

RAPPORT D'ÉTUDE

03/04/2012

N°INERIS- DRC-12-125976-02525B

**ETUDE COMPARATIVE DE LA QUALITE DE  
COMPOSTS ET DE DIGESTATS ISSUS DE LA  
FRACTION FERMENTESCIBLE D'ORDURES  
MENAGERES, COLLECTEE SEPAREMENT OU  
EN MELANGE**

**Rapport final**

**INERIS**

*maîtriser le risque |  
pour un développement durable |*



# **ETUDE COMPARATIVE DE LA QUALITE DE COMPOSTS ET DE DIGESTATS ISSUS DE LA FRACTION FERMENTESCIBLE D'ORDURES MENAGERES, COLLECTEE SEPAREMENT OU EN MELANGE**

## **Rapport final**

Rapport réalisé pour le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement.

Liste des personnes ayant participé à l'étude : Isabelle ZDANEVITCH

## PRÉAMBULE

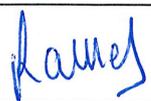
Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Isabelle ZDANEVITCH	Rodolphe GAUCHER	Martine RAMEL
Qualité	Ingénieur à l'unité Technologies et Procédés Propres et Durables	Responsable de l'unité Technologies et Procédés Propres et Durables	Responsable du pôle Risques et Technologies Durables
Visa			

## **RESUME**

Les traitements biologiques des déchets non dangereux, qu'ils soient centralisés ou individuels, connaissent une forte croissance en France comme ailleurs en Europe. Ces traitements s'appliquent à des flux de matières simples tels que les déjections animales mais aussi les déchets verts ou les biodéchets des ménages collectés séparément, ou à des flux complexes comme les ordures ménagères résiduelles en mélange, qui sont ensuite triés de façon plus ou moins poussée en fonction de l'usage envisagé pour les résidus du traitement.

Le retour au sol de matières organiques issues des déchets nécessite une bonne qualité des composts produits, en termes de valeur fertilisante mais également d'innocuité. En France, le référentiel de qualité en vigueur est la norme française NF U 44-051 : 2006, dont l'application est obligatoire pour tous les composts mis sur le marché (arrêté du 5 septembre 2003 modifié le 2 septembre 2010 et le 17 octobre 2011).

La valorisation des composts issus du traitement de déchets fait actuellement l'objet d'un examen au niveau de la Commission Européenne, dans le cadre de la démarche de sortie de statut de déchet (« end-of-waste »). Les discussions au niveau européen fin 2011 semblent aller dans le sens d'une exclusion de la sortie de statut de déchet pour les composts issus d'ordures ménagères résiduelles (OMR) triées en usine ou de boues de stations d'épuration (STEP), par le biais d'une liste positive autorisant les intrants, dont ces déchets seraient exclus. Les travaux européens sont pilotés par le JRC de Séville, qui a lancé mi-2011 une large campagne d'échantillonnage et d'analyse de composts de tous types au niveau européen : 160 échantillons en tout, dont 45 français, comprenant des composts issus de la fraction fermentescible des ordures ménagères (FFOM), des déchets verts, des boues de STEP, des effluents d'élevage...

Afin d'apporter des éléments techniques de discussion, l'INERIS a entrepris une enquête sur la qualité des composts issus du traitement biologique de la FFOM, comprenant une éventuelle étape de digestion, issue des deux principales filières : biodéchets collectés séparément et OMR triées en usine. L'étude vise à établir si les qualités de composts élaborés dans ces deux filières étaient équivalentes.

Une première série de données a été récoltée par le biais d'une enquête auprès de responsables de sites déjà connus de l'INERIS (partenaires sur des programmes de recherche, ou ayant communiqué récemment au niveau national). Les données recherchées étaient des résultats d'analyses réalisées selon les critères de la norme NF U 44-051. Ces données concernaient une dizaine de sites, dont seulement trois installations de tri mécano-biologique (TMB). Une deuxième étape a consisté à élargir le nombre de sites investigués. Dans ce but, différents acteurs ont été contactés. Les données ont alors pu être recueillies auprès de 30 sites, dont 15 traitant les biodéchets collectés séparément, et 15 sites de TMB. 7 de ces 30 sites réalisent une méthanisation préalable de ces déchets (sur un parc de 10 installations en fonctionnement mi-2011). Les sites en fonctionnement depuis plus d'un an ont été contactés prioritairement ; cependant, certains sites plus récents ayant répondu

à la demande d'échantillons de la part du JRC de Séville ont également été contactés pour la présente étude. Au total, le nombre de sites méthanisant et/ou compostant des biodéchets ou des OMR triées en usine, et dont le compost est conforme à la norme NF U 44-051, est estimé entre 40 et 50, dont plusieurs sont en fonctionnement depuis moins d'un an. Les 30 sites participant à cette étude représentent donc bien la situation française. Ces sites ont fourni près de 400 jeux d'analyses (ensemble des paramètres de la norme).

Les données étudiées dans le présent rapport sont uniquement les analyses réalisées selon la norme NF U 44-051, et sont donc moins nombreuses que les paramètres étudiés par le JRC : les analyses conduites par le JRC incluent en particulier les PCB, les dioxines, des PBDE, des muscs polycycliques (tonalide et galaxolide), soupçonnés d'être des perturbateurs endocriniens, des fluorosurfactants dont le perfluorooctane sulfonate (PFOS), l'acide perfluorooctanoïque (PFOA), et l'acide perfluorononanoïque (PFNA).

Le JRC a également proposé un certain nombre de critères à respecter pour les composts, avec des valeurs limites. Ces valeurs limites ont également été prises en compte, en parallèle avec les valeurs de la norme française, dans la présente étude.

Les composts étudiés ont tous une qualité qui répond généralement aux exigences de la norme française NF U 44-051, quels que soient les intrants (biodéchets ou OMR) et le type de traitement (méthanisation puis compostage ou compostage seul), pour l'ensemble des éléments traces métalliques (ETM), des composés traces organiques et des inertes. Seuls quelques dépassements sont recensés sur certains ETM et sur les inertes.

Les paramètres relatifs à l'innocuité présentent des valeurs plus élevées et plus dispersées sur les composts de certains sites de TMB par rapport aux teneurs des composts issus de la collecte séparée des biodéchets, sauf pour l'arsenic et pour les composés traces organiques, dont une fraction des composts de biodéchets présente des valeurs plus élevées.

En ce qui concerne les éléments traces métalliques, 13 sites de méthanisation ou compostage sur biodéchets collectés séparément (sur 15) et 10 sites de méthanisation ou compostage sur fermentescibles triés mécaniquement (sur 15) ne présentent aucun dépassement des valeurs limites de la NF U 44-051 pour les ETM sur l'ensemble des données fournies.

Pour les 3 composés traces organiques, il n'y a aucun dépassement des critères de la NF U 44-051, sur 257 analyses au total sur l'ensemble des sites.

Pour les inertes, il y a un peu plus de dépassements des valeurs limites de la NF U 44-051 que pour les ETM, uniquement sur les composts de TMB. Aucun dépassement des valeurs limites pour les 3 paramètres inertes n'est relevé sur l'ensemble des composts issus de biodéchets collectés séparément.

Un syndicat dont le site de compostage sur tri mécanique fonctionne depuis plusieurs années, a mis en place la collecte séparative des DEEE en janvier 2009. Les analyses en ETM ont été examinées depuis début 2007. La mise en place de cette collecte n'a pas eu d'influence significative sur les teneurs du compost en arsenic, chrome ou sélénium : les valeurs sont restées stables. Les teneurs en cadmium, nickel, plomb, cuivre et zinc ont baissé de 20 à 30 % de la valeur moyenne, et sont beaucoup plus homogènes, depuis la mise en place de cette

collecte. Les teneurs en mercure ont un peu augmenté depuis le début de 2011, et sont plus dispersées que sur la période 2007-2010. Cette augmentation pourrait être liée à l'arrivée en fin de vie des premières lampes à basse consommation, qui contiennent du mercure, et qui devraient obligatoirement être recyclées, mais qui ne le sont qu'à hauteur de 35 % (Récylum, février 2012).

Certaines des valeurs limites proposées par le JRC ne posent pas de problème majeur pour les composts étudiés ici (le chrome, le mercure, le nickel). En revanche, la majorité des composts issus du TMB, mais également certains des composts issus de la collecte séparée, dépassent les valeurs proposées pour le cuivre ou le zinc.

Certains composts issus du TMB dépassent les valeurs proposées par le JRC pour le cadmium ou le plomb. Cependant, la majorité des composts traités ici sont conformes à des critères plus sévères (critères de la charte CERAFEL par exemple, ou certains critères de l'ECOLABEL sur les composts), sur les ETM notamment. Plusieurs composts issus d'OMR triés en usine ont un agrément CERAFEL, qui leur permet d'être utilisés en maraîchage notamment.

A l'heure actuelle en France, la majorité des installations de TMB fonctionnant depuis plusieurs années produisent aujourd'hui un compost de qualité satisfaisante d'après les critères de la norme obligatoire NF U 44-051, et ce, de façon reproductible au cours du temps.

Il serait cependant nécessaire de poursuivre les analyses des données, afin d'avoir une meilleure vision de l'influence des options technologiques sur la qualité des composts, et de l'impact des critères en cours de discussion sur l'ensemble de la filière du traitement biologique de la FFOM.



## TABLE DES MATIÈRES

<b>GLOSSAIRE .....</b>	<b>9</b>
<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>11</b>
<b>2. NORMES APPLICABLES AUX COMPOSTS .....</b>	<b>13</b>
2.1 Normes de qualité applicables aux composts : situation française et internationale.....	13
2.2 Etude du JRC.....	15
<b>3. REPRESENTATIVITE ET QUALITE DES DONNEES .....</b>	<b>17</b>
3.1 Méthode d'enquête.....	17
3.2 Recensement et nomenclature des sites.....	18
3.3 Diversité des sites .....	20
3.4 Représentativité des procédés de traitement .....	24
3.5 Protocoles de prélèvement et d'analyses.....	25
<b>4. TRAITEMENT DES DONNEES ; INTERPRETATION.....</b>	<b>26</b>
<b>5. QUALITE AGRONOMIQUE DES COMPOSTS.....</b>	<b>28</b>
5.1 Matière sèche.....	30
5.2 Matières organiques.....	32
5.3 Rapport C/N .....	34
5.4 Azote total .....	36
5.5 Phosphore total .....	38
5.6 Potassium total.....	40
5.7 Somme des éléments fertilisants (N, P, K).....	42
<b>6. LES METAUX .....</b>	<b>44</b>
6.1 L'arsenic.....	46
6.2 Le cadmium.....	48
6.3 Le chrome .....	50
6.4 Le cuivre.....	52
6.5 Le mercure .....	54
6.6 Le nickel .....	56
6.7 Le plomb.....	58
6.8 Le sélénium .....	60
6.9 Le zinc.....	62
6.10 Comparaison des moyennes ; conclusions sur les ETM .....	65
6.11 Effet de la collecte séparée de certains déchets indésirables .....	66

<b>7. LES COMPOSES TRACES ORGANIQUES .....</b>	<b>69</b>
7.1 Le fluoranthène .....	70
7.2 Le benzo-b-fluoranthène .....	72
7.3 Le benzo-a-pyrène .....	74
7.4 Comparaison des moyennes.....	76
<b>8. LES INERTES.....</b>	<b>77</b>
8.1 Les films et PSE (polystyrène) > 5 mm (plastiques légers) .....	78
8.2 Les autres plastiques > 5 mm (plastiques durs) .....	80
8.3 Les verres, métaux > 2 mm .....	82
8.4 Comparaison des moyennes.....	84
<b>9. PATHOGENES .....</b>	<b>86</b>
<b>10. GESTION DES LOTS NON CONFORMES .....</b>	<b>86</b>
<b>11. PERSPECTIVES ; TRAVAUX FUTURS.....</b>	<b>87</b>
11.1 Comparaison avec les résultats de l'étude du JRC .....	87
11.2 Analyses complémentaires des données .....	87
<b>12. CONCLUSIONS.....</b>	<b>89</b>
<b>13. REFERENCES.....</b>	<b>91</b>
<b>14. LISTE DES ANNEXES .....</b>	<b>92</b>

## **GLOSSAIRE**

ASTE	Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement
CERAFEL	Association d'Organisations de Producteurs - légumes, fruits et horticulture
CTO	Composés traces organiques
DEEE	Déchets d'équipements électriques et électroniques
DV	Déchets verts
ETM	Eléments traces métalliques
FFOM	Fraction fermentescible des ordures ménagères
FNCC	Fédération Nationale des Collectivités de Compostage
HAP	Hydrocarbures polycycliques aromatiques
ISDND	Installation de stockage de déchets non dangereux
JRC	Joint Research Center (Centre de Recherches Européen) à Séville ; un autre centre se trouve en Italie à Ispra
MB	Matière brute
MEDDTL	Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement
METHEOR	Association pour la Méthanisation Ecologique des Déchets
MO	Matière organique
MS	Matière sèche
OMR	Ordures ménagères résiduelles
PBDE	Polybromodiphényléthers
PCB	Polychlorobiphényles
PFNA	Acide perfluorononanoïque
PFOA	Acide perfluorooctanoïque
PFOS	Perfluorooctane sulfonate
STEP	Station d'épuration
TMB	Tri mécano-biologique



## 1. INTRODUCTION

Les traitements biologiques des déchets non dangereux, qu'ils soient centralisés ou individuels, connaissent une forte croissance en France comme ailleurs en Europe. Ces traitements comprennent la stabilisation aérobie (compostage) ou la dégradation anaérobie (méthanisation, qui produit du biogaz) des matières organiques. Ils s'appliquent à des flux de matières simples tels que les déjections animales mais aussi les déchets verts ou les biodéchets des ménages collectés séparément, ou à des flux complexes comme les ordures ménagères résiduelles en mélange, qui sont triées de façon plus ou moins poussée en fonction de l'usage envisagé pour les résidus après traitement.

Les objectifs des traitements biologiques des déchets sont multiples :

- la Directive Européenne « décharges »<sup>1</sup> impose d'ici 2016 une réduction de la matière organique biodégradable enfouie de 65 % par rapport aux quantités produites en 1995,
- le manque de place dans les installations de stockage des déchets non dangereux (ISDND) et la difficulté à implanter de nouveaux incinérateurs impose de détourner le maximum de matières des flux traités par ces filières,
- la Directive Européenne « déchets »<sup>2</sup> impose de considérer préférentiellement dans l'ordre, la prévention, le réemploi, le recyclage, la valorisation matière, la valorisation énergétique, l'enfouissement ne devant plus recevoir que des résidus ultimes,
- le manque de matières organiques de certains sols en France, ainsi que l'enchérissement des engrais minéraux, accroît l'intérêt des agriculteurs pour l'utilisation de composts, comme amendement du sol mais également en substitution partielle aux engrais minéraux.

Il existe en France plusieurs centaines d'installations de compostage traitant des déchets variés, dont quelques dizaines d'installations de TMB. Entre 40 et 50 d'entre elles traitent la fraction fermentescible des ordures ménagères (FFOM) en produisant un compost conforme à la norme NF U 44-051 : 2006, selon deux filières :

- une partie reçoit des biodéchets des ménages collectés séparément. Ces déchets subissent peu de préparation à leur entrée sur le site. Ils sont éventuellement mélangés à des déchets verts broyés. Plusieurs de ces plates-formes sont réunies au sein du réseau Compost Plus ;
- d'autres installations (parfois reconstruites à partir d'anciennes installations de tri-compostage) reçoivent des ordures ménagères résiduelles (OMR) en mélange, soit la fraction des déchets des ménages qui reste après les collectes séparées de déchets recyclables (emballages, verre, DEEE<sup>3</sup>...). Ces plates-formes, lorsqu'elles ont choisi de valoriser le compost produit, ont une étape de tri mécanique poussé afin de séparer les matières biodégradables (les déchets alimentaires mais aussi les papiers-cartons) des matières non biodégradables, ces dernières étant soit incinérées, soit envoyées en enfouissement ;

---

<sup>1</sup> Directive 1999/31/CE du Conseil du 26 avril 1999 concernant la mise en décharge des déchets.

<sup>2</sup> Directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil du 19/11/ 2008 relative aux déchets.

<sup>3</sup> Déchets d'équipements électriques et électroniques

- quelques installations ne trient pas (ou peu) les OMR avant de les traiter : il s'agit essentiellement de stabiliser les matières biodégradables avant l'enfouissement, de façon à réduire les émissions de biogaz et la charge des lixiviats issus des casiers de stockage. Ces installations ne seront pas considérées dans cette étude.

Les déchets ménagers sont également parfois traités par méthanisation afin de produire du biogaz ; comme pour le procédé de compostage, les matières organiques traitées par cette filière peuvent soit être collectées séparément, soit être collectées en mélange et triées dans l'installation avant d'être introduites dans le digesteur. Réglementairement, le digestat, qui est le résidu plus ou moins pâteux issu de la digestion, doit subir un « compostage caractérisé », avant de pouvoir être valorisé comme amendement organique (norme NF U 44-051, article 3.2.3). Le temps de séjour et la température à atteindre lors de cette étape sont précisés dans l'arrêté « compostage » du 22 avril 2008. Le compost obtenu doit alors, comme celui issu de la filière « compostage » (traitement aérobique seul), être conforme aux prescriptions de la norme NF U 44-051.

La valorisation des composts issus du traitement de déchets fait actuellement l'objet d'un examen au niveau de la Commission Européenne, dans le cadre de la démarche de sortie de statut de déchet (« end-of-waste »). Les discussions au niveau européen semblent aller dans le sens d'une liste positive de matières autorisées pour produire des composts, cette liste positive excluant a priori la production de composts à partir d'OMR triées en usine ou de boues de STEP, qui conserveraient alors un statut de déchet. Ces composts devraient ainsi, soit être gérés par un plan d'épandage, soit être envoyés vers l'incinération ou l'enfouissement. En France, la liste positive de la norme NF U 44-051 (en cours de révision), permet la mise sur le marché de composts élaborés à partir de fermentescibles non collectés séparément, pourvu qu'ils respectent les critères relatifs à l'innocuité prescrits par la norme. Les filières de compostage ou méthanisation sur FFOM collectée en mélange et triée mécaniquement s'est ainsi développée récemment, et de nombreux projets sont encore basés sur ce mode de traitement.

Afin d'apporter des éléments techniques dans le cadre des discussions européennes pilotées par le JRC, l'INERIS a entrepris une enquête sur la qualité des composts conformes à la norme NF U 44-051, issus du traitement de la FFOM (après une éventuelle étape de digestion). Ces composts sont issus des deux principales filières : biodéchets collectés séparément et OMR triées en usine. Des enquêtes auprès d'industriels et de collectivités locales possédant ce type d'installations de traitement ont été réalisées afin de récolter les résultats d'analyse de la conformité des composts produits à la norme NF U 44-051.

Les données étudiées dans le présent rapport sont uniquement les analyses réalisées selon la norme NF U 44-051, et sont donc moins nombreuses que les paramètres étudiés par le JRC : les analyses conduites par le JRC incluent en particulier plusieurs polluants organiques persistants.

Une première phase d'enquête a porté début 2011 sur une dizaine de sites, dont seulement trois produisent du compost à partir d'OMR triées en usine. Dans un deuxième temps, l'enquête a été élargie à d'autres sites. Le présent rapport présente ainsi les résultats d'analyse de composts issus d'une trentaine de sites.

## **2. NORMES APPLICABLES AUX COMPOSTS**

### **2.1 NORMES DE QUALITE APPLICABLES AUX COMPOSTS : SITUATION FRANÇAISE ET INTERNATIONALE**

L'utilisation de matières organiques issues des déchets est régie par la norme française NF U 44-051 de 2006<sup>4</sup>. Tous les composts issus de déchets ménagers, mis sur le marché en France, doivent être conformes aux prescriptions de cette norme (arrêté du 5 septembre 2003 modifié).

Différents référentiels de qualité, plus exigeants que la norme NF U 44-051, existent pour des applications particulières (charte Bonduelle, agrément Cerafel pour les maraîchers bretons etc.). Il existe également des référentiels au niveau européen : ECOLABEL<sup>5</sup> ou amendements utilisables en agriculture biologique (voir ci-dessous), ou d'autres normes nationales (au Royaume Uni ou au Canada notamment). Les tableaux ci-dessous décrivent les exigences de certaines de ces référentiels, en comparaison avec les critères de la norme française NF U 44-051. La norme canadienne prévoit deux classes de composts avec des niveaux de contamination distincts.

En ce qui concerne l'agriculture biologique, lorsque les besoins nutritionnels des plantes ne sont pas couverts, seuls sont autorisés les amendements figurant à l'annexe 1 du règlement européen RCE n°889-2008 (Leclerc, 2011). En ce qui concerne les composts issus de la FFOM, il s'agit de :

- produit obtenu à partir de déchets ménagers triés à la source, soumis à un compostage ou une fermentation anaérobie en vue de la production de biogaz,
- issus de déchets ménagers, végétaux et animaux uniquement,
- produit dans un système de collecte fermé et contrôlé, accepté par l'Etat Membre.

Les propositions de valeurs limites proposée à la discussion du groupe de travail piloté par le JRC sur la sortie de statut de déchets pour les composts sont également citées (voir le chapitre suivant).

---

<sup>4</sup> NF U 44-051 : 2006 : « Amendements organiques. Dénominations, spécifications et marquage » ; cette norme introduit des éléments d'innocuité, qui « pourront être revus selon les résultats d'une étude d'analyse de risques » (page 4, avant-propos).

<sup>5</sup> Ecolabel pour les composts : label écologique communautaire « Amendements pour sols ».

Tableau 1 : comparaison des valeurs limites pour les éléments traces métalliques des composts dans différents référentiels

	Norme NFU-44051 2006	Charte Qualité Cérafel	Ecolabel 2001	Compost AB (règl RCE n°889-2008)	BSI PAS 100 :200 5 (UK)	Proposition du JRC	Norme de qualité 2005* (Canada)	
							Compost A	Compost B
Arsenic	18		10	-		-	13	75
Cadmium	3	1	1	0,7	1,5	1,5	3	20
Chrome	120	100	-	70**	100	100	210	
Cuivre	300	300	100	70	200	100	400	
Mercure	2	1	1	0,4	1	1	0,8	5
Nickel	60	50	50	25	50	50	62	180
Plomb	180	100	100	45	200	120	150	500
Sélénium	12		1,5	-	-	-	2	14
Zinc	600	600	300	200	400	400	700	1850
Molybdène			2				5	20
Fluor			200					
Cobalt							34	150

\*: référence : CAN/BNQ 0413-200

\*\* Cr VI = 0

Tableau 2 : comparaison des valeurs limites pour les composés traces organiques des composts dans différents référentiels

	Norme NFU-44051 2006	Charte Qualité Cérafel	Ecolabel 2001	Proposition JRC**
7 PCB**	-*	0,8	-	
Fluoranthène	4	-	4	
Benzo(b)fluoranthène	2,5	-	2,5	
Benzo(a)pyrène	1,5	1,6	1,5	

\* une valeur limite est prescrite dans la norme NF U 44-095, applicable aux composts contenant des boues de STEP

\*\* : le JRC ne propose pas de valeur limite pour ces paramètres

Tableau 3 : comparaison des valeurs limites pour les inertes des composts dans différents référentiels

	Norme NFU-44051 2006	Ecolabel 2001	BSI PAS 100 :20 05 (UK)	Proposition du JRC
Films, PSE > 5 mm	0,3			
Autres plastiques > 5 mm	0,8			
Verre, métaux > 2 mm	2			
Verre, métal, plastique >2 mm et tout autre que pierres, cailloux		0,5	0,5	0,5

Remarque : les méthodes de détermination des inertes sont différentes selon les référentiels et selon les différents pays européens, ce qui conduit à des résultats différents.

## 2.2 ETUDE DU JRC

Les éléments suivants sont extraits du document de travail N° 2 du 11 octobre 2011 (IPTS, 2011).

La commission européenne a engagé les travaux de comitologie visant à définir des critères de sortie du statut de déchets pour un certain nombre de grand flux : les métaux, le papier, les plastiques et les déchets biodégradables susceptibles de subir un traitement biologique. Pour ce dernier flux, l'Institut de Technologies Prospectives du Centre Commun de Recherche (Joint Research Center : JRC-IPTS) a mis en place un groupe de travail constitué d'experts représentant les états membres, chargés de réfléchir aux critères de sortie de statut de déchets pour les composts produits à partir de déchets biodégradables. Ce groupe de travail s'est réuni à deux reprises en 2011. Au cours de la réunion de mars, il est apparu un besoin de données scientifiques récentes et fiables et d'une analyse comparative des niveaux de polluants organiques et inorganiques dans différents types de composts et de digestats issus de différentes sources, pour appuyer le processus décisionnel d'élaboration des critères de sortie de statut de déchets.

Dans ce but, le JRC a procédé à un échantillonnage de composts au niveau européen, suivi d'une campagne d'analyses de polluants organiques et inorganiques sur cette série de composts et de digestats. La participation était basée sur le volontariat. La campagne a été organisée en mai-septembre 2011.

Les deux objectifs de cette large campagne d'échantillonnage et d'analyses étaient de :

- générer, dans un délai limité, une grande quantité de données analytiques, à haute valeur scientifique et statistique, pour un certain nombre de types de composts et de digestats, afin de permettre un aperçu général et l'estimation

de la variabilité possible des niveaux de polluants au sein et entre les technologies et les différents composts/digestats,

- garantir une objectivité maximale, une variation minimale et le biais le plus petit possible sur l'échantillonnage, par la réalisation de prélèvements inopinés effectués par une seule équipe, composée de personnel du JRC uniquement, sur certaines des installations participant à l'étude.

162 échantillons ont été recueillis, géoréférencés et répartis selon les catégories suivantes :

- compost issu des déchets organiques collectés séparément, auprès des ménages et des commerces, y compris les déchets des parcs et jardins,
- compost produit à partir de déchets des parcs et jardins seulement (compost vert),
- compost produit à partir de boues d'épuration des eaux usées de bonne qualité et déchets organiques collectés séparément (exemple déchets des parcs et jardins, paille),
- compost issu de déchets solides municipaux généré par traitement mécano-biologique visant à produire un compost (dérivés de déchets ménagers non dangereux et de déchets commerciaux assimilés, où aucune collecte séparée des déchets ménagers n'est en place),
- digestats issus de la collecte séparée des biodéchets des ménages et des commerces (fraction liquide et solide),
- produits de digestion de fumier et biodéchets collectés séparément auprès des ménages et institutions commerciales assimilées (fraction liquide et solide),
- digestats issus de fumier et de cultures énergétiques (fraction liquide et solide),
- digestats dérivés de traitement mécano-biologique des déchets solides municipaux, visant à produire un digestat/compost en vue de l'utilisation en agriculture (dérivé de déchets ménagers non dangereux et déchets commerciaux assimilés),
- autres catégories mineures. Il s'agit par exemple de compost d'écorces, ou de compost issus des déchets solides municipaux, stabilisés par traitement mécano-biologique, en vue de l'enfouissement.

Plusieurs composés organiques recherchés par le JRC ne figurent pas dans les normes de qualité des composts. Il s'agit en particulier des polychloro-biphényles (PCB,) les dioxines, des polybromodiphényléthers (PBDE), des muscs polycycliques (tonalide et galaxolide), soupçonnés d'être des perturbateurs endocriniens, des fluorosurfactants dont le perfluorooctane sulfonate (PFOS), l'acide perfluorooctanoïque (PFOA), et l'acide perfluorononanoïque (PFNA).

Les résultats d'analyse sont attendus pour le premier semestre 2012.

### **3. REPRESENTATIVITE ET QUALITE DES DONNEES**

#### **3.1 METHODE D'ENQUETE**

Les données traitées dans ce rapport sont celles d'analyses des composts réalisées selon la norme NF U 44-051, et ne concernent donc que la qualité agronomique, les éléments traces métalliques (ETM), les composés traces organiques (CTO), les inertes et les pathogènes visés par cette norme.

Une première étape a consisté à collecter des données auprès de partenaires et de personnes rencontrées lors de colloques, représentant 7 sites de méthanisation ou compostage sur FFOM collectée séparément (dont 5 sites adhérents du réseau Compost Plus) et trois sites de méthanisation ou compostage sur FFOM triée mécaniquement.

En vue d'assurer une meilleure représentativité des sites français, l'enquête a été élargie depuis le mois de septembre auprès d'exploitants de sites ou de syndicats de traitement de déchets ménagers, représentant une trentaine de sites au total, autant que possible en mode de fonctionnement stabilisé. Ainsi, des sites ayant commencé à fonctionner depuis moins d'un an ne devaient en principe pas être contactés. L'objectif était d'avoir, si possible, au moins 5 à 6 jeux d'analyses complets par site.

Cependant, l'enquête a inclus des sites fonctionnant depuis à peine un an, mais qui ont participé à l'étude du JRC de Séville (analyse de composts provenant de sites de toute l'Europe, dont 45 sites français). Par exemple, le site C-CS12, qui est une PME familiale, n'a pu fournir qu'un jeu de données sur FFOM (ce site fait principalement du compost de déchets verts), mais a participé à l'étude du JRC. Le nombre de jeux d'analyses est donc très différent d'un site à l'autre ; il est indiqué dans le tableau recensant les sites (Tableau 4). En conséquence, pour certains sites, le nombre d'analyses disponibles est limité (3 analyses, voire moins pour les CTO). A titre de comparaison, les analyses du JRC portent sur un à deux échantillons par site (dans ce cas, un prélèvement a été réalisé par les responsables du site, l'autre par un représentant du JRC).

Les contacts ont été pris directement auprès des responsables de sites. Ces sites ont été identifiés à partir des sources suivantes :

- responsables de sites rencontrés par l'INERIS lors de journées professionnelles,
- liste des installations de TMB en France (compostage, méthanisation et stabilisation aérobie, conformes ou non à la NF U 44-051), établie par le MEDDTL à partir des informations des DREAL et transmise à l'INERIS par le MEDDTL (référence : CT/TMB/Liste-TMB2011Oct)<sup>6</sup>,
- liste des adhérents du réseau Compost Plus, transmise par le secrétariat technique du réseau,

---

<sup>6</sup> Les sites de cette liste, non conformes à la NF U 44-051 n'ont pas été contactés ou n'ont pas souhaité participer à l'étude (cas d'un site).

- coordonnées de responsables de sites transmises par l'association METHEOR<sup>7</sup> ou la FNCC<sup>8</sup>,
- liste des installations françaises ayant participé à l'étude du JRC,
- en direct (via les informations trouvées sur Internet) pour la PME familiale qui n'est adhérente d'aucune association.

Il est à remarquer que l'ensemble des personnes contactées ont répondu favorablement et ont fait parvenir l'ensemble des informations demandées. Ces informations étaient listées dans un formulaire d'enquête qui est reproduit en annexe 3. Ces informations comprenaient : les résultats d'analyses sur 1 à 4 ans, mais aussi le protocole de prélèvement, le nom du (des) laboratoire(s) ayant réalisé les analyses, des copies de rapports d'analyse... Les données de 30 sites ont ainsi pu être traitées, soit 15 sites travaillant sur la FFOM collectée séparément, et 15 sites triant mécaniquement la fraction organique des OMR avant le traitement biologique. Sur ces 30 sites, 14 ont fait partie de l'étude du JRC sur un total de 45 sites pour la France (excepté 2 sites de méthanisation opérationnels depuis moins d'un an, les autres sites compostent des déchets verts, des boues de STEP ou des effluents d'élevage et ne faisaient donc pas partie de cette étude).

Les tableaux de résultats envoyés par certains sites contenaient des valeurs mesurées pour d'autres paramètres agronomiques ou d'autres polluants que ceux de la norme NF U 44-051. Ces informations n'étant pas homogènes d'un site à l'autre, elles n'ont pas été retenues pour l'étude.

### 3.2 RECENSEMENT ET NOMENCLATURE DES SITES

Pour distinguer les différents types d'installations, les sites sont désignés dans ce rapport selon la nomenclature suivante :

- la première lettre représente le type de procédé, soit **M** pour la méthanisation suivie du compostage, **C** pour le compostage seul,
- les lettres suivantes représentent les intrants, d'après les définitions des composts 5a et 5b de la norme NF U 44-051 en cours de révision :
  - **CS** : collecte séparée des fermentescibles alimentaires et/ou ménagers,
  - **TM** : tri mécanique des fermentescibles alimentaires et/ou ménagers,
- Le numéro d'ordre a été attribué plus ou moins en fonction de l'ordre d'arrivée des données.

Les sites ayant participé à l'étude du JRC sont repérés par un \*.

Les sites et le nombre de jeux de données disponibles par site sont recensés dans le Tableau 4.

---

<sup>7</sup> Association pour la Méthanisation Ecologique des Déchets

<sup>8</sup> Fédération Nationale des Collectivités de Compostage

Tableau 4 : Recensement des sites, nombre d'analyses prises en compte, période

Sites	Procédé	Nombre d'analyses fournies <sup>a</sup>	Période couverte par les analyses, en mois <sup>b</sup>
<b>M-CS1*</b>	Méthanisation sur collectes séparées de FFOM + DV + graisses...	13 - 14	30
<b>M-CS2*</b>		42 - 44	45
<b>M-CS3</b>		3	4
<b>C-CS1*</b>	Compostage sur fermentescibles collectés séparément (adhérents du réseau Compost Plus)	14	20
<b>C-CS2</b>		2 - 22	17
<b>C-CS3</b>		4 - 7	17
<b>C-CS4</b>		8 - 12	68 <sup>c</sup>
<b>C-CS5*</b>		3 - 10	31
<b>C-CS6*</b>		3 - 17	19
<b>C-CS7</b>		7 - 9	45
<b>C-CS8</b>		5 - 6	32
<b>C-CS9</b>		6 - 7	36
<b>C-CS10</b>		6 - 7	32
<b>C-CS11</b>		6 - 7	32
<b>C-CS12*</b>	Collecte séparée des biodéchets, PME familiale	1	1
<b>M-TM1*</b>	Méthanisation sur FFOM après tri mécanique, puis compostage	32	34
<b>M-TM2*</b>		3 - 10	17
<b>M-TM3</b>		15 - 16	17
<b>M-TM4</b>		4 - 5	8
<b>C-TM1</b>	Compostage sur FFOM après tri mécanique	4 - 18	27
<b>C-TM2*</b>		8 - 26	26
<b>C-TM3</b>		6 - 21	29
<b>C-TM4*</b>		2 - 5	6
<b>C-TM5*</b>		1 - 11	13
<b>C-TM6*</b>		5 - 8	16
<b>C-TM7</b>		18 - 29	29
<b>C-TM8</b>		22 - 112 <sup>d</sup>	32
<b>C-TM9</b>		2 - 8	18
<b>C-TM10*</b>		6 - 30	30
<b>C-TM11*</b>		2 - 6	8
30 sites	Total	Environ 390	

<sup>a</sup> le nombre d'analyse de certains paramètres (métaux, CTO ou inertes) peut être plus faible que les paramètres agronomiques

<sup>b</sup> les sites ont fourni des données allant jusqu'à fin 2011 (entre août et octobre) ; les séries commençaient généralement en 2009 ou 2010, voire avant pour les sites les plus anciens

<sup>c</sup> 1 à 2 analyses par an

<sup>d</sup> 22 à 29 analyses sauf sur les inertes (112 jeux de valeurs)

### **3.3 DIVERSITE DES SITES**

Les sites renseignés dans cette étude représentent différents procédés, tant en termes de collecte que de traitement des déchets reçus. Les détails des procédés n'ont pas toujours été renseignés par les responsables de sites (mais ces informations n'étaient pas demandées dans le formulaire d'enquête). Ce rapport ne visait pas initialement à analyser les différences entre composts au regard des détails des procédés, or ces différences peuvent influencer sur les résultats et seraient donc à examiner dans une suite de l'étude (voir le chapitre 11 « Perspectives »). Cependant, quelques exemples d'installations sont sommairement décrits ci-après.

#### **3.3.1 METHANISATION SUR BIODECHETS**

##### **Exemple 1**

Cette installation comporte une phase de méthanisation, un séchage puis une phase de compostage caractérisé (fermentation thermophile et maturation).

Le territoire qui alimente cette installation comprend différentes zones d'habitat : un secteur urbanisé, une zone pavillonnaire et une zone plus rurale. La collecte porte sur les fermentescibles (déchets de cuisine, papiers et cartons souillés, textiles sanitaires) et les déchets verts, en incluant les papiers et journaux, revues et magazines uniquement pour la zone urbaine. Des graisses et huiles alimentaires ainsi que des déchets tiers fermentescibles sont également apportés.

La préparation des déchets comprend un broyage, un déferrailage, un criblage à 60 mm, puis un malaxage avec des graisses, et enfin un mélange avec du jus de pressat avant l'introduction dans le digesteur (il n'y a pas de pré-fermentation).

La digestion s'effectue en voie sèche (30 % MS en entrée), en mode thermophile (55°C) ; le chauffage du digestat est réalisé par introduction de vapeur. En sortie, le digestat n'a plus que 18% de MS. Le temps de séjour est de 15 à 20 jours.

En sortie de digesteur, les matières sont déshydratées à l'aide d'une presse à vis. Le digestat est séché pendant 36 heures en tunnel puis composté deux semaines avec un retournement intermédiaire, enfin criblé à 12 mm.

##### **Exemple 2**

Cette installation comporte une phase de méthanisation puis une phase de compostage comprenant lui-même une phase de fermentation aérobie thermophile en tunnel et une phase de maturation à l'air libre.

