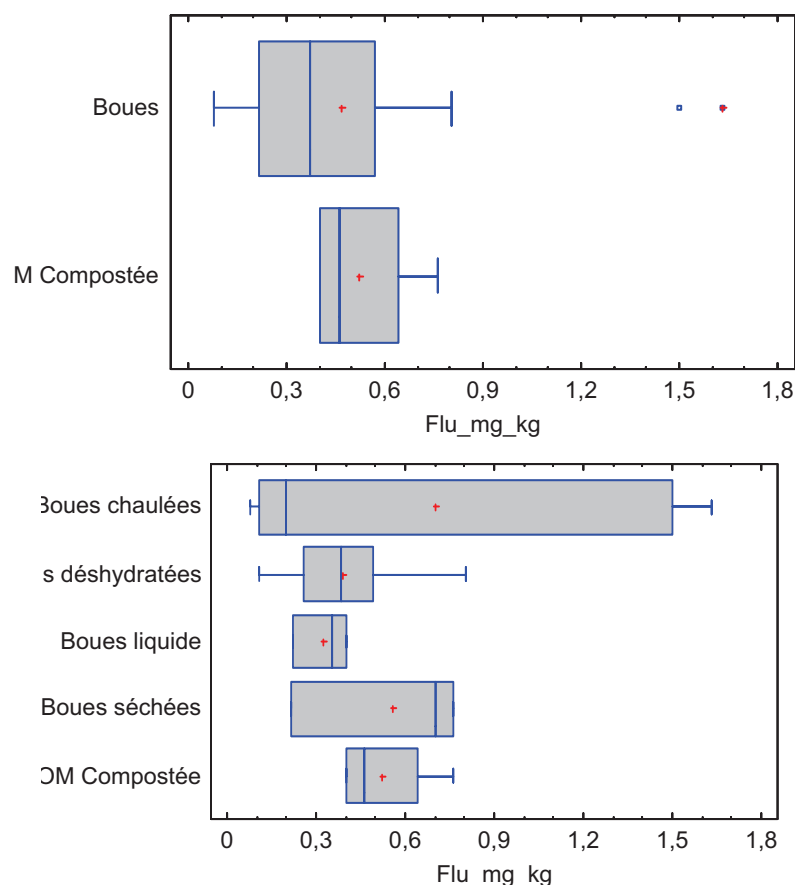


Figure 55 : Répartition des teneurs en Fluoranthène des digestats d'origine urbaine en mg/kg de MS en fonction des intrants (haut) ou des post-traitements (bas)

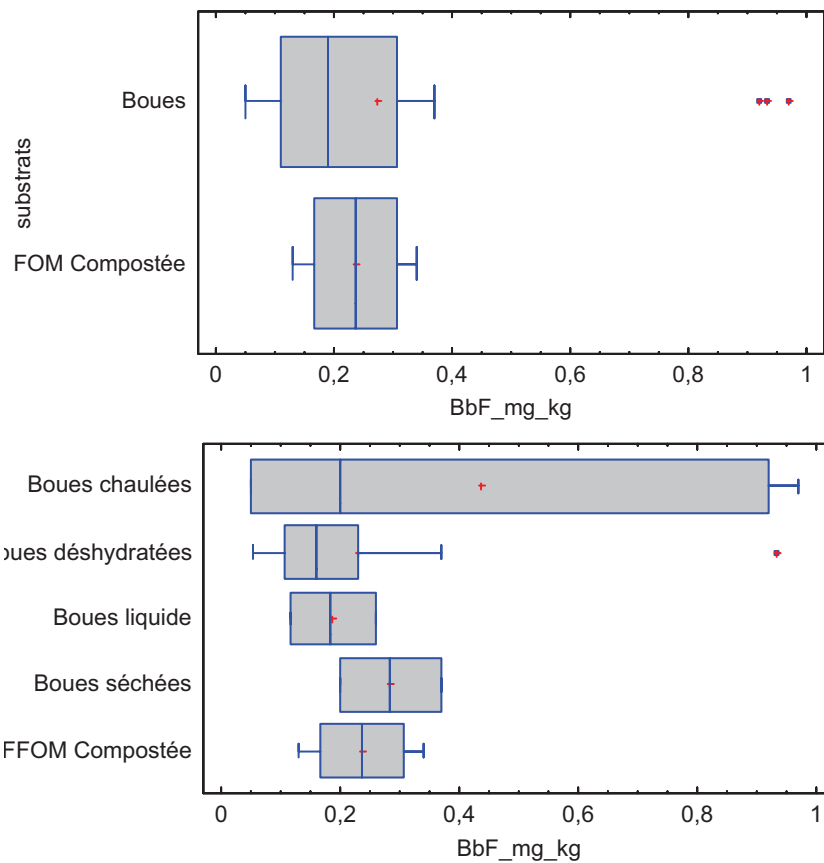


Figure 56 : Répartition des teneurs en benzo(b)fluoranthène des digestats d'origine urbaine en mg/kg de MS en fonction des intrants (haut) ou des post-traitements (bas)

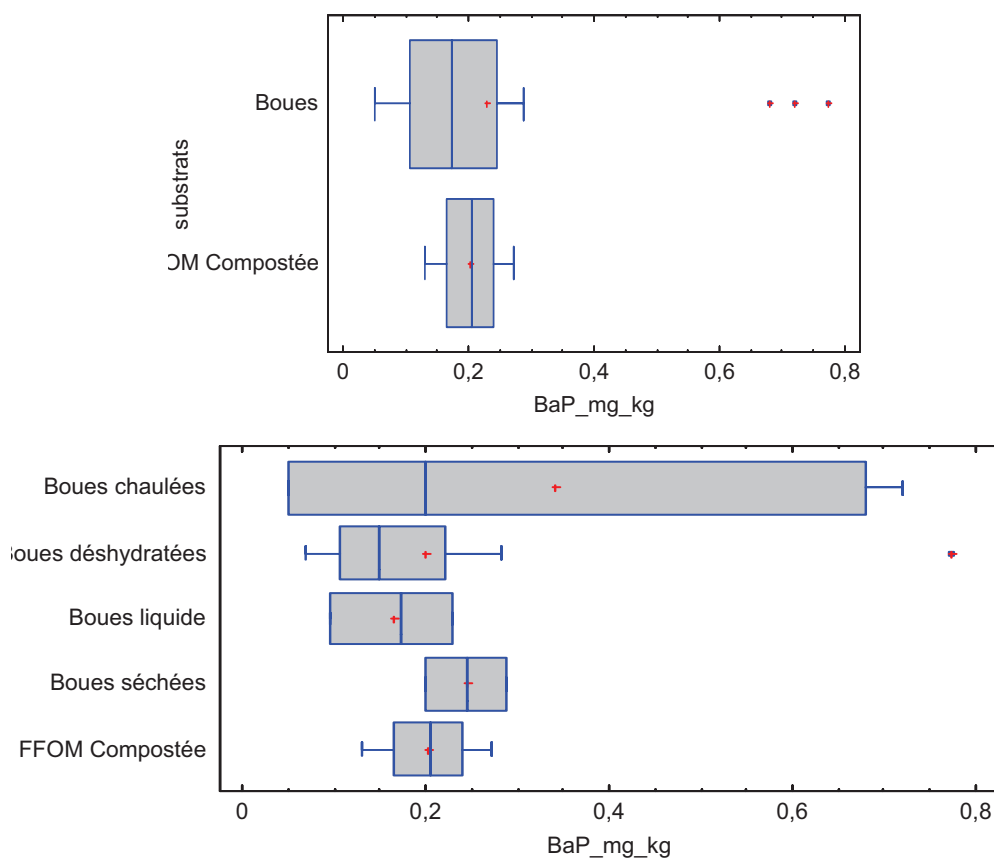


Figure 57 : Répartition des teneurs en benzo(a)pyrène des digestats d'origine urbaine en mg/kg de MS en fonction des intrants (haut) ou des post-traitements (bas)

Etude de cas : Impact de la méthanisation sur les teneurs en polluants organiques de la station de Seine Amont :

Dans les résultats présentés, certaines valeurs correspondent aux limites de quantifications pour les mesures de HAP et PCB. Afin de pouvoir utiliser ces données, ce sont donc les limites de quantification qui ont été utilisées pour réaliser l'étude. Les résultats présentés sont donc majorés pour les polluants organiques.

Tableau 43 : Teneurs moyennes, maximales et minimales, en polluants organiques (CTO) des BTU de Seine Amont avant et après méthanisation.

Paramètres	Unités	Moyenne	Minimum	Maximum
Somme des 7 PCB avant méthanisation	mg/kg MS	0,14	0,11	0,34
Somme des 7 PCB après méthanisation	mg/kg MS	0,13	0,11	0,22
Fluoranthène avant méthanisation	mg/kg MS	0,38	0,10	2,48
Fluoranthène après méthanisation	mg/kg MS	0,40	0,10	1,08
Benzo(b)Fluoranthène avant méthanisation	mg/kg MS	0,21	0,10	0,56
Benzo(b)Fluoranthène après méthanisation	mg/kg MS	0,26	0,10	0,48
Benzo(a)Pyrène avant méthanisation	mg/kg MS	0,19	0,10	0,49
Benzo(a)Pyrène après méthanisation	mg/kg MS	0,23	0,10	0,40

Tableau 44 : Evolution des teneurs en polluants organiques (CTO) des BTU de Seine Amont après méthanisation.

	Unités	Effectif	Teneur moyenne supplémentaire dans les digestats	Ecart -type	Coef. de variation	Mini	Maxi	Taux de concentration moyen par méthanisation
7 PCB	mg/kg MS	50	-0,01	0,06	-6,08	-0,23	0,10	0,93
Fluoranthène	mg/kg MS	50	0,02	0,49	24,53	-2,38	0,74	1,05
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg MS	50	0,05	0,14	2,64	-0,39	0,37	1,26
Benzo(a)pyrène	mg/kg MS	50	0,04	0,13	3,03	-0,32	0,28	1,22

Le Tableau 43 montre l'évolution des teneurs en CTO lors de la méthanisation.

Le Tableau 44 présente les valeurs obtenues par la comparaison statistique des données après et avant méthanisation. Il s'agit de la différence entre les teneurs dans les digestats et les teneurs dans les BTU avant méthanisation.

Ces digestats présentent des teneurs en PCB qui varient peu comparativement aux BTU initiales. On observe néanmoins un faible abattement des teneurs en PCB suite à la digestion.

Pour les HAP, on observe un taux de concentration variant de 1,1 à 1,3. Ce taux de concentration peut s'expliquer en partie par les incertitudes de mesures lors des analyses.

Le digestat peut donc présenter donc des teneurs moyennes en HAP supérieures aux BTU avant méthanisation.

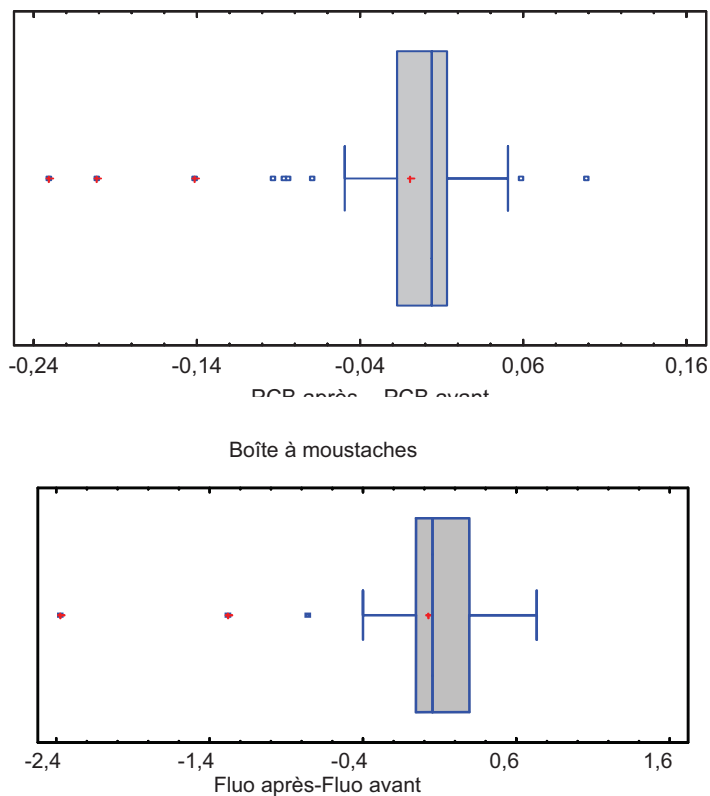


Figure 58 : Représentation des augmentations moyennes des teneurs en somme des 7 PCB (haut) et en fluoranthène (bas) dans les digestats de BTU de Seine Amont (en mg/kg MS).