La collectivité territoriale procède d'une part à une collecte de déchets verts en déchetterie, et d'autre part à une collecte séparée de biodéchets : la FFOM est issue de la collecte en porte à porte des déchets fermentescibles. Sont inclus les biodéchets (relief de repas), les déchets de jardin ainsi que les papiers et cartons souillés. La collecte a lieu majoritairement en zone pavillonnaire. Les bacs sont mis à disposition des habitants selon la surface cadastrale de leur jardin. La queue de tri issue de la collecte séparée est envoyée en incinération pour sa totalité.

Les biodéchets subissent une phase de préparation avant la digestion : broyage, criblage et déferrailage. La digestion est thermophile, en phase sèche, et dure environ 21 jours.

Le digestat est pressé et séparé en deux fractions : le jus de presse qui est renvoyé en digestion et le gâteau qui est mélangé aux déchets verts (préalablement broyés et criblés) et envoyé en compostage.

La première phase de compostage en tunnel a lieu pendant 21 jours pendant lesquels la matière monte en température. Suit ensuite une phase de maturation en andain pendant trois semaines. Chaque andain subit un retournement mécanique.

Une fois mûr, le compost est criblé à 20 mm, la partie grossière étant recyclée dans le processus de compostage.

### **3.3.2 METHANISATION SUR OMR TRIÉES MÉCANIQUEMENT**

#### **Exemple 1**

Cette installation comporte une phase de méthanisation sur OMR collectées en mélange. Les recyclables font l'objet d'une collecte séparée. Les déchets ne sont pas broyés en entrée. Les OMR font l'objet d'un séjour de 3 à 4 jours dans un tube biostabilisateur rotatif qui permet l'ouverture des sacs et la réduction de la granulométrie des papiers-cartons. Les déchets subissent ensuite une étape de tri poussé (crible rotatif, déferrailleur, crible à effet rebond, tri balistique, crible à toile). La matière organique issue de ce tri est mélangée au jus de pressat des digestats, et introduite dans le réacteur. La digestion est mésophile en voie sèche et dure 1 mois. Le digestat est ensuite déshydraté par presse à vis, puis mélangé à du broyat de déchet vert et composté. Le compostage dure 14 jours en mode actif (aération forcée + retournements automatiques) puis un mois en maturation sans aération forcée, mais avec quelques retournements au chargeur.

#### **Exemple 2**

Cette installation comporte une phase de méthanisation sur OMR collectées en mélange. Les recyclables font l'objet d'une collecte séparée. Les déchets sont broyés en entrée. Ils ne subissent pas d'étape en tube rotatif mais sont directement injectés dans le digesteur pour 3 semaines.

La méthanisation s'effectue en mode mésophile (37°C), en voie sèche, pendant 21 jours. En sortie, le digestat subit une première séparation de phase par pressage. Le gâteau de pressage est envoyé à l'incinération. La partie liquide subit une filtration : le gâteau de filtration est mélangé à du déchet vert et envoyé en compostage à l'extérieur du site. La fraction liquide est recyclée dans le procédé.

Le compost ainsi obtenu n'est conforme à la norme NF U 44-051 que depuis un peu plus d'un an (auparavant, il était éliminé).

### **3.3.3 COMPOSTAGE SUR BIODECHETS COLLECTES SEPAREMENT**

#### **Exemple 1**

Sur le territoire qui alimente cette installation, les biodéchets sont collectés soit en porte à porte (une collecte par semaine) soit en apport volontaire.

Après passage au pont bascule, les biodéchets collectés séparément sont stockés provisoirement dans la fosse de réception. Puis, ils sont repris par le chargeur en vue de leur broyage. Le broyage a pour but d'ouvrir les sacs compostables de biodéchets, de les mélanger avec les déchets verts et de préparer ainsi la fermentation. Des déchets verts sont également broyés à ce stade. C'est un apport de structurant (bois broyé) pour les biodéchets. Selon les tonnages entrants de biodéchets et leur qualité, les apports de déchets verts varient : un godet pour 2 godets de biodéchets voire un godet pour 3 godets de biodéchets. Le broyeur dispose d'un aimant qui permet le déferrailage. Le broyat est récupéré dans un box béton de réception.

Le chargeur récupère le broyat et l'incorpore dans le bâtiment de fermentation. Il s'agit d'un bâtiment d'environ 80m de long sur 20 m de large où les biodéchets sont en fermentation. La fermentation a lieu sous aération active (insufflation d'air sous les biodéchets). Des vis sans fin permettent de mélanger régulièrement le produit en cours de fermentation : progressivement, le produit va avancer. Les « tas » en fermentation représentent une hauteur d'environ 2m. Le temps de séjour est d'environ 3 semaines. Au bout des 3 semaines, le produit est récupéré sur un tapis et évacué en fin de bâtiment dans l'attente de son affinage.

Cette fraction transite ensuite par la chaîne d'affinage afin d'écartier les éléments indésirables tels que le verre et les résidus plastiques. Le produit est introduit dans un trommel de maille 25 mm. Le passant constitue le compost brut. Un affinage supplémentaire à une maille de 10 mm produit un compost dit « surfen ». Les deux qualités de composts sont stockées en attente de leur valorisation (principalement les agriculteurs pour le compost « brut », et les particuliers pour le compost « surfen »).

#### **Exemple 2**

Sur ce territoire, la collecte séparée des biodéchets est une collecte dédiée. Elle s'adresse aux particuliers et aux professionnels (décret 2011 / gros producteurs). Le ramassage est hebdomadaire dans les communes urbaines et semi-urbaines (commune de plus de 2500 habitants et habitats pavillonnaires) ; il est effectué en benne bicompartimentée. Le taux de participation est inférieur à 30% mais la qualité des biodéchets collectés est excellente (refus inférieur à 2%).

La plate-forme de compostage est une unité de 20 000 m<sup>2</sup> (dont 16 000 couverts) dédiée au compostage des biodéchets collectés séparément et des déchets verts. Sa capacité nominale s'élève à 20 000 tonnes par an. Elle permet de produire deux types de composts distincts, conformes à la NFU 44-051 : un compost composé de 100% de déchets verts et un compost composé d'un mélange de déchets verts et de biodéchets. Pour ce deuxième type de compost, les déchets verts ont un rôle de structurant et de coproduit nécessaire à un bon compostage des biodéchets.

Le procédé retenu sur l'unité est un compostage par aération pilotée en 2 phases : fermentation accélérée puis maturation.

Les biodéchets sont dépotés en entrée de la plate-forme de compostage. Un contrôle visuel (contrôle qualité) des entrants est effectué : tout chargement contenant trop d'indésirables est refusé (indésirables : environ 1%). Les biodéchets sont mélangés avec du broyat de déchets verts à concurrence de 50/50, à l'aide d'un mélangeur mécanique afin d'obtenir le mélange le plus homogène possible et obtenir une bonne aération du compost.

Le mélange est mis en andain sur l'aire de fermentation accélérée. Le principe consiste en une insufflation d'air automatisée dans les andains en fonction des besoins en oxygène. La demande en oxygène est mesurée en continu par une sonde de saturation en oxygène. Le produit est couvert par une bâche Gore Tex limitant la diffusion d'éventuelles odeurs. Cette phase de fermentation aérobie pilotée par ordinateur permet également d'assurer l'hygiénisation du compost, en garantissant les durées et températures exigées par la norme NF U 44-051. La phase de fermentation accélérée dure 4 semaines.

Le produit fermenté est ensuite placé sur l'aire de maturation, couverte. Les nouveaux andains sont arrosés et retournés pour affiner la dégradation et la stabilisation des produits initiaux en compost brut. La phase de maturation dure 2 mois.

Le compost, une fois la phase de maturation terminée, est criblé pour en extraire la partie fine 0-10 mm, vendue aux usagers. Elle représente en tonnage 25 à 30 % du produit brut entant, le refus représentant également 25 à 30% et le reste correspondant à la perte de masse en cours de compostage.

Les produits entrants sont ainsi compostés en trois mois.

### **3.3.4 COMPOSTAGE SUR OMR TRIÉES MÉCANIQUEMENT**

#### **Exemple 1**

Cette installation comporte une phase de compostage sur OMR collectées en mélange. Les recyclables font l'objet d'une collecte séparée. Les déchets ne sont pas broyés en entrée. Les OMR font l'objet d'un séjour de 3 à 4 jours dans un tube biostabilisateur rotatif qui permet l'ouverture des sacs et la réduction de la granulométrie des papiers-cartons. Les déchets subissent ensuite une étape de tri poussé (crible rotatif, déferrailleur, crible à effet rebond, tri balistique, crible à toile). La matière organique issue de ce tri est mélangée à des déchets verts broyés et envoyée en compostage en andains dans des boxes fermés. Le compostage est effectué sous aération active par soufflage intermittent d'air. La phase active du compostage dure un mois, ensuite la maturation est d'un mois minimum (sans retournement).

#### **Exemple 2**

Le flux d'OM est pris au grappin et envoyé vers la trémie d'alimentation du broyeur (broyeur à marteaux à axe vertical). Les OM broyées passent sur un crible à 30 mm. La fraction fine, représentant 70 à 75 % en masse du flux entrant, est constituée de matières organiques, de fragments de verre et métalliques, et d'un peu de plastiques. Le refus (25 à 30 % massique selon l'usure des couteaux) contient une forte proportion de plastiques et part en installation de stockage.

La fraction fine passe sur un « overband » qui retire les fragments ferreux (1 % massique sur les entrants).

La suite du traitement de la fraction fine est la suivante :

- fermentation en casiers sans aération forcée, mais avec 2 retournements automatiques par jour pendant 2 jours (les matières sont transférées d'un box à l'autre par une roue à aube) ;
- criblage à 18 mm ; le passant continue le tri. Les refus (35 % massique sur le total du flux entrant) partent à l'enfouissement. Cette fraction contient beaucoup de matières organiques. Cela fait un total refus « légers » de 60 % sur le flux entrant ;
- passage sur une table densimétrique qui élimine les fragments de verre ;

Les matières légères sortant de la table densimétrique passent sur un crible Liwell à 16 niveaux (les 5 premiers à 8 mm, les autres à 7 mm). Le flux sortant est donc très fin. Ce flux est mélangé à 50 % en masse de déchets verts broyés et part en compostage en andains retournés pour 1 mois et demi. Le produit final est ensuite recriblé avant valorisation.

### 3.4 REPRESENTATIVITE DES PROCEDES DE TRAITEMENT

Compte tenu de la diversité des procédés en France d'une part et des sites renseignés dans cette étude d'autre part, la représentativité des installations se caractérise de la façon suivante :

- biodéchets : a priori, les données nous ont été fournies par l'ensemble des adhérents du réseau Compost Plus ayant des sites en fonctionnement. D'éventuels sites compostant des biodéchets, qui ne seraient pas adhérents à ce réseau, ne sont pas inclus (nous avons trouvé 3 références de sites traitant des biodéchets en co-compostage avec des déchets verts ; quelques sites traitent des biodéchets avec des boues de STEP). Toutefois, les sites représentés ici sont au nombre de 11, localisés dans des régions différentes, et il n'était pas attendu une grande variété dans les résultats d'analyse des paramètres relatifs à l'innocuité, comme le confirmera l'homogénéité des données de ces sites (voir les chapitres 6 à 8)<sup>9</sup>,
- tri mécanique sur OMR : la quasi-totalité des sites recensés dans la liste établie par le MEDDTL, dont les composts sont conformes à la NF U 44-051 depuis plus d'un an, ont été contactés (sauf 2 cas) ; l'INERIS n'a pas connaissance d'autres sites ; il y a au total 18 sites en fonctionnement mi-2011 qui élaborent un compost conforme à la norme, dont 11 sites sont inclus dans cette étude,
- méthanisation : tous les sites de méthanisation sur FFOM (quel que soit le mode de collecte), fonctionnant depuis plus d'un an, ont été contactés (sauf un site atypique situé dans les DOM-TOM).

---

<sup>9</sup> Hors anomalie en arsenic, interprétée comme liée à une anomalie de bruit de fond pédogéochimique régional : voir chapitre 6.1).

L'ensemble des sites travaillant sur la FFOM (quel que soit le mode de collecte) et ayant participé à l'étude du JRC, sauf deux sites ayant démarré début 2011, a été contacté.

L'ensemble de ces sites ayant répondu à l'enquête et étant représenté dans l'étude, l'échantillon des sites investigués nous paraît représentatif de la situation française.

### **3.5 PROTOCOLES DE PRELEVEMENT ET D'ANALYSES**

#### **3.5.1 PRELEVEMENTS**

Ils sont généralement réalisés par les personnels des sites, selon des protocoles internes mais plus ou moins dérivés de la norme NF EN 12579, ou selon un protocole fourni par le laboratoire d'analyse. Quelques sites font réaliser les prélèvements par le laboratoire d'analyse lui-même. Les responsables de sites nous ont tous indiqué au moins d'une façon générale leur mode opératoire. Certains nous ont même fourni une copie de leur protocole interne. Cependant, nous n'avons pas audité ces modes opératoires. A la lecture, ils paraissent dans l'ensemble correspondre aux principes décrits dans la norme NF EN 12579 et devraient donc assurer une bonne représentativité des lots de composts.

#### **3.5.2 ANALYSES**

Tous les sites participants à cette étude font réaliser leur analyses par des laboratoires français accrédités COFRAC. Ce sont généralement les mêmes laboratoires qui réalisent les analyses de plusieurs sites. Ainsi, les analyses ne sont réalisées que par 8 laboratoires, soit par ordre alphabétique : GALYS, LCA, LDA22, LDA56, LDAR, SADEF, SAS, SOCOR.

Un laboratoire assure à lui seul les analyses de 17 sites (sur des composts issus de la collecte séparée aussi bien que sur le tri mécanique), un autre réalise les analyses de 8 sites, deux laboratoires font des analyses pour 4 sites chacun, les autres laboratoires étant cités une ou deux fois. Le total est supérieur à 30 : certains responsables de sites nous ont indiqué avoir changé de laboratoire pour des raisons de coût ou (cité une fois) des erreurs du laboratoire sur l'analyse. D'autres sites travaillent avec plusieurs laboratoires selon les paramètres à mesurer (tous les laboratoires ne font pas à la fois les analyses de la valeur agronomique, des HAP et de la microbiologie par exemple).

Les copies de rapports d'analyses fournies par les exploitants permettent de connaître les normes d'analyses suivies par les laboratoires, et, pour certains d'entre eux, les incertitudes de mesure. Celles-ci ne sont toutefois pas mentionnées sur tous les rapports : ces informations sont disponibles, soit sur des documents séparés (fournis par certains sites), soit sur le site Internet des laboratoires, soit sur demande auprès des laboratoires. Ces données n'ont pas été considérées pour l'instant mais pourront être exploitées ultérieurement.

#### **4. TRAITEMENT DES DONNEES ; INTERPRETATION**

Les données sont traitées site par site, en considérant le type de traitement (collecte séparée ou tri mécanique en usine). Les distributions statistiques des valeurs fournies par les sites pour les différents paramètres sont comparées aux valeurs seuil (pour la qualité agronomique) et aux valeurs limites (pour les éléments traces métalliques, les composés traces organiques et les inertes) prescrites par la norme NF U 44-051 : 2006. Ces valeurs sont rappelées dans les paragraphes respectifs.

Les distributions statistiques des valeurs sont données ci-après, paramètre par paramètre, pour chacun des composts, sous forme de graphiques (et de tableaux pour les contaminants). Les graphiques sont du type « boîte à moustaches » ou « box-plots ». Cette représentation a été décrite par TUKEY en 1977 pour représenter schématiquement des distributions. Le modèle utilisé ici (macro fonctionnant sous Excel) représente sur un graphique les données pour chaque série, soit :

- les **premier et troisième quartiles** (q1 et q3) : bordures inférieure et supérieure de la boîte rectangulaire ; l'intervalle est IQR
- la **médiane** : trait horizontal au sein de la boîte rectangulaire,
- la **moyenne** : losange rouge,
- les **extrémités inférieure et supérieure des moustaches** : extrémités des traits verticaux, et correspondant respectivement soit à la plus petite donnée supérieure à  $M1=q1-1.5*(IQR)$  soit à  $M1$ , (la plus élevée de ces deux valeurs), et à la plus grande donnée inférieure à  $M2=q3+1.5*(IQR)$  ou  $M2$  (la plus basse de ces deux valeurs).
- les **valeurs atypiques inférieure et supérieure** (« outliers »). Le modèle utilisé ici ne permet de tracer qu'une valeur atypique supérieure et inférieure. Les autres valeurs atypiques éventuelles ne sont pas représentées.

Les moustaches inférieure et supérieure correspondent à un intervalle de 2,7 écart-types autour de la médiane, intégrant 99 % des valeurs dans une distribution normale (voir Figure 1). Il ne devrait donc logiquement pas y avoir plus d'une valeur atypique supérieure ou inférieure, sur des séries allant de 3 à une quarantaine de données, pour des distributions suivant une loi normale. Ce n'est pas le cas ici, comme il sera démontré sur différents paramètres. De plus, les valeurs moyennes et médianes ne sont pas toujours confondues. Ces deux éléments montrent que les séries de données ne suivent pas une loi normale.

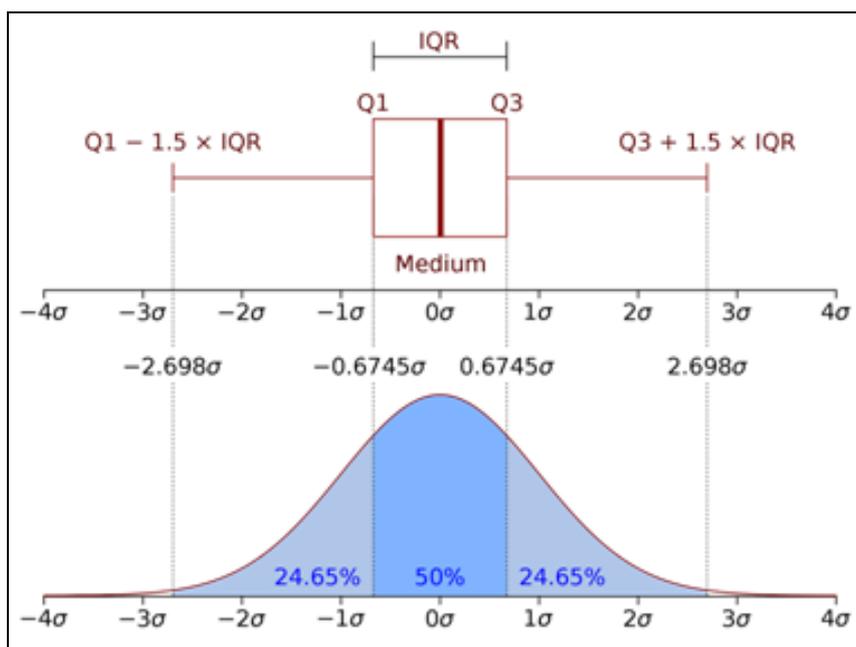


Figure 1 : répartition des données dans la représentation « boîte à moustaches » de Tukey

Les tableaux correspondant aux graphiques, séparés selon les intrants (FFOM collectée séparément + déchets verts ou DV, et FFOM triée mécaniquement), reportent l'effectif total de chaque série de données, la valeur moyenne, les maximums et les minimums, l'écart-type pour chaque série de données (<sup>3</sup> 3).

### Test de Mann-Whitney

Ce test permet de tester l'égalité de deux groupes de valeurs (appelés échantillons) sans supposer que ces valeurs suivent une distribution connue. Les échantillons étudiés ici ne suivent en effet pas une loi normale ou gaussienne, comme il a été montré au paragraphe précédent. Le test consiste à comparer les valeurs des deux échantillons en termes de rang. Ce test classique permet de déterminer si, sur la base des rangs des échantillons, on peut considérer que les échantillons sont identiques ou non en termes de position, donc si les deux catégories de composts ont des qualités significativement différentes (à 5 % d'erreur près).

Ce test a été mis en œuvre sur les paramètres relatifs à l'innocuité, soit sur les ETM, les CTO et les inertes. Cependant, les moyennes ont été considérées par type de compost (collecte séparée ou tri mécanique) et non pas par site, introduisant de fait un certain biais. En effet, les sites incluant un tri mécanique des OMR présentent des qualités de tri – et donc de composts - très variables. Un test comparant toutes les moyennes par site, deux par deux, mériterait d'être mis en œuvre (voir chapitre 11).

L'annexe 2 rassemble les graphiques représentant les données individuelles pour tous les composts, site par site, pour l'ensemble des paramètres de la norme NF U 44-051.

## **5. QUALITE AGRONOMIQUE DES COMPOSTS**

La présente étude vise surtout à caractériser les composts vis-à-vis de leur innocuité, cependant leur valorisation nécessite également qu'ils satisfassent aux critères de valeur agronomique prescrits par la norme. A titre d'information, puisque ces données sont disponibles pour la plupart des composts, nous les traitons rapidement ici. Ainsi, le test de comparaison des moyennes (Mann-Whittney) n'a pas été mis en œuvre sur ces données.

Les critères de la norme NF U 44-051 : 2006, en ce qui concerne la qualité agronomique, sont rappelés ci-après.

*Pour les amendements organiques la teneur en matière organique (MO) est le premier critère à satisfaire :*

- *pour les produits non compostés : MO <sup>3</sup> 25 % du produit brut*
- *pour les produits compostés : MO <sup>3</sup> 20 % du produit brut (sauf pour le compost de champignonnière : 15 %)*

*La matière sèche (ou MS) doit représenter au moins 30 % du produit brut.*

*Le rapport C/N doit être supérieur à 8.*

De plus :

- *les éléments N ou P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ou K<sub>2</sub>O, individuellement, doivent être inférieurs à 3 unités (3 %),*
- *la somme des éléments fertilisants [N+ P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+ K<sub>2</sub>O] doit être inférieure à 7 unités (7 %).*

Au-delà de ces valeurs, le produit n'est plus considéré comme un amendement mais comme un engrais.

Pour chacun des paramètres à satisfaire, les données sont regroupées par site.

Les tableaux et les graphiques représentent l'ensemble des valeurs, réparties selon la nomenclature définie au chapitre 3, soit :

- les digestats compostés et les composts, issus la fraction fermentescible collectée séparément (légendes M-CS1 à C-CS12),
- les digestats compostés et le compost issus de la fraction fermentescible triée mécaniquement (légendes M-TM1 à C-TM11).
- les sites ayant participé à l'étude du JRC sont repérés par \*.

Les tableaux donnent les statistiques principales pour chaque site :

- le nombre d'observations (le nombre de données fournies par les sites pour ce paramètre),

- la valeur moyenne (en vert),
- la valeur maximale,
- la médiane,
- la valeur minimale,
- l'écart-type.

Les valeurs à comparer au critère prescrit par la norme, qu'il s'agisse d'une valeur seuil ou d'une valeur limite, sont repérées en rouge.

Ces données sont extraites des feuilles de calcul ayant servi à établir les graphiques box-plots, qui représentent les distributions des valeurs pour chacun des paramètres. Les graphiques représentent :

- les quartiles 25 et 75 (les extrémités des boîtes),
- les médianes (barre horizontale dans la boîte),
- les moyennes ( $\bar{t}$ ),
- les valeurs  $Q_{75} + [1,5 \times (Q_{75} - Q_{25})]$  et  $Q_{25} - [1,5 \times (Q_{75} - Q_{25})]$  : « moustaches » supérieures et inférieures respectivement (ou la valeur minimum lorsqu'elle est supérieure à la valeur de moustache inférieure),,
- les valeurs atypiques maximum  $\square$  et minimum  $\square$ .

## 5.1 MATIERE SECHE

Le minimum prescrit par la NF U 44-051 pour les composts est de 30 % sur les matières brutes.

Tableau 5 : statistiques des teneurs en MS des composts

MS (% sur brut)	M-CS1*	M-CS2*	M-CS3	C-CS1*	C-CS2	C-CS3	C-CS4	C-CS5*	C-CS6*	C-CS7	C-CS8	C-CS9	C-CS10	C-CS11	C-CS12*
Nombre d'obs.	14	44	3	14	22	7	12	10	17	9	6	7	7	7	1
<b>Moyenne</b>	<b>50,74</b>	<b>63,36</b>	<b>68,90</b>	<b>70,19</b>	<b>61,64</b>	<b>52,83</b>	<b>71,73</b>	<b>78,13</b>	<b>64,19</b>	<b>69,06</b>	<b>52,07</b>	<b>62,56</b>	<b>67,73</b>	<b>66,27</b>	<b>57,50</b>
Maximum	58,70	76,80	75,90	86,40	77,20	68,50	80,60	84,90	74,20	76,70	65,40	71,20	71,70	86,40	
Médiane	50,40	64,15	70,80	69,50	61,90	53,50	71,95	78,60	64,40	71,40	51,55	62,10	68,20	66,00	
<b>Minimum</b>	<b>45,70</b>	<b>45,80</b>	<b>60,00</b>	<b>55,00</b>	<b>46,90</b>	<b>39,30</b>	<b>63,30</b>	<b>68,60</b>	<b>50,70</b>	<b>53,90</b>	<b>42,10</b>	<b>50,80</b>	<b>62,20</b>	<b>55,70</b>	
Ecart-type	3,39	7,64	8,12	8,98	9,16	12,67	5,30	5,35	7,09	7,87	7,67	6,98	3,53	10,09	

MS (% sur brut)	M-TM1*	M-TM2*	M-TM3	M-TM4	C-TM1	C-TM2*	C-TM3	C-TM4*	C-TM5*	C-TM6*	C-TM7	C-TM8	C-TM9	C-TM10*	C-TM11*
Nombre d'obs.	32	10	16	5	18	26	15	5	11	8	29	29	8	30	6
<b>Moyenne</b>	<b>56,34</b>	<b>58,45</b>	<b>66,75</b>	<b>74,72</b>	<b>59,28</b>	<b>53,54</b>	<b>69,19</b>	<b>58,74</b>	<b>64,71</b>	<b>62,08</b>	<b>77,96</b>	<b>71,42</b>	<b>62,43</b>	<b>60,01</b>	<b>74,07</b>
Maximum	64,70	66,90	80,50	82,70	73,00	71,40	84,10	69,40	77,60	71,30	94,70	87,90	77,70	76,30	83,70
Médiane	56,20	56,60	66,35	76,90	58,85	52,50	66,00	62,00	62,30	61,50	78,04	71,30	60,80	61,60	77,20
<b>Minimum</b>	<b>50,60</b>	<b>50,40</b>	<b>54,60</b>	<b>65,70</b>	<b>48,60</b>	<b>37,50</b>	<b>57,60</b>	<b>40,00</b>	<b>54,70</b>	<b>54,20</b>	<b>61,86</b>	<b>49,20</b>	<b>53,80</b>	<b>44,70</b>	<b>59,40</b>
Ecart-type	3,73	5,08	7,21	7,99	6,25	9,78	8,83	11,10	7,53	6,55	8,80	9,43	8,56	7,47	9,47

\* : sites ayant participé à l'étude du JRC

D'après le graphique, la dispersion des résultats paraît similaire entre les composts de biodéchets et les composts issus du tri mécanique. Tous les composts sont largement conformes à la prescription de la norme, ce qui n'est pas toujours le cas pour les autres paramètres.

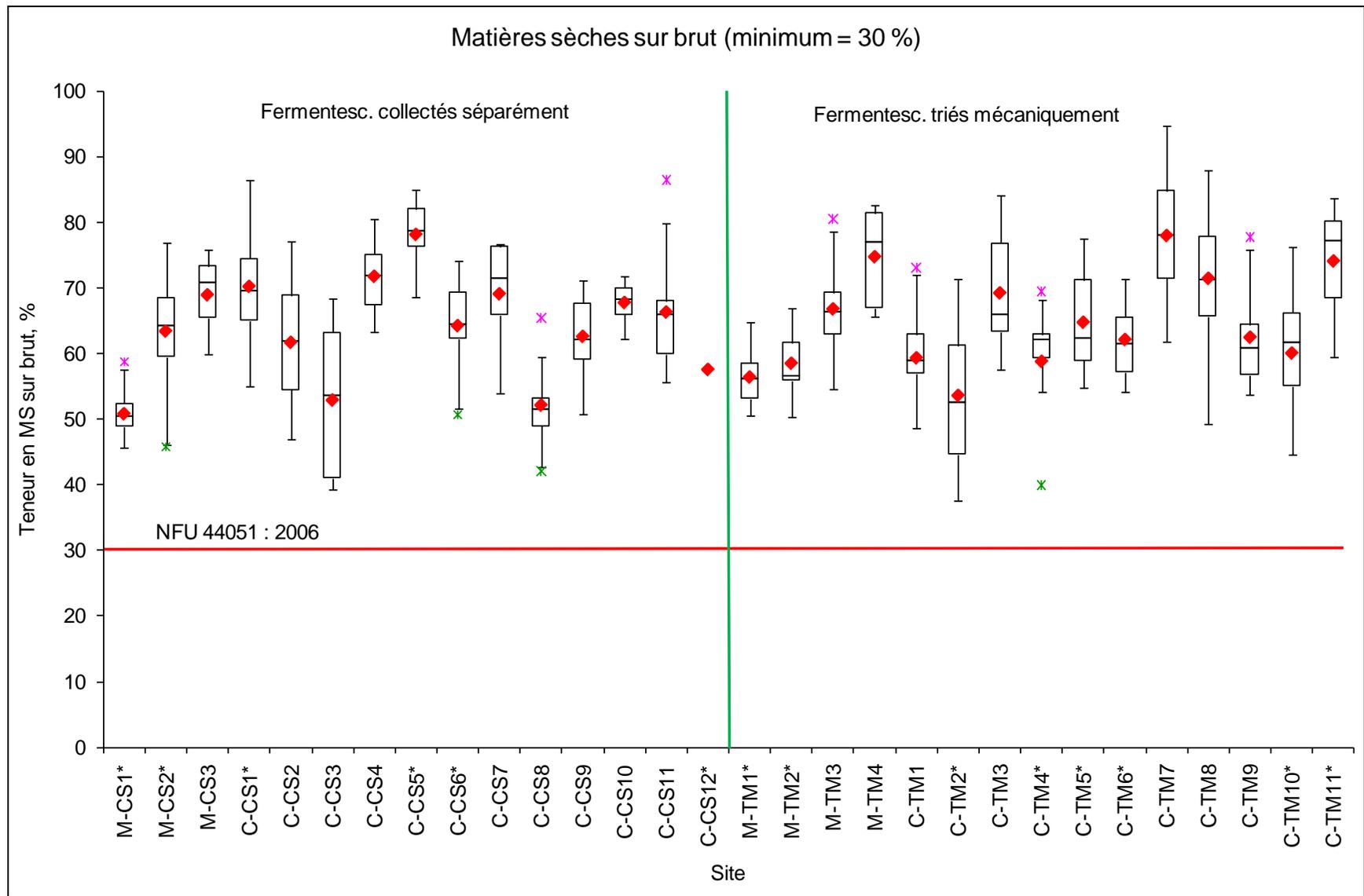


Figure 2 : contenu en matière sèche des différents composts

## 5.2 MATIERES ORGANIQUES

**Le minimum prescrit par la NF U 44-051 pour les composts est de 20 % sur les matières brutes.**

La proposition du JRC (deuxième document de travail du 11 octobre 2011) est de 15 % sur la matière brute (certains composts ne pouvant respecter le taux de 20 %).

Tableau 6 : statistiques des teneurs en MO des composts

MO (% sur brut)	M-CS1*	M-CS2*	M-CS3	C-CS1*	C-CS2	C-CS3	C-CS4	C-CS5*	C-CS6*	C-CS7	C-CS8	C-CS9	C-CS10	C-CS11	C-CS12*
Nombre d'obs.	14	44	3	14	22	7	11	10	11	9	6	7	7	7	1
<b>Moyenne</b>	<b>20,73</b>	<b>28,84</b>	<b>38,85</b>	<b>33,58</b>	<b>25,58</b>	<b>29,38</b>	<b>33,05</b>	<b>42,79</b>	<b>34,96</b>	<b>24,48</b>	<b>18,95</b>	<b>23,06</b>	<b>23,67</b>	<b>23,24</b>	<b>27,20</b>
Maximum	23,34	42,71	41,90	39,60	39,70	38,40	41,40	49,40	45,50	31,90	20,40	36,20	27,00	28,70	
Médiane	20,50	28,10	38,55	34,70	23,80	29,60	31,40	44,52	33,90	23,80	19,10	22,60	23,30	22,80	
<b>Minimum</b>	<b>19,20</b>	<b>22,20</b>	<b>36,10</b>	<b>23,38</b>	<b>20,03</b>	<b>20,99</b>	<b>28,00</b>	<b>35,81</b>	<b>27,90</b>	<b>20,00</b>	<b>17,40</b>	<b>15,10</b>	<b>22,30</b>	<b>20,40</b>	
<i>Ecart-type</i>	<i>1,27</i>	<i>4,60</i>	<i>2,91</i>	<i>4,79</i>	<i>5,07</i>	<i>7,93</i>	<i>4,21</i>	<i>4,38</i>	<i>5,40</i>	<i>3,59</i>	<i>1,36</i>	<i>7,22</i>	<i>1,61</i>	<i>3,01</i>	

MO (% sur brut)	M-TM1*	M-TM2*	M-TM3	M-TM4	C-TM1	C-TM2*	C-TM3	C-TM4*	C-TM5*	C-TM6*	C-TM7	C-TM8	C-TM9	C-TM10*	C-TM11*
Nombre d'obs.	32	10	15	5	17	26	14	5	11	8	29	28	8	30	6
<b>Moyenne</b>	<b>30,12</b>	<b>26,16</b>	<b>43,74</b>	<b>41,12</b>	<b>30,87</b>	<b>28,50</b>	<b>37,84</b>	<b>38,58</b>	<b>41,18</b>	<b>41,76</b>	<b>45,86</b>	<b>42,90</b>	<b>30,04</b>	<b>28,81</b>	<b>43,18</b>
Maximum	39,30	30,90	58,40	49,60	39,24	37,62	49,14	44,50	45,60	46,10	55,30	58,20	38,40	38,80	51,80
Médiane	29,75	26,45	43,83	44,50	31,47	29,03	37,82	40,80	41,00	41,10	46,50	43,05	29,75	28,00	43,60
<b>Minimum</b>	<b>25,10</b>	<b>21,90</b>	<b>27,30</b>	<b>31,20</b>	<b>22,88</b>	<b>19,96</b>	<b>25,50</b>	<b>25,10</b>	<b>34,80</b>	<b>36,10</b>	<b>33,60</b>	<b>28,80</b>	<b>24,80</b>	<b>17,80</b>	<b>34,30</b>
<i>Ecart-type</i>	<i>3,14</i>	<i>3,00</i>	<i>6,91</i>	<i>8,01</i>	<i>4,20</i>	<i>5,66</i>	<i>6,18</i>	<i>7,77</i>	<i>3,32</i>	<i>3,87</i>	<i>6,05</i>	<i>7,22</i>	<i>4,10</i>	<i>6,02</i>	<i>9,06</i>

\* : sites ayant participé à l'étude du JRC

Comme pour le taux de matière sèche, les résultats sont assez dispersés pour les deux types de composts. Globalement, les composts issus de biodéchets collectés séparément contiennent un peu moins de matières organiques que les composts issus du tri mécanique ; les taux de certains composts sont d'ailleurs légèrement inférieurs au taux minimal prescrit par la norme. Cependant, ce critère n'est pas suffisant pour décrire la disponibilité de la matière organique pour le sol ; des paramètres complémentaires, non prescrits par la norme NF U 44-051 seraient utiles, comme l'indice de stabilité de la matière organique (ISMO) ou le potentiel de minéralisation de l'azote et du carbone.

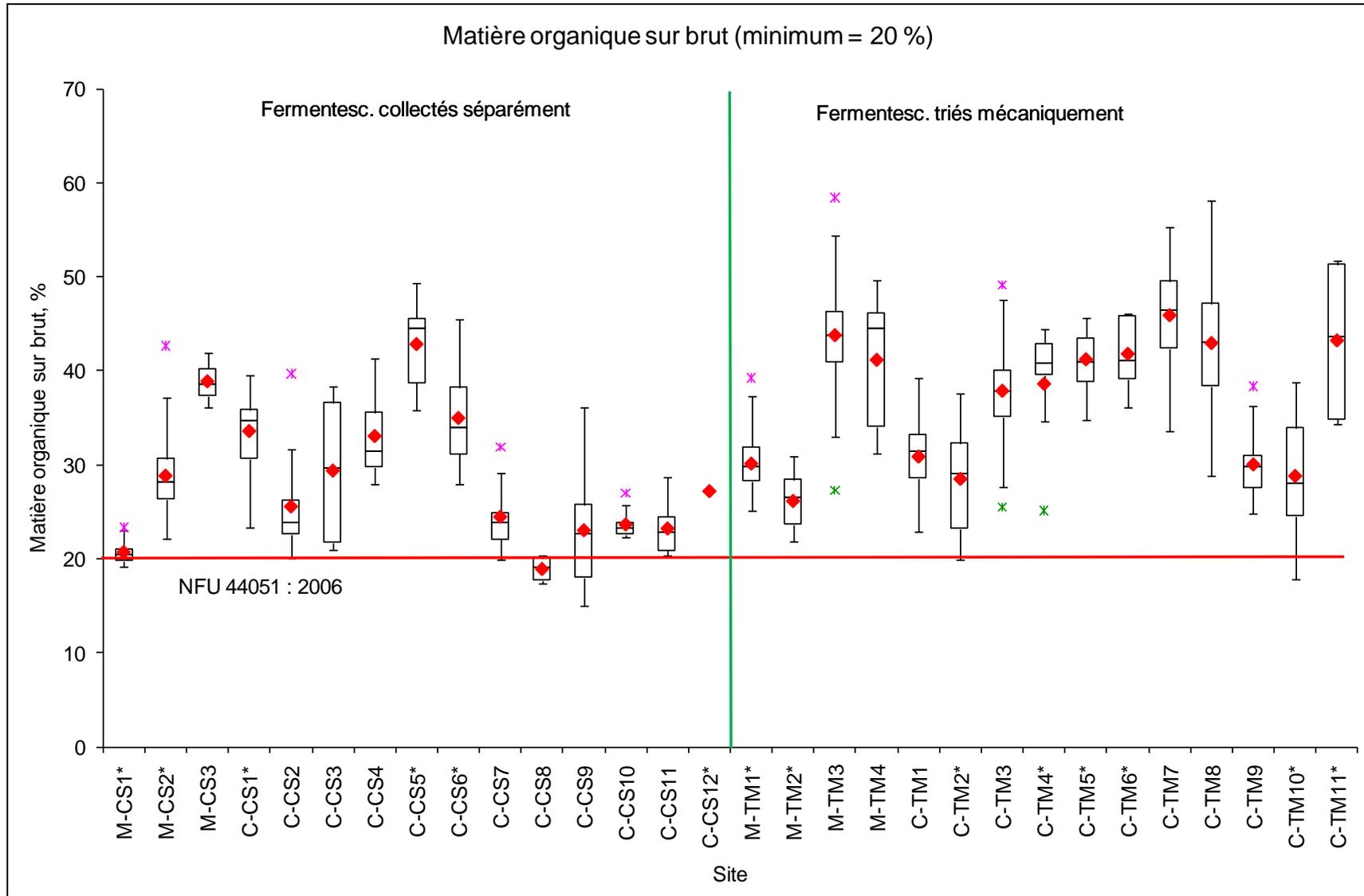


Figure 3 : contenu en matière organique des différents composts

### 5.3 RAPPORT C/N

Le minimum prescrit par la NF U 44-051 pour les composts est de 8.

Tableau 7 : statistiques des rapports C/N des composts

C/N	M-CS1*	M-CS2*	M-CS3	C-CS1*	C-CS2	C-CS3	C-CS4	C-CS5*	C-CS6*	C-CS7	C-CS8	C-CS9	C-CS10	C-CS11	C-CS12*
Nombre d'obs.	14	43	3	14	22	7	11	10	12	9	6	7	7	6	1
<b>Moyenne</b>	<b>16,04</b>	<b>11,41</b>	<b>11,30</b>	<b>11,25</b>	<b>11,70</b>	<b>14,87</b>	<b>9,53</b>	<b>11,00</b>	<b>13,75</b>	<b>11,16</b>	<b>10,68</b>	<b>9,26</b>	<b>9,36</b>	<b>9,50</b>	<b>9,50</b>
Maximum	19,20	15,40	12,40	12,42	14,40	17,10	10,90	13,20	17,60	15,00	12,30	14,70	12,00	11,50	
Médiane	15,85	11,20	12,20	11,14	11,65	15,40	9,70	11,10	13,10	10,80	11,60	8,00	9,40	9,35	
<b>Minimum</b>	<b>12,90</b>	<b>8,80</b>	<b>9,30</b>	<b>9,34</b>	<b>9,10</b>	<b>11,40</b>	<b>7,80</b>	<b>8,20</b>	<b>10,50</b>	<b>8,70</b>	<b>8,50</b>	<b>7,60</b>	<b>8,00</b>	<b>8,40</b>	
Ecart-type	1,66	1,72	1,73	0,90	1,52	2,49	0,94	1,52	2,34	1,99	1,71	2,53	1,35	1,17	

C/N	M-TM1*	M-TM2*	M-TM3	M-TM4	C-TM1	C-TM2*	C-TM3	C-TM4*	C-TM5*	C-TM6*	C-TM7	C-TM8	C-TM9	C-TM10*	C-TM11*
Nombre d'obs.	32	10	15	5	17	26	20	5	11	8	29	28	8	30	6
<b>Moyenne</b>	<b>17,91</b>	<b>16,08</b>	<b>19,66</b>	<b>17,20</b>	<b>16,01</b>	<b>13,20</b>	<b>18,93</b>	<b>23,12</b>	<b>23,46</b>	<b>21,10</b>	<b>13,67</b>	<b>20,30</b>	<b>13,98</b>	<b>17,29</b>	<b>24,72</b>
Maximum	21,20	22,90	23,30	21,70	22,20	24,10	35,00	24,20	35,40	23,80	18,10	25,10	19,00	23,92	35,30
Médiane	17,85	16,35	20,00	17,30	16,10	12,20	16,10	22,70	21,80	20,75	13,60	20,20	14,00	17,34	23,15
<b>Minimum</b>	<b>13,30</b>	<b>12,30</b>	<b>14,10</b>	<b>13,20</b>	<b>12,60</b>	<b>10,60</b>	<b>12,50</b>	<b>22,00</b>	<b>17,30</b>	<b>17,20</b>	<b>10,00</b>	<b>14,10</b>	<b>9,80</b>	<b>8,90</b>	<b>17,40</b>
Ecart-type	1,89	2,94	2,45	3,20	2,46	2,92	7,24	0,94	5,88	2,10	1,63	2,72	3,06	3,52	6,04

\* : sites ayant participé à l'étude du JRC

Le rapport C/N des composts issus de la collecte séparée des biodéchets est généralement plus faible que celui des composts issus du tri mécanique : les moyennes sont supérieures à 8 mais quelques valeurs individuelles sont inférieures. Cette différence est liée aux déchets entrants : elle peut provenir d'une moindre teneur en matière organique comme d'une plus grande richesse en azote des intrants. La dispersion des rapports C/N des composts issus du tri mécanique est plus élevée : les moyennes vont de 13 à près de 25, avec plusieurs valeurs atypiques autour de 35. Des valeurs élevées du rapport C/N sont caractéristiques d'un compost contenant une matière organique peu dégradée. Cependant le C/N n'est qu'un paramètre et il ne suffit pas à lui seul pour définir la stabilité d'un compost et le rapport C/N des composts, surtout lorsqu'il est bas, n'est pas un bon indicateur de la disponibilité de l'azote (Houot *et al*, 1995).

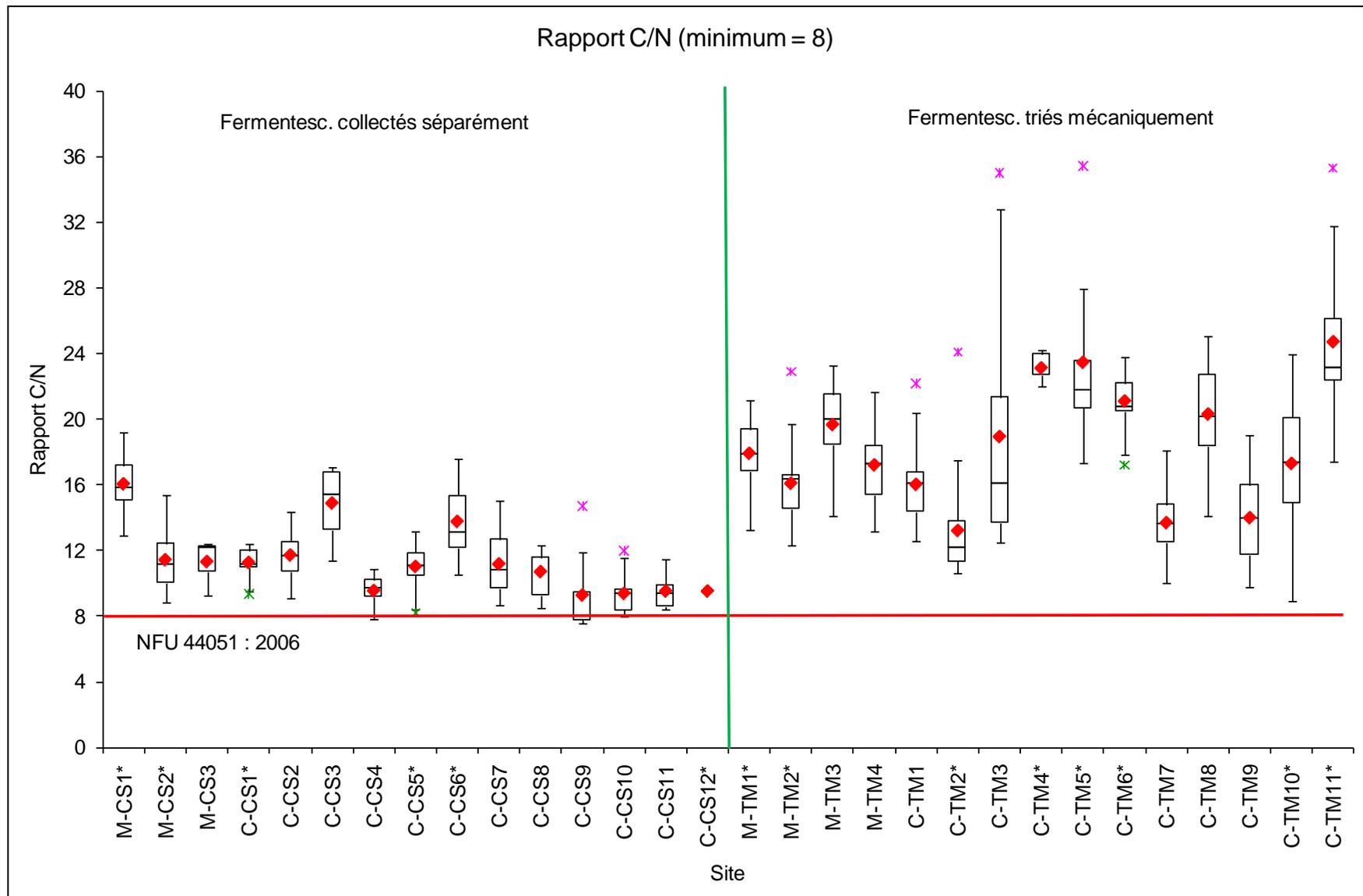


Figure 4 : rapport C/N des différents composts

## 5.4 AZOTE TOTAL

Le maximum prescrit par la NF U 44-051 pour les composts est de 3 % en masse.

Tableau 8 : statistiques sur les teneurs en azote des composts

N total (%)	M-CS1*	M-CS2*	M-CS3	C-CS1*	C-CS2	C-CS3	C-CS4	C-CS5*	C-CS6*	C-CS7	C-CS8	C-CS9	C-CS10	C-CS11	C-CS12*
Nombre d'obs.	14	42	3	14	22	7	11	10	12	9	6	7	7	7	1
<b>Moyenne</b>	<b>0,64</b>	<b>1,41</b>	<b>1,79</b>	<b>1,46</b>	<b>1,11</b>	<b>1,26</b>	<b>1,74</b>	<b>2,51</b>	<b>1,29</b>	<b>1,10</b>	<b>0,89</b>	<b>1,24</b>	<b>1,27</b>	<b>1,17</b>	<b>1,44</b>
<b>Maximum</b>	<b>0,74</b>	<b>2,90</b>	<b>2,11</b>	<b>1,82</b>	<b>1,73</b>	<b>2,35</b>	<b>2,14</b>	<b>2,84</b>	<b>1,64</b>	<b>1,36</b>	<b>1,18</b>	<b>1,50</b>	<b>1,47</b>	<b>1,40</b>	
Médiane	0,65	1,39	1,69	1,51	1,05	1,12	1,72	2,49	1,29	1,07	0,83	1,23	1,24	1,11	
Minimum	0,54	0,75	1,58	1,17	0,79	0,68	1,49	2,00	1,00	0,94	0,73	0,91	1,10	1,03	
<i>Ecart-type</i>	<i>0,05</i>	<i>0,39</i>	<i>0,28</i>	<i>0,18</i>	<i>0,29</i>	<i>0,56</i>	<i>0,19</i>	<i>0,23</i>	<i>0,15</i>	<i>0,15</i>	<i>0,18</i>	<i>0,25</i>	<i>0,12</i>	<i>0,16</i>	

N total (%)	M-TM1*	M-TM2*	M-TM3	M-TM4	C-TM1	C-TM2*	C-TM3	C-TM4*	C-TM5*	C-TM6*	C-TM7	C-TM8	C-TM9	C-TM10*	C-TM11*
Nombre d'obs.	32	10	16	5	17	26	20	5	11	8	29	28	8	30	6
<b>Moyenne</b>	<b>0,82</b>	<b>0,88</b>	<b>1,12</b>	<b>1,19</b>	<b>1,06</b>	<b>1,08</b>	<b>1,22</b>	<b>1,44</b>	<b>0,94</b>	<b>1,05</b>	<b>1,70</b>	<b>1,08</b>	<b>1,12</b>	<b>0,85</b>	<b>0,91</b>
<b>Maximum</b>	<b>1,09</b>	<b>1,18</b>	<b>1,39</b>	<b>1,29</b>	<b>1,31</b>	<b>1,34</b>	<b>1,69</b>	<b>1,50</b>	<b>1,37</b>	<b>1,53</b>	<b>2,34</b>	<b>1,57</b>	<b>1,52</b>	<b>1,46</b>	<b>1,15</b>
Médiane	0,79	0,87	1,10	1,18	1,04	1,12	1,19	1,47	0,93	1,02	1,73	1,08	1,15	0,82	1,00
Minimum	0,69	0,63	0,87	1,11	0,91	0,77	0,91	1,32	0,55	0,76	1,20	0,80	0,71	0,62	0,47
<i>Ecart-type</i>	<i>0,10</i>	<i>0,18</i>	<i>0,14</i>	<i>0,08</i>	<i>0,12</i>	<i>0,18</i>	<i>0,20</i>	<i>0,08</i>	<i>0,25</i>	<i>0,24</i>	<i>0,24</i>	<i>0,14</i>	<i>0,25</i>	<i>0,16</i>	<i>0,26</i>

\* : sites ayant participé à l'étude du JRC

Le contenu en azote total est plus élevé pour certains des composts de fermentescibles collectés séparément ; cependant certains autres présentent des valeurs similaires à celles mesurées sur les composts issus du tri mécanique. Les moyennes générales sont de 1,36 % et 1,10 % pour les deux types de composts respectivement. Les teneurs en azote des composts de biodéchets sont également sensiblement plus dispersées, comme le montre le graphique.

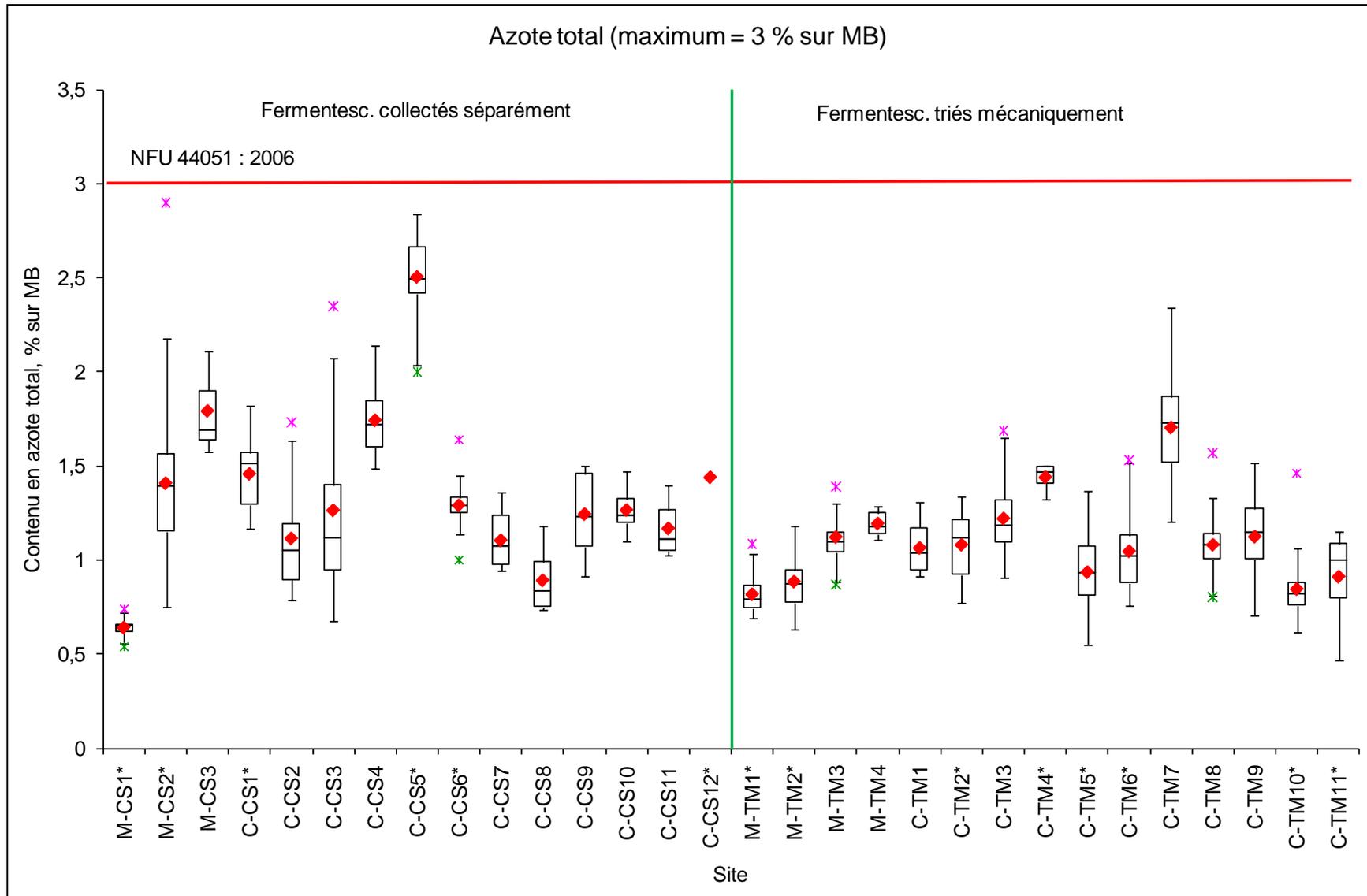


Figure 5 : contenu en azote total des différents composts

## 5.5 PHOSPHORE TOTAL

Le maximum prescrit par la NF U 44-051 pour les composts est de 3 % en masse.

Tableau 9 : statistiques sur les teneurs en phosphore des composts

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	M-CS1*	M-CS2*	M-CS3	C-CS1*	C-CS2	C-CS3	C-CS4	C-CS5*	C-CS6*	C-CS7	C-CS8	C-CS9	C-CS10	C-CS11	C-CS12*
Nombre d'obs.	14	44	3	14	22	7	11	10	10	9	6	7	7	7	1
<b>Moyenne</b>	<b>0,66</b>	<b>0,58</b>	<b>1,34</b>	<b>0,83</b>	<b>0,69</b>	<b>0,38</b>	<b>0,70</b>	<b>1,20</b>	<b>0,62</b>	<b>1,08</b>	<b>0,54</b>	<b>0,77</b>	<b>0,92</b>	<b>0,73</b>	<b>0,55</b>
<b>Maximum</b>	<b>0,87</b>	<b>1,85</b>	<b>1,40</b>	<b>1,21</b>	<b>1,12</b>	<b>0,60</b>	<b>0,90</b>	<b>1,66</b>	<b>0,71</b>	<b>1,39</b>	<b>0,79</b>	<b>0,90</b>	<b>1,26</b>	<b>0,86</b>	
Médiane	0,68	0,55	1,40	0,77	0,66	0,34	0,66	1,16	0,64	1,06	0,56	0,75	0,90	0,72	
Minimum	0,47	0,31	1,21	0,64	0,44	0,26	0,51	0,93	0,50	0,74	0,30	0,67	0,73	0,57	
<i>Ecart-type</i>	<i>0,13</i>	<i>0,22</i>	<i>0,11</i>	<i>0,17</i>	<i>0,17</i>	<i>0,11</i>	<i>0,12</i>	<i>0,23</i>	<i>0,06</i>	<i>0,23</i>	<i>0,17</i>	<i>0,08</i>	<i>0,17</i>	<i>0,10</i>	

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	M-TM1*	M-TM2*	M-TM3	M-TM4	C-TM1	C-TM2*	C-TM3	C-TM4*	C-TM5*	C-TM6*	C-TM7	C-TM8	C-TM9	C-TM10*	C-TM11*
Nombre d'obs.	32	10	16	5	17	26	19	5	11	8	29	28	8	30	6
<b>Moyenne</b>	<b>0,36</b>	<b>0,41</b>	<b>0,47</b>	<b>0,85</b>	<b>0,45</b>	<b>0,43</b>	<b>0,63</b>	<b>0,39</b>	<b>0,45</b>	<b>0,52</b>	<b>0,68</b>	<b>0,50</b>	<b>0,47</b>	<b>0,40</b>	<b>0,51</b>
<b>Maximum</b>	<b>0,45</b>	<b>0,63</b>	<b>0,63</b>	<b>0,94</b>	<b>0,55</b>	<b>0,58</b>	<b>2,84</b>	<b>0,49</b>	<b>0,60</b>	<b>0,64</b>	<b>0,86</b>	<b>0,69</b>	<b>0,60</b>	<b>0,54</b>	<b>0,62</b>
Médiane	0,36	0,39	0,46	0,83	0,46	0,45	0,53	0,41	0,44	0,50	0,66	0,48	0,48	0,40	0,52
Minimum	0,29	0,35	0,32	0,81	0,35	0,27	0,37	0,23	0,31	0,40	0,51	0,30	0,31	0,31	0,38
<i>Ecart-type</i>	<i>0,04</i>	<i>0,08</i>	<i>0,09</i>	<i>0,05</i>	<i>0,05</i>	<i>0,09</i>	<i>0,55</i>	<i>0,10</i>	<i>0,10</i>	<i>0,10</i>	<i>0,10</i>	<i>0,08</i>	<i>0,11</i>	<i>0,06</i>	<i>0,09</i>

\* : sites ayant participé à l'étude du JRC

Le contenu en phosphore total est plus élevé pour certains des composts de fermentescibles collectés séparément ; cependant certains autres présentent des valeurs similaires à celles mesurées sur les composts issus du tri mécanique. Les moyennes générales sont de 0,77 % et 0,50 % pour les deux types de composts respectivement. Les valeurs sont également plus dispersées pour le compost du premier type.

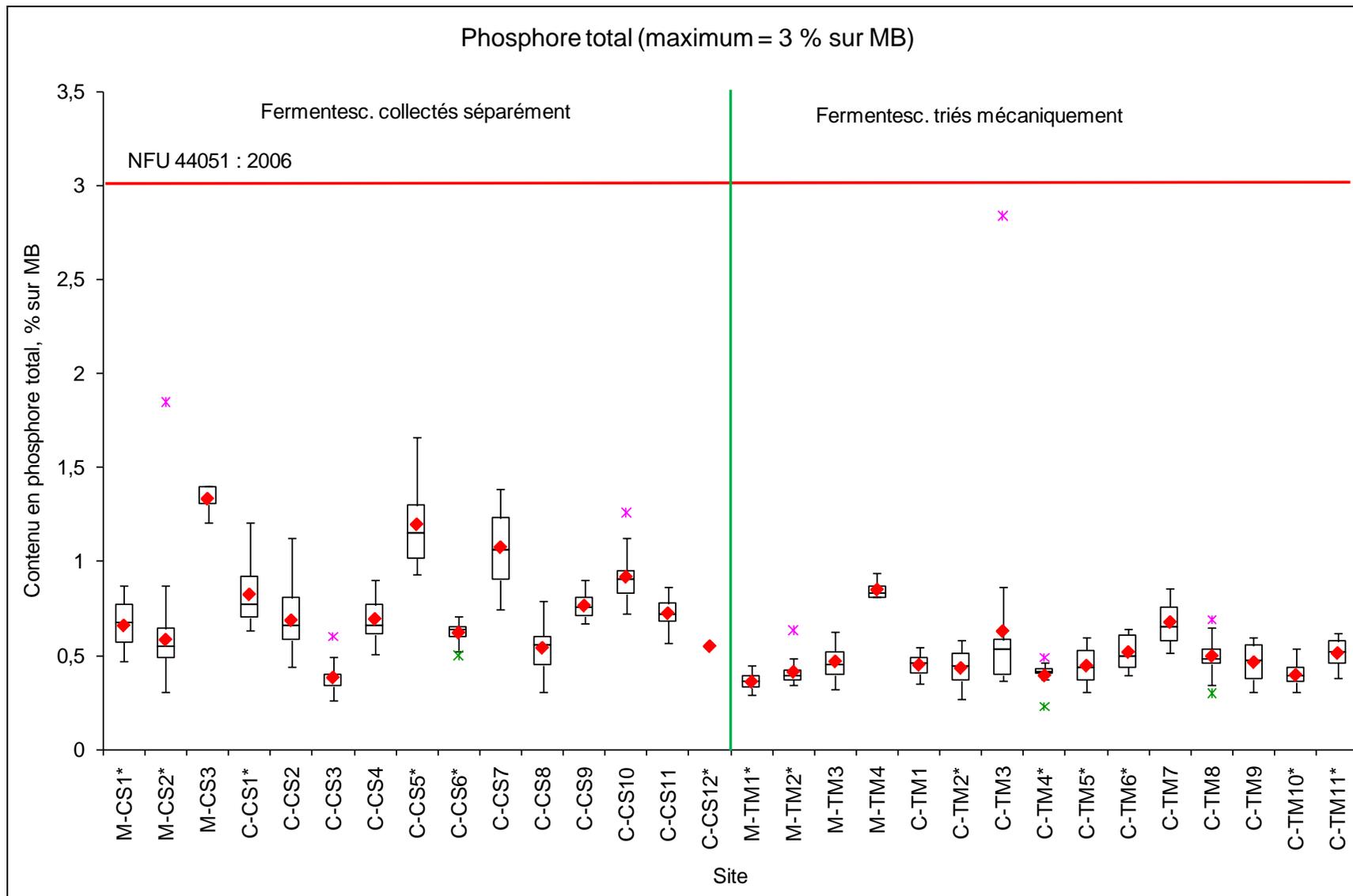


Figure 6 : contenu en phosphore total des différents composts

## 5.6 POTASSIUM TOTAL

Le maximum prescrit par la NF U 44-051 pour les composts est de 3 % en masse.

Tableau 10 : statistiques sur les teneurs en potassium des composts

K <sub>2</sub> O (%)	M-CS1*	M-CS2*	M-CS3	C-CS1*	C-CS2	C-CS3	C-CS4	C-CS5*	C-CS6*	C-CS7	C-CS8	C-CS9	C-CS10	C-CS11	C-CS12*
Nombre d'obs.	14	44	3	14	22	7	11	10	10	9	6	7	7	7	1
<b>Moyenne</b>	<b>0,46</b>	<b>1,08</b>	<b>0,94</b>	<b>1,24</b>	<b>1,48</b>	<b>0,82</b>	<b>0,97</b>	<b>1,60</b>	<b>1,07</b>	<b>1,59</b>	<b>0,84</b>	<b>1,19</b>	<b>1,44</b>	<b>1,19</b>	<b>0,88</b>
<b>Maximum</b>	<b>0,63</b>	<b>1,59</b>	<b>1,10</b>	<b>1,60</b>	<b>2,53</b>	<b>1,24</b>	<b>1,16</b>	<b>1,90</b>	<b>1,25</b>	<b>2,00</b>	<b>1,29</b>	<b>1,52</b>	<b>1,67</b>	<b>1,41</b>	
Médiane	0,45	1,06	0,93	1,19	1,32	0,82	1,00	1,62	1,09	1,65	0,82	1,16	1,35	1,23	
Minimum	0,36	0,58	0,78	1,00	0,97	0,58	0,71	1,22	0,94	1,07	0,43	0,92	1,25	0,87	
Ecart-type	0,08	0,28	0,16	0,18	0,47	0,24	0,18	0,21	0,10	0,28	0,27	0,20	0,16	0,17	

K <sub>2</sub> O (%)	M-TM1*	M-TM2*	M-TM3	M-TM4	C-TM1	C-TM2*	C-TM3	C-TM4*	C-TM5*	C-TM6*	C-TM7	C-TM8	C-TM9	C-TM10*	C-TM11*
Nombre d'obs.	32	10	16	5	17	26	20	5	11	8	29	28	8	30	6
<b>Moyenne</b>	<b>0,58</b>	<b>0,46</b>	<b>0,61</b>	<b>0,99</b>	<b>0,66</b>	<b>0,67</b>	<b>0,71</b>	<b>0,48</b>	<b>0,59</b>	<b>0,50</b>	<b>0,80</b>	<b>0,65</b>	<b>0,84</b>	<b>0,57</b>	<b>0,73</b>
<b>Maximum</b>	<b>0,73</b>	<b>0,62</b>	<b>0,77</b>	<b>1,11</b>	<b>0,93</b>	<b>0,94</b>	<b>1,29</b>	<b>0,60</b>	<b>1,00</b>	<b>0,60</b>	<b>0,99</b>	<b>0,83</b>	<b>1,15</b>	<b>0,84</b>	<b>0,91</b>
Médiane	0,58	0,42	0,61	0,98	0,67	0,70	0,73	0,50	0,54	0,49	0,79	0,63	0,87	0,56	0,73
Minimum	0,48	0,37	0,34	0,90	0,46	0,38	0,28	0,28	0,43	0,32	0,55	0,51	0,28	0,40	0,56
Ecart-type	0,07	0,08	0,12	0,09	0,14	0,14	0,26	0,12	0,16	0,09	0,11	0,09	0,27	0,11	0,13

\* : sites ayant participé à l'étude du JRC

Pour ce paramètre, la tendance est plus nette : le contenu en potassium total est globalement plus élevé pour les composts de fermentescibles collectés séparément. Les moyennes générales sont de 1,12 % et 0,66 % pour les deux types de composts respectivement. Comme pour les autres éléments fertilisants, les valeurs sont également plus dispersées pour le compost du premier type.

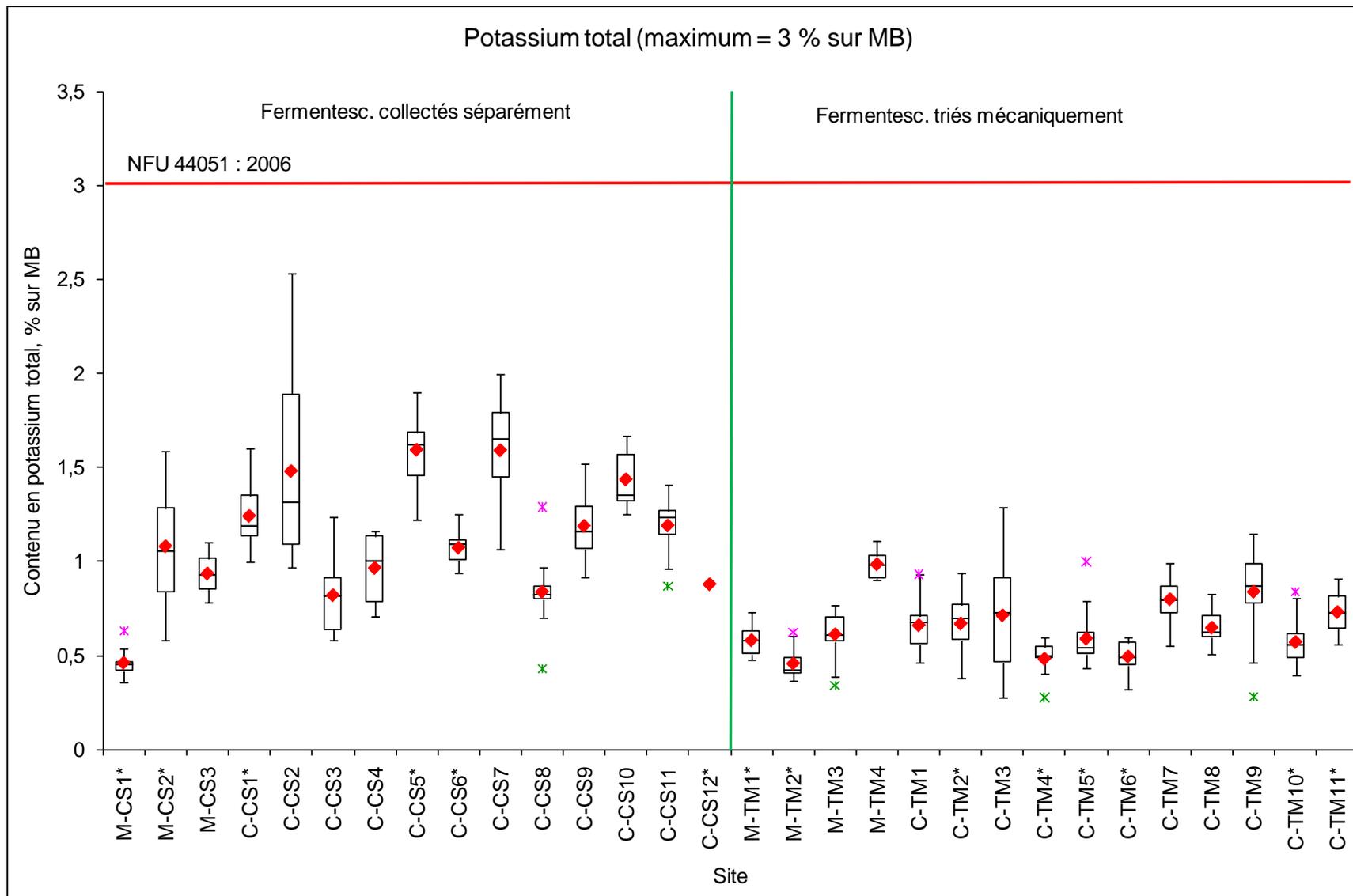


Figure 7 : contenu en potassium total des différents composts

## 5.7 SOMME DES ELEMENTS FERTILISANTS (N, P, K)

Le maximum prescrit par la NF U 44-051 pour les composts est de 7 % en masse.

Tableau 11 : statistiques sur les teneurs en éléments fertilisants des composts

Somme fertilisants (%)	M-CS1*	M-CS2*	M-CS3	C-CS1*	C-CS2	C-CS3	C-CS4	C-CS5*	C-CS6*	C-CS7	C-CS8	C-CS9	C-CS10	C-CS11	C-CS12*
Nombre d'obs.	14	42	3	14	22	7	11	10	10	9	6	7	7	7	1
<b>Moyenne</b>	<b>1,82</b>	<b>3,05</b>	<b>4,07</b>	<b>3,53</b>	<b>3,28</b>	<b>2,47</b>	<b>3,43</b>	<b>5,30</b>	<b>3,02</b>	<b>3,78</b>	<b>2,27</b>	<b>3,20</b>	<b>3,53</b>	<b>3,09</b>	<b>2,87</b>
<b>Maximum</b>	<b>2,08</b>	<b>5,09</b>	<b>4,29</b>	<b>4,51</b>	<b>4,69</b>	<b>3,51</b>	<b>4,04</b>	<b>5,90</b>	<b>3,42</b>	<b>4,47</b>	<b>3,26</b>	<b>3,76</b>	<b>3,90</b>	<b>3,35</b>	
Médiane	1,84	3,01	4,19	3,43	3,08	2,22	3,55	5,44	3,03	3,89	2,17	3,35	3,55	3,15	
Minimum	1,52	1,64	3,72	2,89	2,44	1,52	2,78	4,63	2,55	2,81	1,47	2,60	3,30	2,58	
Ecart-type	0,16	0,70	0,30	0,47	0,74	0,77	0,44	0,41	0,24	0,54	0,59	0,46	0,20	0,28	

Somme fertilisants (%)	M-TM1*	M-TM2*	M-TM3	M-TM4	C-TM1	C-TM2*	C-TM3	C-TM4*	C-TM5*	C-TM6*	C-TM7	C-TM8	C-TM9	C-TM10*	C-TM11*
Nombre d'obs.	32	10	16	5	17	26	19	5	11	8	29	28	8	30	6
<b>Moyenne</b>	<b>1,80</b>	<b>1,76</b>	<b>2,20</b>	<b>3,03</b>	<b>2,18</b>	<b>2,18</b>	<b>2,57</b>	<b>1,72</b>	<b>1,97</b>	<b>2,06</b>	<b>3,18</b>	<b>2,23</b>	<b>2,43</b>	<b>1,81</b>	<b>2,16</b>
<b>Maximum</b>	<b>2,11</b>	<b>2,21</b>	<b>2,75</b>	<b>3,21</b>	<b>2,79</b>	<b>2,78</b>	<b>4,25</b>	<b>2,07</b>	<b>2,90</b>	<b>2,45</b>	<b>4,11</b>	<b>3,04</b>	<b>3,26</b>	<b>2,28</b>	<b>2,60</b>
Médiane	1,82	1,72	2,19	3,02	2,11	2,28	2,59	1,83	1,86	1,97	3,20	2,16	2,50	1,78	2,23
Minimum	1,58	1,49	1,61	2,88	1,79	1,43	1,76	1,03	1,32	1,75	2,34	1,73	1,30	1,41	1,69
Ecart-type	0,13	0,23	0,30	0,15	0,28	0,39	0,64	0,40	0,47	0,28	0,43	0,27	0,61	0,25	0,37

\* : sites ayant participé à l'étude du JRC

De façon logique, la somme des éléments fertilisants suit les tendances mises en évidence sur les éléments individuels, à savoir que les composts issus du tri mécanique présentent des concentrations en éléments fertilisants plus basses et moins dispersées que les composts issus de la collecte séparée des biodéchets. Les moyennes générales sont de 2,22 % et 3,25 % pour les deux types de composts respectivement. Ainsi, l'utilisation des composts issus du tri mécanique apportera dans le cas général un peu moins d'éléments fertilisants que certains composts issus de la collecte séparée des biodéchets.