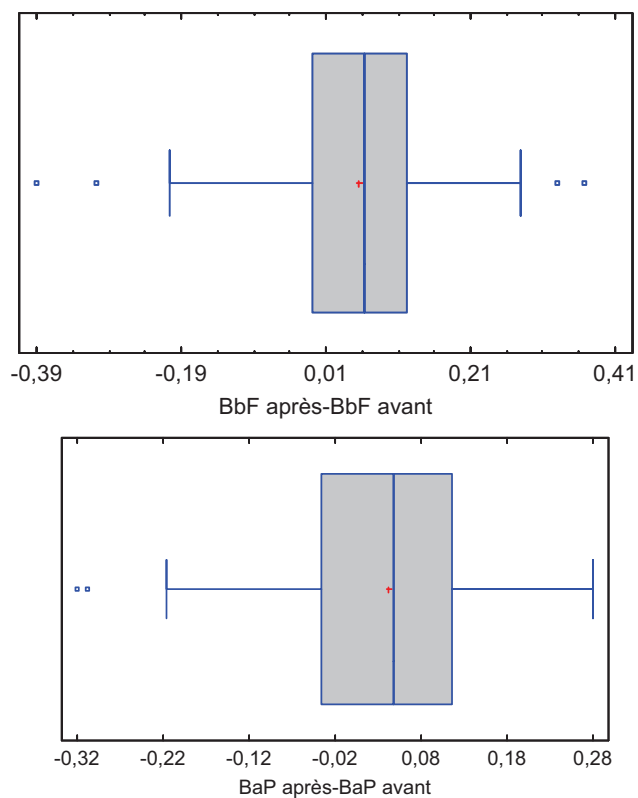


Figure 59 : Représentation des augmentations moyennes des teneurs en Benzo(b)fluoranthène (haut) et en Benzo(a)pyrène (bas) dans les digestats de BTU de Seine Amont. (en mg/kg MS)

Concernant les Composés Trace Organiques, on peut constater des taux de concentrations plus faibles que pour les ETM, voire nuls en ce qui concerne les PCB. On confirme ici certains résultats issus de la bibliographie quand à l'impact de la digestion sur les phénomènes de dégradations de certains polluants organiques.

Cependant, là aussi on ne peut exclure deux phénomènes : une sédimentation dans le fond des digesteurs et une transformation en métabolites de toxicité comparable voire supérieure.

Compte tenu de la réduction de doses qui doit être opérée lors de l'épandage du fait de la plus forte teneur en phosphore du digestat par rapport aux BTU avant digestion, et de la plus faible concentration en CTO qu'en phosphore dans les digestats, on peut conclure que les digestats d'une boue apporteront moins de ces CTO à l'hectare que la même boue non digérée.

9.1.6 Synthèse bibliographique sur la qualité sanitaire et environnementale des digestats

Les déchets organiques industriels, le fumier et les déchets organiques ménagers peuvent contenir une multitude de polluants organiques, souvent avec une structure aromatique : des composés de type dioxine, des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), des pesticides, des PCB, des paraffines chlorées, des phtalates et des composés phénoliques **(83)**.

Tous ces composés ont été trouvés dans différents digestats. La présence de ces composés en trop grande quantité peut constituer un impact sanitaire et/ou environnemental tel qu'il remette en cause l'utilisation de ces digestats sur les sols, agricoles ou non.

Suite à une étude réalisée en Suisse **(1)**, il fût démontré que les digestats et les composts produits à partir de déchets verts triés à la source comportaient une grande variété de polluants organiques mais à des concentrations très faibles. Les principaux résultats sont repris dans le Tableau 45.

Concernant les HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques), les valeurs moyennes mesurées dans l'étude restent faibles, inférieures aux teneurs limites définies par la norme NFU 44-051. Ces résultats concernent essentiellement des digestats de biodéchets et déchets verts et horticoles issus de traitement thermophile.

- ⇒ Teneurs en HAP totaux = médiane de 2314 $\mu\text{g} / \text{kg}$ de MS (avec un maximum de 3784 $\mu\text{g} / \text{Kg}$ de MS et un minimum de 947 $\mu\text{g} / \text{Kg}$ MS).
- ⇒ Teneurs en PCB = médiane de 10 $\mu\text{g} / \text{Kg}$ MS (maximum de 74 et minimum de 6 $\mu\text{g} / \text{Kg}$ MS).

Les analyses indiquent qu'ils ont certainement comme source des processus de combustion. En effet, les HAP peuvent contaminer les matières premières dont on fait des digestats ou des composts par transport éolien et dépôt atmosphérique.

Tableau 45 : Teneurs des substances étudiées dans le compost, le digestat et le jus de pressage, en µg/kg MS

*Moy : valeur moyenne ; méd : valeur médiane ; min : valeur minimale ; max : valeur maximale
DL PCB en ng WHO-TEQ/kg MS et PCDD/PCDF, en ng I-TEQ (I-TEQ : International Toxicological Equivalents) ;
n : nombre d'échantillons analysés*

	Compost*				Digestat brut**				Digestat liquide			
	moy	méd	min-max	n	moy	méd	min-max	n	moy	méd	min-max	n
HAP	3098	2750	600-10'047	56	5925	4202	2337-12'470	13	6565	5780	5445-9310	5
PCB	30	25	9-102	55	32	31	20-52	13	26	25	21-35	5
DL-PCB	3,1	2,7	0,4-6,3	13	4,1	3,7	2,4-6,8	5	4,2	4,2	3,1-5,3	2
PCDD/PCDF	5,6	4,0	0,5-21,0	13	3,2	2,7	1,3-6,6	5	6,1	6,1	3,8-8,5	2
PentaBDE	2,1	1,9	0,2-3,6	13	2,7	1,9	1,2-4,9	5	2,0	2,0	1,5-2,5	2
OctaBDE	0,4	0,2	0,1-3,6	13	0,3	0,3	0,2-0,5	5	0,3	0,3	0,2-0,4	2
DécaBDE	7,0	6,9	0,6-13,9	13	13,8	10,0	1,7-30,8	5	12,8	12,8	7,0-18,5	2
HBCD	83	47	17-234	13	187	174	98-372	5	43	43	30-56	2
TBBPA	0,6	0,5	0,1-2,3	13	0,9	1,0	0,4-1,5	5	1,6	1,6	1,0-2,3	2
6:2FTS/FT(U)CA	1,2	1,4	0,4-1,5 ¹	13	0,2	0,0	nd-0,9 ²	5	-	-	-	-
PFS	4,3	2,2	1,0-23,6	13	3,9	2,3	2,0-8,6	5	-	-	-	-
PFCA	3,5	2,2	1,3-9,9	13	4,1	3,1	2,4-6,6	5	-	-	-	-
FOSA/FOSE	0,1	0,2	0,0-0,3 ³	13	0,3	0,3	0,2-0,4 ⁴	5	-	-	-	-
PPS	57	40	18-171	13	105	82	30-257	7	169	169	155-182	2
PC	242	194	142-384	3	-	-	-	-	-	-	-	-
DEHP	240	212	145-395	4	1140	1140	295-1985	2	-	-	-	-
DBP	nd ⁵	nd	nd	4	nd	nd	nd-105	2	-	-	-	-
NP	nd	nd	nd	4	nd	nd	nd	2	-	-	-	-

* Les composts renfermant d'importantes proportions d'autres matériaux de départ que les déchets de cuisine et les déchets verts (p. ex. engrais de ferme) ne sont pas inclus.
Résultats de ces échantillons : HAP (n=8) : médiane : 978 µg/kg MS (fourchette : 625-2954 µg/kg MS) ; PCB (n=9) : médiane : 16 µg/kg MS (fourchette : 6-836 µg/kg MS)
** Résultats concernant les digestats issus de traitement thermophile. Teneurs dans les digestats issus de traitement mésophile (n=3) :
HAP : médiane : 2314 µg/kg MS (fourchette : 947-3784 µg/kg MS) ; PCB : médiane : 10 µg/kg MS (fourchette : 6-74 µg/kg MS)
¹ Trouvé dans 7 échantillons, ² trouvé dans 2 échantillons, ³ trouvé dans 7 échantillons, ⁴ trouvé dans 4 échantillons, ⁵ n.d. : non détecté

Des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), des polychlorobiphényles (PCB), des dibenzo-*p*-dioxines et dibenzo-*p*-furanes polychlorés (PCDD/PCDF), des PCB de type dioxine (DL-PCB), des retardateurs de flamme bromés, des composés alkylés perfluorés (PFA), des produits phytosanitaires (PPS), des phtalates et des paraffines chlorées (PC) ont été trouvés dans certains composts (1) et digestats tandis que le nonylphénol (NP) n'a pas été détecté.

Plusieurs de ces substances (retardateurs de flamme bromés, PFA, certains PPS, PC) ont été mesurées dans des composts pour la première fois. Nous ne disposons jusqu'ici d'aucune donnée concernant la présence de ces classes de substances dans le digestat phase solide et phase liquide. La teneur de la plupart des composés était de l'ordre du µg par kg de matière sèche (MS), ce qui est plus élevé que le bruit de fond mesuré dans les sols.

Les teneurs les plus importantes ont été observées pour les HAP (600 à 12470 µg/kg de MS), un quart des échantillons dépassant la valeur indicative applicable au compost selon l'ORRChim (4 ppm). Les concentrations variaient largement pour la plupart des substances (1).

Le digestat tend à présenter des teneurs en micropolluants organiques supérieures à celles du compost, à l'exception des PCB, des PCDD/PCDF et des PFA.

Toutes les classes de substances, à l'exception des HAP et du hexabromocyclododécane (HBCD), tendraient à présenter des teneurs supérieures dans les composts et les digestats d'origine urbaine. (1).

Dans l'ensemble, les résultats des études écotoxicologiques ont indiqué que la dissémination de micropolluants organiques par épandage de compost ou de digestat ne présente aucun risque

immédiat pour le sol. Mais les lacunes importantes affectant les connaissances sur les écosystèmes terrestres empêchent d'exclure tout effet néfaste. (1).

En effet, la présence de polluants organiques dans le digestat (comme dans tout fertilisant) peut causer des perturbations impliquant potentiellement la réduction de la diversité microbienne et de la redondance fonctionnelle dans le sol, et cela peut nuire à la résistance aux perturbations de ce même sol (26).

Pour déterminer si l'application de composés toxiques présents dans les digestats représente un risque pour le sol, plusieurs questions sont d'importance : la concentration, la voie de dégradation et les propriétés physiques et chimiques du composé, la solubilité dans l'eau, la volatilité et la capacité de sorption. En outre, la capacité de dégradation intrinsèque du sol et de l'évolution de ces composés à long terme, devrait également être envisagée (26).