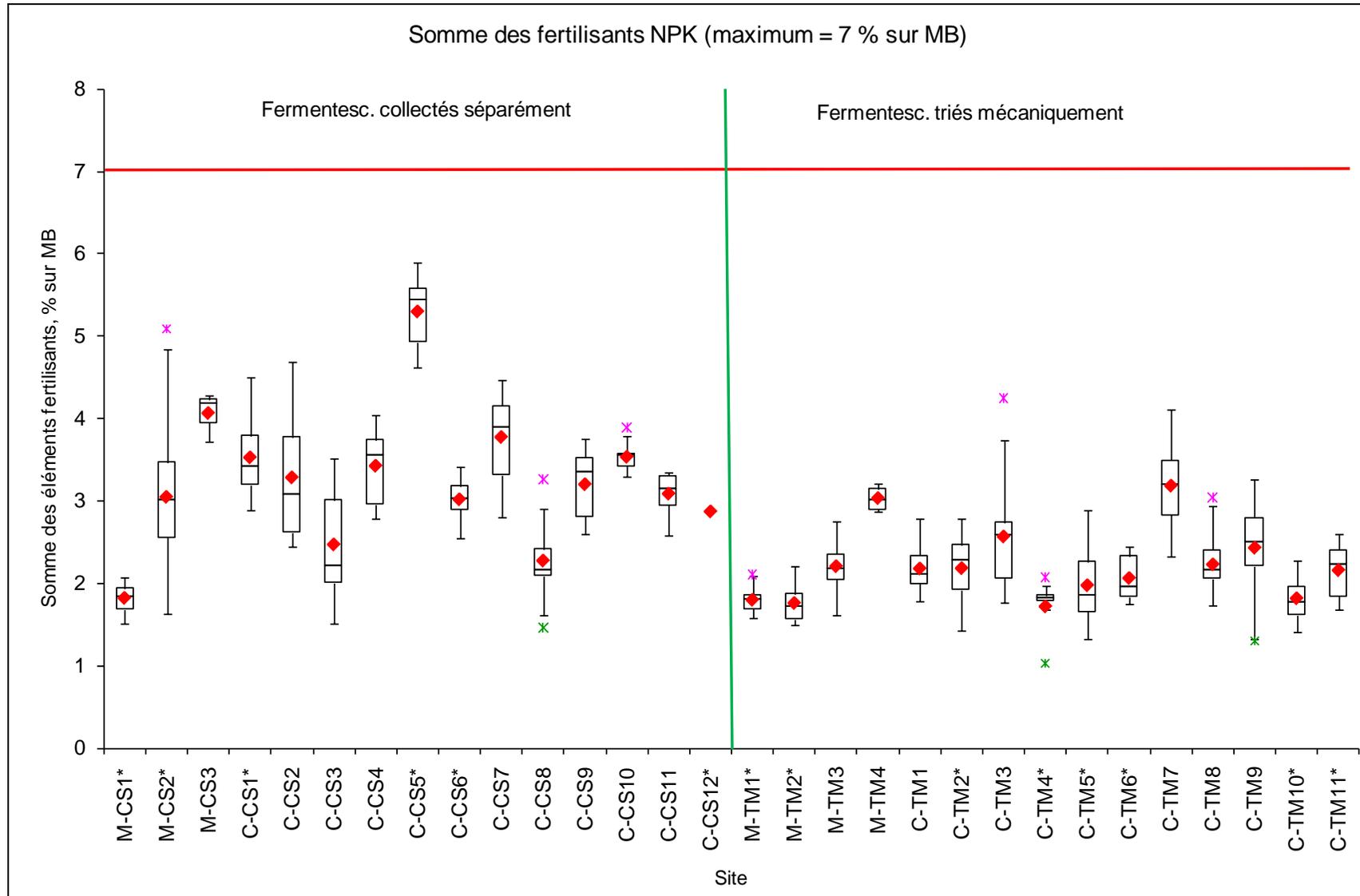


Figure 8 : contenu en éléments fertilisants (N, P, K) des différents composts

## 6. LES METAUX

Les éléments traces métalliques contenus dans les composts font l'objet d'une double prescription par la norme NF U 44-051, en termes de concentration et de flux apportés au sol par période de 10 ans. Ces prescriptions sont reportées en Tableau 12.

Tableau 12 : valeurs limites prescrites par la norme NF U 44-051 pour les concentrations et les flux en métaux

Métal	As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Se	Cu	Zn
Valeur limite, mg/kg MS*	18	3	120	2	60	180	12	300	600
Valeur limite, mg/kg MO*								600	1 200
Flux maximal par 10 ans, g/ha	900	150	6 000	100	3 000	9 000	600	10 000	30 000
Flux max. par an, g/ha	270	45	1 800	30	900	2 700	180	3 000	6 000

\* MS : matière sèche , MO : matière organique

Les paragraphes suivants reportent les concentrations en ETM des différents composts, métal par métal, pour tous les groupes de composts et pour tous les sites. Les valeurs limites de la norme NF U 44-051 et, lorsqu'elles existent, les valeurs limites proposées par le JRC dans le document de travail du 11 octobre 2011, sont reportées pour chaque élément.

Les tableaux et les graphiques représentent l'ensemble des valeurs, réparties selon la nomenclature définie au chapitre 3, soit :

- les digestats compostés et les composts, issus de la fraction fermentescible collectée séparément (légendes M-CS1 à C-CS12),
- les digestats compostés et le compost issus de la fraction fermentescible triée mécaniquement (légendes M-TM1 à C-TM11).

Pour chacun des paramètres à satisfaire, les données sont regroupées par site. Les tableaux donnent les statistiques principales pour chaque site :

- le nombre d'observations (le nombre de données fournies par les sites pour ce paramètre),
- la valeur moyenne (**en gras italique**),
- la valeur maximale (**en gras : valeur à comparer au critère prescrit par la norme**),
- la médiane,
- la valeur minimale,

- l'écart-type.

Les dépassements par rapport aux valeurs limites prescrites par la norme NF U 44-051 sont reportés en **gras souligné** dans des cases surlignées en orange, les dépassements par rapport aux valeurs proposées par le JRC figurent **en gras** dans des cellules **surlignées en jaune**.

Ces données sont extraites de feuilles de calcul ayant servi à établir les graphiques box-plots, qui sont joints aux tableaux correspondants. Les graphiques représentent :

- les quartiles 25 et 75 (les extrémités des boîtes),
- les médianes (barres horizontales dans les boîtes),
- les moyennes ( $\bar{t}$ ),
- les valeurs  $Q_{75} + [1,5 \times (Q_{75} - Q_{25})]$  et  $Q_{25} - [1,5 \times (Q_{75} - Q_{25})]$  : « moustaches » supérieures et inférieures respectivement (ou la valeur minimum lorsqu'elle est supérieure à la valeur de moustache inférieure),
- les valeurs atypiques maximum  $\hat{Q}$  et minimum  $\hat{Q}$ .

Remarque : les graphiques utilisés ici ne permettent de reporter qu'une valeur atypique. (maximum ou minimum). Il arrive que certains sites aient présenté deux valeurs atypiques

Sur ces graphiques, les valeurs maximales prescrites par la norme pour chacun des paramètres sont reportées sur les différents graphiques par une ligne rouge, et lorsqu'elles existent, les valeurs limites proposées par le JRC dans le document de travail du 11 octobre 2011 figurent en vert.

## 6.1 L'ARSENIC

La valeur limite prescrite par la NF U 44-051 pour les composts est de 18 mg/kg de matière sèche. Il n'y a pas de proposition de seuil pour ce polluant de la part du JRC.

Les valeurs fournies, pour une dizaine de sites sont inférieures aux seuils de quantification des laboratoires, qui vont de 0,5 à 4,2 mg/kg. Dans certains tableaux fournis par les sites, les données sont reportées sans autre précision, alors que les valeurs semblent être celles des limites de quantification. Pour pouvoir traiter ces informations de façon statistique, les données d'analyse qui étaient précisées comme inférieures à la limite de quantification, ont été prises (par excès) comme égales à ces valeurs.

Tableau 13 : statistiques sur les teneurs en arsenic des composts

As (mg/kg MS)	M-CS1*	M-CS2*	M-CS3	C-CS1*	C-CS2	C-CS3	C-CS4	C-CS5*	C-CS6*	C-CS7	C-CS8	C-CS9	C-CS10	C-CS11	C-CS12*
Nombre d'obs.	14	44	3	14	7	6	8	7	7	8	6	7	7	7	1
<b>Moyenne</b>	<b>3,96</b>	<b>3,84</b>	<b>3,07</b>	<b>4,99</b>	<b>4,20</b>	<b>4,27</b>	<b>2,85</b>	<b>3,89</b>	<b>4,63</b>	<b>10,65</b>	<b>10,77</b>	<b>10,87</b>	<b>6,67</b>	<b>9,51</b>	<b>3,10</b>
<b>Maximum</b>	<b>9,20</b>	<b>8,40</b>	<b>4,20</b>	<b>7,56</b>	<b>4,30</b>	<b>4,30</b>	<b>3,50</b>	<b>4,70</b>	<b>5,38</b>	<b>14,40</b>	<b>21,60</b>	<b>19,60</b>	<b>8,20</b>	<b>17,40</b>	
Médiane	3,50	3,95	2,60	4,51	4,20	4,30	2,85	4,10	4,80	11,30	10,05	10,20	7,40	9,00	
Minimum	0,50	1,80	2,40	4,04	4,10	4,20	2,20	1,80	3,75	5,80	3,90	5,70	3,00	5,40	
Ecart-type	1,89	1,06	0,99	1,15	0,08	0,05	0,38	0,99	0,56	2,69	5,90	5,11	1,88	4,27	

As (mg/kg MS)	M-TM1*	M-TM2*	M-TM3	M-TM4	C-TM1	C-TM2*	C-TM3	C-TM4*	C-TM5*	C-TM6*	C-TM7	C-TM8	C-TM9	C-TM10*	C-TM11*
Nombre d'obs.	32	7	16	5	17	26	20	5	10	8	29	28	7	14	6
<b>Moyenne</b>	<b>3,16</b>	<b>2,37</b>	<b>3,23</b>	<b>2,80</b>	<b>2,96</b>	<b>4,48</b>	<b>4,45</b>	<b>1,88</b>	<b>2,75</b>	<b>2,03</b>	<b>2,85</b>	<b>2,43</b>	<b>7,89</b>	<b>6,14</b>	<b>5,42</b>
<b>Maximum</b>	<b>6,40</b>	<b>3,60</b>	<b>4,20</b>	<b>4,00</b>	<b>6,10</b>	<b>9,40</b>	<b>8,50</b>	<b>2,60</b>	<b>4,10</b>	<b>4,00</b>	<b>4,48</b>	<b>3,90</b>	<b>13,40</b>	<b>14,00</b>	<b>8,40</b>
Médiane	3,45	2,73	3,55	3,10	2,70	4,20	4,20	2,40	2,65	1,80	2,90	2,35	7,20	5,50	5,05
Minimum	0,29	0,10	2,00	1,00	0,90	2,10	4,10	0,00	2,20	0,24	1,66	1,10	4,53	3,70	2,90
Ecart-type	1,06	1,35	1,00	1,14	1,28	1,14	0,96	1,08	0,55	1,08	0,69	0,67	2,85	2,62	2,20

\* : sites ayant participé à l'étude du JRC

On note des valeurs élevées, avec des dépassements de la valeur limite sur 2 sites, pour les composts issus la collecte séparée, sur 5 sites gérés par un même syndicat. Il s'agit probablement d'une spécificité régionale (bruit de fond pédogéochimique élevé) : ces composts contiennent beaucoup de déchets verts. Ces végétaux sont cultivés sur des sols riches en arsenic. En-dehors de ce cas particulier, tous les composts sont conformes aux prescriptions de la NF U 44-051.

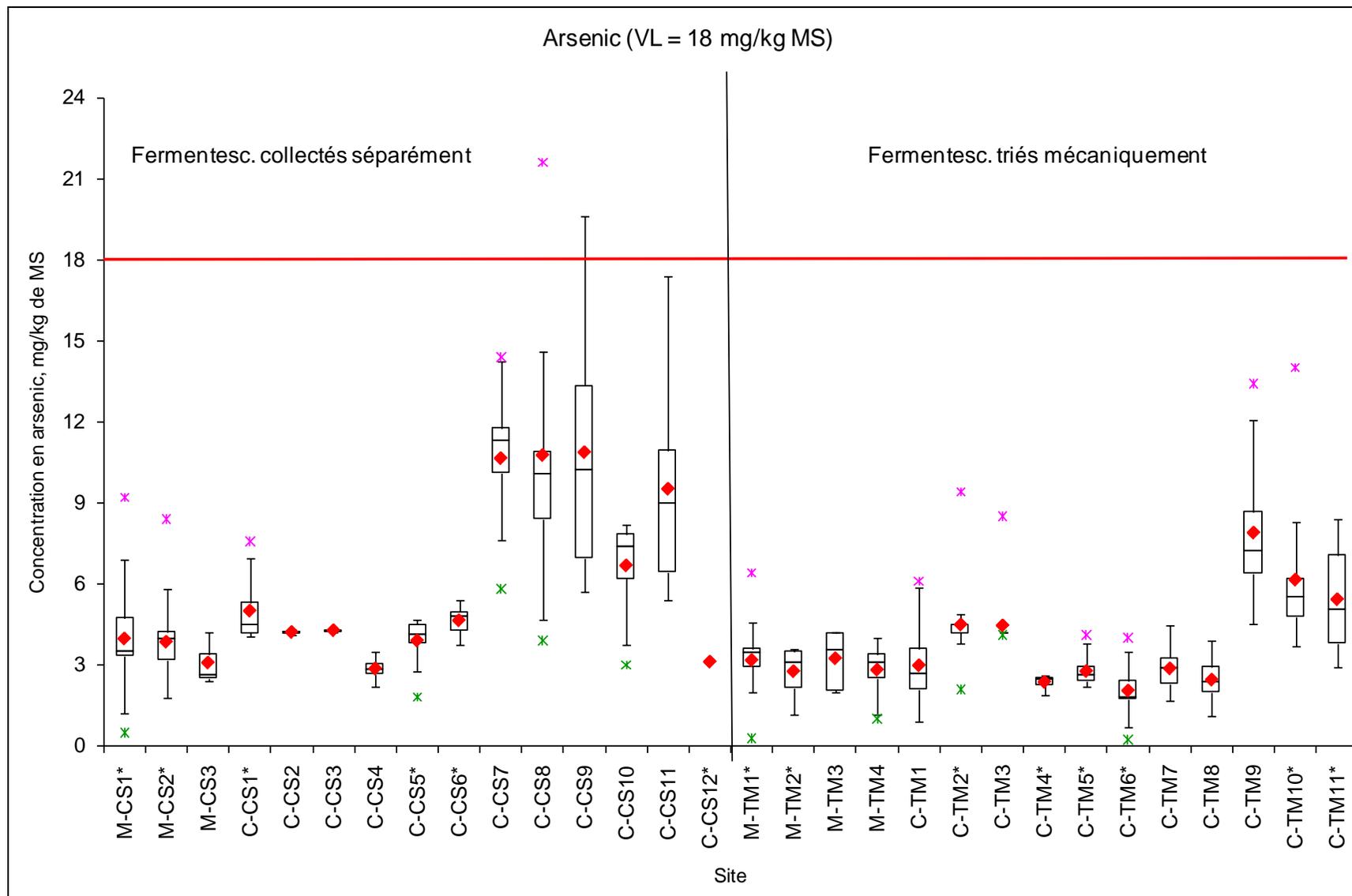


Figure 9 : contenu en arsenic des différents composts

## 6.2 LE CADMIUM

La valeur limite prescrite par la NF U 44-051 pour les composts est de 3 mg/kg de matière sèche.

La proposition du JRC pour ce polluant est de 1,5 mg/kg de matière sèche.

Tableau 14 : statistiques sur les teneurs en cadmium des composts

Cd (mg/kg MS)	M-CS1*	M-CS2*	M-CS3	C-CS1*	C-CS2	C-CS3	C-CS4	C-CS5*	C-CS6*	C-CS7	C-CS8	C-CS9	C-CS10	C-CS11	C-CS12*
Nombre d'obs.	14	44	3	14	7	6	8	7	7	9	6	7	7	7	1
<b>Moyenne</b>	<b>0,52</b>	<b>0,78</b>	<b>0,89</b>	<b>0,45</b>	<b>0,56</b>	<b>0,48</b>	<b>0,34</b>	<b>0,28</b>	<b>0,50</b>	<b>0,74</b>	<b>0,54</b>	<b>0,54</b>	<b>0,63</b>	<b>0,45</b>	<b>0,10</b>
<b>Maximum</b>	<b>0,70</b>	<b>1,34</b>	<b>1,10</b>	<b>0,63</b>	<b>0,70</b>	<b>0,70</b>	<b>0,60</b>	<b>0,40</b>	<b>0,83</b>	<b>0,87</b>	<b>0,66</b>	<b>0,73</b>	<b>0,80</b>	<b>0,51</b>	
Médiane	0,50	0,80	0,79	0,46	0,60	0,45	0,30	0,30	0,46	0,80	0,57	0,52	0,70	0,46	
Minimum	0,39	0,50	0,78	0,15	0,40	0,40	0,20	0,20	0,32	0,56	0,33	0,42	0,10	0,40	
Ecart-type	0,11	0,16	0,18	0,13	0,13	0,12	0,13	0,07	0,17	0,12	0,12	0,09	0,24	0,04	

Cd (mg/kg MS)	M-TM1*	M-TM2*	M-TM3	M-TM4	C-TM1	C-TM2*	C-TM3	C-TM4*	C-TM5*	C-TM6*	C-TM7	C-TM8	C-TM9	C-TM10*	C-TM11*
Nombre d'obs.	32	10	16	5	17	26	21	5	10	8	29	29	7	14	6
<b>Moyenne</b>	<b>1,01</b>	<b>0,90</b>	<b>1,21</b>	<b>0,94</b>	<b>0,53</b>	<b>0,85</b>	<b>0,73</b>	<b>1,39</b>	<b>1,38</b>	<b>1,49</b>	<b>1,01</b>	<b>1,46</b>	<b>0,77</b>	<b>2,35</b>	<b>0,95</b>
<b>Maximum</b>	<b>1,50</b>	<b>1,40</b>	<b>2,10</b>	<b>1,10</b>	<b>0,69</b>	<b>1,00</b>	<b>1,50</b>	<b>2,20</b>	<b>2,20</b>	<b>2,10</b>	<b>2,11</b>	<b>4,72</b>	<b>1,02</b>	<b>5,10</b>	<b>1,22</b>
Médiane	1,00	0,84	1,10	0,90	0,55	0,90	0,70	1,30	1,30	1,45	0,88	1,20	0,72	2,35	0,91
Minimum	0,30	0,50	0,68	0,70	0,32	0,60	0,40	0,72	0,90	0,90	0,61	0,75	0,46	0,87	0,63
Ecart-type	0,23	0,25	0,37	0,17	0,11	0,12	0,30	0,54	0,43	0,40	0,34	0,93	0,21	1,03	0,23

\* : sites ayant participé à l'étude du JRC

Tous les composts sont conformes à la valeur limite de la NF U 44-051, sauf un lot du site C-TM8 (4,72 mg/kg) et un lot du site C-TM10 (5,1 mg/kg). 7 sites de TMB sur 15 présentent des dépassements du seuil proposé par le JRC, bien que les moyennes des valeurs soient conformes à ce seuil. Le site C-TM10 présente plusieurs dépassements par rapport au seuil proposé par le JRC. Ce site a un broyage en tête, les éléments métalliques indésirables (tels que les piles ou accumulateurs, qui ne sont pas entièrement recyclés) sont donc broyés avant d'être retirés de la matière organique, ce qui peut expliquer des valeurs systématiquement plus élevées que pour les autres composts.

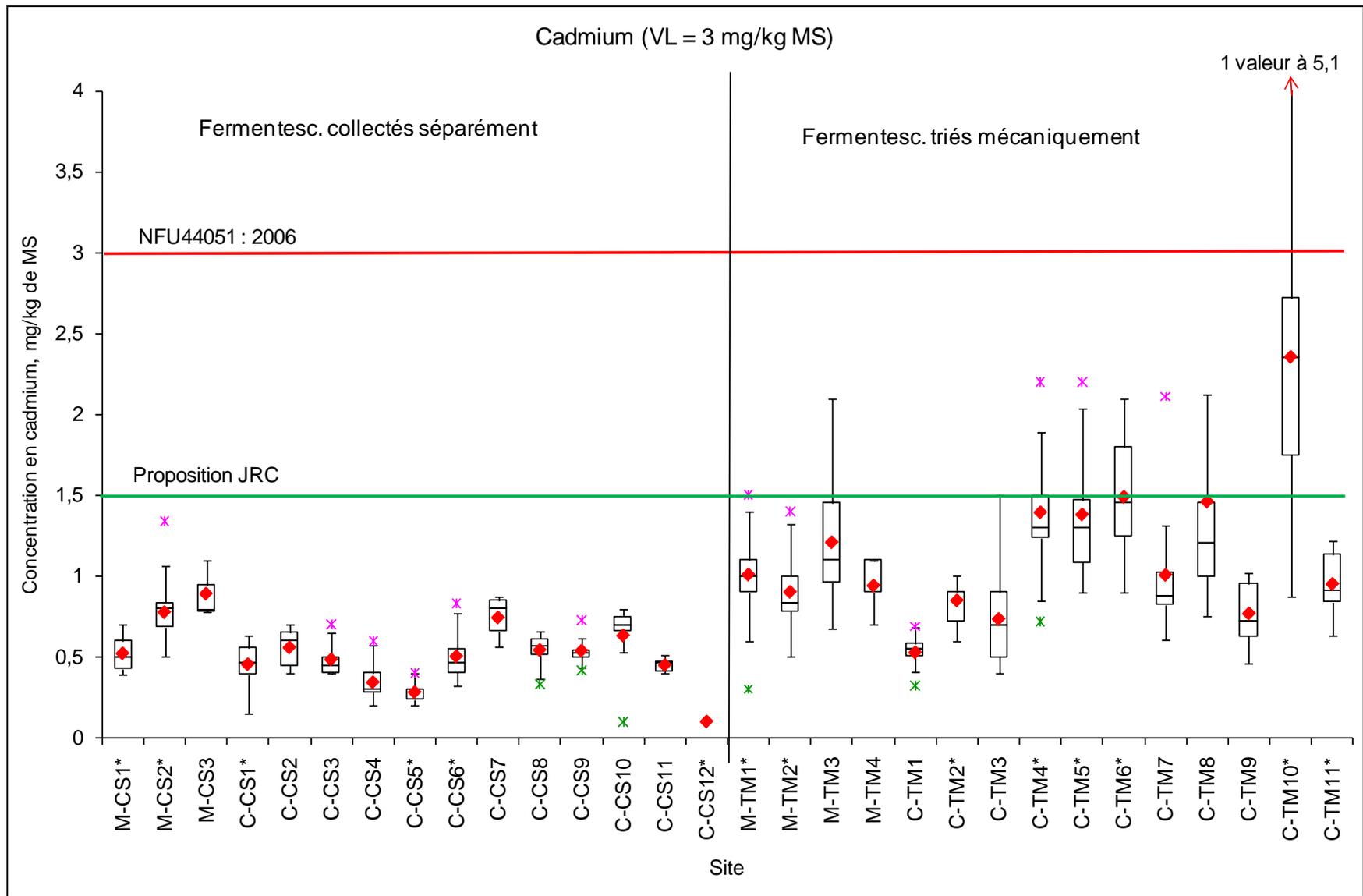


Figure 10 : contenu en cadmium des différents composants

### 6.3 LE CHROME

La valeur limite prescrite par la NF U 44-051 pour les composts est de 120 mg/kg de matière sèche.

La proposition du JRC pour ce polluant est de 100 mg/kg de matière sèche.

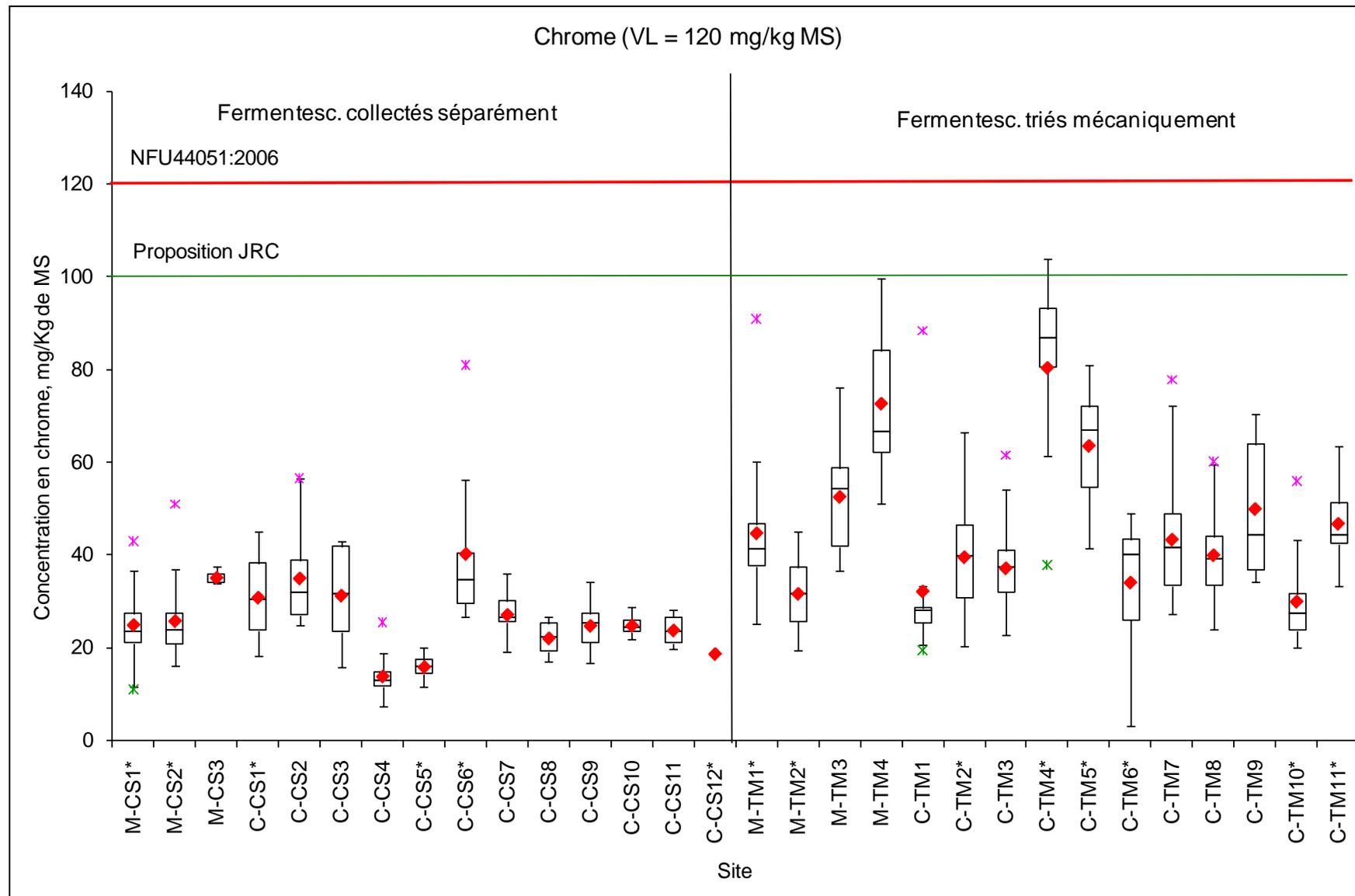
Tableau 15 : statistiques sur les teneurs en chrome des composts

Cr (mg/kg MS)	M-CS1*	M-CS2*	M-CS3	C-CS1*	C-CS2	C-CS3	C-CS4	C-CS5*	C-CS6*	C-CS7	C-CS8	C-CS9	C-CS10	C-CS11	C-CS12*
Nombre d'obs.	14	44	3	14	7	6	8	7	7	9	6	7	7	7	1
<b>Moyenne</b>	<b>24,96</b>	<b>25,80</b>	<b>35,13</b>	<b>30,87</b>	<b>35,01</b>	<b>31,30</b>	<b>13,87</b>	<b>15,89</b>	<b>40,29</b>	<b>27,14</b>	<b>22,08</b>	<b>24,77</b>	<b>24,79</b>	<b>23,79</b>	<b>18,70</b>
<b>Maximum</b>	<b>43,00</b>	<b>50,90</b>	<b>37,40</b>	<b>45,00</b>	<b>56,60</b>	<b>43,00</b>	<b>25,50</b>	<b>20,00</b>	<b>81,00</b>	<b>35,90</b>	<b>26,60</b>	<b>34,30</b>	<b>28,90</b>	<b>28,30</b>	
Médiane	23,35	23,80	34,00	30,50	31,80	31,70	12,80	16,00	34,60	26,40	22,20	25,40	24,50	23,50	
Minimum	11,00	16,00	34,00	18,10	25,00	15,80	7,49	11,50	26,60	19,20	17,10	16,60	21,70	19,60	
Ecart-type	9,01	7,99	1,96	9,09	11,07	11,57	5,23	2,78	18,94	5,30	3,92	5,75	2,38	3,39	

Cr (mg/kg MS)	M-TM1*	M-TM2*	M-TM3	M-TM4	C-TM1	C-TM2*	C-TM3	C-TM4*	C-TM5*	C-TM6*	C-TM7	C-TM8	C-TM9	C-TM10*	C-TM11*
Nombre d'obs.	32	10	16	5	17	26	21	5	10	8	29	29	7	14	6
<b>Moyenne</b>	<b>44,75</b>	<b>31,69</b>	<b>52,60</b>	<b>72,72</b>	<b>32,21</b>	<b>39,59</b>	<b>37,21</b>	<b>80,44</b>	<b>63,60</b>	<b>34,11</b>	<b>43,38</b>	<b>40,02</b>	<b>49,99</b>	<b>30,00</b>	<b>46,80</b>
<b>Maximum</b>	<b>90,90</b>	<b>44,94</b>	<b>76,00</b>	<b>99,70</b>	<b>88,30</b>	<b>66,40</b>	<b>61,50</b>	<b>104,00</b>	<b>80,90</b>	<b>49,00</b>	<b>77,80</b>	<b>60,20</b>	<b>70,30</b>	<b>56,00</b>	<b>63,60</b>
Médiane	41,38	31,57	54,15	66,70	27,90	39,75	37,20	86,90	66,80	40,05	41,40	39,20	44,30	27,50	44,40
Minimum	25,21	19,50	36,70	51,00	19,50	20,40	22,70	37,80	41,40	3,10	27,24	24,10	34,10	20,00	33,30
Ecart-type	14,99	8,07	11,27	19,22	17,25	10,44	8,93	25,37	12,09	15,18	12,88	9,46	15,59	9,66	10,47

\* : sites ayant participé à l'étude du JRC

Tous les composts sont conformes à la valeur limite de la NF U 44-051, et sont également conformes au seuil proposé par le JRC, sauf un lot du site C-TM4, qui présente une valeur (unique) de 104 mg/kg.



*Figure 11 : contenu en chrome des différents composts*

## 6.4 LE CUIVRE

La valeur limite prescrite par la NF U 44-051 pour les composts est de 300 mg/kg de matière sèche.

La proposition du JRC pour ce polluant est de 100 mg/kg de matière sèche.

Tableau 16 : statistiques sur les teneurs en cuivre des composts

<b>Cu (mg/kg MS)</b>	M-CS1*	M-CS2*	M-CS3	C-CS1*	C-CS2	C-CS3	C-CS4	C-CS5*	C-CS6*	C-CS7	C-CS8	C-CS9	C-CS10	C-CS11	C-CS12*
Nombre d'obs.	14	44	3	14	7	6	8	7	7	9	6	7	7	7	1
<b>Moyenne</b>	<b>74,61</b>	<b>57,14</b>	<b>189,33</b>	<b>85,07</b>	<b>51,71</b>	<b>47,43</b>	<b>68,80</b>	<b>90,59</b>	<b>72,81</b>	<b>61,08</b>	<b>48,87</b>	<b>47,46</b>	<b>60,36</b>	<b>47,61</b>	<b>55,80</b>
<b>Maximum</b>	<b>94,80</b>	<b>169,00</b>	<b>200,00</b>	<b>152,00</b>	<b>67,00</b>	<b>50,70</b>	<b>91,40</b>	<b>280,00</b>	<b>117,00</b>	<b>72,00</b>	<b>57,70</b>	<b>52,60</b>	<b>76,50</b>	<b>58,90</b>	
Médiane	75,15	54,45	198,00	81,35	56,00	47,04	66,65	60,50	66,90	59,70	54,60	49,20	65,20	50,60	
Minimum	43,00	38,10	170,00	53,60	34,70	42,90	47,00	46,50	56,80	46,30	29,60	37,60	44,90	31,60	
Ecart-type	17,29	20,33	16,77	23,32	13,24	2,96	14,41	83,92	20,69	8,96	11,73	5,76	11,21	10,45	

<b>Cu (mg/kg MS)</b>	M-TM1*	M-TM2*	M-TM3	M-TM4	C-TM1	C-TM2*	C-TM3	C-TM4*	C-TM5*	C-TM6*	C-TM7	C-TM8	C-TM9	C-TM10*	C-TM11*
Nombre d'obs.	32	10	16	5	17	26	21	5	10	8	29	29	7	13	6
<b>Moyenne</b>	<b>92,98</b>	<b>80,11</b>	<b>183,29</b>	<b>264,60</b>	<b>86,51</b>	<b>113,95</b>	<b>91,03</b>	<b>172,60</b>	<b>149,62</b>	<b>149,00</b>	<b>189,91</b>	<b>133,24</b>	<b>101,29</b>	<b>122,00</b>	<b>86,57</b>
<b>Maximum</b>	<b>118,10</b>	<b>116,83</b>	<b>220,00</b>	<b>558,00</b>	<b>134,00</b>	<b>239,60</b>	<b>147,40</b>	<b>195,00</b>	<b>186,70</b>	<b>179,00</b>	<b>243,23</b>	<b>221,00</b>	<b>149,00</b>	<b>180,00</b>	<b>104,00</b>
Médiane	93,15	81,65	185,00	196,00	84,20	108,15	85,30	188,00	148,50	155,00	192,91	127,00	99,50	110,00	89,50
Minimum	65,10	39,39	145,90	165,00	58,50	64,50	49,40	104,00	113,00	102,00	157,00	101,00	37,20	74,00	64,70
Ecart-type	15,08	23,13	24,56	165,22	18,01	33,55	25,66	38,49	22,41	25,71	23,15	26,53	40,31	32,37	15,91

\* : sites ayant participé à l'étude du JRC

Tous les composts sont conformes à la valeur limite de la NF U 44-051, sauf un lot isolé du site M-TM4, qui présente une valeur de 558 mg/kg, non représentée sur le graphique en fonction de l'échelle retenue. En revanche, tous les sites de TMB présentent des dépassements du seuil proposé par le JRC, y compris, pour certains sites, des dépassements de la valeur moyenne (ce qui indique que la majorité des analyses sont en dépassement). C'est également le cas pour le compost de 5 sites travaillant sur la FFOM collectée séparément (toutes les valeurs d'un de ces sites sont en dépassement). Il est cependant à noter que le cuivre, avant d'être un contaminant, est également un oligo-élément essentiel à la croissance des plantes. L'établissement d'une valeur limite plus basse pour les composts doit faire l'objet d'une approche plus spécifique, qui prenne en compte les besoins des plantes.

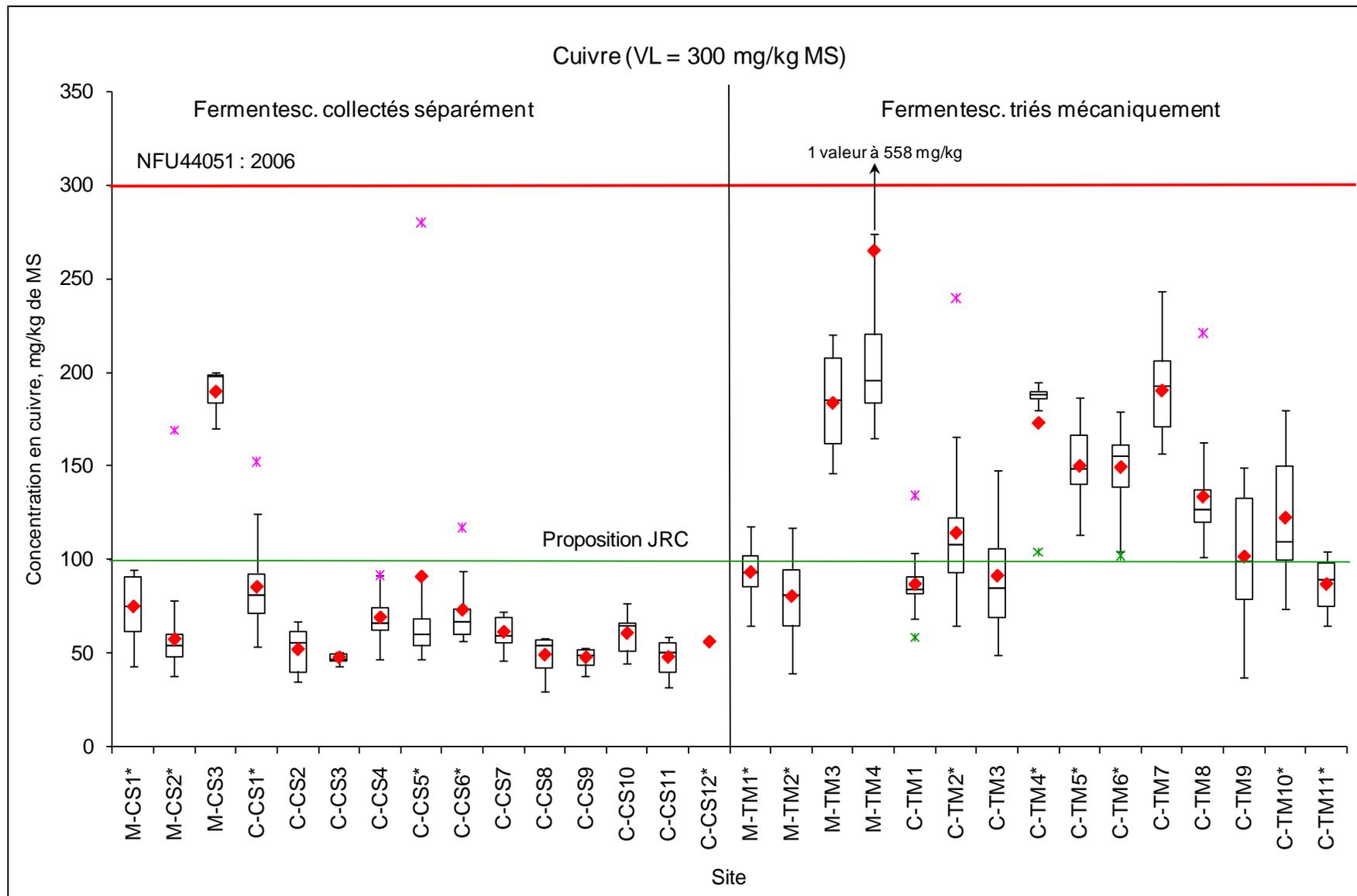


Figure 12 : contenu en cuivre des différents composts

## 6.5 LE MERCURE

La valeur limite prescrite par la NF U 44-051 pour les composts est de 2 mg/kg de matière sèche.

La proposition du JRC pour ce polluant est de 1 mg/kg de matière sèche.

Tableau 17 : statistiques sur les teneurs en mercure des composts

Hg (mg/kg MS)	M-CS1*	M-CS2*	M-CS3	C-CS1*	C-CS2	C-CS3	C-CS4	C-CS5*	C-CS6*	C-CS7	C-CS8	C-CS9	C-CS10	C-CS11	C-CS12*
Nombre d'obs.	14	44	3	14	7	6	8	7	7	9	6	7	7	7	1
<b>Moyenne</b>	<b>0,13</b>	<b>0,20</b>	<b>0,51</b>	<b>0,07</b>	<b>0,07</b>	<b>0,07</b>	<b>0,15</b>	<b>0,30</b>	<b>0,14</b>	<b>0,39</b>	<b>0,25</b>	<b>0,23</b>	<b>0,26</b>	<b>0,20</b>	<b>0,30</b>
<b>Maximum</b>	<b>0,20</b>	<b>0,70</b>	<b>0,60</b>	<b>0,09</b>	<b>0,08</b>	<b>0,09</b>	<b>0,20</b>	<b>1,00</b>	<b>0,25</b>	<b>1,00</b>	<b>0,50</b>	<b>0,40</b>	<b>0,40</b>	<b>0,50</b>	
Médiane	0,10	0,20	0,52	0,07	0,07	0,07	0,20	0,20	0,13	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	
Minimum	0,05	0,10	0,42	0,06	0,05	0,06	0,00	0,10	0,08	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	
Ecart-type	0,06	0,10	0,09	0,01	0,01	0,01	0,09	0,32	0,06	0,35	0,12	0,10	0,11	0,14	

Hg (mg/kg MS)	M-TM1*	M-TM2*	M-TM3	M-TM4	C-TM1	C-TM2*	C-TM3	C-TM4*	C-TM5*	C-TM6*	C-TM7	C-TM8	C-TM9	C-TM10*	C-TM11*
Nombre d'obs.	32	10	16	5	17	26	21	5	10	8	28	29	7	14	6
<b>Moyenne</b>	<b>0,50</b>	<b>0,73</b>	<b>0,54</b>	<b>0,76</b>	<b>0,33</b>	<b>0,31</b>	<b>0,43</b>	<b>0,32</b>	<b>0,59</b>	<b>0,35</b>	<b>0,82</b>	<b>0,64</b>	<b>0,31</b>	<b>0,37</b>	<b>0,50</b>
<b>Maximum</b>	<b>1,85</b>	<b>1,00</b>	<b>1,10</b>	<b>1,80</b>	<b>0,70</b>	<b>0,84</b>	<b>0,99</b>	<b>0,50</b>	<b>1,40</b>	<b>0,60</b>	<b>1,80</b>	<b>2,40</b>	<b>0,68</b>	<b>1,20</b>	<b>0,60</b>
Médiane	0,46	1,00	0,48	0,50	0,30	0,29	0,39	0,30	0,50	0,37	0,75	0,60	0,21	0,25	0,50
Minimum	0,22	0,20	0,03	0,40	0,10	0,15	0,18	0,20	0,40	0,12	0,45	0,20	0,05	0,14	0,40
Ecart-type	0,27	0,35	0,25	0,59	0,19	0,13	0,23	0,13	0,30	0,19	0,34	0,42	0,23	0,32	0,09

\* : sites ayant participé à l'étude du JRC

Tous les composts sont conformes à la valeur limite de la NF U 44-051 (sauf la première des analyses réalisées par le site C-TM8, les analyses ultérieures étant toutes inférieures ou égales à 1 mg/kg). En revanche plusieurs sites de TMB présentent des dépassements du seuil proposé par le JRC, et au moins deux lots de composts issus de sites travaillant sur des biodéchets collectés séparément ont des valeurs tout juste conformes.

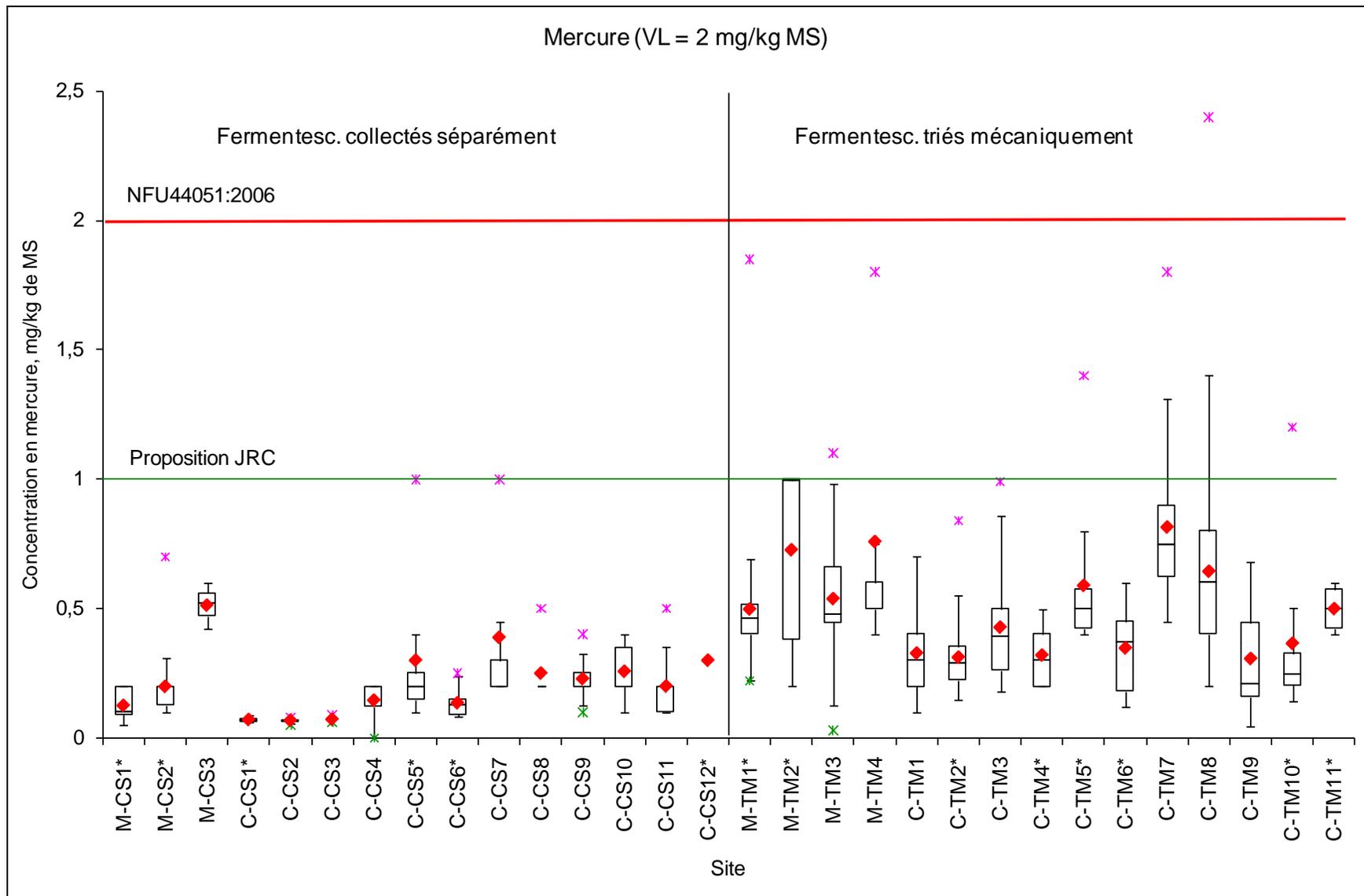


Figure 13 : contenu en mercure des différents composts

## 6.6 LE NICKEL

La valeur limite prescrite par la NF U 44-051 pour les composts est de 60 mg/kg de matière sèche.

La proposition du JRC pour ce polluant est de 50 mg/kg de matière sèche.

Tableau 18 : statistiques sur les teneurs en nickel des composts

Ni (mg/kg MS)	M-CS1*	M-CS2*	M-CS3	C-CS1*	C-CS2	C-CS3	C-CS4	C-CS5*	C-CS6*	C-CS7	C-CS8	C-CS9	C-CS10	C-CS11	C-CS12*
Nombre d'obs.	14	44	3	14	7	6	8	7	7	9	6	7	7	7	1
<b>Moyenne</b>	<b>16,29</b>	<b>17,57</b>	<b>21,87</b>	<b>21,58</b>	<b>20,71</b>	<b>17,43</b>	<b>8,12</b>	<b>9,39</b>	<b>20,00</b>	<b>20,76</b>	<b>13,18</b>	<b>15,84</b>	<b>17,34</b>	<b>16,69</b>	<b>12,20</b>
<b>Maximum</b>	<b>26,00</b>	<b>51,50</b>	<b>23,60</b>	<b>38,50</b>	<b>27,50</b>	<b>22,50</b>	<b>15,40</b>	<b>10,90</b>	<b>32,40</b>	<b>24,60</b>	<b>17,70</b>	<b>21,90</b>	<b>19,30</b>	<b>19,90</b>	
Médiane	16,95	16,05	21,00	21,30	20,60	17,70	7,30	9,20	18,10	22,00	13,35	14,10	17,00	16,70	
Minimum	6,70	10,40	21,00	14,40	14,80	10,40	4,23	7,70	13,80	15,80	9,20	10,40	16,00	13,50	
Ecart-type	5,73	6,41	1,50	6,10	5,35	4,98	3,26	1,23	6,32	2,90	2,95	4,14	1,15	2,43	

Ni (mg/kg MS)	M-TM1*	M-TM2*	M-TM3	M-TM4	C-TM1	C-TM2*	C-TM3	C-TM4*	C-TM5*	C-TM6*	C-TM7	C-TM8	C-TM9	C-TM10*	C-TM11*
Nombre d'obs.	32	10	16	5	17	26	21	5	10	8	29	29	7	14	6
<b>Moyenne</b>	<b>24,61</b>	<b>15,07</b>	<b>32,53</b>	<b>40,10</b>	<b>17,68</b>	<b>23,00</b>	<b>18,94</b>	<b>33,18</b>	<b>31,19</b>	<b>28,16</b>	<b>28,48</b>	<b>33,45</b>	<b>36,37</b>	<b>22,14</b>	<b>21,15</b>
<b>Maximum</b>	<b>51,30</b>	<b>18,04</b>	<b>53,00</b>	<b>50,00</b>	<b>35,70</b>	<b>32,20</b>	<b>31,70</b>	<b>40,20</b>	<b>38,20</b>	<b>30,70</b>	<b>53,10</b>	<b>47,40</b>	<b>58,00</b>	<b>31,00</b>	<b>32,50</b>
Médiane	23,74	14,51	30,55	37,10	17,10	24,45	18,80	36,20	30,95	27,90	25,60	32,00	39,00	21,50	20,25
Minimum	15,24	10,87	26,00	30,50	10,10	12,00	9,40	16,70	21,60	25,70	18,30	26,70	18,20	18,00	15,70
Ecart-type	7,07	2,21	6,20	8,23	5,40	4,99	5,53	9,42	5,25	1,92	7,84	5,53	15,22	3,78	5,99

\* : sites ayant participé à l'étude du JRC

Tous les composts sont conformes à la valeur limite de la NF U 44-051. En revanche, plusieurs sites (un sur collecte séparée et quatre sur tri mécanique) ont au moins un léger dépassement du seuil proposé par le JRC. Un site de TMB (M-TM4) est tout juste conforme au seuil du JRC.

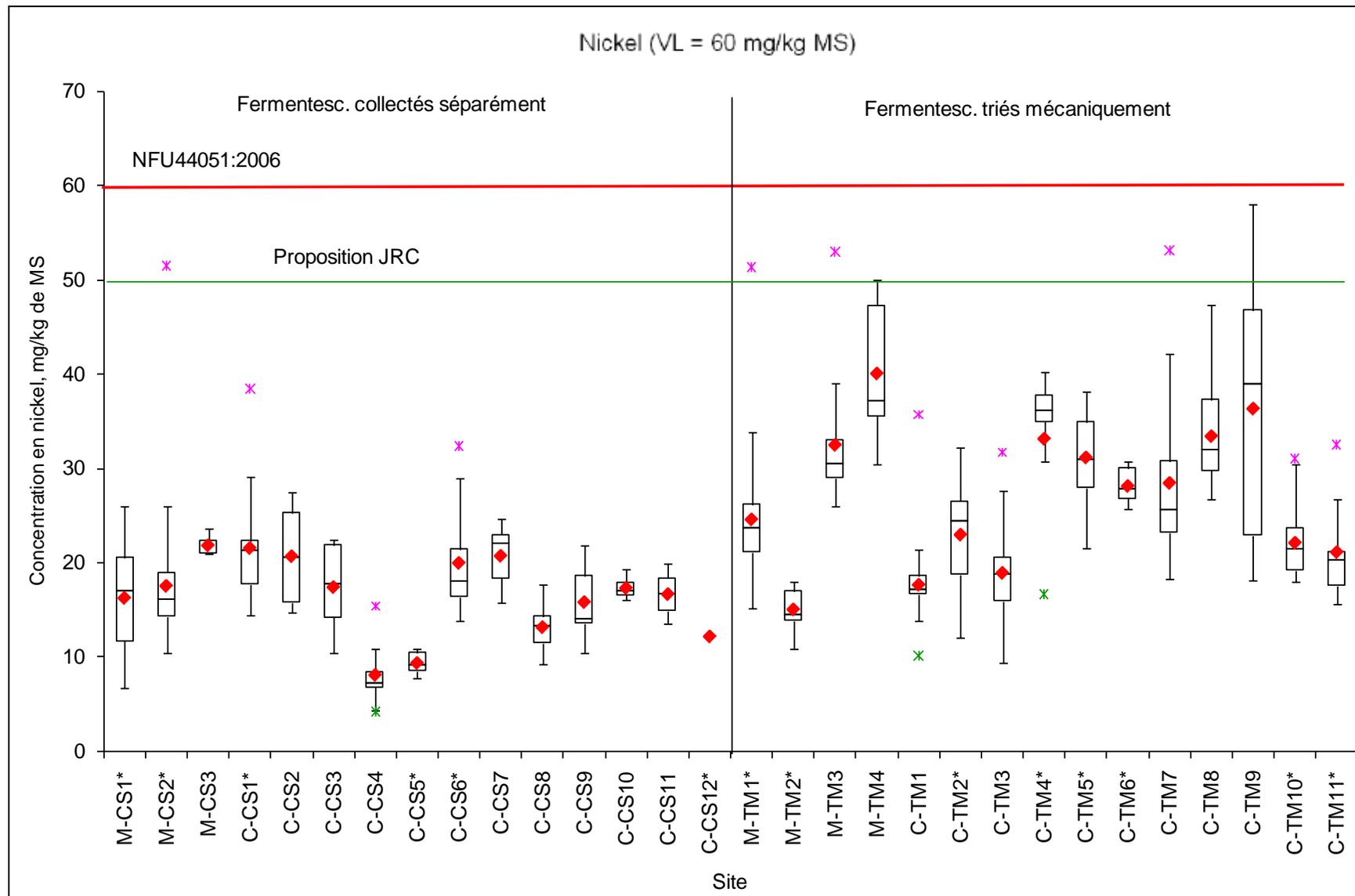


Figure 14 : contenu en nickel des différents composts

## 6.7 LE PLOMB

La valeur limite prescrite par la NF U 44-051 pour les composts est de 180 mg/kg de matière sèche.

La proposition du JRC pour ce polluant est de 120 mg/kg de matière sèche.

Tableau 19 : statistiques sur les teneurs en plomb des composts

Pb (mg/kg MS)	M-CS1*	M-CS2*	M-CS3	C-CS1*	C-CS2	C-CS3	C-CS4	C-CS5*	C-CS6*	C-CS7	C-CS8	C-CS9	C-CS10	C-CS11	C-CS12*
Nombre d'obs.	14	44	3	14	7	6	8	7	7	9	6	7	7	7	1
<b>Moyenne</b>	<b>63,68</b>	<b>80,63</b>	<b>87,03</b>	<b>36,41</b>	<b>64,01</b>	<b>44,65</b>	<b>30,51</b>	<b>30,87</b>	<b>42,16</b>	<b>84,77</b>	<b>51,70</b>	<b>48,37</b>	<b>60,96</b>	<b>47,01</b>	<b>76,70</b>
<b>Maximum</b>	<b>89,30</b>	<b>169,90</b>	<b>99,10</b>	<b>69,30</b>	<b>96,70</b>	<b>57,30</b>	<b>38,70</b>	<b>43,10</b>	<b>55,80</b>	<b>101,00</b>	<b>59,90</b>	<b>59,50</b>	<b>94,40</b>	<b>65,70</b>	
Médiane	67,45	78,85	86,00	32,45	65,40	43,55	29,75	26,80	40,90	86,10	52,45	48,30	52,50	42,70	
Minimum	31,00	43,40	76,00	27,76	36,30	28,30	22,50	22,70	33,60	69,60	43,30	36,80	45,20	38,00	
Ecart-type	18,88	25,43	11,58	11,40	21,35	10,65	5,44	8,29	8,55	11,44	6,32	9,28	19,01	10,86	

Pb (mg/kg MS)	M-TM1*	M-TM2*	M-TM3	M-TM4	C-TM1	C-TM2*	C-TM3	C-TM4*	C-TM5*	C-TM6*	C-TM7	C-TM8	C-TM9	C-TM10*	C-TM11*
Nombre d'obs.	32	10	16	5	17	26	18	5	10	8	29	29	7	14	6
<b>Moyenne</b>	<b>97,29</b>	<b>136,25</b>	<b>100,79</b>	<b>105,50</b>	<b>49,31</b>	<b>61,07</b>	<b>65,47</b>	<b>116,48</b>	<b>118,82</b>	<b>114,25</b>	<b>113,51</b>	<b>108,98</b>	<b>70,57</b>	<b>87,71</b>	<b>115,92</b>
<b>Maximum</b>	<b>159,61</b>	<b>170,76</b>	<b>121,90</b>	<b>129,00</b>	<b>64,40</b>	<b>105,90</b>	<b>155,80</b>	<b>143,00</b>	<b>151,00</b>	<b>164,00</b>	<b>171,64</b>	<b>154,00</b>	<b>103,00</b>	<b>140,00</b>	<b>192,00</b>
Médiane	93,65	139,15	98,00	103,00	50,50	58,55	55,10	136,00	119,50	112,00	105,26	106,00	63,80	82,50	103,35
Minimum	63,40	65,42	85,00	81,50	28,60	36,00	26,60	42,40	85,70	80,00	83,90	64,90	49,40	43,00	78,10
Ecart-type	21,15	30,49	13,15	18,03	9,04	13,54	36,82	42,16	20,46	25,35	25,35	20,14	21,49	27,37	40,76

\* : sites ayant participé à l'étude du JRC

Tous les composts sont conformes à la valeur limite de la NF U 44-051 (sauf un lot du site C-TM11, qui présente une valeur unique à 192 mg/kg). Trois sites de TMB sont conformes dans tous les cas au seuil proposé par le JRC ; les autres sites présentent plus ou moins de dépassements. Quatre sites présentent une valeur médiane proche, voire supérieure au seuil du JRC, ce qui montre qu'au moins la moitié des analyses est non conforme. Un site de méthanisation sur collecte séparée présente un dépassement de ce seuil.

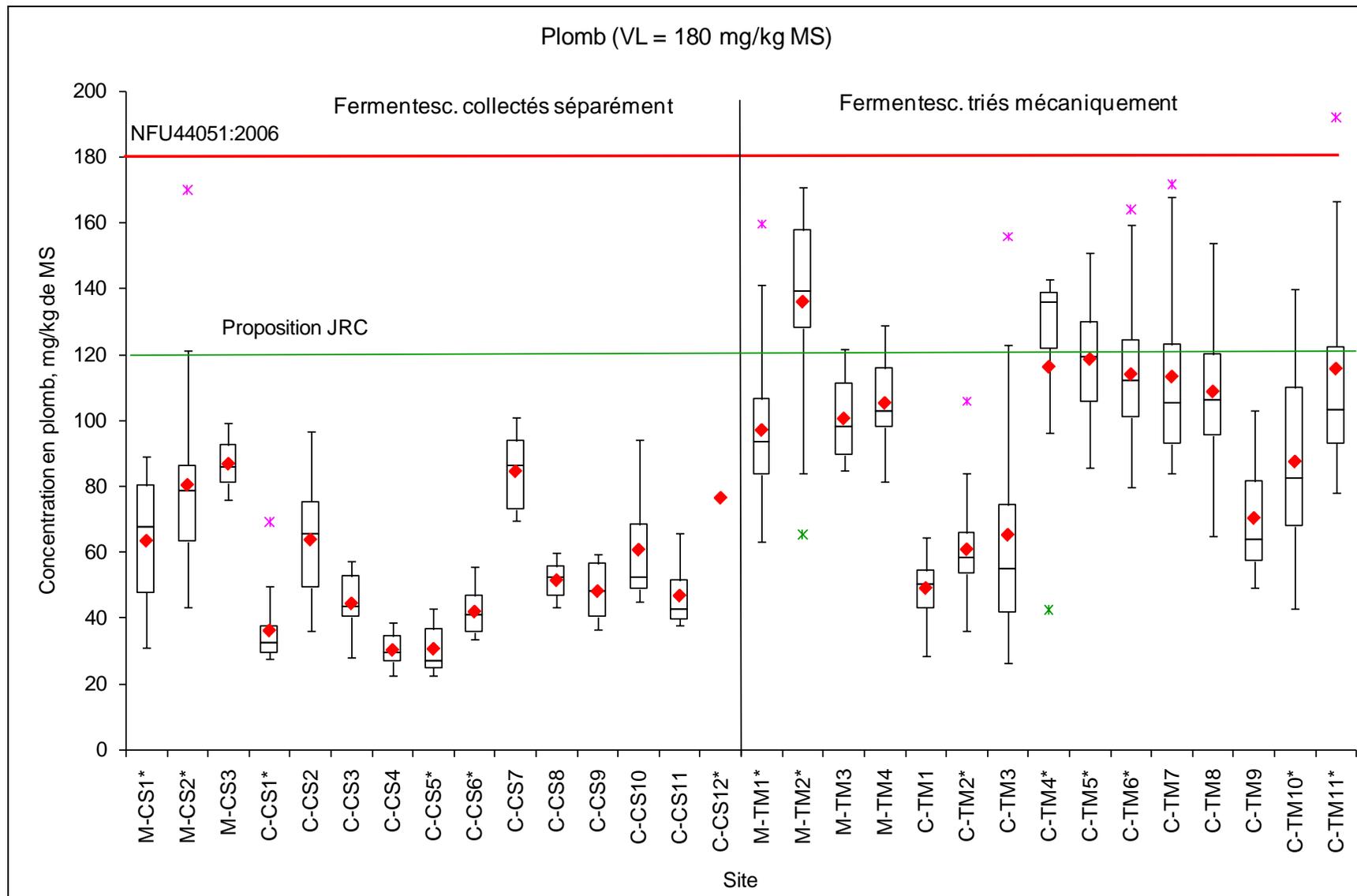


Figure 15 : contenu en plomb des différents composts

## 6.8 LE SELENIUM

La valeur limite prescrite par la NF U 44-051 pour les composts est de 12 mg/kg de matière sèche.

Le JRC n'a pas proposé de valeur limite pour cet élément.

Tableau 20 : statistiques sur les teneurs en sélénium des composts

Se (mg/kg MS)	M-CS1*	M-CS2*	M-CS3	C-CS1*	C-CS2	C-CS3	C-CS4	C-CS5*	C-CS6*	C-CS7	C-CS8	C-CS9	C-CS10	C-CS11	C-CS12*
Nombre d'obs.	14	44	3	14	7	6	8	7	7	9	6	7	7	7	1
<b>Moyenne</b>	<b>1,53</b>	<b>1,79</b>	<b>3,03</b>	<b>2,76</b>	<b>3,27</b>	<b>3,17</b>	<b>0,55</b>	<b>1,90</b>	<b>2,29</b>	<b>0,60</b>	<b>0,63</b>	<b>0,61</b>	<b>0,57</b>	<b>0,60</b>	<b>0,60</b>
<b>Maximum</b>	<b>5,00</b>	<b>3,80</b>	<b>3,10</b>	<b>5,00</b>	<b>4,20</b>	<b>3,20</b>	<b>1,30</b>	<b>5,00</b>	<b>5,00</b>	<b>0,90</b>	<b>0,80</b>	<b>1,10</b>	<b>0,70</b>	<b>0,80</b>	
Médiane	0,60	1,10	3,00	3,10	3,10	3,20	0,41	1,00	1,50	0,60	0,60	0,50	0,60	0,60	
Minimum	0,50	0,50	3,00	1,00	3,10	3,10	0,00	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	0,40	0,50	
Ecart-type	1,88	1,21	0,06	1,55	0,41	0,05	0,58	1,77	1,87	0,13	0,10	0,23	0,11	0,10	

Se (mg/kg MS)	M-TM1*	M-TM2*	M-TM3	M-TM4	C-TM1	C-TM2*	C-TM3	C-TM4*	C-TM5*	C-TM6*	C-TM7	C-TM8	C-TM9	C-TM10*	C-TM11*
Nombre d'obs.	32	10	16	5	17	26	17	5	10	8	29	28	7	13	6
<b>Moyenne</b>	<b>0,57</b>	<b>2,45</b>	<b>3,05</b>	<b>0,56</b>	<b>0,62</b>	<b>3,08</b>	<b>3,47</b>	<b>0,20</b>	<b>0,45</b>	<b>1,20</b>	<b>0,89</b>	<b>0,71</b>	<b>2,76</b>	<b>2,46</b>	<b>0,75</b>
<b>Maximum</b>	<b>0,81</b>	<b>3,50</b>	<b>3,20</b>	<b>0,70</b>	<b>1,00</b>	<b>3,20</b>	<b>8,60</b>	<b>0,50</b>	<b>0,70</b>	<b>1,90</b>	<b>1,50</b>	<b>2,50</b>	<b>5,00</b>	<b>3,00</b>	<b>1,20</b>
Médiane	0,60	3,50	3,00	0,50	0,60	3,10	3,20	0,00	0,50	1,15	1,00	0,60	1,50	3,00	0,65
Minimum	0,50	0,50	3,00	0,50	0,40	1,60	3,10	0,00	0,00	0,60	0,04	0,40	1,00	1,00	0,50
Ecart-type	0,07	1,42	0,06	0,09	0,19	0,31	1,32	0,27	0,25	0,48	0,41	0,43	1,78	0,88	0,26

\* : sites ayant participé à l'étude du JRC

Tous les composts sont largement conformes à la prescription de la NF U 44-051. Une part importante des valeurs fournies par les différents sites (qu'il s'agisse de composts issus de la collecte séparée ou du tri mécanique) sont inférieures aux limites de quantification des laboratoires, ce qui apparaît sous forme de séries de données présentant un écart-type très faible. Certaines valeurs sont d'ailleurs rapportées comme nulles ou très faibles (0,04 mg/kg) et demanderaient à être vérifiées.

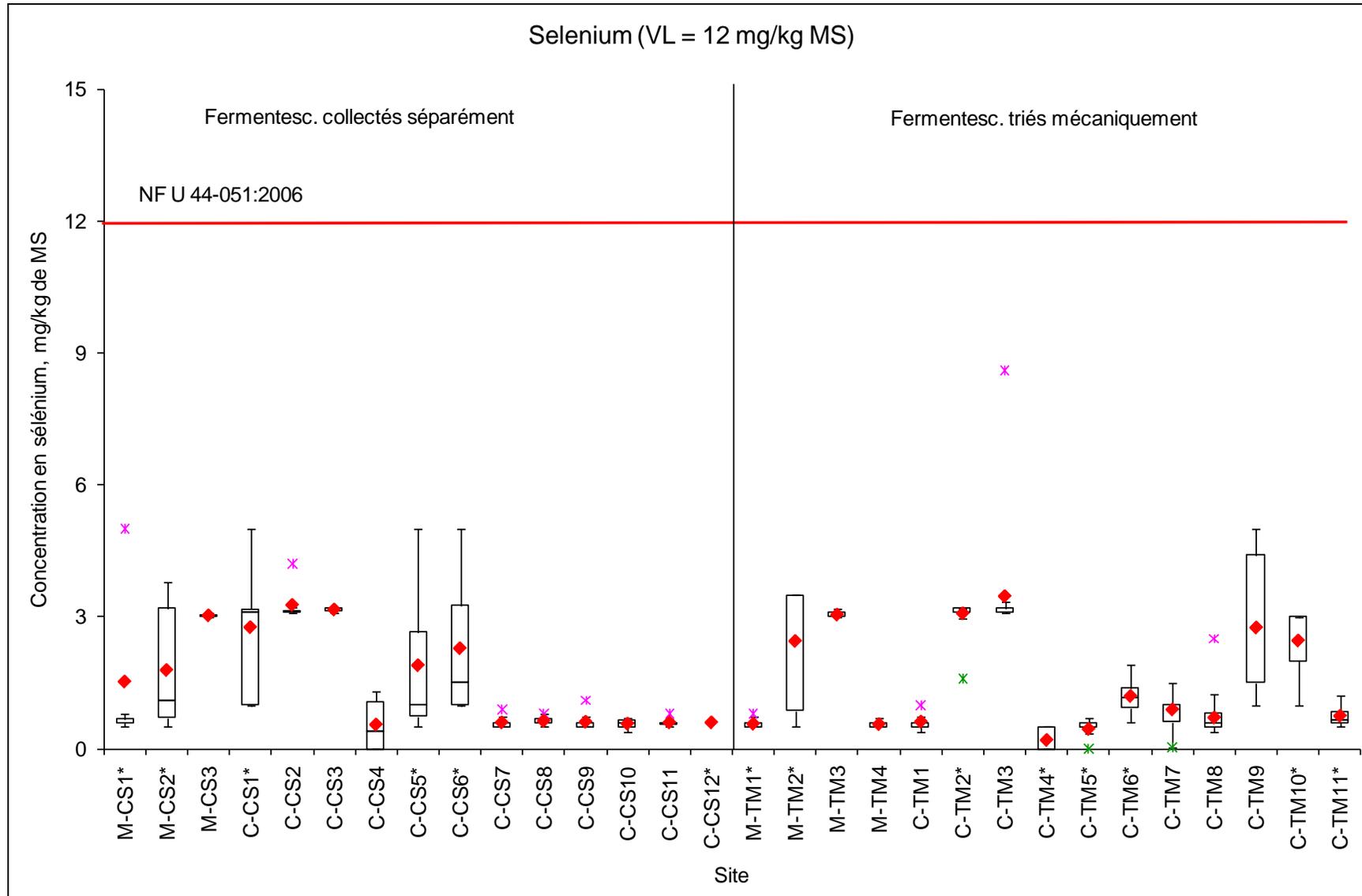


Figure 16 : contenu en sélénium des différents composts

## 6.9 LE ZINC

La valeur limite prescrite par la NF U 44-051 est de 600 mg/kg de matière sèche.

La proposition du JRC pour ce polluant est de 400 mg/kg de matière sèche.

Tableau 21 : statistiques sur les teneurs en zinc des composts

Zn (mg/kg MS)	M-CS1*	M-CS2*	M-CS3	C-CS1*	C-CS2	C-CS3	C-CS4	C-CS5*	C-CS6*	C-CS7	C-CS8	C-CS9	C-CS10	C-CS11	C-CS12*
Nombre d'obs.	13	44	3	14	7	6	8	7	7	9	6	7	7	7	1
<b>Moyenne</b>	<b>239,33</b>	<b>277,94</b>	<b>398,50</b>	<b>145,69</b>	<b>213,99</b>	<b>158,62</b>	<b>151,24</b>	<b>190,14</b>	<b>204,57</b>	<b>324,22</b>	<b>220,50</b>	<b>198,29</b>	<b>252,43</b>	<b>192,57</b>	<b>175,00</b>
<b>Maximum</b>	<b>475,50</b>	<b>536,90</b>	<b>420,00</b>	<b>180,00</b>	<b>252,90</b>	<b>170,80</b>	<b>207,00</b>	<b>228,00</b>	<b>284,00</b>	<b>503,00</b>	<b>238,00</b>	<b>214,00</b>	<b>485,00</b>	<b>227,00</b>	
Médiane	203,70	268,90	390,00	142,20	230,60	161,05	151,50	193,00	181,00	305,00	221,00	197,00	221,00	202,00	
Minimum	160,00	204,40	385,50	102,00	150,70	143,00	117,90	143,00	171,00	239,00	195,00	185,00	181,00	154,00	
Ecart-type	86,15	65,36	18,75	22,00	44,08	12,94	25,90	25,75	42,29	77,52	15,69	10,92	104,94	26,34	

Zn (mg/kg MS)	M-TM1*	M-TM2*	M-TM3	M-TM4	C-TM1	C-TM2*	C-TM3	C-TM4*	C-TM5*	C-TM6*	C-TM7	C-TM8	C-TM9	C-TM10*	C-TM11*
Nombre d'obs.	32	10	16	5	17	26	18	5	10	8	29	29	7	14	6
<b>Moyenne</b>	<b>307,47</b>	<b>291,44</b>	<b>430,64</b>	<b>502,60</b>	<b>267,41</b>	<b>286,26</b>	<b>289,82</b>	<b>481,00</b>	<b>430,93</b>	<b>497,63</b>	<b>356,11</b>	<b>500,48</b>	<b>302,00</b>	<b>290,71</b>	<b>380,33</b>
<b>Maximum</b>	<b>472,31</b>	<b>382,57</b>	<b>490,00</b>	<b>567,00</b>	<b>338,00</b>	<b>382,00</b>	<b>420,30</b>	<b>540,00</b>	<b>554,00</b>	<b>645,00</b>	<b>555,97</b>	<b>956,00</b>	<b>490,00</b>	<b>380,00</b>	<b>535,00</b>
Médiane	312,20	288,53	432,65	515,00	278,00	294,10	290,45	510,00	428,00	499,00	341,68	487,00	287,00	285,00	366,00
Minimum	204,75	155,56	364,70	424,00	155,00	172,70	181,60	327,00	341,00	233,00	279,68	384,00	151,00	240,00	280,00
Ecart-type	58,72	60,64	42,90	65,37	46,65	44,39	67,22	87,65	71,20	127,47	64,50	110,29	107,98	41,22	89,27

\* : sites ayant participé à l'étude du JRC

Tous les composts sont conformes à la valeur limite de la NF U 44-051, sauf un lot du site C-TM6 (645 mg/kg) et un lot du site C-TM8 (956 mg/kg). Un site de méthanisation et trois sites de compostage avec tri mécanique sont conformes dans tous les cas au seuil proposé par le JRC. Trois sites de méthanisation ou compostage sur FFOM collectée séparément présentent aussi des dépassements de ce seuil. Deux sites, un sur collecte séparée et un sur TMB, ne présentent qu'une valeur légèrement supérieure à ce seuil (420 mg/kg). Il est cependant à noter que, comme pour le cuivre, le zinc, avant d'être un contaminant, est également un oligo-élément essentiel à la croissance des plantes. L'établissement d'une valeur limite plus basse pour les composts doit faire l'objet d'une approche plus spécifique, qui prenne en compte les besoins des plantes.