Les polluants persistants qui s'accumulent dans le sol peuvent affecter la fertilité des sols à long terme, contrairement aux composés rapidement dégradés avec formation d'intermédiaires non-toxiques. Des essais en laboratoire réalisés par Nyberg ont démontré que les extraits organiques des digestats de fumier de porc issus de méthaniseurs en fonctionnement ont inhibé l'activité nitrifiante du sol, indiquant la présence de substances organiques toxiques (42), ou de dépôts atmosphériques pour une partie importante des HAP (20).

Ces contaminants peuvent provenir de traces de pesticides sur les fruits et légumes, des additifs pour matières plastiques, de la contamination dans la chaîne de collecte et de transport des déchets au méthaniseur (26).

Le fumier de porc est connu pour contenir des composés phénoliques et la teneur en phénol dans le digestat est plus élevée en cas de proportion importante de lisier de porc. Les effets négatifs des phénols sur les activités microbiennes ont également été rapportés antérieurement pour les autres micro-organismes illustrant la toxicité de ces composés (26).

L'application de digestat de biodéchets et de déjections animales contenant du phénol dans le sol a donné lieu à des concentrations (de 0,01 à 3,11 ug phénols par g de sol sec) qui sont proches de la valeur seuil fixé par l'Agence suédoise de protection de l'environnement pour les sols contaminés (4 ug phénols par g de sol secl). Toutefois, les phénols présents dans ces digestats ont été rapidement dégradés (quelques jours) dans le sol et leurs effets négatifs sur les bactéries du sol seront donc probablement dissipés rapidement. Ils ne provoqueront aucun effet à long terme dans le sol (26).

De plus, certains composés toxiques peuvent également être formés lors de la dégradation anaérobie des composés organiques. Les phénols sont notamment souvent produits au cours de la biodégradation des acides aminés aromatiques et des polymères aromatiques, la lignine et des tanins dans le matériel végétal (van Schie & Young, 1998).

9.1.6.1 *Impact de la température de méthanisation*

Une étude réalisée en Suède en 2005 (31) s'est intéressée particulièrement à l'impact de la température sur la dégradation de certaines familles de contaminants organiques, les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 46 : Durée de dégradation des polluants organiques en fonction de la température de méthanisation

Molécules	Durée de dégradation (jours)	
	37°C	55°C
Acide benzoïque	17+/-5	80+/-25
Phénol	23+/-8	non dégradé
Phtalates	78 +/- 36	non dégradé
Résorcinol	non dégradé	non dégradé
Acide trichlorobenzoïque	non dégradé	non dégradé
Pentachlorophenol	non dégradé	non dégradé
4-nitrophénol	<7	<7
o-crésol	non dégradé	non dégradé
m-crésol	130+/-16	non dégradé
p-crésol	30+/-5	non dégradé
4-éthylphénol	non dégradé	non dégradé
Monométhylphthalate	47+/-4	21
Monoéthylphthalate	Non dégradé	137

L'acide benzoïque, l'acide phtalique, le methylphthalate, le phénol, m-et p-crésol ont été minéralisés par les cultures mésophiles incubées à 37°C. En dehors de l'acide benzoïque, les composés aromatiques n'ont pas été minéralisés par la communauté thermophile incubée à 55°C, ce qui suggère que les réactions utilisant l'enzyme benzoyl-CoA sont inopérantes dans cette communauté microbienne.

La température du procédé présente donc un fort impact sur la dégradation des polluants organiques, avec une capacité inférieure de dégradation des composés à haute température.

Ces résultats sont pour partie confirmés par une autre étude **(26)** réalisée par la même équipe suédoise en 2006 portant sur la dégradation en bioréacteurs de laboratoire, de digestat de biodéchets et a montré une tendance à une meilleure capacité de dégradation des composés mono-aromatiques par les procédés mésophiles que par les procédés thermophiles

Cette même étude s'est plus particulièrement intéressée aux composés phénoliques et a constaté que la composition du substrat entrant influence la concentration de phénols dans les digestats, avec une corrélation positive avec le fumier de porc.

Selon les auteurs, la dégradation limitée de polluants organiques en conditions thermophile pourrait probablement être expliquée par la baisse de la diversité dans la communauté microbienne par rapport à celle présente en condition mésophile. La différence observée entre la dégradation du phénol dans les cultures d'enrichissement en provenance de bioréacteurs fonctionnant à température mésophiles ou thermophiles peut être expliquée par le fait que deux bactéries différentes sont responsables de cette dégradation. Une autre explication possible est que l'activité de l'enzyme impliqué dans la dégradation anaérobie du phénol est fortement régulée par la température.

Les composés phénoliques pourraient inhiber les AOB (bactéries oxydant l'ammonium) dans le sol. Cependant, le risque de perturbation du fonctionnement de l'activité microbiologique du sol ne semble pas significatif car ces composés sont rapidement dégradés dans le sol après épandage.

Cependant la méthanisation mésophile n'est pas exempte de polluants puisque les plus hauts niveaux de composés de type dioxine ont été détectés dans digestats de co-méthanisation agricole (déjections animales, biodéchets et déchets verts) provenant de réacteurs mésophiles **(1)**.

En effet, une déchloration plus efficace des PCB fortement chlorés et une augmentation de la production de composés de type dioxine ont été montrés en laboratoire lorsque la méthanisation se déroule à température mésophile **(60)**.

9.1.7 Cas des micropolluants organiques dans les digestats de BTU

Les travaux présentés **(83, 59)** ont été réalisés sur des BTU.

Ils révèlent que le procédé de digestion anaérobie a démontré un potentiel de biodégradation des molécules suivantes présentes dans des BTU :

- HAPs
- du Nonyphénol
- des PCBs **(83)**,

Ces observations ont été complétées par des études **(83)** menées sur la digestion anaérobie de BTU « dopées », artificiellement contaminées en laboratoire, en batch ou en continu, et qui ont permis d'explorer l'impact de différents paramètres sur les performances du procédé.

- ⇒ L'élimination des CTOs varie énormément d'une étude à l'autre. L'hypothèse de limitation de la biodégradation des CTOs par leur biodisponibilité (c'est-à-dire la capacité des micro-organismes à les utiliser comme substrat de croissance et donc les dégrader) est souvent avancée.
- ⇒ Un prétraitement thermique a été appliqué à la boue primaire : une hydrolyse à 165°C durant 30 minutes. Ce prétraitement visant à solubiliser la matière organique des BTU permet aussi d'améliorer la biodégradation des CTOs qu'elles contiennent **(83)**.
- ⇒ L'ajout d'un intrant tel que la cellulose n'améliore pas l'efficacité d'élimination des polluants.

L'apport de matières dissoutes et colloïdales en grandes proportions fait baisser le métabolisme global provoquant une moindre élimination de ces micropolluants, alors que, hypothétiquement, la biodisponibilité des micropolluants aurait du être améliorée.

- ⇒ La digestion anaérobie de BTU contaminées pour certaines semble plus efficace en conditions thermophiles que mésophiles en terme d'abattement des HAPs et PCBs. Cependant, une étude s'oppose à ce consensus, dans laquelle le contraire a été observé (Bertin et al, 2007), de même que les travaux suédois réalisés sur des digestats de biodéchets (26,31).
- ⇒ La répartition de HAPs/NP/PCBs entre les trois compartiments de la boue : libre, sorbé à la matière dissoute et colloïdale (DCM), et sorbé aux particules a été étudiée. La confrontation de cette répartition aux vitesses de dégradation des HAPs a mis en évidence que les HAPs libres mais aussi ceux sorbés à la DCM sont biodisponibles, dont potentiellement biodégradables.
- ⇒ Les HAPs de haut poids moléculaire sont admis comme plus récalcitrants que les HAPs de petite taille.

En conclusion, ceci suggère que ni le métabolisme global ni la biodisponibilité ne limitent l'élimination des polluants. La teneur des HAPs, PCBs et nonylphénol dans les digestats de BTU dépend surtout des teneurs en ces éléments apportées par les BTU digérées.

9.1.8 Hormones et résidus médicamenteux

Peu de données concernant ces substances ont été trouvées dans la bibliographie.

L'influence des médicaments, en particulier des antibiotiques utilisés dans l'élevage, sur les processus de méthanisation et sur le digestat produit a été étudiée. Les quantités d'antibiotiques trouvées dans les lisiers ont été parfois suffisantes pour diminuer jusqu'à 40 % la production de méthane (58).

Alors que les résultats obtenus sur la décomposition de la tétracycline pendant le processus de méthanisation sont contradictoires, il a été démontré clairement que l'endofloxacin est persistante pendant le processus.

Lors de l'utilisation des digestats de lisier de porc, une contamination du sol avec des antibiotiques a pu être observée. Il est conseillé, lors d'emploi d'engrais de ferme, d'employer aussi d'autres intrants pour diluer les concentrations d'antibiotiques dans le sol. Il est également conseillé de stocker les digestats plus de 100 jours pour diminuer l'apport d'antibiotique dans le sol (58).

Il est à noter que la recherche de ces substances dans des matrices complexes telles que le digestat et le compost est délicate, que le développement de moyens d'analyses de ces produits est en voie de finalisation et que ces techniques ne sont pas forcément accessibles aux producteurs de matières fertilisantes organiques.

Une étude (54) a mesuré le comportement de différents œstrogènes (E1, E2, E3 et EE2) dans différents types de BTU, à des stades différents, lors de la digestion anaérobie. Les expériences d'extraction de ces substances ont montré qu'il y a peu de résidus non extractibles dans ces BTU, ceci suggérant que la sorption ne limite pas l'extraction.

Différents paramètres ont été identifiés comme jouant un rôle sur la concentration des divers œstrogènes dans les BTU digérées:

- Les propriétés hydrophobes de ces molécules sont un paramètre intrinsèque qui explique en partie la quantité adsorbée pour chaque molécule (E1, E2, E3 and EE2).
- La présence d'un traitement biologique de l'azote et de forts temps de rétention favorisent leur biodégradation pendant le traitement des BTU.
- La stabilisation finale des BTU digérées et leur dessèchement tendent à augmenter le contenu en œstrogènes de la boue ayant subi la digestion anaérobie (probablement en améliorant leur extractibilité).

En résumé, il a été observé que la digestion anaérobie à l'échelle industrielle a peu d'efficacité sur l'élimination des œstrogènes sorbés sur les BTU (c'est-à-dire fixés sur la matière en suspension des BTU), contrairement à l'échelle laboratoire. Malgré le peu d'implication de la sorption dans le mécanisme d'élimination lors du traitement des BTU, les concentrations finales d'œstrogènes dans les BTU ayant subi une digestion anaérobie sont élevées.

Il est à noter que la recherche de ces substances dans des matrices complexes telles que le digestat et le compost, est délicate et que le développement de moyens d'analyses de ces produits est en voie de finalisation. Ces investigations restent donc encore du domaine de la recherche.

9.1.9 Pesticides

Une étude réalisée en 2008 (44) a tenté d'évaluer l'impact du compostage sur la dissipation de molécules pesticides sur du compost de digestat solide (après séparation de phase) thermophile de biodéchets.

Le Tableau 47 présente les résultats des dissipations de molécules qui montrent des taux de dissipation dans le compost de digestats de biodéchets supérieurs à 50 % pour la majorité des pesticides. Cependant, les auteurs discutent ces résultats du fait du protocole d'analyse qui n'a pas pris en compte la quantification des pesticides dans la phase liquide du digestat avant compostage. Ces travaux ont montré que le compostage de digestat solide de biodéchets présente des teneurs en pesticides inférieures au compostage seul du même substrat.

Les auteurs précisent donc que des recherches supplémentaires sont nécessaires pour évaluer le devenir des pesticides lors de la digestion anaérobie, en utilisant un protocole expérimental approprié et valider le fait que les pesticides se retrouvent de préférence dans la phase liquide du digestat.