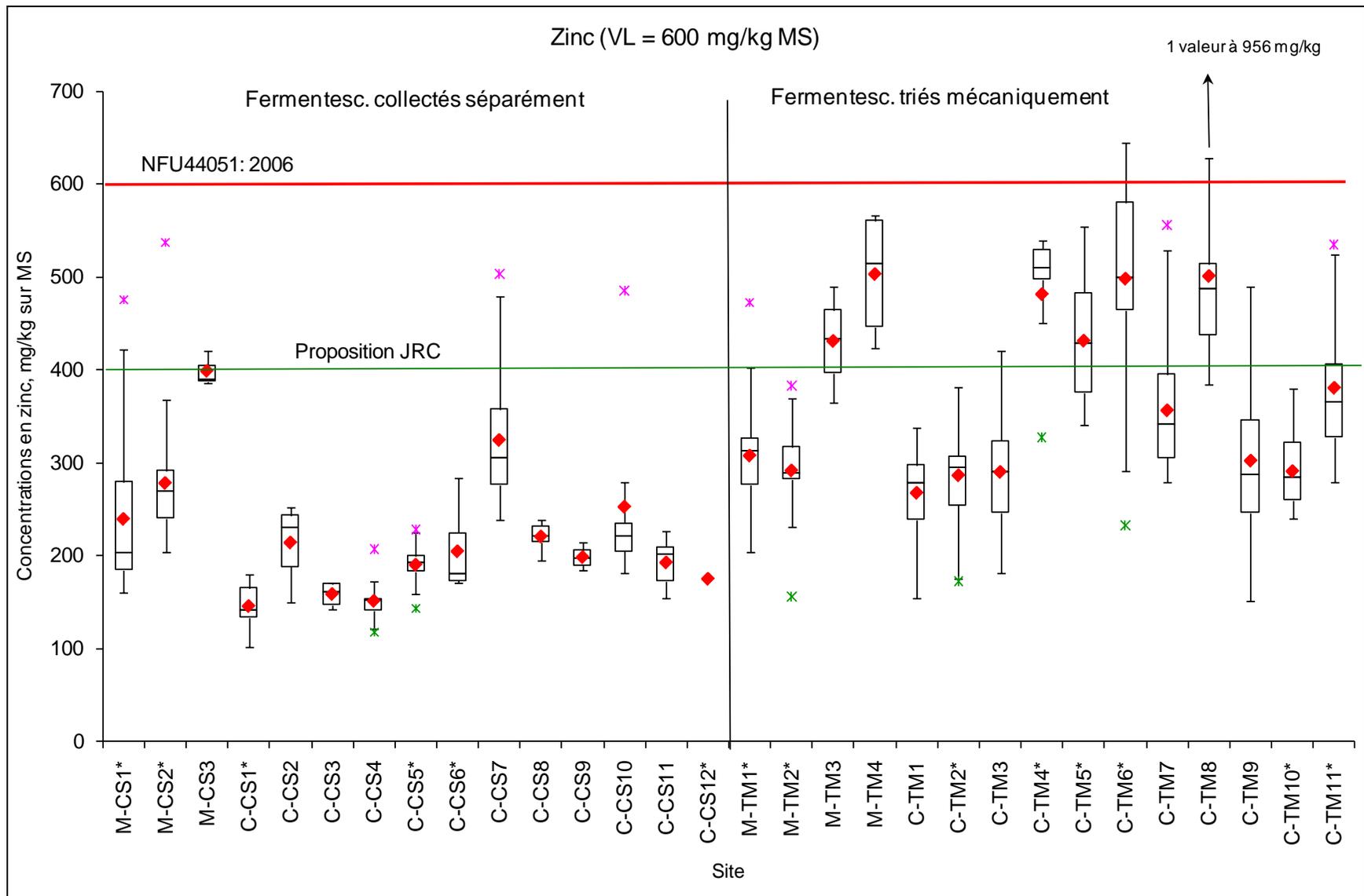


Figure 17 : contenu en zinc des différents composts



## 6.10 COMPARAISON DES MOYENNES ; CONCLUSIONS SUR LES ETM

Un test de Mann-Whitney a été pratiqué sur les deux ensembles de valeurs « composts – biodéchets collectés séparément » et « composts issus du tri mécanique ».

Ce test non paramétrique permet de tester l'égalité de deux groupes de valeurs (appelés échantillons). Ce test classique permet de déterminer si, sur la base des rangs des échantillons, on peut considérer que les échantillons sont identiques ou non en termes de position, donc si une catégorie de composts a une qualité significativement différente à l'autre. Le calcul a été fait ici à 95 % de confiance près (5 % d'erreur).

Les résultats sont présentés ci-après.

Tableau 22 : comparaison des moyennes pour les ETM

Métaux	VL de la NFU44051	FFOM -collecte séparée		FFOM –tri mécanique		Différence significative (Mann-Whitney $p=0.05$ )
		Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	
Arsenic	18	5,34	3,34	3,58	1,78	oui
Cadmium	3	0,59	0,21	1,10	0,63	oui
Chrome	120	26,4	9,9	43,0	16,1	oui
Cuivre	300	65,7	32,4	128	53,3	oui
Mercure	2	0,19	0,15	0,51	0,33	oui
Nickel	60	17,1	6,1	26,1	8,7	oui
Plomb	180	57,1	27,2	93,3	33,7	oui
Zinc	600	230	79,4	356	110	oui

D'après ce test, les moyennes globales des concentrations en ETM des composts sont significativement différentes entre la collecte séparée des biodéchets et les fermentescibles triés mécaniquement et les dispersions sont les plus importantes pour les moyennes les plus élevées.

Les teneurs en arsenic sont plus élevées pour le compost du premier type, alors que pour les autres ETM les concentrations sont plus élevées sur les composts issus du TMB.

La moyenne des valeurs en arsenic pour les composts issus de la collecte séparée est due aux valeurs relativement élevées, proches ou en dépassement de la valeur limite, sur les composts issus de sites d'une même région. Ces valeurs ont été interprétées comme liées aux déchets verts, issus d'une région ayant un bruit de fond pédogéochimique élevé en arsenic. Les valeurs de ces sites ont un poids élevé dans la moyenne globale, ce qui explique le résultat du test de Mann-Whitney.

Quelques dépassements des valeurs limites fixées par la norme NF U 44-051 sont relevés sur les autres ETM pour certains sites, principalement sur des sites de TMB ayant commencé le compostage récemment (dont les premières analyses remontent à

moins de deux ans) : ces sites n'ont probablement pas un fonctionnement complètement stabilisé et pourraient donc avoir une marge de progression importante sur la qualité du tri mécanique.

Pour le test de Mann-Whitney, les moyennes ont été considérées par type de compost (collecte séparée ou tri mécanique) et non pas par site, introduisant de fait un certain biais. En effet, les sites incluant un tri mécanique des OMR présentent des qualités de tri – et donc de composts - très variables. L'ensemble des résultats de ces sites montre que la comparaison des moyennes globales par type d'intrant doit être prise avec précautions. Un test comparant toutes les moyennes par site, deux par deux, mériterait d'être mis en œuvre (voir chapitre 11).

## 6.11 EFFET DE LA COLLECTE SEPARÉE DE CERTAINS DECHETS INDESIRABLES

Un syndicat dont le site de compostage sur tri mécanique fonctionne depuis plusieurs années, a mis en place la collecte séparée des DEEE en janvier 2009. Ce site nous a fourni les données d'analyse depuis une période précédant largement cette mise en place. Il est ainsi possible d'évaluer l'influence de la mise en place de cette collecte séparée sur la teneur en éléments traces métalliques des composts : dans cet objectif, nous sommes remontés aux résultats d'analyse depuis début 2007. Les teneurs en différents métaux sont reportés sur les figures ci-après. La période correspondant à la mise en place de la collecte séparée est représentée par la barre jaune. Les teneurs en ETM sont exprimées en pourcentage des valeurs limites respectives prescrite par la norme NF U 44-051, et les métaux sont regroupés par éléments semblables en termes de niveaux de concentrations admissibles.

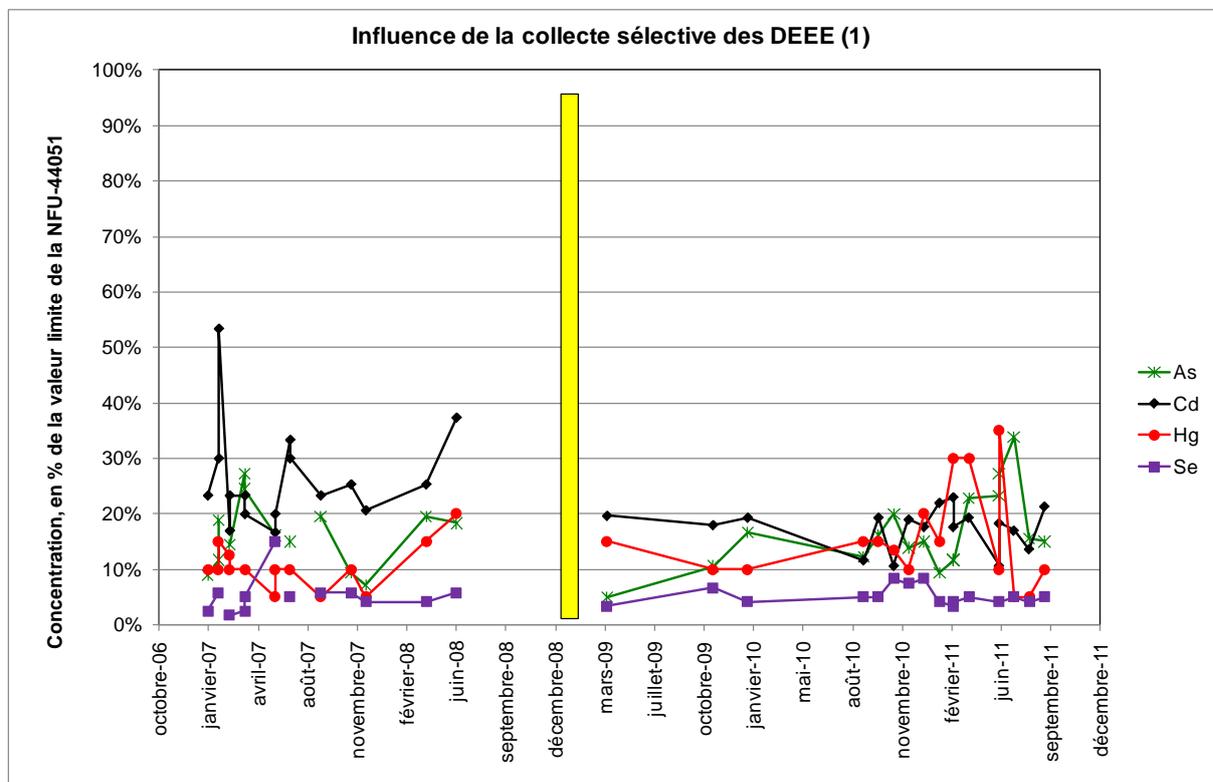


Figure 18 : influence de la collecte séparée des DEEE sur les teneurs en arsenic, en cadmium, en mercure et en sélénium

La mise en place de la collecte séparée des DEEE n'a pas eu d'influence significative sur les teneurs du compost en arsenic ou en sélénium. Les teneurs pour l'ensemble de ces éléments sont toujours inférieures à 35 % des valeurs limites respectives prescrites par la NF U 44-051.

Les teneurs en mercure ont un peu augmenté depuis le début de 2011, et sont plus dispersées que sur la période 2007-2010. Cette augmentation pourrait être liée à l'arrivée en fin de vie des premières lampes à basse consommation, qui contiennent du mercure, et qui devraient obligatoirement être recyclées, mais qui ne le sont qu'à hauteur de 35 % (Récylum, février 2012).

En revanche, les teneurs en cadmium ont un peu baissé : avant la collecte séparée, les teneurs variaient entre 20 et 50 % de la valeur limite (celle-ci étant de 3 mg/kg de matière sèche), alors que depuis la mise en place de cette collecte, les teneurs varient entre 10 et 25 % de la valeur limite.

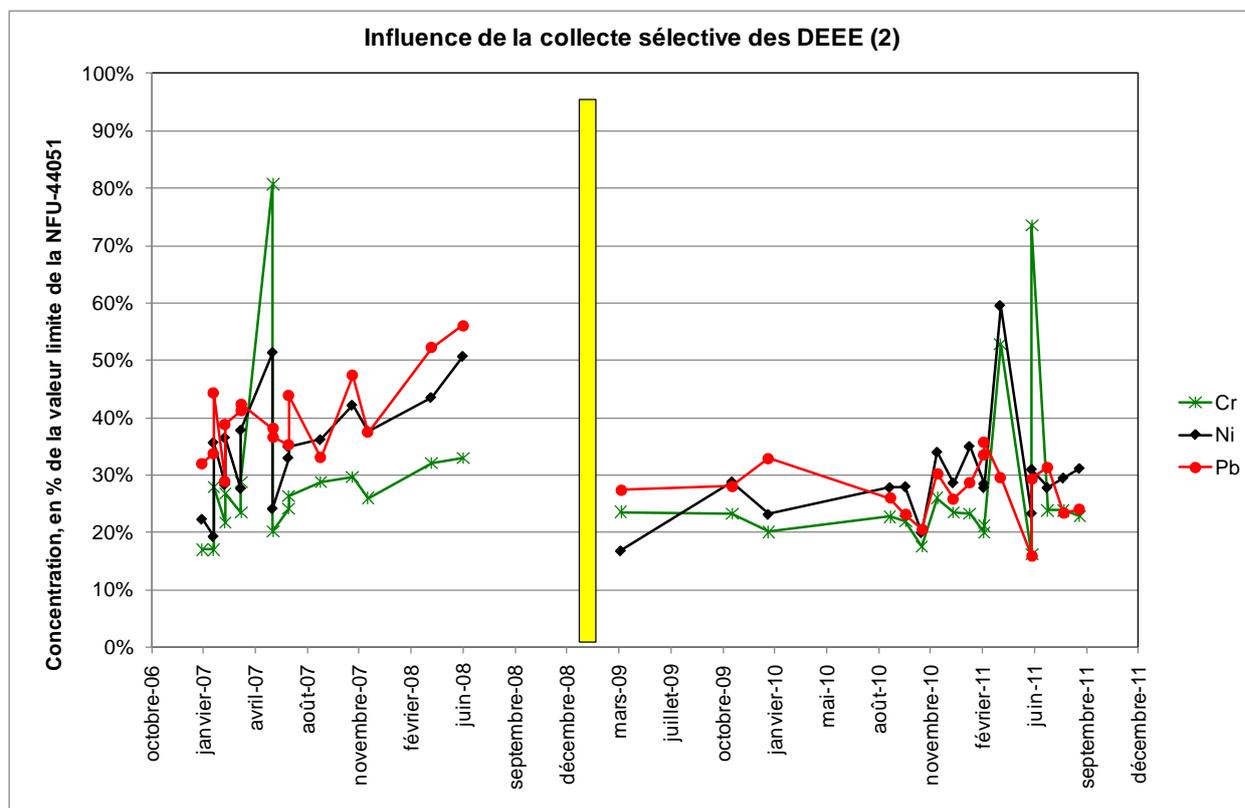


Figure 19 : influence de la collecte séparée des DEEE sur les teneurs en chrome, en nickel et en plomb

Le comportement est semblable pour le deuxième groupe d'ETM : la collecte séparée des DEEE ne semble pas influencer sur la teneur en chrome du compost. En revanche les teneurs en nickel et en plomb ont baissé (de 30 – 50 % à 20 - 30 %), et sont beaucoup plus homogènes depuis janvier 2009, excepté une mesure plus élevée en nickel au printemps 2011.

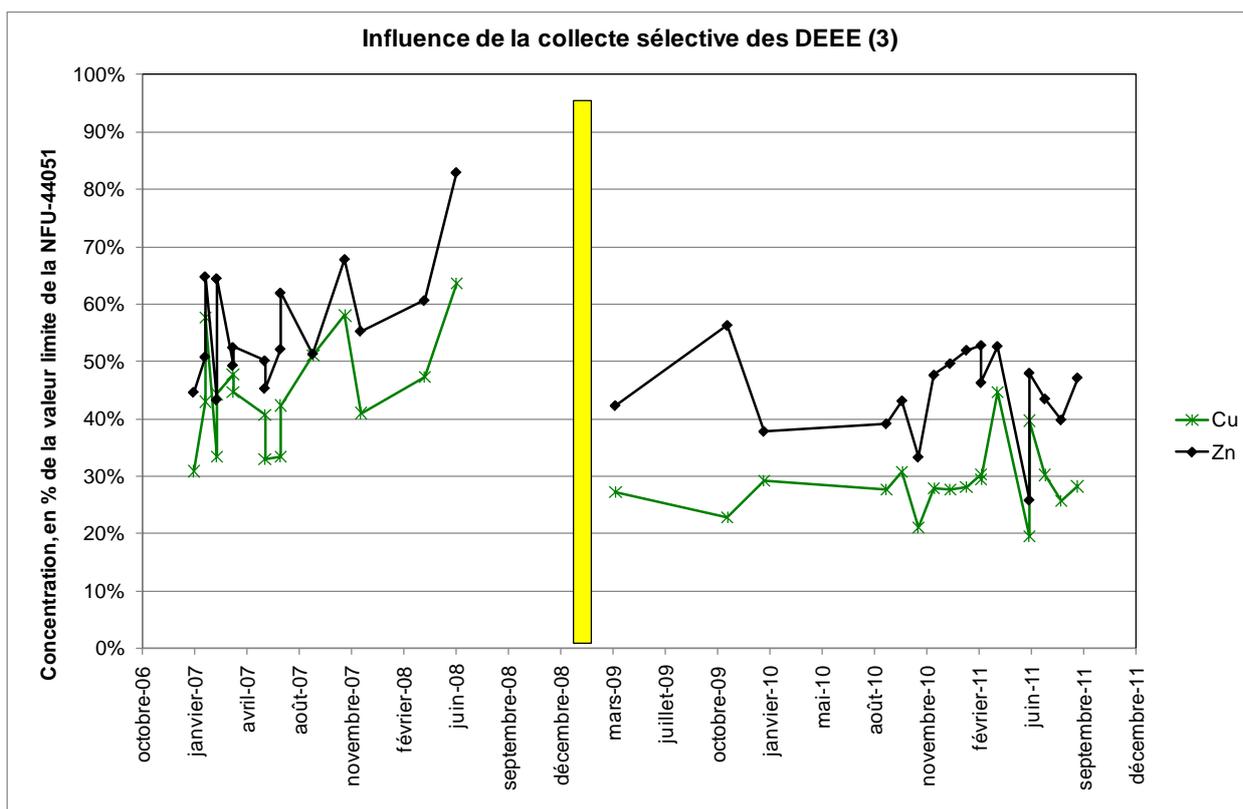


Figure 20 : influence de la collecte séparée des DEEE sur les teneurs en cuivre et en zinc

Pour le cuivre, et surtout le zinc, la collecte séparée des DEEE a une influence certaine : là encore, les valeurs sont plus basses et plus homogènes depuis début 2009.

Le Tableau 23 synthétise les informations en termes de baisses de teneurs et la dispersion des valeurs (13 jeux de valeurs avant la mise en place de la collecte séparée, 17 jeux de valeurs depuis cette mise en place). Il confirme le fait que l'ensemble des teneurs en ETM des composts de ce site a baissé ou est resté stable, sauf en ce qui concerne le mercure.

Tableau 23 : baisse des ETM suite à la mise en place de la collecte séparée des DEEE

		As	Cd	Hg	Se	Cr	Ni	Pb	Cu	Zn
Avant mise en place collecte séparée	Moyenne	<b>16</b>	<b>26</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>29</b>	<b>35</b>	<b>40</b>	<b>44</b>	<b>56</b>
	Ecart-type	6	9	4	3	15	9	7	10	10
Après mise en place collecte séparée	Moyenne	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>16</b>	<b>5</b>	<b>27</b>	<b>29</b>	<b>27</b>	<b>29</b>	<b>45</b>
	Ecart-type	7	4	9	2	14	9	5	6	8

(valeurs en % des valeurs limites de la NF U 44-051)

## 7. LES COMPOSES TRACES ORGANIQUES

Les valeurs limites prescrites par la norme NF U 44-051 sont reportées dans le Tableau 24.

*Tableau 24 : valeurs limites de concentrations et de flux pour 10 ans, pour les composés traces organiques, prescrites par la norme NF U 44-051*

<i>C. T. O.</i>	<i>Fluoranthène</i>	<i>Benzo-b-fluoranthène</i>	<i>Benzo-a-pyrène</i>
Valeur limite, mg/kg MS*	4	2,5	1,5
Flux maximum, g/ha/an	6	4	2

\* MS : matière sèche

Il n'y a pas de proposition de seuil pour ces trois éléments de la part du JRC, compte-tenu des faibles concentrations rencontrées dans les composts, comme il apparaît ci-après.

La norme prescrit 2 analyses par an : nous avons beaucoup moins de données pour ces paramètres que pour les critères agronomiques ou les ETM. L'évaluation des distributions de valeurs, site par site, sont moins représentatives que pour les autres éléments.

De plus, surtout pour le benzo-b-fluoranthène et le benzo-a-pyrène, les concentrations indiquées par les laboratoires sont souvent reportées comme étant inférieures aux limites de quantification (< LQ). Celles-ci sont toutefois suffisamment basses (typiquement, autour de 0,05 à 0,1 mg/kg) en regard des valeurs limites à respecter (2,5 et 1,5 mg/kg respectivement). Les données d'analyse qui étaient précisées comme inférieures à la limite de quantification, ont été prises (par excès) comme égales à ces valeurs.

Tous les composts sont largement conformes à la norme pour les 3 composés. Les concentrations sont détaillées ci-après.

## 7.1 LE FLUORANTHENE

La valeur limite prescrite par la norme NF U 44-051 pour les composts est de 4 mg/kg de matière sèche.

Il n'y a pas de proposition de seuil pour ce polluant de la part du JRC.

Tableau 25 : statistiques sur les teneurs en fluoranthène des composts

Fluoranth. (mg/kg MS)	M-CS1*	M-CS2*	M-CS3	C-CS1*	C-CS2	C-CS3	C-CS4	C-CS5*	C-CS6*	C-CS7	C-CS8	C-CS9	C-CS10	C-CS11	C-CS12*
Nombre d'obs.	14	44	3	14	2	2	8	3	3	8	5	6	6	6	1
<b>Moyenne</b>	<b>0,69</b>	<b>0,76</b>	<b>0,26</b>	<b>0,18</b>	<b>0,98</b>	<b>0,12</b>	<b>0,30</b>	<b>0,18</b>	<b>0,26</b>	<b>0,23</b>	<b>0,16</b>	<b>0,11</b>	<b>0,25</b>	<b>0,14</b>	<b>0,07</b>
<b>Maximum</b>	<b>2,18</b>	<b>3,17</b>	<b>0,48</b>	<b>0,34</b>	<b>1,42</b>	<b>0,14</b>	<b>0,49</b>	<b>0,21</b>	<b>0,50</b>	<b>0,33</b>	<b>0,28</b>	<b>0,22</b>	<b>0,41</b>	<b>0,18</b>	
Médiane	0,60	0,61	0,19	0,17			0,27	0,18	0,16	0,21	0,13	0,09	0,24	0,15	
Minimum	0,21	0,12	0,12	0,10	0,54	0,10	0,18	0,16	0,13	0,12	0,11	0,05	0,15	0,07	
Ecart-type	0,45	0,52	0,19	0,07			0,11	0,03	0,21	0,07	0,07	0,06	0,10	0,04	

Fluoranth. (mg/kg MS)	M-TM1*	M-TM2*	M-TM3	M-TM4	C-TM1	C-TM2*	C-TM3	C-TM4*	C-TM5*	C-TM6*	C-TM7	C-TM8	C-TM9	C-TM10*	C-TM11*
Nombre d'obs.	32	3	16	4	4	8	6	2	2	5	18	22	2	6	3
<b>Moyenne</b>	<b>0,37</b>	<b>0,33</b>	<b>0,24</b>	<b>0,54</b>	<b>0,18</b>	<b>0,18</b>	<b>0,15</b>	<b>0,17</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>	<b>0,28</b>	<b>0,23</b>	<b>0,40</b>	<b>0,32</b>	<b>0,64</b>
<b>Maximum</b>	<b>0,64</b>	<b>0,45</b>	<b>0,65</b>	<b>0,93</b>	<b>0,20</b>	<b>0,30</b>	<b>0,20</b>	<b>0,20</b>	<b>0,16</b>	<b>0,20</b>	<b>0,56</b>	<b>0,50</b>	<b>0,50</b>	<b>0,57</b>	<b>0,72</b>
Médiane	0,35	0,28	0,21	0,44	0,18	0,17	0,14			0,16	0,24	0,21		0,30	0,62
Minimum	0,10	0,25	0,13	0,36	0,14	0,10	0,13	0,13	0,14	0,10	0,13	0,10	0,30	0,13	0,59
Ecart-type	0,15	0,11	0,13	0,27	0,03	0,07	0,03			0,04	0,12	0,09		0,15	0,07

\* : sites ayant participé à l'étude du JRC

L'ensemble des concentrations en fluoranthène mesurées sur l'ensemble des composts est inférieur à la valeur limite prescrite par la norme française. Cependant, trois des sites travaillant sur les fermentescibles collectés séparément (M-CS1, M-CS2 et C-CS2) montrent des valeurs plus élevées que la moyenne de tous les autres sites (TMB compris).

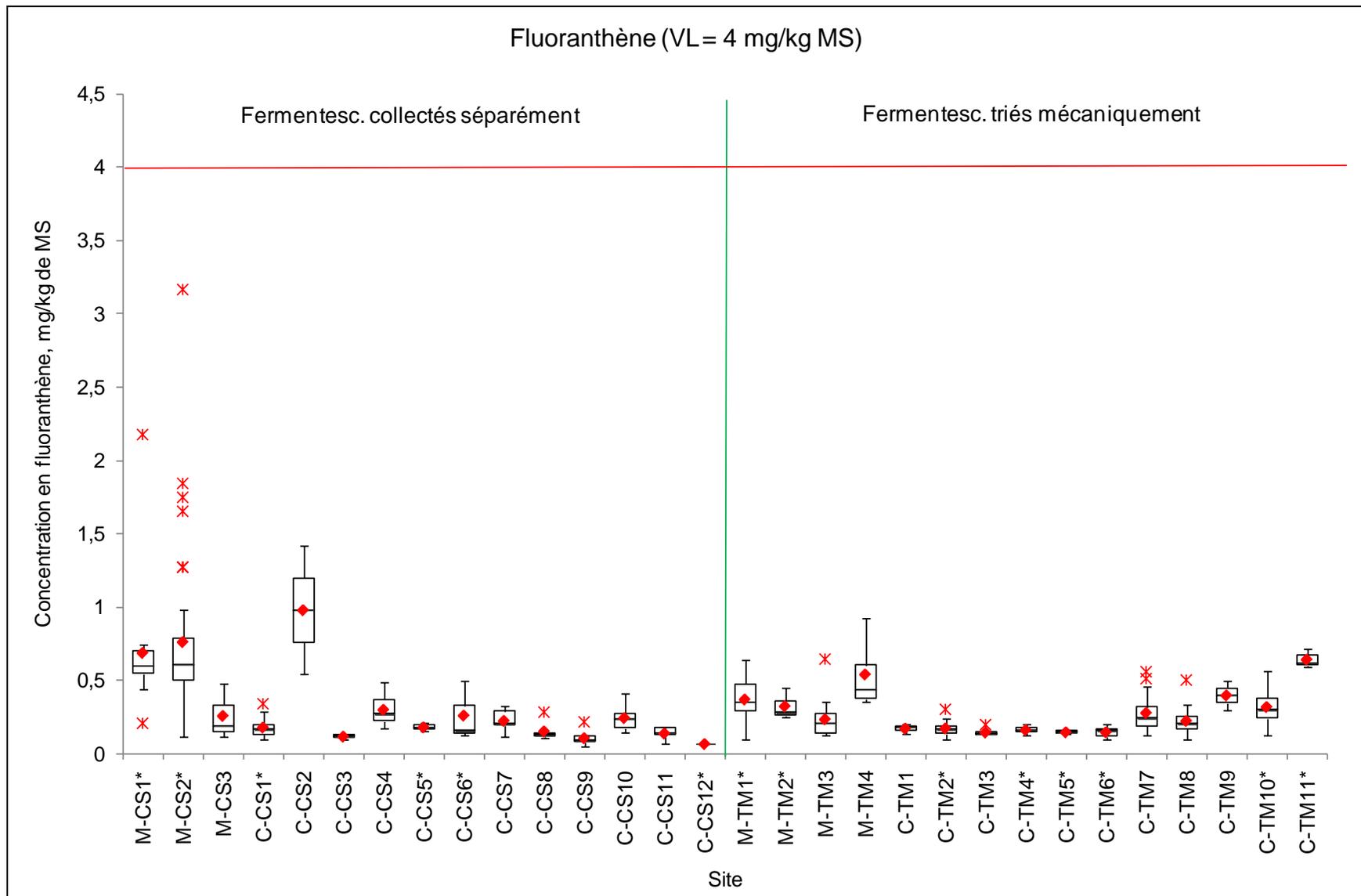


Figure 21 : contenu en fluoranthène des différents composts

## 7.2 LE BENZO-B-FLUORANTHENE

La valeur limite prescrite par la norme NF U 44-051 pour les composts est de 2,5 mg/kg de matière sèche.

Il n'y a pas de proposition de seuil pour ce polluant de la part du JRC.

Tableau 26 : statistiques sur les teneurs en benzo-b-fluoranthène des composts

<b>B-b-fluoranth. (mg/kg MS)</b>	M-CS1*	M-CS2*	M-CS3	C-CS1*	C-CS2	C-CS3	C-CS4	C-CS5*	C-CS6*	C-CS7	C-CS8	C-CS9	C-CS10	C-CS11	C-CS12*
Nombre d'obs.	14	44	3	14	2	2	8	3	3	8	5	6	6	6	1
<b>Moyenne</b>	<b>0,30</b>	<b>0,33</b>	<b>0,09</b>	<b>0,08</b>	<b>0,27</b>	<b>0,12</b>	<b>0,15</b>	<b>0,10</b>	<b>0,09</b>	<b>0,23</b>	<b>0,16</b>	<b>0,09</b>	<b>0,23</b>	<b>0,11</b>	<b>0,05</b>
<b>Maximum</b>	<b>0,43</b>	<b>1,44</b>	<b>0,14</b>	<b>0,10</b>	<b>0,34</b>	<b>0,14</b>	<b>0,25</b>	<b>0,11</b>	<b>0,11</b>	<b>0,39</b>	<b>0,22</b>	<b>0,12</b>	<b>0,32</b>	<b>0,30</b>	
Médiane	0,31	0,27	0,11	0,10			0,14	0,11	0,09	0,21	0,15	0,08	0,22	0,08	
Minimum	0,14	0,13	0,02	0,05	0,19	0,10	0,10	0,08	0,08	0,14	0,09	0,05	0,17	0,05	
Ecart-type	0,08	0,21	0,06	0,02			0,05	0,02	0,02	0,07	0,05	0,03	0,05	0,10	

<b>B-b-fluoranth. (mg/kg MS)</b>	M-TM1*	M-TM2*	M-TM3	M-TM4	C-TM1	C-TM2*	C-TM3	C-TM4*	C-TM5*	C-TM6*	C-TM7	C-TM8	C-TM9	C-TM10*	C-TM11*
Nombre d'obs.	32	3	16	4	4	8	6	2	1	5	18	22	2	6	3
<b>Moyenne</b>	<b>0,15</b>	<b>0,07</b>	<b>0,10</b>	<b>0,10</b>	<b>0,09</b>	<b>0,13</b>	<b>0,12</b>	<b>0,04</b>	<b>0,11</b>	<b>0,09</b>	<b>0,14</b>	<b>0,10</b>	<b>0,15</b>	<b>0,12</b>	<b>0,30</b>
<b>Maximum</b>	<b>0,24</b>	<b>0,10</b>	<b>0,17</b>	<b>0,15</b>	<b>0,21</b>	<b>0,18</b>	<b>0,14</b>	<b>0,07</b>		<b>0,15</b>	<b>0,93</b>	<b>0,30</b>	<b>0,18</b>	<b>0,23</b>	<b>0,36</b>
Médiane	0,14	0,06	0,11	0,10	0,05	0,13	0,13			0,08	0,08	0,09		0,10	0,32
Minimum	0,10	0,06	0,03	0,05	0,05	0,10	0,10	0,00		0,05	0,05	0,05	0,12	0,04	0,21
Ecart-type	0,03	0,03	0,04	0,05	0,08	0,03	0,02			0,04	0,20	0,06		0,08	0,08

\* : sites ayant participé à l'étude du JRC

Pour ce contaminant aussi, deux valeurs mesurées sont un peu plus élevées que l'ensemble des valeurs, l'une sur un digestat de biodéchets composté et l'autre sur un compost issu du tri mécanique. Ces valeurs sont toutefois largement conformes à la valeur limite prescrite par la norme. De nombreuses mesures se situent en-dessous du seuil de quantification des laboratoires. L'ensemble des valeurs (à part quelques valeurs sur le site M-CS2 et celle du site C-TM) sont inférieures à 20 % de la valeur limite de la norme.

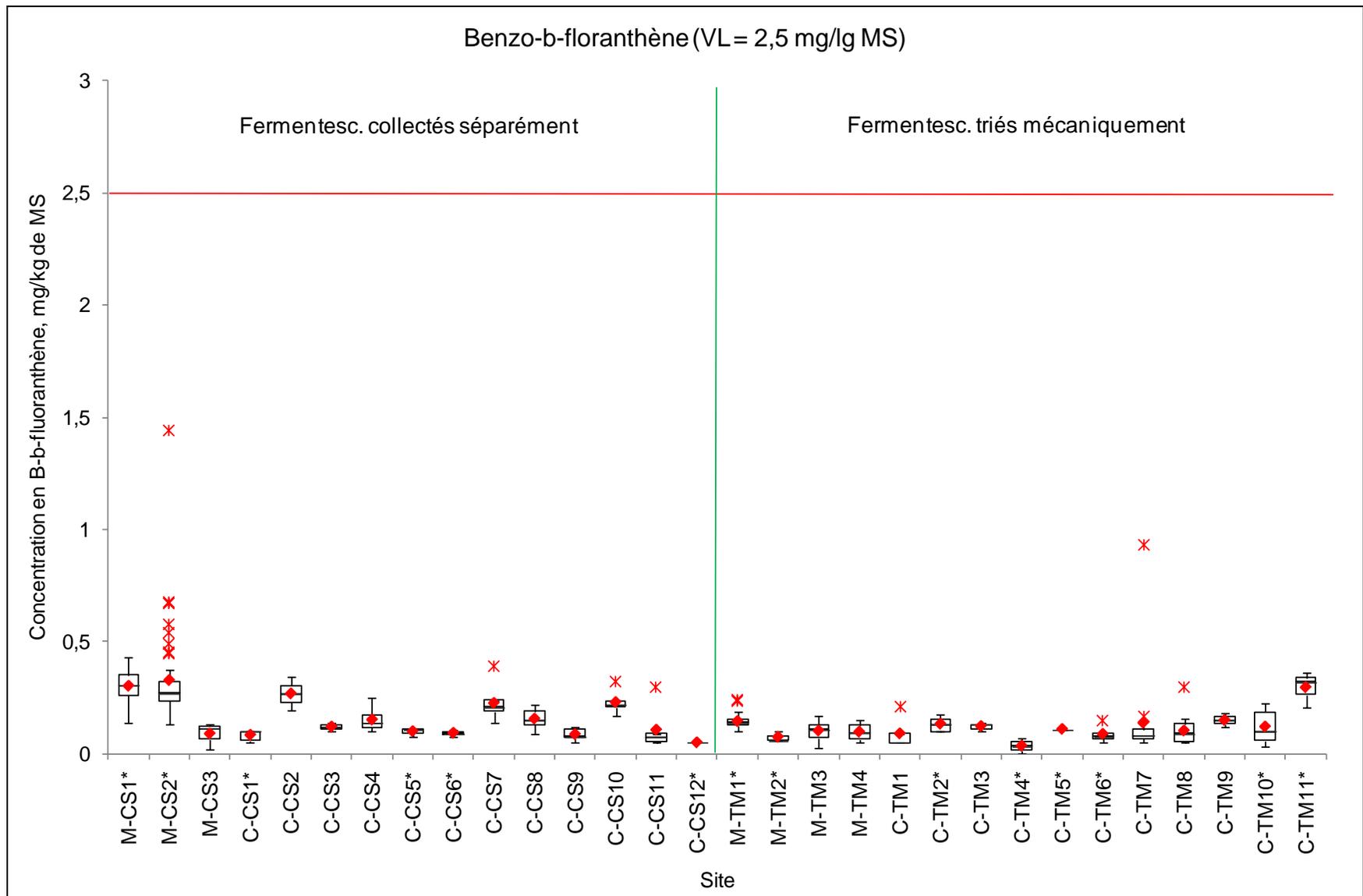


Figure 22 : contenu en benzo-b-fluoranthène des différents composts

### 7.3 LE BENZO-A-PYRENE

La valeur limite prescrite par la norme NF U 44-051 pour les composts est de 1,5 mg/kg de matière sèche.

Il n'y a pas de proposition de seuil pour ce polluant de la part du JRC.