Tableau 47 : Taux de dissipation de molécules pesticides après 4 mois de compostage pour du compost de déchets verts (CG), du compost de déchets verts et de biodéchets (CK) et du compost de digestat de biodéchets issu de méthanisation thermophile(CDK) (44).

Chemical class		Compound	CG	CK	CDK
Fungicides	Triazole	Cyproconazole	1-50%	51-95%	1-50%
		Difenoconazole	0%	0%	51-95%
		Fenbuconazole	n.a.	96% to ≤100%	96% to ≤100%
		Flusilazole	n.a.	n.a.	51-95%
		Myclobutanil	1-50%	n.a.	1-50%
		Propiconazole	0%	0%	51-95%
		Tebuconazole	1-50%	0%	51-95%
		Triadimefon	n.a.	n.a.	96% to ≤100%
		Triadimenol	n.a.	n.a.	51-95%
		Morpholine	Dodemorph	96% to ≤100%	96% to ≤100%
	Fenpropidin		n.a.	n.a.	96% to ≤100%
	Benzimidazole	Fenpropimorph	n.a.	n.a.	96% to ≤100%
		Carbendazim	96% to ≤100%	96% to ≤100%	96% to ≤100%
	Imidazole	Thiabendazole	n.a.	96% to ≤100%	96% to ≤100%
Imazalil		n.a.	96% to ≤100%	51-95%	
Pyridine	Pyrifenox	96% to ≤100%	96% to ≤100%	96% to ≤100%	
Spiroketalamine	Spiroxamine	96% to ≤100%	96% to ≤100%	96% to ≤100%	
Strobilurine	Azoxystrobin	n.a.	96% to ≤100%	n.a.	
Herbicides	Triazine	Terbuthylazine-2-h.	n.a.	n.a.	1-50%
		Terbutryn	96% to ≤100%	n.a.	n.a.
	Oxadiazole	Oxadiazon	n.a.	1-50%	n.a.
Urea	Diuron	96% to ≤100%	n.a.	96% to ≤100%	
Insecticides	Carbamate	Carbofuran	n.a.	96% to ≤100%	n.a.
		Primicarb	96% to ≤100%	96% to ≤100%	96% to ≤100%
Growth regulator	Triazole	Paclobutrazol	51-95%	n.a.	96% to ≤100%

9.2 ELEMENTS TRACES METALLIQUES: PRESENTATION DES RESULTATS DU TRAITEMENT DES DONNEES POUR LES DIGESTATS D'ORIGINE AGRICOLE ET DES MATIERES VEGETALES

Le nombre d'analyses récoltées est variable selon les éléments traces métalliques. Le nombre d'analyse des teneurs en cuivre, zinc, cadmium, plomb et nickel varie de 100 à 114 A l'opposé, les teneurs en chrome, mercure et manganèse sont très peu représentées (24 à 40 analyses sur les 186 digestats). Enfin, pour l'aluminium et l'arsenic, seulement 9 et 2 analyses ont pu être récoltées.

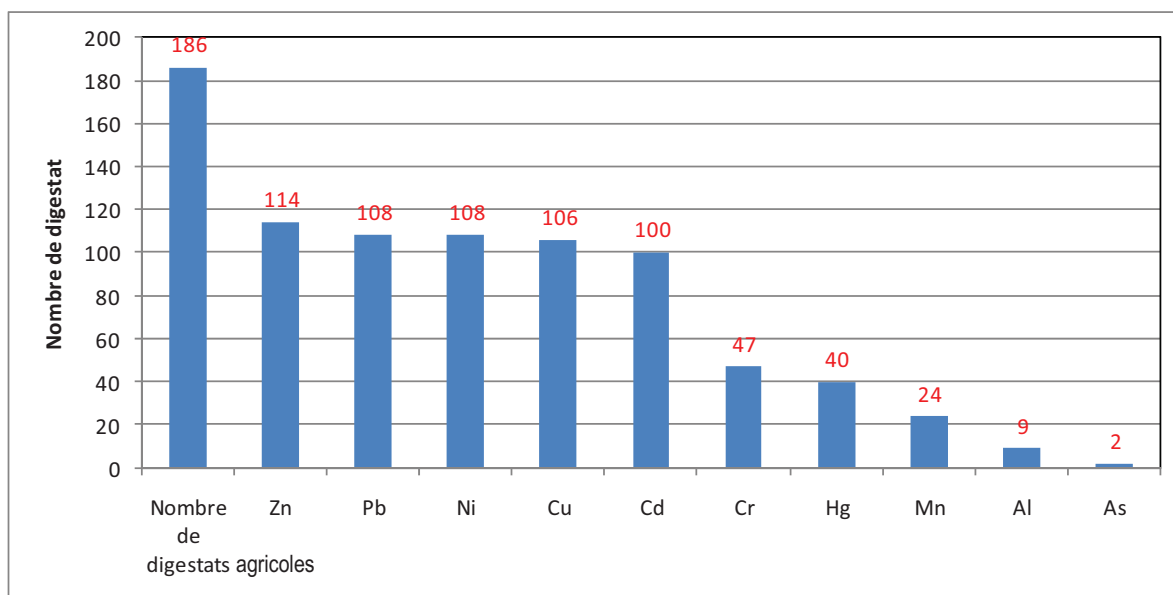


Figure 60 : Nombre d'analyses récoltées pour les teneurs en ETM.

Dans les graphiques présentés dans ce chapitre, les digestats solides et liquides ne correspondent pas toujours au digestats bruts après séparation de phase. Ils peuvent provenir d'autres digestats issus d'autres installations.

9.2.1 Le cuivre

9.2.1.1 Teneurs en cuivre en fonction de la nature des digestat d'origine agricole.

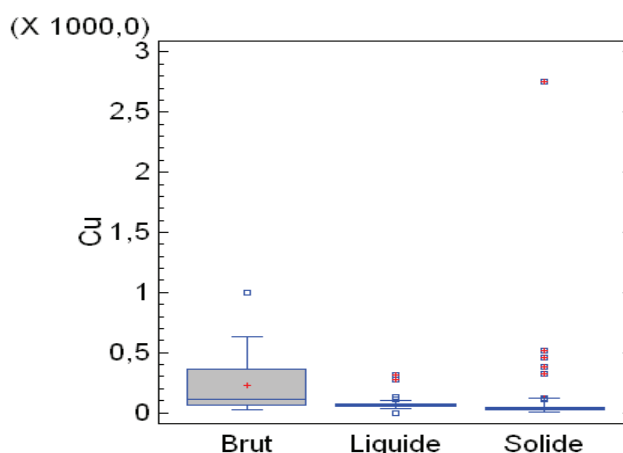


Figure 61 : Répartition des valeurs du cuivre (mg/kg MS) en fonction de la nature des digestats

Tableau 48 : Variabilité des valeurs de cuivre (mg/kg MS) en fonction de la nature des digestats

Nature de digestat	Effectif	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	1er quartile	3ème quartile
Brut	21	224,01	112,0	26,0	1001,0	65,0	363,0
Liquide	45	73,054	65,57	0,035	314,78	56,0	76,31
Solide	48	123,90	29,93	9,58	2756,0	22,3	45,0
Total	114	122,27	59,86	0,035	2756,0	29,74	79,04

Les teneurs en cuivre sont en moyenne de 224, 73 et 123 mg/kg MS respectivement pour le digestat brut, la fraction liquide et la fraction solide du digestat. Les teneurs les plus élevées sont associées au digestat brut, qui sont en moyenne 2 fois plus grandes que la fraction solide. Certains digestat ont des teneurs en cuivre largement supérieures à la limite de 300 mg/kg MS qui représente le seuil des teneurs en cuivre dans la norme NFU 44-051. **Ce dépassement du seuil de la norme est observé dans 11 % des cas et ne semble pas dépendre de la fraction des digestats.**

9.2.1.2 Teneurs en cuivre en fonction des intrants d'origine agricole..

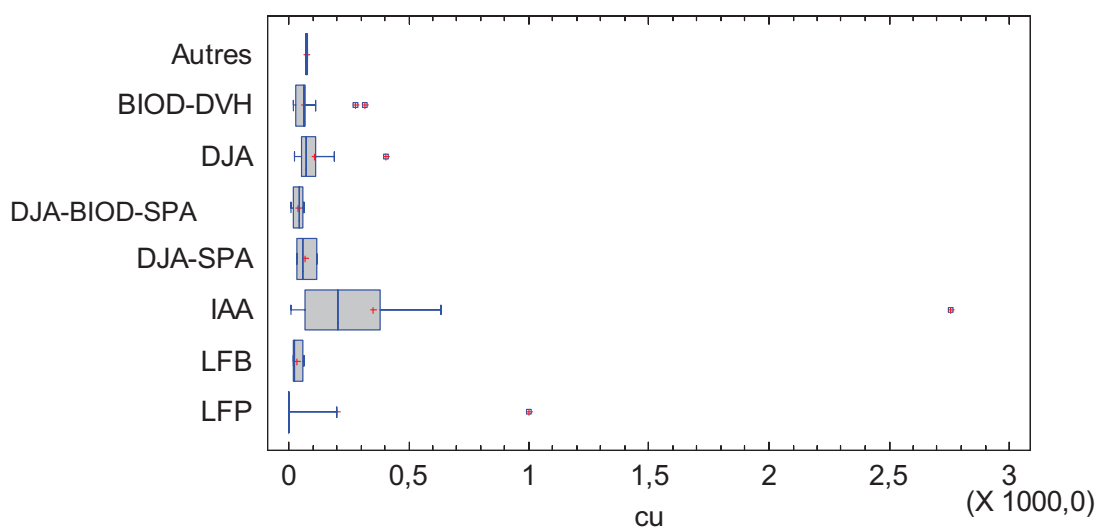


Figure 62 : Répartition des teneurs en cuivre (mg/kg MS) en fonction des intrants

Tableau 49 : Variabilité des teneurs en cuivre (mg/kg MS) en fonction des intrants

Intrants	Effectif	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	Etendue	1er quartile	3ème quartile
Autres	2	75,45	75,45	73,0	77,9	4,9	73,0	77,9
BIOD-DVH	53	61,68	61,33	18,51	314,78	296,27	30,11	69,62
DJA	11	105,39	71,0	26,0	405,0	379,0	53,0	112,0
DJA-BIOD-SPA	11	39,99	44,4	9,58	63,07	53,49	20,25	58,23
DJA-SPA	3	69,957	57,0	34,87	118,0	83,13	34,87	118,0
IAA	21	353,52	203,0	11,0	2756,0	2745,0	69,0	382,0
LFB	8	35,56	25,25	18,0	61,0	43,0	20,0	57,5
LFP	5	200,23	0,047	0,035	1001,0	1000,97	0,037	0,05
Total	114	122,27	59,85	0,035	2756,0	2755,97	29,74	79,04

Les teneurs en cuivre varient en moyenne de 35 mg/kg MS à 200 mg/kg MS selon la nature et le mélange des intrants. Les teneurs les plus élevées sont observées pour des digestats issus de

déchets de l'industrie agro-alimentaire et du lisier-fumier de porc. A l'opposé, les teneurs les plus faibles sont associées à des digestats issus de la méthanisation du lisier-fumier bovin, de sous-produits animaux et des biodéchets-déchets verts. L'analyse des données permet de donner une tendance générale sans pouvoir apporter une fourchette des teneurs en cuivre pour les digestats issus de chaque type de déchet.

9.2.2 Le zinc

9.2.2.1 Teneurs en zinc en fonction de la nature des digestats d'origine agricole.

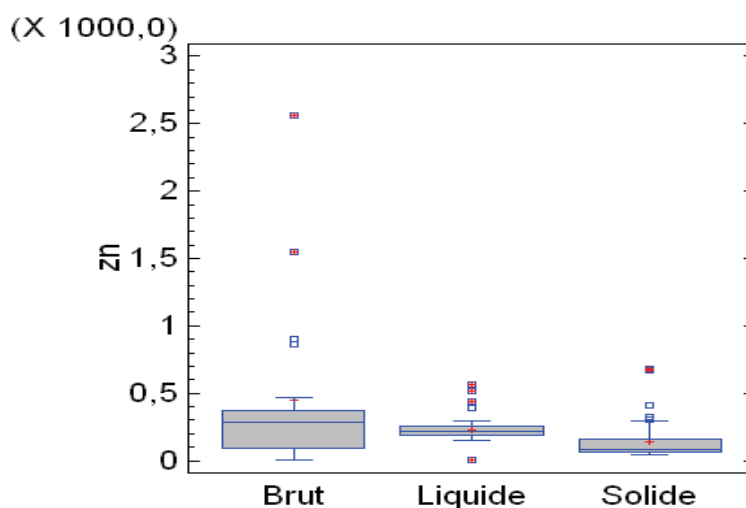


Figure 63 : Répartition des valeurs de zinc (mg/kg MS) en fonction de la nature des digestats

Tableau 50 : Variabilité des valeurs de zinc (mg/kg MS) en fonction de la nature des digestats

Nature de digestat	Effectif	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	1er quartile	3ème quartile
Brut	21	444,39	286,0	1,27	2563,0	92,0	370,72
Liquide	45	227,67	222,12	0,7	566,0	192,05	251,44
Solide	48	144,74	82,6	47,45	684,0	63,87	156,81
Total	114	232,68	192,66	0,7	2563,0	74,97	272,0

Les teneurs en zinc sont en moyenne de 445, 228 et 148 mg/kg MS respectivement pour le digestat brut, la fraction liquide et la fraction solide du digestat. Les teneurs les plus élevées sont associées aux digestats bruts qui sont en moyenne 3 fois plus grandes que la fraction solide. Certains digestats ont des teneurs en zinc largement supérieures à la limite de 600 mg/kg MS qui représente le seuil des teneurs en Zn dans la norme NFU 44-051. Ce dépassement du seuil de la norme est observé dans 6 % des cas. **Aucun dépassement n'a été cependant observé dans la fraction liquide des digestats.**

9.2.2.2 Teneurs en zinc en fonction des intrants d'origine agricole..

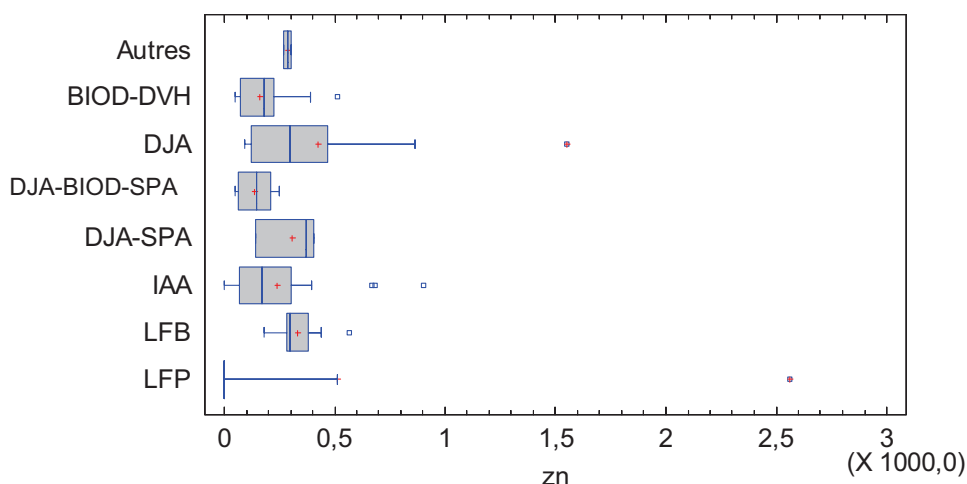


Figure 64 : Répartition des teneurs en zinc (mg/kg MS) en fonction des intrants

Tableau 51 : Variabilité des teneurs en zinc (mg/kg MS) en fonction des intrants

Intrants	Effectif	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	Etendue	1er quartile	3ème quartile
Autres	2	286,85	286,85	269,7	304,0	34,3	269,7	304,0
BIOD-DVH	53	162,57	182,24	47,45	511,66	464,21	73,7	222,78
DJA	11	426,72	298,0	92,0	1550,0	1458,0	120,0	467,0
DJA-BIOD-SPA	11	137,58	147,72	49,66	251,08	201,42	64,72	208,38
DJA-SPA	3	306,8	370,72	143,67	406,0	262,33	143,67	406,0
IAA	21	237,13	170,0	1,27	902,0	900,73	68,7	304,0
LFB	8	332,61	295,7	179,0	566,0	387,0	282,25	380,0
LFP	5	513,29	0,91	0,7	2563,0	2562,3	0,81	1,02
Total	114	232,68	192,66	0,7	2563,0	2562,3	74,97	272,0

Les teneurs en zinc varient en moyenne de 137 mg/kg MS à 513 mg/kg MS selon la nature et le mélange des intrants. Les teneurs les plus élevées sont observées pour des digestats issus de la méthanisation du lisier de porc. A l'opposé, les teneurs les plus faibles sont associées à des digestats issus de la méthanisation de biodéchets, déchets verts et de sous produits animaux. L'analyse des données permet de donner cette tendance générale sans pouvoir apporter une fourchette des teneurs en zinc pour les digestats issus de chaque type de déchet.

9.2.3 Le cadmium

9.2.3.1 Teneurs en cadmium en fonction de la nature des digestats d'origine agricole..

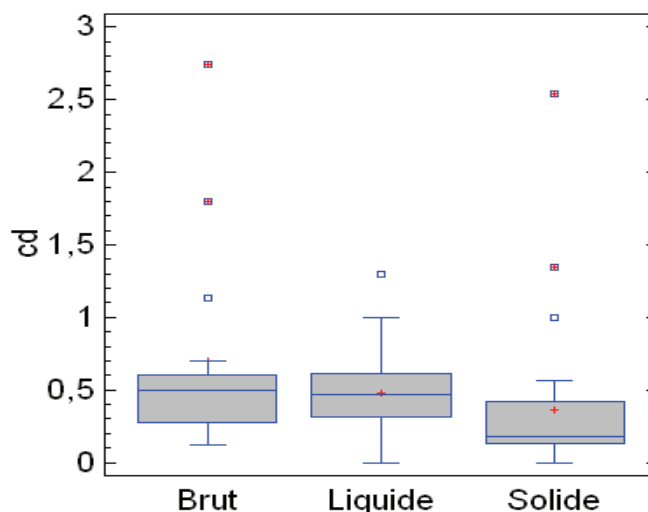


Figure 65 : Répartition des valeurs de cadmium (mg/kg MS) en fonction de la nature des digestats

Tableau 52 : Variabilité des valeurs de cadmium (mg/kg MS) en fonction de la nature des digestats

Nature de digestat	Effectif	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	1er quartile	3ème quartile
Brut	20	0,697	0,5	0,12	2,74	0,28	0,605
Liquide	40	0,476	0,47	0,0	1,3	0,31	0,615
Solide	47	0,366	0,18	0,0	2,54	0,13	0,42
Total	107	0,469	0,37	0,0	2,74	0,17	0,56

Les teneurs en cadmium sont en moyenne de 0,7; 0,48 et 0,37 mg/kg MS respectivement pour le digestat brut, la fraction liquide et la fraction solide du digestat. Les teneurs les plus élevées sont associées aux digestats bruts qui sont en moyenne 2 fois plus grandes que la fraction solide. **Aucun dépassement du seuil de 3 mg/kg MS, qui représente le seuil des teneurs en Cd dans la norme NFU 44-051, n'a été observé.**

9.2.3.2 Teneurs en cadmium en fonction des intrants d'origine agricole.

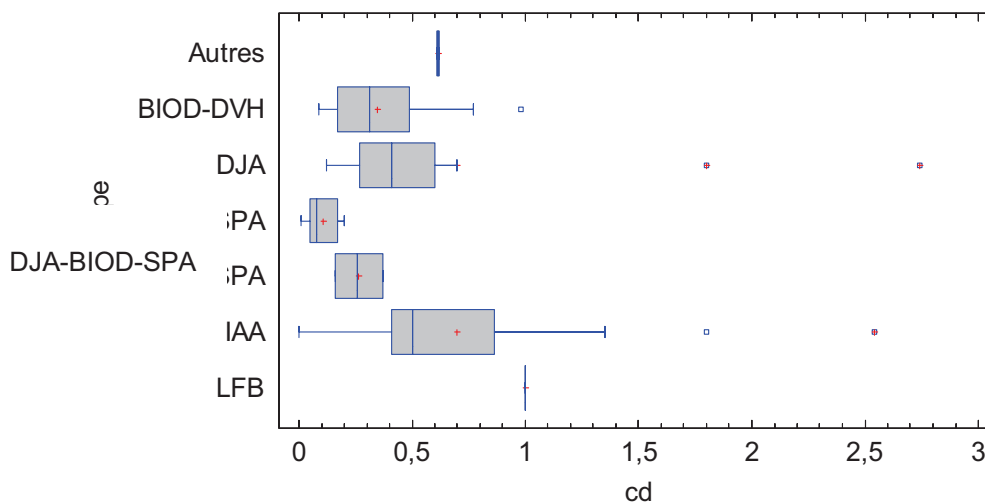


Figure 66 : Répartition des teneurs en cadmium (mg/kg MS) en fonction des intrants

Tableau 53 : Variabilité des teneurs en cadmium (mg/kg MS) en fonction des intrants

Intrants	Effectif	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	1er quartile	3ème quartile
Autres	2	0,62	0,615	0,61	0,62	0,61	0,62
BIOD-DVH	53	0,35	0,31	0,09	0,98	0,17	0,49
DJA	11	0,69	0,41	0,12	2,74	0,27	0,6
DJA-BIOD-SPA	11	0,11	0,08	0,01	0,2	0,05	0,17
DJA-SPA	3	0,26	0,26	0,16	0,37	0,16	0,37
IAA	20	0,69	0,5	0,0	2,54	0,41	0,87
LFB	7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Total	107	0,469	0,37	0,0	2,74	0,17	0,56

Pour le cadmium, les teneurs varient en moyenne de 0,26 mg/kg MS à 1 mg/kg MS selon la nature et le mélange des intrants. Les teneurs les plus élevées sont observées pour des digestats issus de la méthanisation du lisier-fumier bovin. Cependant, pour ce groupe, toutes les données sont égales à 1 mg/kg MS ce qui laisse supposer un effet de la méthode analytique (limite de détection ou de quantification). A l'opposé, les teneurs les plus faibles sont associées à des digestats issus de la méthanisation de biodéchets, déchets verts et de sous produits animaux. L'analyse des données permet de donner cette tendance générale sans pouvoir apporter une fourchette des teneurs en cadmium pour les digestats issus de chaque type de déchet.