Tableau 27 : statistiques sur les teneurs en benzo-a-pyrène des composts

B-a-pyrène (mg/kg MS)	M-CS1*	M-CS2*	M-CS3	C-CS1*	C-CS2	C-CS3	C-CS4	C-CS5*	C-CS6*	C-CS7	C-CS8	C-CS9	C-CS10	C-CS11	C-CS12*
Nombre d'obs.	14	44	3	14	2	2	8	3	3	8	5	6	6	6	1
<b>Moyenne</b>	<b>0,24</b>	<b>0,25</b>	<b>0,07</b>	<b>0,08</b>	<b>0,20</b>	<b>0,12</b>	<b>0,09</b>	<b>0,06</b>	<b>0,51</b>	<b>0,14</b>	<b>0,11</b>	<b>0,06</b>	<b>0,13</b>	<b>0,07</b>	<b>0,05</b>
<b>Maximum</b>	<b>0,43</b>	<b>0,97</b>	<b>0,11</b>	<b>0,10</b>	<b>0,27</b>	<b>0,14</b>	<b>0,15</b>	<b>0,07</b>	<b>0,95</b>	<b>0,34</b>	<b>0,18</b>	<b>0,10</b>	<b>0,28</b>	<b>0,18</b>	
Médiane	0,23	0,19	0,08	0,08			0,08	0,06	0,52	0,14	0,11	0,05	0,11	0,05	
Minimum	0,10	0,07	0,02	0,05	0,14	0,10	0,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
Ecart-type	0,08	0,18	0,05	0,02			0,05	0,01	0,45	0,09	0,05	0,02	0,08	0,05	

B-a-pyrène (mg/kg MS)	M-TM1*	M-TM2*	M-TM3	M-TM4	C-TM1	C-TM2*	C-TM3	C-TM4*	C-TM5*	C-TM6*	C-TM7	C-TM8	C-TM9	C-TM10*	C-TM11*
Nombre d'obs.	32	3	16	4	4	8	6	2	1	5	18	22	2	6	3
<b>Moyenne</b>	<b>0,13</b>	<b>0,13</b>	<b>0,09</b>	<b>0,07</b>	<b>0,06</b>	<b>0,13</b>	<b>0,12</b>	<b>0,00</b>	<b>0,05</b>	<b>0,06</b>	<b>0,09</b>	<b>0,06</b>	<b>0,075</b>	<b>0,08</b>	<b>0,16</b>
<b>Maximum</b>	<b>0,29</b>	<b>0,19</b>	<b>0,17</b>	<b>0,11</b>	<b>0,10</b>	<b>0,18</b>	<b>0,14</b>	<b>0,00</b>		<b>0,08</b>	<b>0,68</b>	<b>0,20</b>	<b>0,08</b>	<b>0,16</b>	<b>0,20</b>
Médiane	0,11	0,16	0,07	0,05	0,05	0,13	0,13			0,05	0,05	0,05		0,07	0,19
Minimum	0,08	0,05	0,01	0,05	0,05	0,10	0,10	0,00		0,05	0,05	0,05	0,07	0,02	0,10
Ecart-type	0,04	0,07	0,05	0,03	0,03	0,03	0,02			0,01	0,15	0,03		0,05	0,06

\* : sites ayant participé à l'étude du JRC

Les valeurs mesurées en benzo-a-pyrène sont plus dispersées que pour les deux autres CTO. Là encore, de nombreuses valeurs sont inférieures au seuil de quantification des laboratoires (certaines valeurs sont même reportées par les responsables de site comme nulles). Cependant, quelques valeurs plus élevées sont reportées, davantage sur les composts issus de la collecte séparée des biodéchets que sur les composts issus du tri mécanique (en particulier, plusieurs valeurs du site M-CS2 se situent entre 0,4 et 1 mg/kg MS). Cependant, à part 7 valeurs singulières, l'ensemble des concentrations mesurées sur tous les composts sont strictement inférieures à 0,5 mg/kg soit 1/3 de la valeur limite.

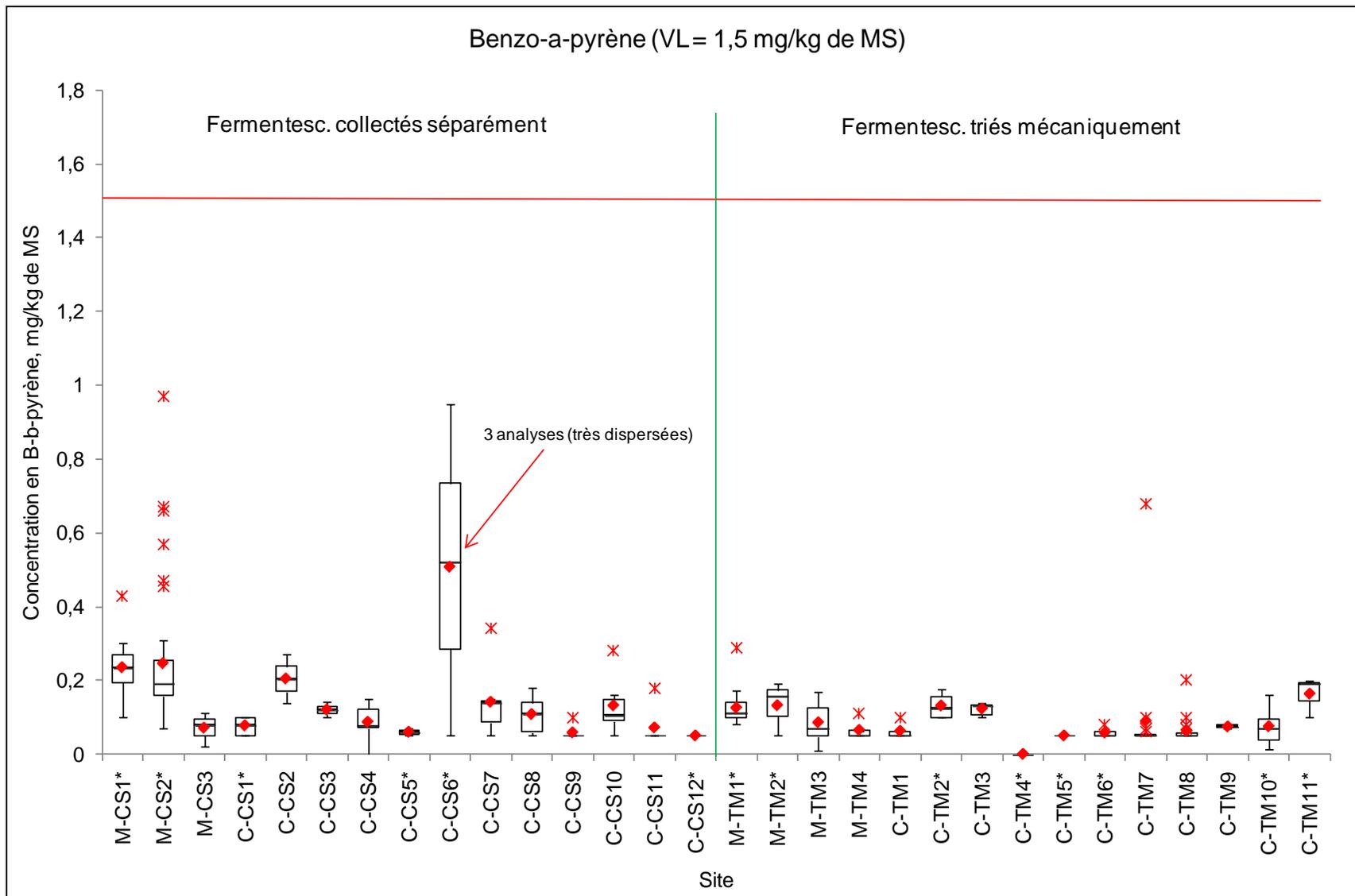


Figure 23 : contenu en benzo-a-pyrène des différents composts

## 7.4 COMPARAISON DES MOYENNES

Un test de Mann-Whitney a été pratiqué sur les deux ensembles de valeurs « composts issus de biodéchets collectés séparément » et « composts issus du tri mécanique ». Les résultats sont présentés ci-après.

Tableau 28 : comparaison des moyennes pour les HAP

HAP	VL de la NFU44051	FFOM - collecte séparée		FFOM –tri mécanique		Différence significative (Mann-Whitney p=0.05)
		Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	
Fluoranthène	4	0,46	0,45	0,29	0,16	oui
Benzo-b-fluoranthène	2,5	0,22	0,17	0,12	0,09	oui
Benzo-a-pyrène	1,5	0,17	0,16	0,09	0,07	oui

D'après ce test, les moyennes globales des concentrations en CTO des composts sont significativement différentes entre la collecte séparée des biodéchets et les fermentescibles triés mécaniquement. Les moyennes sont plus élevées sur les composts issus de la collecte séparée, et les dispersions des valeurs sont également plus importantes pour ces composts. Ceci pourrait éventuellement être lié à l'incorporation plus importante de déchets verts (ou peut-être de cendres, déposées avec les déchets verts) dans ce type de compost ; ce point serait à vérifier. Cependant, un à deux sites de compostage sur biodéchets ont des valeurs sensiblement plus élevées que la moyenne des sites, et ces valeurs ont un poids élevé dans la moyenne globale, ce qui explique le résultat du test de Mann-Whitney. Cela montre que la comparaison des moyennes globales par type d'intrant doit être prise avec précautions.

Toutes les valeurs sont inférieures aux valeurs limites prescrites par la norme NF U 44-051. Seules quelques valeurs individuelles s'approchent des valeurs limites de la norme. Il semblerait donc que ces contaminants ne présentent pas d'enjeu majeur sur les composts issus de la FFOM, qu'elle soit collectée sélectivement ou triée en usine. Cependant, les valeurs limites en termes de flux annuels sont très basses, ce qui pourrait poser des problèmes lors de l'épandage de composts qui auraient des concentrations proches des valeurs limites de concentration. De plus, l'enquête demanderait à être élargie aux composts issus d'autres types de déchets (les déchets verts en particulier).

## 8. LES INERTES

Les prescriptions de la norme NF U 44-051 en matière d'inertes sont reportées dans le Tableau 29. La norme française distingue, au niveau des valeurs limites à respecter, trois types d'inertes et impuretés.

Tableau 29 : critères de la norme NF U 44-051 pour les inertes et les impuretés

Inertes et impuretés	Films + PSE** > 5 mm	Autres plastiques > 5 mm	Verre et métaux > 2 mm
Valeurs limites, % de la MS*	< 0,3	< 0,8	< 2,0

\* MS : matière sèche

\*\* PSE : polystyrène expansé

Le JRC a fait une proposition de valeur limite mais pour l'ensemble des inertes : elle est, pour l'ensemble des éléments supérieurs à 2 mm, de 0,5 % de la matière sèche. La première proposition, qui pouvait inclure les pierres et cailloux, a été précisée dans le deuxième document de travail du 11 octobre, comme la somme des fragments de verre, métaux et plastiques. Cette valeur limite figure déjà dans l'Ecolabel européen. Cette proposition est cependant basée sur une méthode de détermination différente de la méthode normalisée française (XP U44-164).

La méthode française, qui comporte une phase de lavage à l'eau de javel, donne accès à plus d'éléments inertes que le simple examen visuel, méthode généralement employée à l'étranger. **Or l'utilisation de méthodes différentes conduit à des résultats qui ne sont pas comparables (Decelle, 2011). Le centre IRSTEA de Rennes (ex-Cemagref) travaille actuellement à réaliser des essais d'intercomparaison entre laboratoires français sur la détermination des inertes, en considérant également les méthodes étrangères. Ces résultats devraient être publiés prochainement.**

**Il serait donc nécessaire de fixer au niveau européen la méthodologie de détermination des inertes avant de proposer une valeur limite pour ce paramètre.**

Par ailleurs, lors de la première réunion du JRC il avait été proposé d'introduire un critère sur l'absence d'éléments coupants ou pointus, pour éviter les blessures lors de la manipulation du compost, mais cet élément n'a pas de méthode de détermination normalisée et pourrait poser un problème de responsabilité entre les producteurs et les acheteurs du compost. Il n'a donc pas été retenu.

Les concentrations en inertes des différents composts sont détaillées ci-après.

## 8.1 LES FILMS ET PSE (POLYSTYRENE) > 5 MM (PLASTIQUES LEGERS)

La valeur limite prescrite par la norme NF U 44-051 sur cet élément indésirable, est de 0,3 % de la matière sèche.

Tableau 30 : statistiques sur les teneurs en films et PSE des composts

Films-PSE (%)	M-CS1*	M-CS2*	M-CS3	C-CS1*	C-CS2	C-CS3	C-CS4	C-CS5*	C-CS6*	C-CS7	C-CS8	C-CS9	C-CS10	C-CS11	C-CS12*
Nombre d'obs.	14	44	3	14	1	4	11	5	6	7	5	6	6	6	1
<b>Moyenne</b>	<b>0,03</b>	<b>0,06</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,03</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,07</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>Maximum</b>	<b>0,10</b>	<b>0,26</b>	<b>0,02</b>	<b>0,00</b>		<b>0,00</b>	<b>0,03</b>	<b>0,17</b>	<b>0,00</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,04</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	
Médiane	0,02	0,05	0,00	0,00		0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Minimum	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ecart-type	0,03	0,06	0,01	0,00		0,00	0,01	0,08	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	

Films-PSE (%)	M-TM1*	M-TM2*	M-TM3	M-TM4	C-TM1	C-TM2*	C-TM3	C-TM4*	C-TM5*	C-TM6*	C-TM7	C-TM8	C-TM9	C-TM10*	C-TM11*
Nombre d'obs.	32	3	16	4	16	26	18	5	8	8	27	112	3	12	2
<b>Moyenne</b>	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>	<b>0,05</b>	<b>0,47</b>	<b>0,04</b>	<b>0,05</b>	<b>0,12</b>	<b>0,13</b>	<b>0,16</b>	<b>0,07</b>	<b>0,01</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>0,00</b>	<b>0,08</b>
<b>Maximum</b>	<b>0,16</b>	<b>0,10</b>	<b>0,26</b>	<b>0,61</b>	<b>0,19</b>	<b>0,21</b>	<b>1,54</b>	<b>0,30</b>	<b>0,21</b>	<b>0,30</b>	<b>0,22</b>	<b>0,40</b>	<b>0,10</b>	<b>0,00</b>	<b>0,11</b>
Médiane	0,02	0,02	0,00	0,45	0,02	0,00	0,00	0,05	0,16	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	
Minimum	0,02	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
Ecart-type	0,03	0,05	0,08	0,12	0,06	0,08	0,36	0,15	0,06	0,11	0,04	0,07	0,06	0,00	

\* : sites ayant participé à l'étude du JRC

Tous les composts issus de la collecte séparée des fermentescibles sont conformes à ce critère. Ce n'est pas le cas pour tous les composts issus du tri mécanique : on compte 7 dépassements, dont 4 sur le site M-TM4 (voir le détail en annexe 2). Ce site n'est opérationnel que depuis peu (les résultats d'analyse n'ont été fournis que depuis début 2011) et il a certainement une marge de progression sur le procédé de tri, par la diminution de la taille des mailles du crible final par exemple. Le site C-TM8 montre quelques dépassements, mais sur les 112 valeurs fournies par le site, 75 % sont égales à zéro. La médiane pour ce site est ainsi égale à zéro. De même, malgré quelques valeurs non nulles, pour quelques sites travaillant sur collecte séparée, la majorité des valeurs étant nulles, les moyennes sont nulles également compte-tenu du nombre de chiffres significatifs. Deux sites de TMB sont juste conformes (C-TM4 et C-TM6).

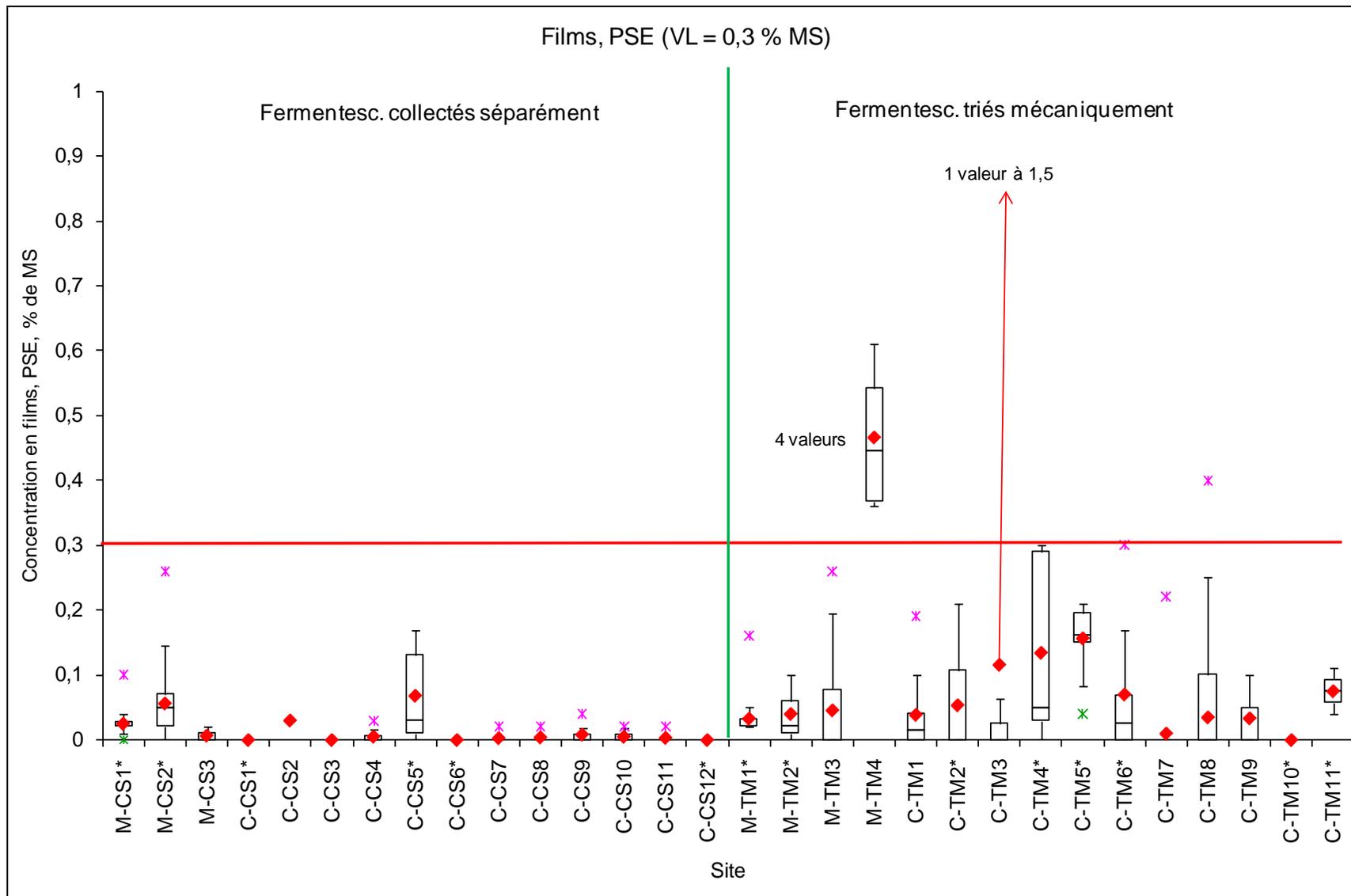


Figure 24 : contenu en films et PSE > 5 mm des différents composts

## 8.2 LES AUTRES PLASTIQUES > 5 MM (PLASTIQUES DURS)

La valeur limite prescrite par la norme NF U 44-051 pour les composts sur cet élément indésirable est de 0,8 % de la matière sèche.

Tableau 31 : statistiques sur les teneurs en plastiques durs des composts

Autres plast. (%)	M-CS1*	M-CS2*	M-CS3	C-CS1*	C-CS2	C-CS3	C-CS4	C-CS5*	C-CS6*	C-CS7	C-CS8	C-CS9	C-CS10	C-CS11	C-CS12*
Nombre d'obs.	14	44	3	14	3	4	11	5	6	7	5	6	6	6	1
<b>Moyenne</b>	<b>0,05</b>	<b>0,12</b>	<b>0,47</b>	<b>0,07</b>	<b>0,04</b>	<b>0,03</b>	<b>0,00</b>	<b>0,05</b>	<b>0,27</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,04</b>	<b>0,02</b>	<b>0,00</b>
<b>Maximum</b>	<b>0,20</b>	<b>0,62</b>	<b>0,70</b>	<b>0,15</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,01</b>	<b>0,11</b>	<b>0,80</b>	<b>0,04</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,21</b>	<b>0,09</b>	
Médiane	0,02	0,08	0,62	0,07	0,03	0,01	0,00	0,02	0,15	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	
Minimum	0,00	0,00	0,10	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ecart-type	0,06	0,12	0,33	0,05	0,04	0,04	0,00	0,05	0,27	0,02	0,01	0,01	0,08	0,04	

Autres plast. (%)	M-TM1*	M-TM2*	M-TM3	M-TM4	C-TM1	C-TM2*	C-TM3	C-TM4*	C-TM5*	C-TM6*	C-TM7	C-TM8	C-TM9	C-TM10*	C-TM11*
Nombre d'obs.	32	3	16	4	16	26	18	5	8	8	27	112	3	12	2
<b>Moyenne</b>	<b>0,15</b>	<b>0,08</b>	<b>0,42</b>	<b>2,04</b>	<b>0,20</b>	<b>0,34</b>	<b>0,46</b>	<b>0,22</b>	<b>0,65</b>	<b>0,07</b>	<b>0,26</b>	<b>1,04</b>	<b>0,53</b>	<b>0,37</b>	<b>0,42</b>
<b>Maximum</b>	<b>0,59</b>	<b>0,10</b>	<b>0,80</b>	<b>2,48</b>	<b>0,78</b>	<b>0,68</b>	<b>1,18</b>	<b>0,52</b>	<b>1,05</b>	<b>0,30</b>	<b>0,80</b>	<b>2,10</b>	<b>0,60</b>	<b>0,60</b>	<b>0,77</b>
Médiane	0,12	0,07	0,40	1,94	0,18	0,35	0,40	0,07	0,73	0,03	0,22	0,90	0,60	0,35	0,42
Minimum	0,00	0,07	0,02	1,81	0,00	0,00	0,03	0,00	0,12	0,00	0,00	0,40	0,40	0,20	0,06
Ecart-type	0,13	0,02	0,23	0,30	0,21	0,21	0,27	0,27	0,32	0,11	0,20	0,45	0,12	0,12	0,50

\* : sites ayant participé à l'étude du JRC

En ce qui concerne les autres plastiques (plastiques durs), seuls les composts issus du tri mécanique présentent des dépassements de la valeur limite prescrite par la norme française. Ces dépassements sont rencontrés sur 4 sites (mais seules une à deux valeurs dépassent sur les sites C-TM3 et C-TM5) : voir le détail en annexe 2. En ce qui concerne le site C-TM8, les valeurs sont élevées pour les analyses les plus anciennes ; une modification a dû être apportée au procédé de tri, car depuis l'été 2011, les analyses sont toutes conformes pour ce paramètre, soit 21 valeurs ; ce site réalise 2 à 5 analyses des inertes par mois (probablement sur différents lots). Pour le site M-TM4, le comportement est le même que pour les films : ce site, jeune, présente un tri insuffisant sur les plastiques et devra prendre les mesures nécessaires pour se conformer à ce critère. Certains sites, dont un site sur biodéchets collectés séparément, sont juste conformes (C-CS6 et M-TM3).

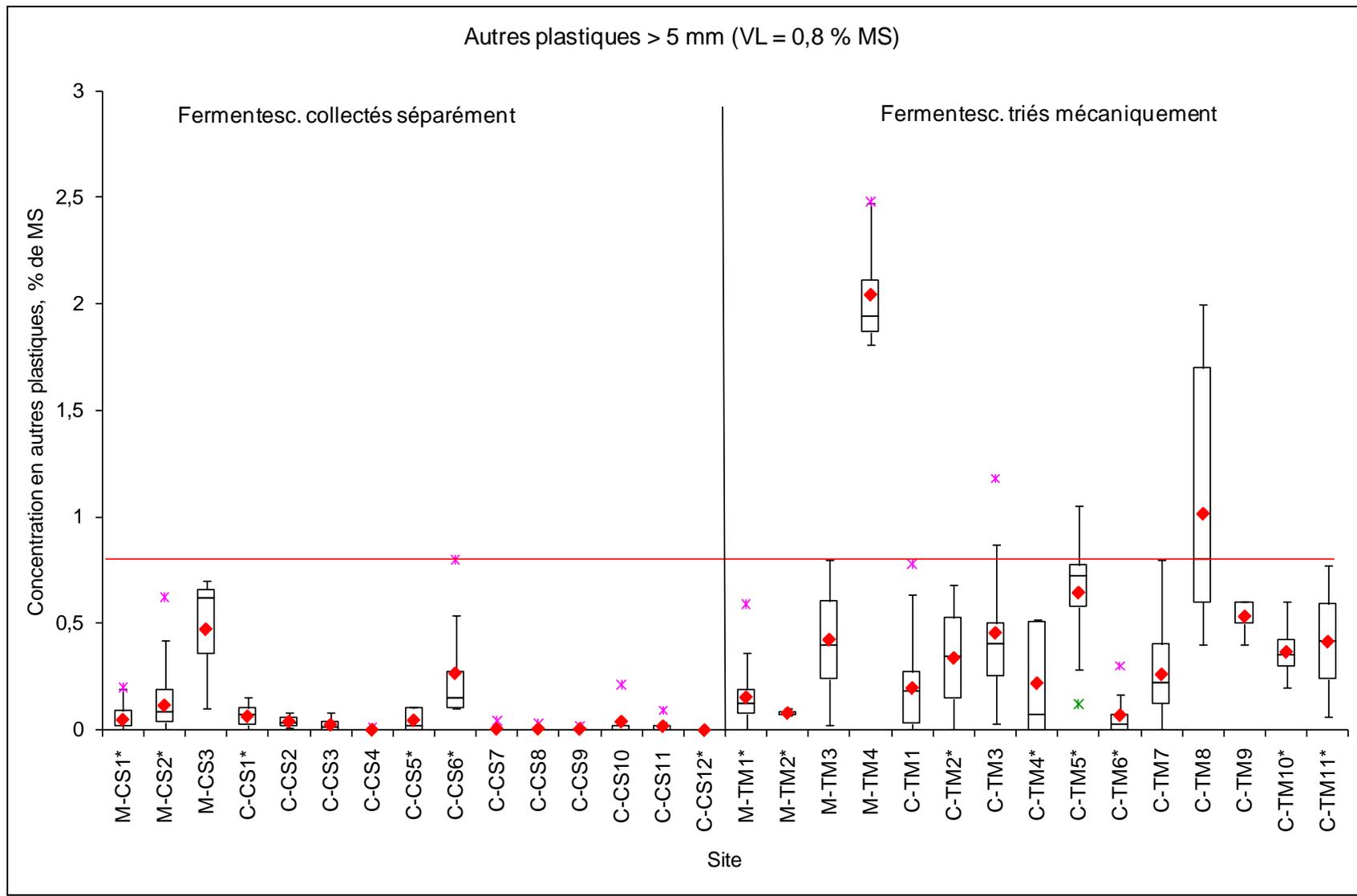


Figure 25 : contenu en autres plastiques > 5 mm des différents composts

### 8.3 LES VERRES, METAUX > 2 MM

La valeur limite prescrite par la norme NF U 44-051 pour cet élément indésirable est de 2 % de la matière sèche.

Tableau 32 : statistiques sur les teneurs en verre-métaux > 2 mm des composts

Verre-métaux (%)	M-CS1*	M-CS2*	M-CS3	C-CS1*	C-CS2	C-CS3	C-CS4	C-CS5*	C-CS6*	C-CS7	C-CS8	C-CS9	C-CS10	C-CS11	C-CS12*
Nombre d'obs.	14	44	3	14	3	4	11	5	6	7	5	6	6	6	1
<b>Moyenne</b>	<b>0,18</b>	<b>0,43</b>	<b>0,15</b>	<b>0,19</b>	<b>0,21</b>	<b>0,11</b>	<b>0,19</b>	<b>0,32</b>	<b>0,32</b>	<b>0,24</b>	<b>0,20</b>	<b>0,15</b>	<b>0,20</b>	<b>0,17</b>	<b>0,10</b>
<b>Maximum</b>	<b>0,55</b>	<b>1,37</b>	<b>0,20</b>	<b>0,40</b>	<b>0,40</b>	<b>0,19</b>	<b>0,47</b>	<b>0,60</b>	<b>0,60</b>	<b>0,40</b>	<b>0,30</b>	<b>0,20</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>	
Médiane	0,17	0,40	0,14	0,20	0,20	0,11	0,15	0,30	0,30	0,30	0,20	0,15	0,20	0,10	
Minimum	0,00	0,00	0,10	0,00	0,03	0,03	0,00	0,10	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
Ecart-type	0,17	0,29	0,05	0,12	0,19	0,07	0,17	0,19	0,21	0,11	0,07	0,05	0,09	0,10	

Verre-métaux (%)	M-TM1*	M-TM2*	M-TM3	M-TM4	C-TM1	C-TM2*	C-TM3	C-TM4*	C-TM5*	C-TM6*	C-TM7	C-TM8	C-TM9	C-TM10*	C-TM11*
Nombre d'obs.	32	3	16	4	16	26	18	5	8	8	27	112	3	12	2
<b>Moyenne</b>	<b>1,23</b>	<b>0,41</b>	<b>0,17</b>	<b>0,30</b>	<b>0,57</b>	<b>0,86</b>	<b>1,32</b>	<b>1,76</b>	<b>1,12</b>	<b>1,75</b>	<b>0,51</b>	<b>0,49</b>	<b>1,50</b>	<b>0,78</b>	<b>2,45</b>
<b>Maximum</b>	<b>2,38</b>	<b>0,70</b>	<b>0,30</b>	<b>0,50</b>	<b>1,70</b>	<b>1,73</b>	<b>4,38</b>	<b>2,00</b>	<b>1,80</b>	<b>2,30</b>	<b>1,60</b>	<b>1,60</b>	<b>1,60</b>	<b>1,60</b>	<b>3,00</b>
Médiane	1,12	0,44	0,11	0,30	0,50	0,84	1,10	1,70	0,99	1,80	0,30	0,45	1,50	0,75	
Minimum	0,41	0,10	0,02	0,10	0,05	0,30	0,61	1,50	0,51	1,20	0,00	0,10	1,40	0,20	1,90
Ecart-type	0,45	0,30	0,10	0,16	0,36	0,29	0,88	0,19	0,54	0,33	0,47	0,28	0,10	0,41	

\* : sites ayant participé à l'étude du JRC

Pour ce paramètre, tous les composts issus de la collecte séparée des fermentescibles sont largement conformes à la norme française. En ce qui concerne les composts issus du tri mécanique, sur l'ensemble des valeurs (soit 292 analyses) on compte 6 dépassements ; 4 d'entre eux se situent à moins de 20 % au-dessus de la valeur limite ; une seule valeur est plus élevée, sur un des composts du site C-TM3 (4,4 %). En ce qui concerne le site C-TM11, ce site récent n'a réalisé que 2 analyses sur 2011, la première se situant à 3 % et la deuxième à 1,9 % de la matière sèche ; il faudra examiner davantage d'analyses de ce site pour établir sa conformité à la norme pour ce paramètre. Un site est tout juste conforme (C-TM4).

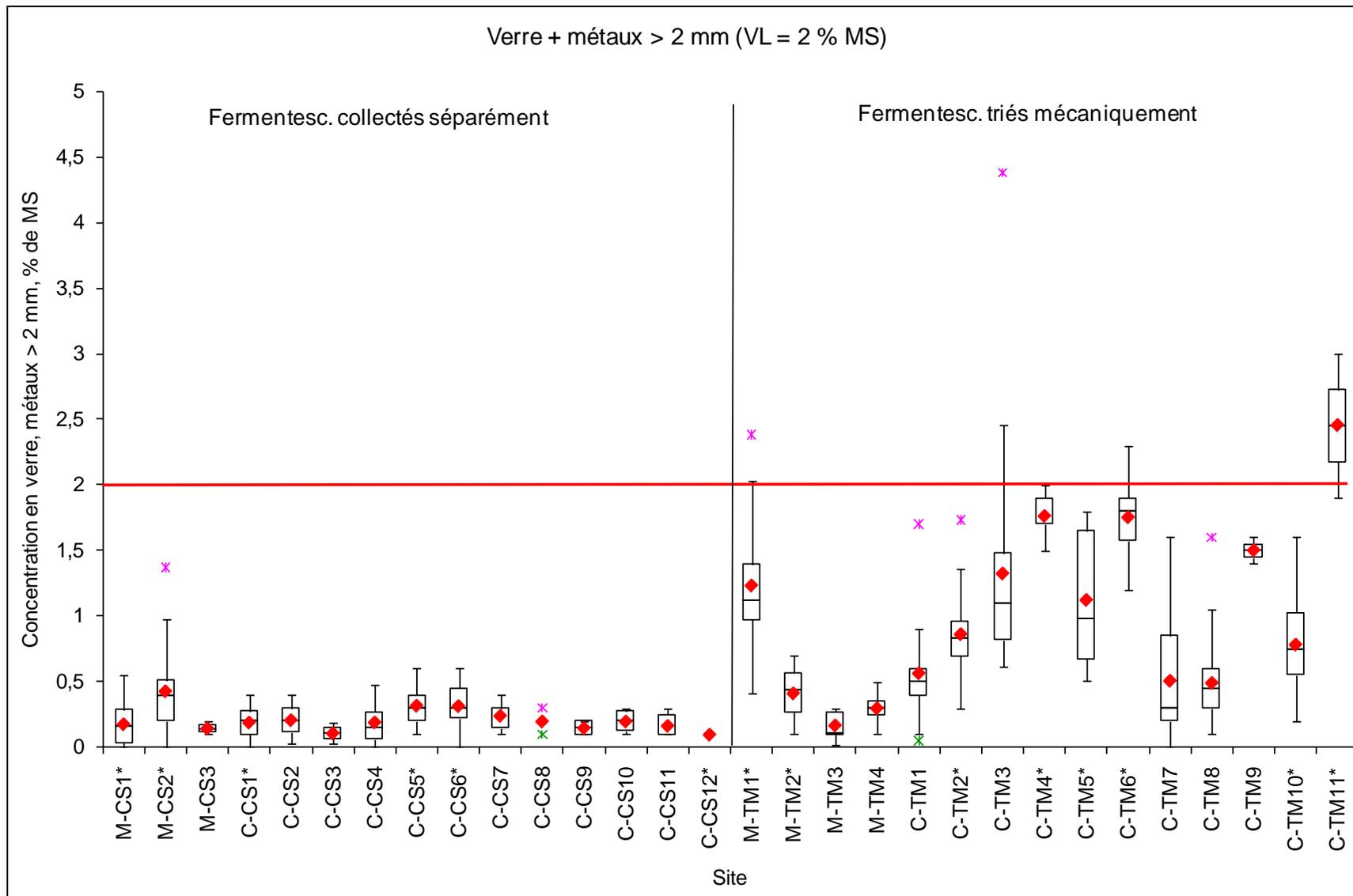


Figure 26 : concentration en verre + métaux > 2 mm pour les différents composts

## 8.4 COMPARAISON DES MOYENNES

Un test de Mann-Whitney a été pratiqué sur les deux ensembles de valeurs « composts – biodéchets collectés séparément » et « composts issus du tri mécanique ». Les résultats sont présentés ci-après.

Tableau 33 : comparaison des moyennes pour les inertes et indésirables

Inertes	VL de la norme NFU44051 (%)	FFOM -collecte séparée		FFOM –tri mécanique		Différence significative (Mann-Whitney p=0.05)
		Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	
Films PSE	0,3	0,024	0,043	0,051	0,123	<b>non</b>
Autres plastiques	0,8	0,08	0,130	0,61	0,52	oui
Verre métaux	2,0	0,269	0,211	0,754	0,570	oui

Ce test établit qu'il y a une différence de position entre les moyennes des contenus en plastiques durs > 5 mm et en verre – métaux > 2 mm, mais pas pour les films-PSE. Ce test permet uniquement d'étudier la position relative des échantillons. Il dit que cette position relative des deux échantillons (c'est à dire les deux fractions de populations) n'est pas différente, comme il est montré dans les histogrammes (Figure 27). Cette conclusion provient du fait qu'il existe de nombreuses données ex-aequo (valeurs nulles principalement) entre les deux séries de données, bien que les valeurs moyennes de ce paramètre pour les deux catégories de compost soient différentes. Cela montre que la comparaison des moyennes globales par type d'intrant doit être prise avec précautions.