9.2.4 Le plomb

9.2.4.1 Teneurs en plomb en fonction de la nature des digestats d'origine agricole..

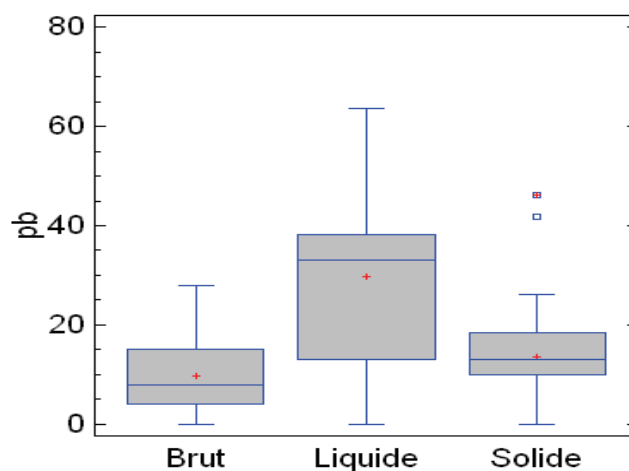


Figure 67 : Répartition des valeurs de plomb (mg/kg MS) en fonction de la nature des digestats

Tableau 54 : Variabilité des valeurs de plomb (mg/kg MS) en fonction de la nature des digestats

Nature de digestat	Effectif	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	1er quartile	3ème quartile
Brut	20	9,69	7,9	0,0	28,0	4,01	14,94
Liquide	41	29,71	33,14	0,0	63,54	13,0	38,1
Solide	47	13,61	13,0	0,0	46,16	9,91	18,31
Total	108	18,99	14,9	0,0	63,54	8,95	30,21

Les teneurs en plomb sont en moyenne de 9,6, 29,7 et 13,6 mg/kg MS respectivement pour le digestat brut, la fraction liquide et la fraction solide du digestat. Les teneurs les plus élevées sont associées à la fraction liquide des digestats qui sont en moyenne 3 fois plus grandes que la fraction solide. **Aucun dépassement du seuil de 180 mg/kg MS, qui représente le seuil des teneurs en Pb dans la norme NFU 44-051, n'a été observé.**

9.2.4.2 Teneurs en plomb en fonction des intrants d'origine agricole.

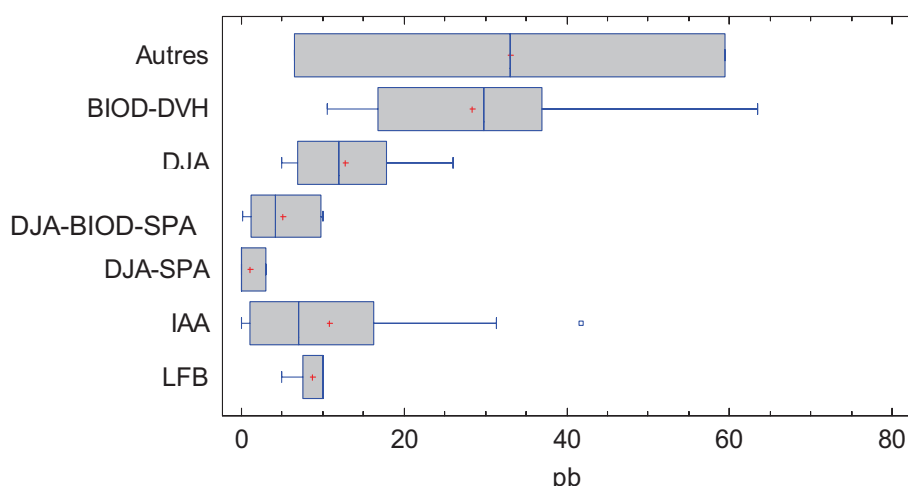


Figure 68 : Répartition des teneurs en plomb (mg/kg MS) en fonction des intrants

Tableau 55 : Variabilité des teneurs en plomb (mg/kg MS) en fonction des intrants

Intrants	Effectif	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	1er quartile	3ème quartile
Autres	2	33,0	33,0	6,5	59,5	6,5	59,5
BIOD-DVH	53	28,34	29,74	10,56	63,54	16,81	36,93
DJA	11	12,70	12,0	5,0	26,0	6,9	17,87
DJA-BIOD-SPA	11	5,11	4,15	0,12	10,0	1,22	9,77
DJA-SPA	3	1,01	0,0	0,0	3,02	0,0	3,02
IAA	20	10,74	7,0	0,0	41,8	1,01	16,24
LFB	8	8,75	10,0	5,0	10,0	7,5	10,0
Total	108	18,99	14,9	0,0	63,54	8,95	30,21

Les teneurs en plomb varient en moyenne de 5 mg/kg MS à 28 mg/kg MS selon la nature et le mélange des intrants. Les teneurs les plus élevées sont observées pour des digestats issus de la

méthanisation des biodéchets et des déchets verts. Il est vraisemblable que cet effet soit principalement dû aux déchets verts qui contiennent des végétaux de voirie éventuellement chargés en plomb. A l'opposé, les teneurs les plus faibles sont associées à des digestats issus de la méthanisation des déjections animales et des sous produits animaux. L'analyse des données permet de donner cette tendance générale sans pouvoir apporter une fourchette des teneurs en plomb pour les digestats issus de chaque type de déchet.

9.2.5 Le mercure

9.2.5.1 Teneurs en mercure en fonction de la nature des digestats d'origine agricole.

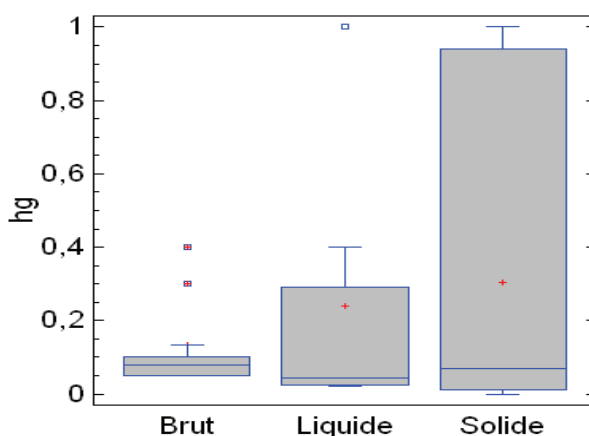


Figure 69 : Répartition des valeurs de mercure (mg/kg MS) en fonction de la nature des digestats

Tableau 56 : Variabilité des valeurs de mercure (mg/kg MS) en fonction de la nature des digestats

Nature de digestat	Effectif	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	1er quartile	3ème quartile
Brut	9	0,132	0,08	0,05	0,4	0,05	0,1
Liquide	12	0,240	0,043	0,02	1,0	0,025	0,29
Solide	18	0,304	0,07	0,0	1,0	0,01	0,94
Total	39	0,245	0,06	0,0	1,0	0,02	0,3

Les teneurs en mercure sont en moyenne de 0,13 ; 0,24 et 0,30 mg/kg MS respectivement pour le digestat brut, la fraction liquide et la fraction solide du digestat. Les teneurs les plus élevées sont associées à la fraction solide des digestats qui sont en moyenne 2 à 3 fois plus grandes que le digestat brut. **Aucun dépassement du seuil de 2 mg/kg MS, qui représente le seuil des teneurs en Hg dans la norme NFU 44-051, n'a été observé.**

9.2.5.2 Teneurs en mercure en fonction des intrants d'origine agricole.

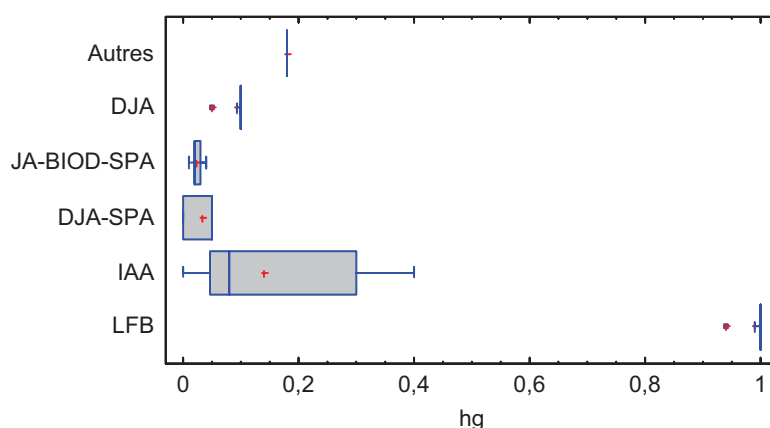


Figure 70 : Répartition des teneurs en mercure (mg/kg MS) en fonction des intrants

Tableau 57 : Variabilité des teneurs en mercure (mg/kg MS) en fonction des intrants

Intrants	Effectif	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	Etendue	1er quartile	3ème quartile
Autres	1	0,18	0,18	0,18	0,18	0,0	0,18	0,18
DJA	6	0,092	0,1	0,05	0,1	0,05	0,1	0,1
DJA-BIOD-SPA	11	0,022	0,02	0,01	0,04	0,03	0,02	0,03
DJA-SPA	3	0,033	0,05	0,0	0,05	0,05	0,0	0,05
IAA	11	0,14	0,08	0,0	0,4	0,4	0,045	0,3
LFB	7	0,99	1,0	0,94	1,0	0,06	1,0	1,0
Total	39	0,25	0,06	0,0	1,0	1,0	0,02	0,3

Les teneurs en mercure varient en moyenne de 0,02 mg/kg MS à 1 mg/kg MS selon la nature et le mélange des intrants. Les teneurs les plus élevées sont observées pour des digestats issus de la méthanisation du lisier-fumier bovin. Là encore, plusieurs valeurs des teneurs en mercure de ce groupe sont égales à 1, ce qui laisse aussi suggérer un effet de la méthode analytique. A l'opposé, les teneurs les plus faibles sont associées à des digestats issus de la méthanisation des déjections animales et des sous-produits animaux. L'analyse des données permet de donner cette tendance générale sans pouvoir apporter une fourchette des teneurs en mercure pour les digestats issus de chaque type de déchet.

9.2.6 Le nickel

9.2.6.1 Teneurs en nickel en fonction de la nature des digestats d'origine agricole.

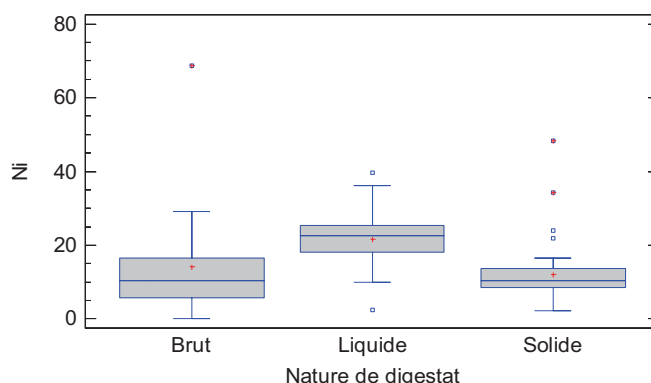


Figure 71 : Répartition des valeurs de nickel (mg/kg MS) en fonction de la nature des digestats

Tableau 58 : Variabilité des valeurs de nickel (mg/kg MS) en fonction de la nature des digestats

Nature de digestat	Effectif	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	1er quartile	3ème quartile
Brut	20	14,05	10,34	0,18	68,7	5,6	16,55
Liquide	41	21,73	22,57	2,44	39,7	18,09	25,38
Solide	47	11,95	10,34	2,29	48,2	8,46	13,58
Total	108	16,05	13,5	0,18	68,7	9,655	22,5

Les teneurs en nickel sont en moyenne de 14 ; 22 et 12 mg/kg MS respectivement pour le digestat brut, la fraction liquide et la fraction solide du digestat. Les teneurs les plus élevées sont associées à la fraction liquide des digestats qui présentent en moyenne des valeurs 2 fois plus fortes que celles mesurées pour les digestats bruts. **Un seul dépassement du seuil de 60 mg/kg MS, qui représente le seuil des teneurs en nickel dans la norme NFU 44-051, a été observé.**

9.2.6.2 *Teneurs en nickel en fonction des intrants d'origine agricole.*

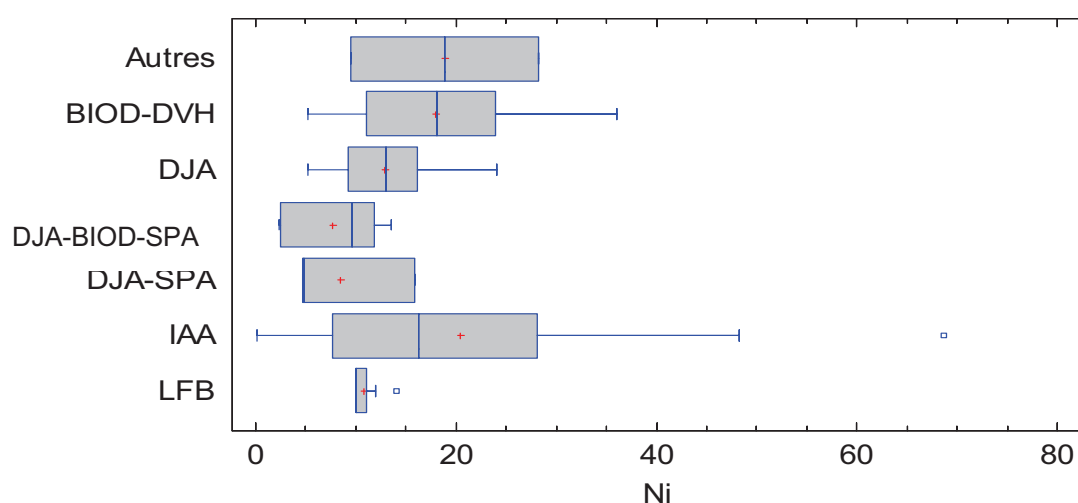


Figure 72 : Répartition des teneurs en nickel (mg/kg MS) en fonction des intrants

Tableau 59 : Variabilité des teneurs en nickel (mg/kg MS) en fonction des intrants

Intrants	Effectif	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	1er quartile	3ème quartile
Autres	2	18,85	18,85	9,5	28,2	9,5	28,2
BIOD-DVH	53	17,91	18,09	5,18	36,06	11,02	23,88
DJA	11	12,94	13,0	5,2	24,0	9,21	16,1
DJA-BIOD-SPA	11	7,62	9,69	2,29	13,5	2,44	11,82
DJA-SPA	3	8,46	4,84	4,7	15,84	4,7	15,84
IAA	20	20,45	16,2	0,18	68,7	7,65	28,1
LFB	8	10,75	10,0	10,0	14,0	10,0	11,0
Total	108	16,05	13,5	0,18	68,7	9,655	22,5

Les teneurs en nickel varient en moyenne de 7 mg/kg MS à 20,5 mg/kg MS selon la nature et le mélange des intrants. Les teneurs les plus élevées sont observées pour des digestats issus des déchets de l'industrie agro-alimentaire et des biodéchets-déchets verts. Les teneurs les plus faibles sont associées à des digestats issus de la méthanisation des déjections animales et des sous-produits animaux. L'analyse des données permet de donner cette tendance générale sans pouvoir apporter une fourchette des teneurs en nickel pour les digestats issus de chaque type de déchet.

9.2.7.1 Teneurs en chrome en fonction de la nature des digestats d'origine agricole.

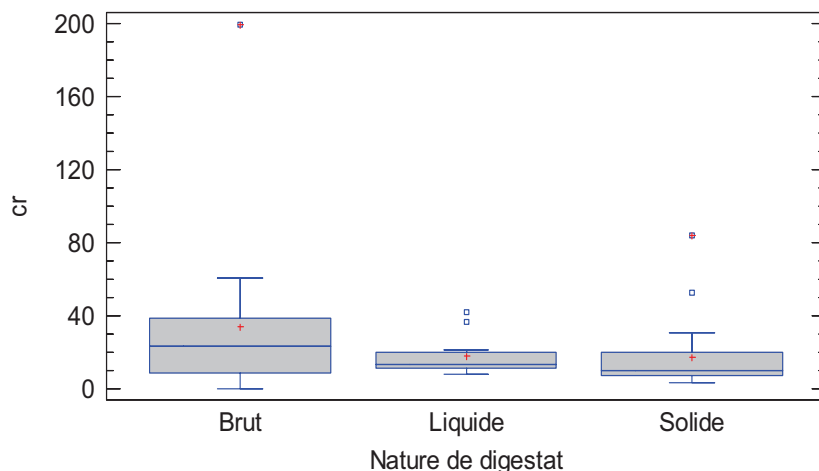


Figure 73 : Répartition des valeurs de chrome (mg/kg MS) en fonction de la nature des digestats

Tableau 60 : Variabilité des valeurs de chrome (mg/kg MS) en fonction de la nature des digestats

Nature de digestat	Effectif	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	1er quartile	3ème quartile
Brut	16	33,95	23,15	0,0	199,0	8,375	38,5
Liquide	12	17,71	13,38	8,0	42,0	11,19	19,91
Solide	20	17,29	10,0	3,48	84,2	7,5	19,75
Total	48	22,95	12,295	0,0	199,0	9,085	29,65

Les teneurs en chrome sont en moyenne de 34 ; 17,7 et 17,1 mg/kg MS respectivement pour le digestat brut, la fraction liquide et la fraction solide du digestat. Les teneurs les plus élevées sont associées aux digestats bruts qui présentent en moyenne des valeurs 2 fois plus fortes que celles mesurées pour la fraction solide et la fraction liquide des digestats. **Un seul dépassement du seuil de 120 mg/kg MS, qui représente le seuil des teneurs en chrome dans la norme NFU 44-051, a été observé.**

9.2.7.2 Teneurs en chrome en fonction des intrants d'origine agricole.

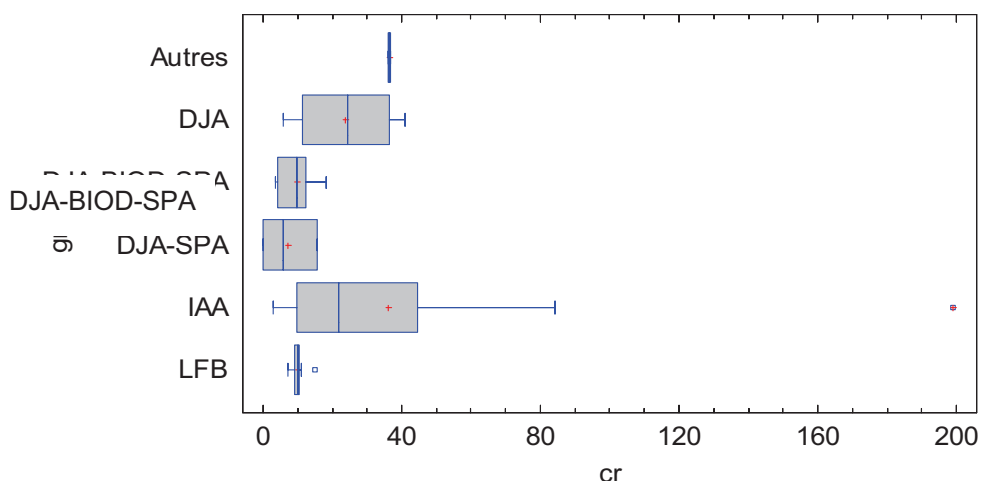


Figure 74 : Répartition des teneurs en chrome (mg/kg MS) en fonction des intrants

Tableau 61 : Variabilité des teneurs en chrome (mg/kg MS) en fonction des intrants

Intrants	Effectif	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	1er quartile	3ème quartile
Autres	2	36,4	36,4	36,1	36,7	36,1	36,7
DJA	4	23,85	24,4	5,7	40,9	11,35	36,35
DJA-BIOD-SPA	11	9,80	9,91	3,48	18,32	4,07	12,45
DJA-SPA	3	7,25	6,0	0,0	15,76	0,0	15,76
IAA	20	36,14	21,8	2,83	199,0	9,9	44,5
LFB	8	10,13	10,0	7,0	15,0	9,0	10,5
Total	48	22,95	12,29	0,0	199,0	9,09	29,65

Les teneurs en chrome varient en moyenne de 7 mg/kg MS à 36 mg/kg MS selon la nature et le mélange des intrants. Les teneurs les plus élevées sont observées pour des digestats issus de la méthanisation de déchets d'industrie agro-alimentaire. A l'opposé, les teneurs les plus faibles sont associées à des digestats issus de la méthanisation des déjections animales et des sous-produits animaux. L'analyse des données permet de donner une tendance générale sans pouvoir apporter une fourchette des teneurs en chrome pour les digestats issus de chaque type de déchet.

9.3 ELEMENTS TRACES METALLIQUES: PRESENTATION DES RESULTATS DU TRAITEMENT DES DONNEES COLLECTEES POUR LES DECHETS URBAINS

Le nombre d'analyses récoltées pour les déchets urbains est variable selon les éléments traces métalliques. Le nombre d'analyses des teneurs en cuivre, zinc, cadmium, plomb et nickel varie de 45 à 114. A l'opposé, les teneurs en chrome, mercure et manganèse sont très peu représentées (24 à 40 analyses sur les 186 digestats). Enfin, pour l'aluminium et l'arsenic, seulement 9 et 2 analyses ont pu être récoltées.

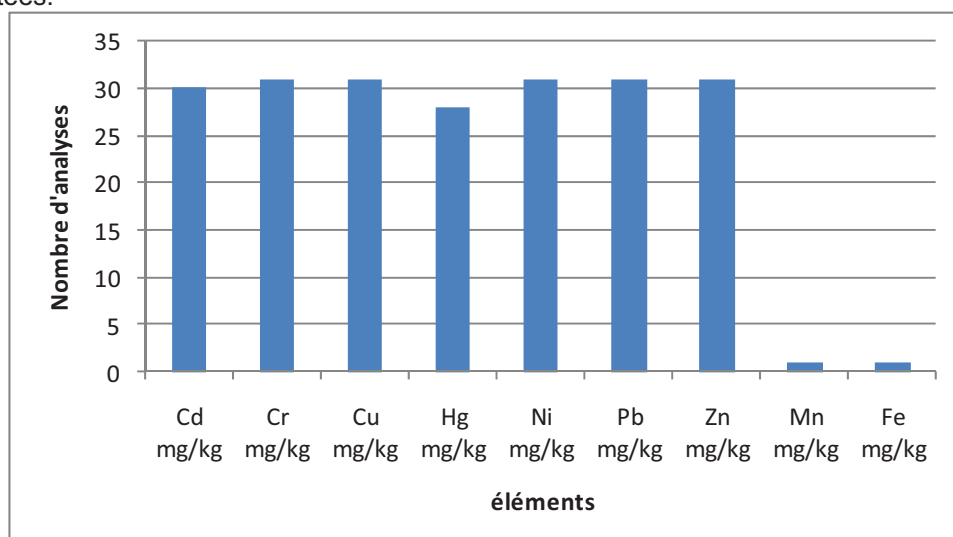


Figure 75 : Nombre d'analyses récoltées pour les teneurs en ETM pour les digestats de BTU

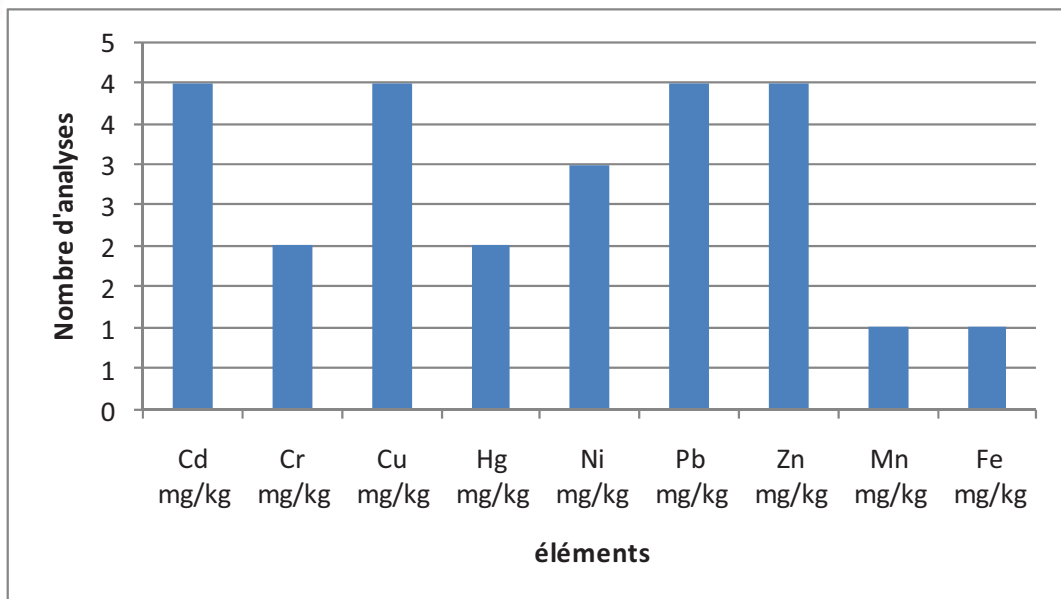


Figure 76 : Nombre d'analyses récoltées pour les teneurs en ETM pour les composts de digestats de biodéchets et de FFOM issue d'OMr.

9.3.1 Le cadmium

9.3.1.1 Teneurs en fonction des intrants d'origine urbaine.

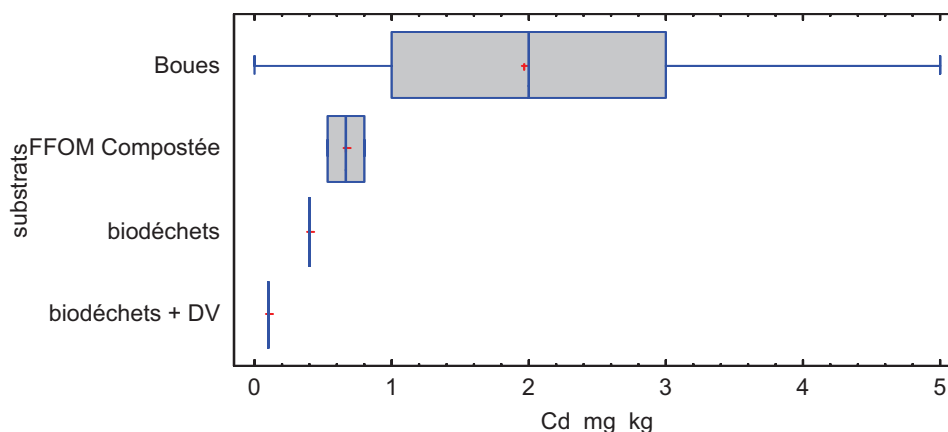


Figure 77 : Répartition des valeurs du cadmium (mg/kg MS) en fonction de nature des intrants

Tableau 62 : Variabilité des valeurs de cadmium (mg/kg MS) en fonction de la nature des intrants

Substrats méthanisés	Effectif	Moyenne	Ecart-type	Coef. de variation	Minimum	Maximum	Etendue	Asymétrie std.
BTU	30	1,96	1,18	60,43 %	0,05	5,0	5,0	1,92
FFOM issue d'OMr Compostée	2	0,66	0,19	28,70 %	0,53	0,8	0,27	/
biodéchets	1	0,4	/	/	0,4	0,4	0,0	/
biodéchets + DV	1	0,1	/	/	0,1	0,1	0,0	/
Total	34	1,78	1,22	68,28 %	0,0	5,0	5,0	2,12

Pour le cadmium, les teneurs en cadmium varient en moyenne de 0,1 mg/kg MS à 2 mg/kg MS selon la nature et le mélange des intrants.

Les teneurs les plus élevées sont observées pour des digestats de BTU. A l'opposé, les teneurs les plus faibles sont associées à des digestats issus de la méthanisation de biodéchets, déchets verts. Certaines valeurs maximales des moyennes de digestats contenant des BTU présentent des teneurs en cadmium supérieures au seuil fixé par les normes sur les amendements organiques qui est de 3 mg/kg MS, mais sont inférieures au seuil de 10 mg/kg fixé par la réglementation sur l'épandage de BTU (dans le cadre de laquelle la plupart de ces BTU digérées sont épandues).

La *Figure 78* présente les valeurs maximales mesurées (il ne s'agit pas de valeurs moyennes, mais de valeurs observées pour un lot de production) pour chaque type de digestat dans l'ensemble des valeurs analytiques collectées.

On remarque que les BTU digérées compostées avec des déchets verts présentent les valeurs les plus élevées, On peut supposer (au vu du faible effectif de ce groupe : 2) que ces fortes teneurs sont dues à une concentration importante en cadmium de ces 2 BTU.

L'analyse des données permet de donner cette tendance générale sans pouvoir apporter une fourchette des teneurs en cadmium pour les digestats issus de chaque type de déchet du fait de la disparité entre les effectifs de chaque substrat.

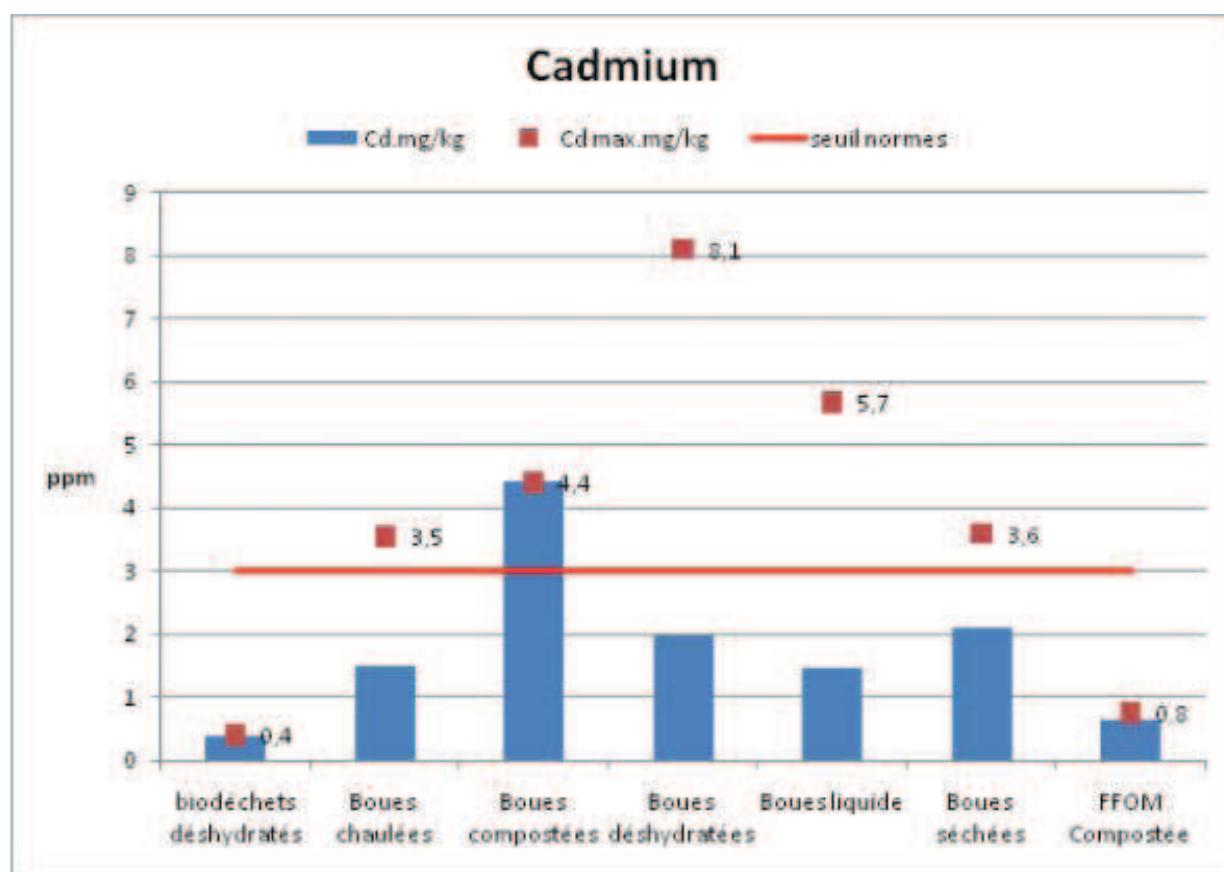


Figure 78 : Répartition des teneurs moyennes analysées et de la valeur maximale observée en cadmium (mg/kg MS) en fonction des post-traitements et des intrants

9.3.2 Le chrome

9.3.2.1 Teneurs en fonction des intrants d'origine urbaine.

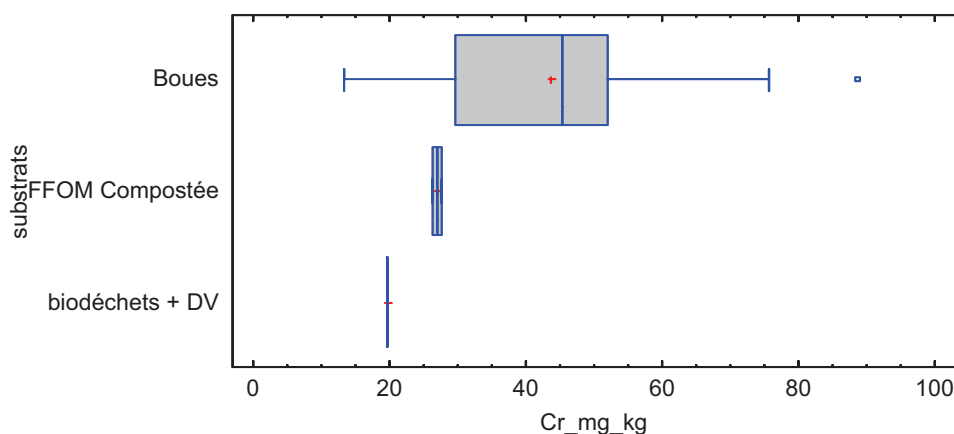


Figure 79 : Répartition des valeurs du chrome (mg/kg MS) en fonction de nature des intrants

Tableau 63 : Variabilité des valeurs de chrome (mg/kg MS) en fonction de la nature des intrants

Substrats méthanisés	Effectif	Moyenne	Ecart-type	Coef. de variation	Minimum	Maximum	Etendue	Asymétrie std.
BTU	31	43,71	17,30	39,58 %	13,4	88,5	75,1	0,70
FFOM issue d'OMr Compostée	2	26,93	0,79	2,96 %	26,37	27,5	1,13	/
biodéchets + DV	1	19,6	/	/	19,6	19,6	0,0	/
Total	34	42,01	17,43	41,49 %	13,4	88,5	75,1	1,05

Les teneurs en chrome varient en moyenne de 20 mg/kg MS à 44 mg/kg MS selon la nature et le mélange des intrants. Les teneurs les plus élevées sont observées pour des digestats issus de la méthanisation de BTU. A l'opposé, les teneurs les plus faibles sont associées à des digestats issus de la méthanisation des déchets urbains solides.

L'analyse des données permet de donner cette tendance générale sans pouvoir apporter une fourchette des teneurs en chrome pour les digestats issus de chaque type de déchet.

Il n'y a pas de dépassement observé du seuil de 120 mg/kg MS, qui représente le seuil des teneurs en chrome dans les normes NFU 44-051 et NFU 44-095 et les valeurs maximales (Figure 80) sont toutes très inférieures au seuil de 1000 mg/kg fixé par la réglementation sur l'épandage des BTU.