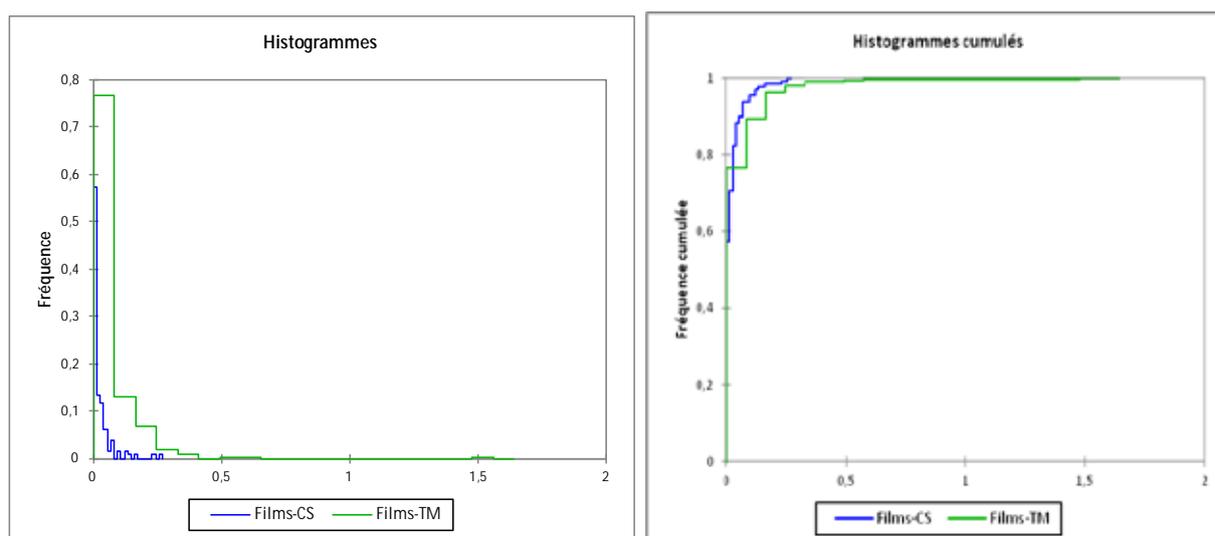


Figure 27 : histogrammes de la répartition des valeurs en films-PSE des 2 types de compost

Les dépassements des valeurs limites prescrites par la NF U 44-051 se répartissent de la façon suivante :

- sur les films et PSE > 5 mm, il n'y a aucun dépassement de la valeur limite de la norme pour les composts de biodéchets sur 133 analyses, et 6 dépassements sur sites de TMB (dont 4 sur le site de méthanisation M-TM4) sur 292 valeurs,
- sur les autres plastiques > 5 mm, il n'y a aucun dépassement de la valeur limite de la norme pour les composts de biodéchets (sur 135 analyses) ; en ce qui concerne les TMB, sur 292 analyses, les 4 valeurs des composts du site M-TM4 sont en dépassement, 2 autres sites ont 2 dépassements chacun (C-TM3 et C-TM5) et la moitié des 112 valeurs du site C-TM8 sont en dépassement ; sur ce site cependant, depuis juin 2011 les composts sont conformes à la norme, soit 21 valeurs ;
- sur les verres et métaux > 2 mm, il n'y a aucun dépassement pour les composts de biodéchets ; pour les composts de TMB, sur 292 analyses il y a 6 dépassements en tout, soit 2 dépassements pour le site M-TM1 (sur des analyses de début 2009 ; sur 2010 et 2011 tous les composts sont conformes), deux dépassements dont un très important (4,4 % MS) sur le site C-TM3, un dépassement sur les sites C-TM6 et C-TM11 (sur 2 analyses seulement pour ce dernier site, qui n'est opérationnel que depuis début 2011).

Les moyennes ont été considérées par type de compost (collecte séparée ou tri mécanique) et non pas par site, introduisant de fait un certain biais. En effet, les sites incluant un tri mécanique des OMR présentent des qualités de tri – et donc de composts - très variables. Un test comparant toutes les moyennes par site, deux par deux, mériterait d'être mis en œuvre (voir chapitre 11).

Des tests statistiques plus poussés sont nécessaires pour représenter le comportement selon le type d'intrant et le type de site.

## **9. PATHOGENES**

Sur l'ensemble des sites, nous disposons de 291 analyses de pathogènes (œufs d'Helminthes viables dans 1,5 g et Salmonelles dans 1 ou 25 g de matière brute) : tous les résultats sont négatifs sauf un : des salmonelles ont été détectées sur 1 seule analyse, sur un lot élaboré début 2010, d'un compost issu de la collecte séparée des biodéchets.

Cet ensemble de résultats montre que le procédé de compostage est bien suivi, et que l'hygiénisation des composts est bien obtenue dans tous les cas.

## **10. GESTION DES LOTS NON CONFORMES**

Comme il a été vu plus haut, certains composts présentent parfois des dépassements des teneurs sur certains éléments relatifs à l'innocuité. Ces non-conformités à la norme requièrent une gestion spécifique du lot de compost concerné. A notre demande, les responsables de sites nous ont apporté les précisions suivantes :

- a) en cas de non-conformité, les analyses sont généralement refaites sur le même lot (les sites conservant un échantillon du lot en même temps que l'envoi qui est fait au laboratoire d'analyse) ;
- b) si la non-conformité est confirmée, le lot est déclassé et envoyé en enfouissement (cas des dépassements en ETM notamment) ; ces lots présentent souvent d'ailleurs d'autres problèmes en termes de valorisation, par exemple le compost est trop pâteux ;
- c) si le dépassement se situe sur les inertes, le lot peut subir un deuxième passage dans l'ensemble de la chaîne de tri. En sortie, le lot est de nouveau analysé, et généralement les teneurs en inertes sont alors conformes à la norme, ce qui permet la valorisation du compost.

## **11. PERSPECTIVES ; TRAVAUX FUTURS**

### **11.1 COMPARAISON AVEC LES RESULTATS DE L'ETUDE DU JRC**

Les données étudiées dans le présent rapport sont uniquement les données de conformité à la norme NF U 44-051, et sont donc moins nombreuses que les paramètres étudiés par le JRC : les analyses conduites par le JRC incluent en particulier les PCB, les dioxines, des PBDE, des muscs polycycliques (tonalide et galaxolide), des fluorosurfactants dont le PFOS, le PFOA et le PFNA. En revanche, contrairement à la présente étude qui porte sur plusieurs échantillons par site, l'analyse du JRC porte sur un échantillon unique (parfois deux échantillons par site, un prélèvement ayant été réalisé par les responsables du site, l'autre par un représentant du JRC). Par conséquent, les évolutions au cours du temps et la reproductibilité de la qualité agronomique ou des teneurs en contaminants des composts sont mieux pris en compte dans la présente étude. Les données des deux études seraient intéressantes à comparer, afin de vérifier si les analyses réalisées par le JRC sont comparables aux données de la présente étude et donc représentatives de la qualité des composts issus des 14 sites en commun.

### **11.2 ANALYSES COMPLEMENTAIRES DES DONNEES**

Plusieurs paramètres mériteraient d'être pris en compte pour aller plus loin dans l'interprétation des résultats d'analyse, notamment pour expliquer les différences de comportement entre les sites, au-delà du simple paramètre « collecte séparée » ou « tri mécanique ». En particulier, certains sites de TMB génèrent des composts de bonne qualité, qui présentent pour les paramètres ETM et CTO des valeurs très inférieures aux valeurs limites prescrites par la norme. Ces composts, qui pour certains d'entre eux ont l'agrément Cerafel (plus sévère que la norme NF U 44-051), présentent pour l'ensemble des paramètres, sauf les inertes et le mercure, une qualité équivalente aux composts issus de la collecte séparée des biodéchets.

Il serait donc intéressant de prendre en compte à la fois les paramètres liés au procédé et les différentes collectes séparées existantes sur le territoire. Parmi les paramètres du procédé, les principaux sont (la liste n'est pas exhaustive) :

- les étapes du procédé de tri mécanique (pour les installations de TMB), avec en particulier la présence ou non d'un tube bioréacteur rotatif en entrée de site,
- les procédés de préparation avant compostage pour les composts issus de la collecte séparée des biodéchets,
- le taux de mélange avec les déchets verts pour tous les types de composts, sachant qu'il peut être plus difficile à déterminer sur les biodéchets (des déchets verts pouvant être collectés en même temps que les biodéchets, sans que la quantité soit connue de façon précise),

- le procédé de compostage lui-même (type d'aération : retournement, fréquence, aération forcée, durée du compostage actif, de la maturation),
- le criblage en sortie...

Ces informations pourraient permettre d'évaluer si les critères du JRC qui posent problème, même pour les composts issus de la collecte séparée des fermentescibles, sont réellement atteignables.

Dans ce sens, l'élargissement de l'étude à d'autres types de composts non considérés ici (les déchets verts, les effluents d'élevage, les boues de STEP...) apporterait des éléments supplémentaires de discussion, en particulier pour les critères du JRC qui pourraient être rédhibitoires, comme le cuivre ou le zinc pour les composts issus d'effluents d'élevage ou l'arsenic et les CTO pour les déchets verts.

En ce qui concerne le traitement des données, une étude complémentaire pourrait être mise en œuvre, à savoir :

- 1) les taux de matière organique ne sont pas similaires sur tous les composts. Or, ce paramètre est l'un de ceux pris en compte pour déterminer la quantité à épandre à l'hectare. En fonction de la quantité de composts épandue par unité de surface, les apports en contaminants (les ETM notamment) peuvent ainsi être très variables. Il serait donc intéressant de recalculer les teneurs en ETM par rapport au taux de matière organique ;
- 2) sur le plan statistique, l'étude devrait prendre en compte les différences entre sites individuels et faire des comparaisons entre sites, deux à deux. Pour ce faire, une analyse de la variance (ANOVA) mixte pourrait être mise en œuvre, avec un effet fixe (la collecte séparée / le tri mécanique) et un effet aléatoire (le site). De même, des analyses en composantes principales pourraient permettre d'établir des types ou familles de composts de façon plus fine que « collecte séparée » ou « tri mécanique » ;
- 3) l'étude des séries de données, fournies par plusieurs sites sur des périodes de 2 à 4 ans (voir le Tableau 4) permettra d'analyser la représentativité temporelle d'analyses ponctuelles.

## **12. CONCLUSIONS**

Le traitement biologique de la fraction fermentescible des ordures ménagères est en accroissement rapide en France. Il peut s'agir de traitement centralisé ou plus local. Cependant, la fraction des matières fermentescibles traitées par ces filières ne représente qu'un tiers du gisement : il y a donc une marge de progression importante.

En ce qui concerne le traitement centralisé de la matière organique, les collectivités ont le choix entre deux options :

- la collecte séparée des biodéchets, qui permet a priori de récupérer des matières moins contaminées et donc de produire un compost de bonne qualité,
- une collecte des déchets en mélange, moyennant des collectes sélectives de bonne qualité sur les emballages recyclables et les déchets toxiques dont les piles et les DEEE, plus un tri performant en usine. Cette deuxième option permet quant à elle, d'avoir accès à un gisement plus large mais implique des investissements importants et des coûts de traitement plus élevés. De plus, les qualités atteintes sont différentes selon les procédés.

La question de la qualité des composts en vue de leur retour au sol est primordiale dans le cadre du traitement biologique des déchets ménagers. Des discussions sont en cours au niveau européen en vue de la sortie de statut de déchet pour les composts. Dans ce but, un groupe d'experts est piloté par le JRC de Séville, et une campagne d'analyses sur environ 160 échantillons de composts divers, issus de toute l'Europe, a été lancée. 45 sites français ont participé à cette campagne, dont une quinzaine de sites traitant la FFOM. Les résultats de cette étude sont attendus pour le premier semestre 2012.

Dans ce contexte, l'étude entreprise ici visait à établir si les qualités de composts conformes à la norme NF U 44-051, élaborés à partir de biodéchets collectés sélectivement, ou d'OMR triées en usine, étaient équivalentes.

**Pour les éléments traces métalliques**, les dépassements par rapport aux valeurs prescrites par la NF U 44-051 sont peu nombreux :

- 2 sites de compostage sur biodéchets présentent chacun un dépassement de la valeur limite en arsenic. Ces composts comportent une forte proportion de déchets verts, ces végétaux ayant été cultivés sur des sols riches en arsenic (anomalie régionale du bruit de fond pédo-géochimique en arsenic),
- 5 sites de compostage sur TMB présentent des dépassements : trois sites ont un dépassement chacun (en cadmium, cuivre et plomb respectivement), 1 site présente 2 dépassements sur le zinc, et 1 présente 5 dépassements (2 valeurs sur le cadmium, une sur le mercure et deux sur le zinc sur 28 jeux d'analyses).

13 sites de méthanisation ou compostage sur biodéchets collectés séparément (sur 15) et 10 sites de méthanisation ou compostage sur fermentescibles triés mécaniquement (sur 15) ne présentent aucun dépassement des valeurs limites de la NF U 44-051 pour les ETM sur l'ensemble des données fournies.

**Pour les 3 composés traces organiques**, il n'y a aucun dépassement des critères de la NF U 44-051, sur 257 analyses au total sur l'ensemble des sites.

**Pour les inertes**, il y a un peu plus de dépassements des valeurs limites de la NF U 44-051 que pour les ETM, uniquement sur les composts de TMB. Aucun dépassement des valeurs limites pour les 3 paramètres inertes n'est relevé sur l'ensemble des composts issus de biodéchets collectés séparément. Sur les sites de TMB, il y a 6 dépassements en tout sur 292 analyses, pour les films > 5 mm comme pour les fragments de verres et métaux > 2 mm. Toutes les valeurs d'un site, et 50 % des valeurs d'un autre, sont en dépassement sur les autres plastiques > 5 mm (plastiques durs). Ces dépassements sont relevés principalement sur des sites de TMB ayant commencé le compostage récemment (les premières analyses remontent à moins de deux ans) : ces sites ont donc probablement une marge de progression sur la qualité du tri.

Les moyennes globales en ETM, CTO et inertes sont significativement différentes entre les deux types de composts, mais les composts issus de certains des sites de TMB présentent pour les paramètres ETM et CTO des valeurs très inférieures aux valeurs limites prescrites par la norme NF U 44-051. Ces composts, qui pour certains d'entre eux ont l'agrément Cerafel, qui est plus sévère que la norme française, présentent pour l'ensemble des paramètres, sauf les inertes et le mercure, une qualité équivalente aux composts issus de la collecte séparée des biodéchets.

Dans le cadre des discussions sur la sortie de statut de déchet pour les composts, certaines des valeurs limites proposées par le JRC de Séville ne posent pas de problème majeur pour les composts étudiés ici : il s'agit du chrome et du nickel. En revanche, la majorité des composts issus du TMB, mais également certains des composts issus de la collecte séparée, ne sont pas conformes à d'autres valeurs (essentiellement le cuivre, le plomb et le zinc). Les teneurs en inertes déterminés par la méthode française sont généralement plus élevées (pour tous les composts de TMB, mais aussi pour certains composts de biodéchets) que la valeur limite pour ce paramètre proposée par le JRC. Cependant, il n'y a pas de méthode normalisée au niveau européen pour la détermination des inertes ; il serait donc nécessaire de fixer au niveau européen la méthodologie de détermination des inertes avant de proposer la valeur limite pour ce paramètre.

En conclusion, une majorité des analyses réalisées sur les différents types de composts sont conformes aux prescriptions de la norme française NF U 44-051, pour l'ensemble des paramètres relatifs à l'innocuité (éléments traces métalliques, composés traces organiques, inertes et pathogènes).

Il existe ainsi à l'heure actuelle en France, plusieurs installations de TMB qui produisent un compost de qualité satisfaisante d'après les critères de la norme française, et ce, de façon reproductible au cours du temps.

Il serait cependant nécessaire de poursuivre les analyses des données, afin d'avoir une meilleure vision de l'influence des options technologiques sur la qualité des composts, et de l'impact des critères en cours de discussion sur l'ensemble de la filière du traitement biologique de la FFOM.

### **13. REFERENCES**

**Arrêté du 5 septembre 2003** portant mise en application obligatoire de normes (version consolidée au 11 septembre 2010)

**DECELLE Y., MARTEL J.L. (2011)** : « Compost quality assessment and End-of-waste process : result of two ring tests performed in 2009 and 2011 ». Proceedings Sardinia 2011, Thirteenth International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 3 - 7 October 2011

**Directive 1999/31/CE du Conseil** du 26 avril 1999 concernant la mise en décharge des déchets

**Directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil** du 19/11/ 2008 relative aux déchets

**HOUOT S., FRANCOU C. et al (1995)** : « Valeur agronomique et impacts environnementaux de composts d'origine urbaine : variation avec la nature du compost ». Courrier de l'Environnement de l'INRA, n° 25, 1995

**IPTS (2011)** : « Technical report for End-of-waste criteria on Biodegradable waste subject to biological treatment ». Second Working Document, 11 October 2011 (JRC, Seville, Espagne)

**LECLERC B. (2011)** : « Rappel réglementaire concernant l'utilisation des intrants en AB ». Les composts à l'usage de la filière de production agricole biologique. Journée technique du 15 novembre 2011 – Avignon

**Norme NF EN 12579 (juillet 2000)** : « Amendements organiques et supports de culture – Échantillonnage »

**Norme NF U 44-051 (avril 2006)** : « Amendements organiques. Dénominations, spécifications et marquage » (amendement A1 : décembre 2010)

**Norme XP U44-164 (janvier 2004)** : « Amendements organiques et supports de culture – Méthode d'analyse des composants inertes dans un compost » (Norme expérimentale)

**RITTMO (2011)** : « Qualité agronomique et sanitaire des digestats ». Rapport ADEME (août 2011)

## 14. LISTE DES ANNEXES

<b>Repère</b>	<b>Désignation</b>	<b>Nombre de pages</b>
Annexe 1	Aspects visuels de composts issus de biodéchets et d'OMR triées en usine	3 p.
Annexe 2	Graphiques des données individuelles, site par site	13 p.
Annexe 3	Formulaire d'enquête sur les données et les méthodologies de prélèvement et d'analyse	6 p.

## **ANNEXE 1**

### **ASPECTS VISUELS DE COMPOSTS ISSUS DE BIODECHETS ET D'OMR TRIEES EN USINE (photos INERIS)**

**Remarque** : ces composts contiennent du broyat de déchets verts en proportions variables (résidus de branchages visibles sur les clichés).





*Photo 1 : compost issu de la méthanisation de biodéchets en cours de prélèvement*



*Photo 2 : détail du compost de la Photo 1*



*Photo 3 : compost issu de la méthanisation d'OMR triées en usine*



*Photo 4 : détail du compost de la Photo 3*



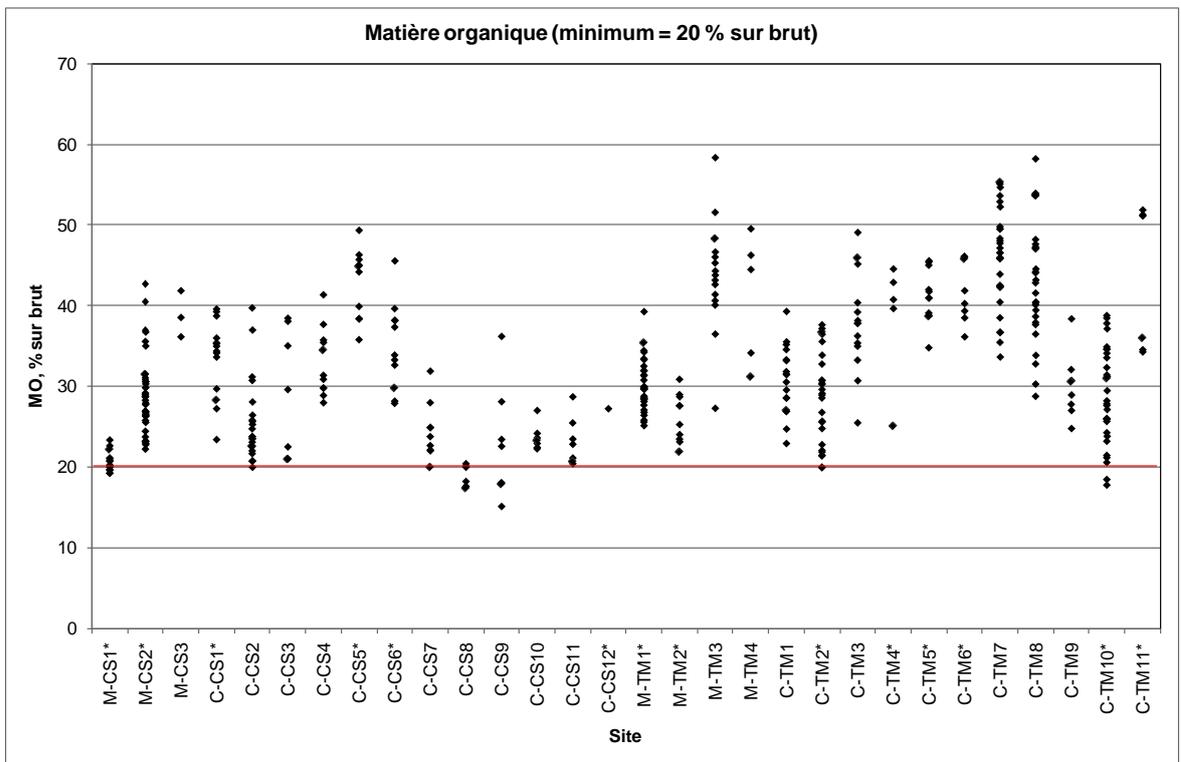
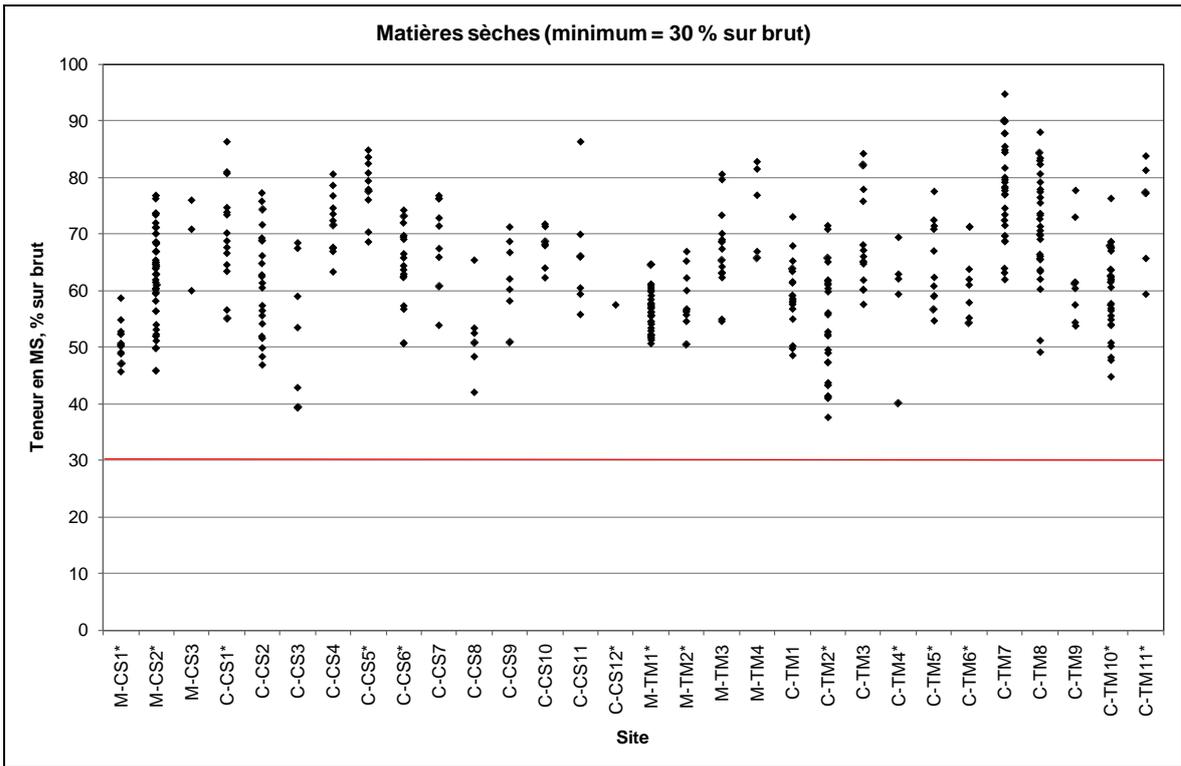
Photo 5 : compost issu d'OMR triées en usine

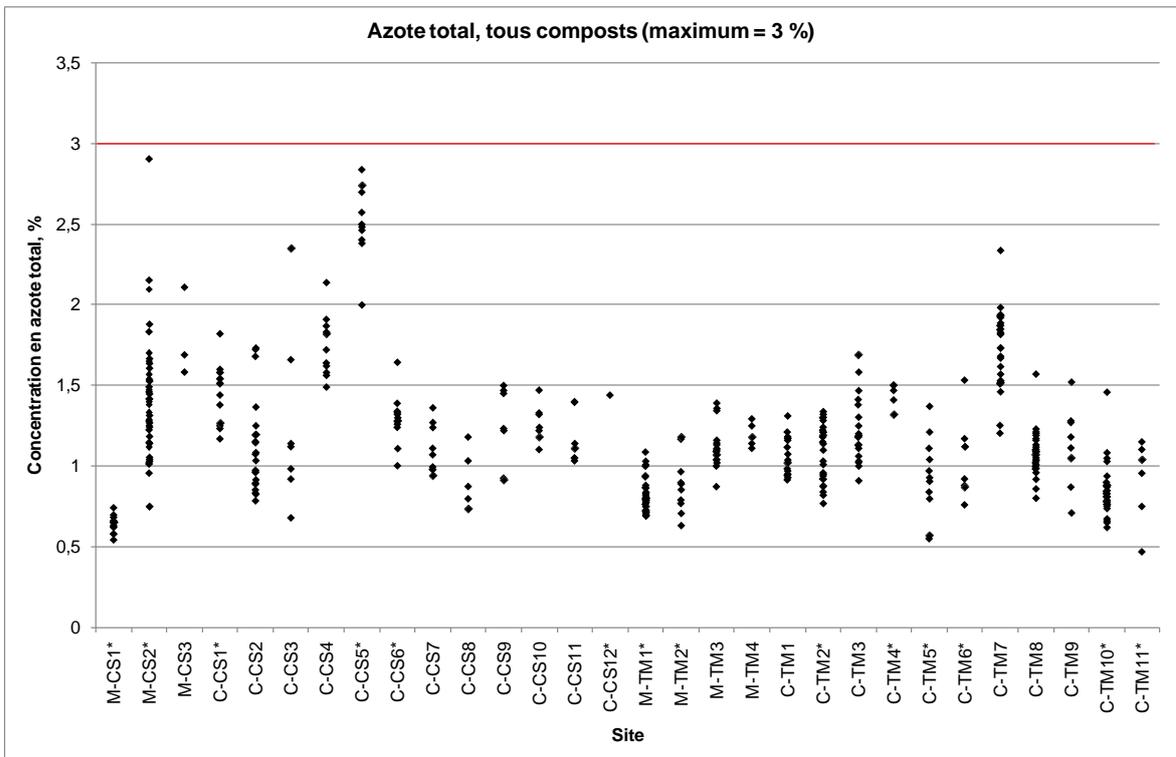
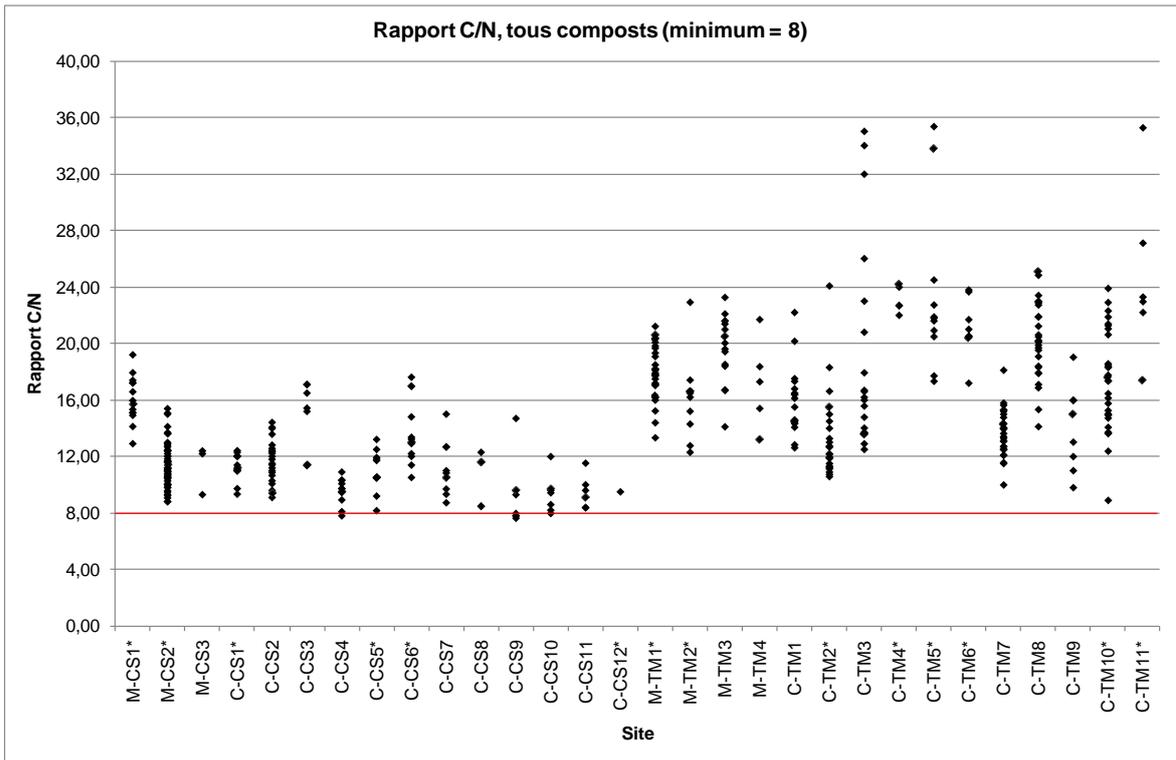


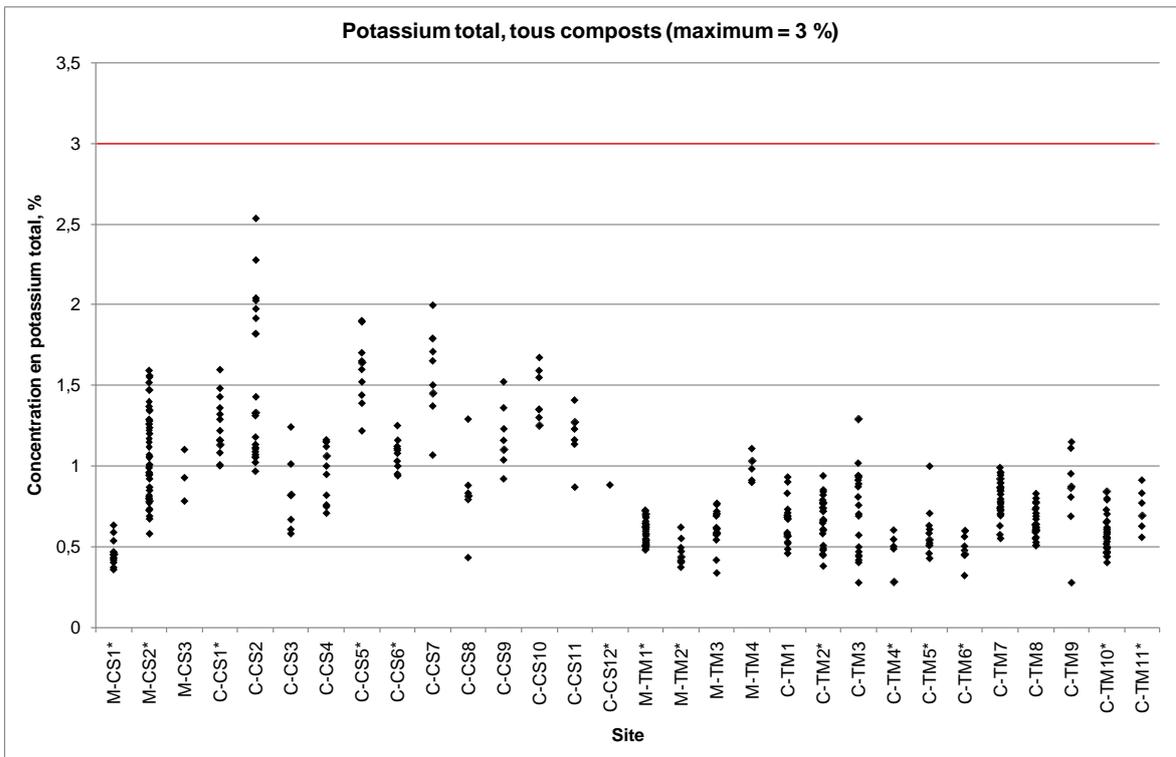
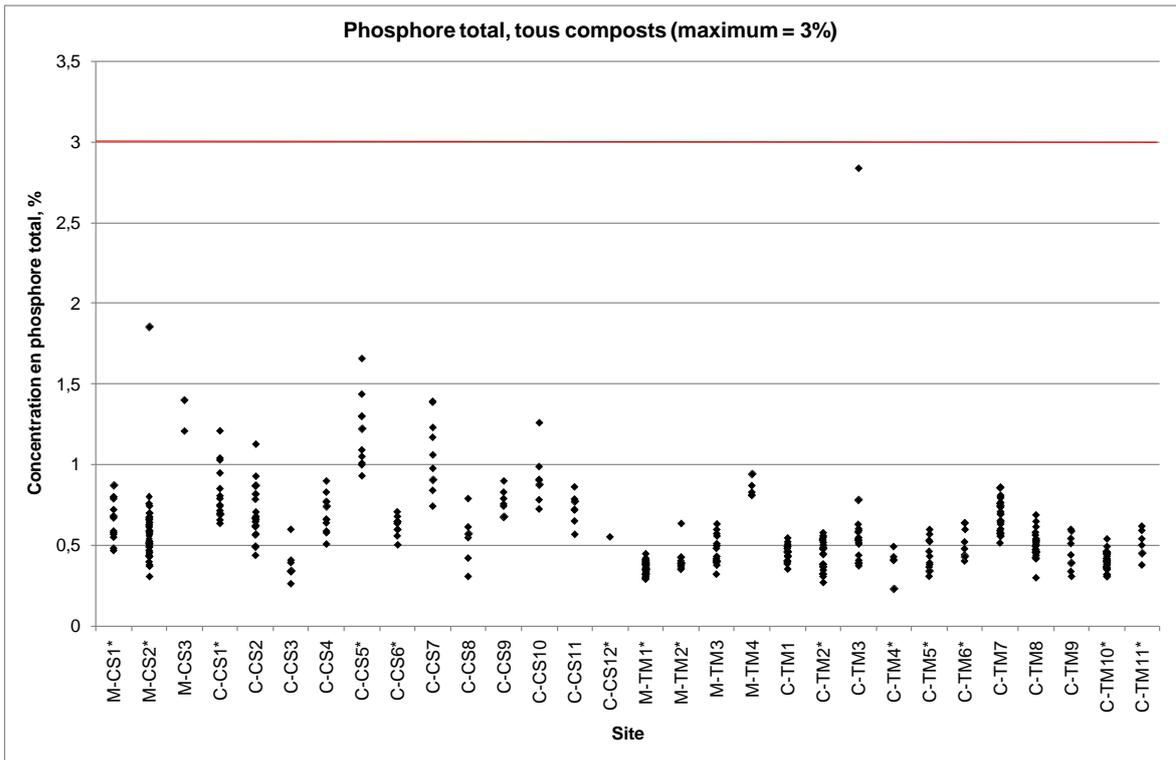
## **ANNEXE 2**

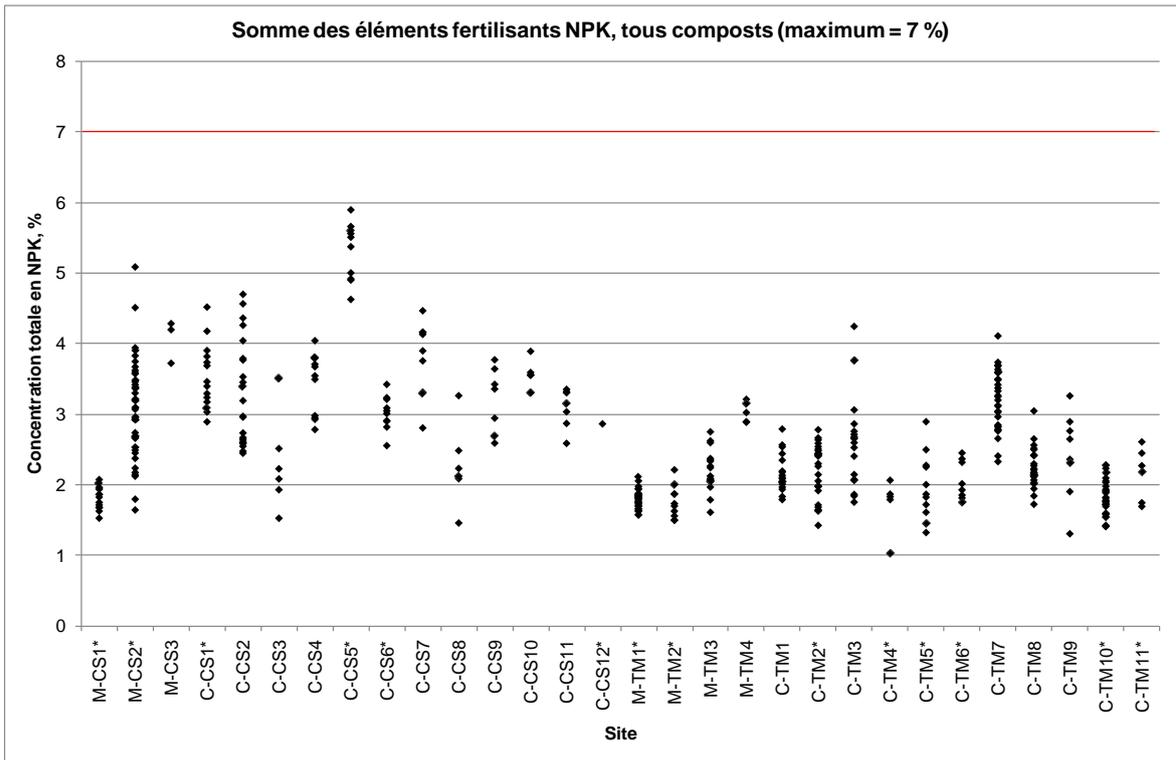
### **GRAPHIQUES DES DONNEES INDIVIDUELLES, SITE PAR SITE**

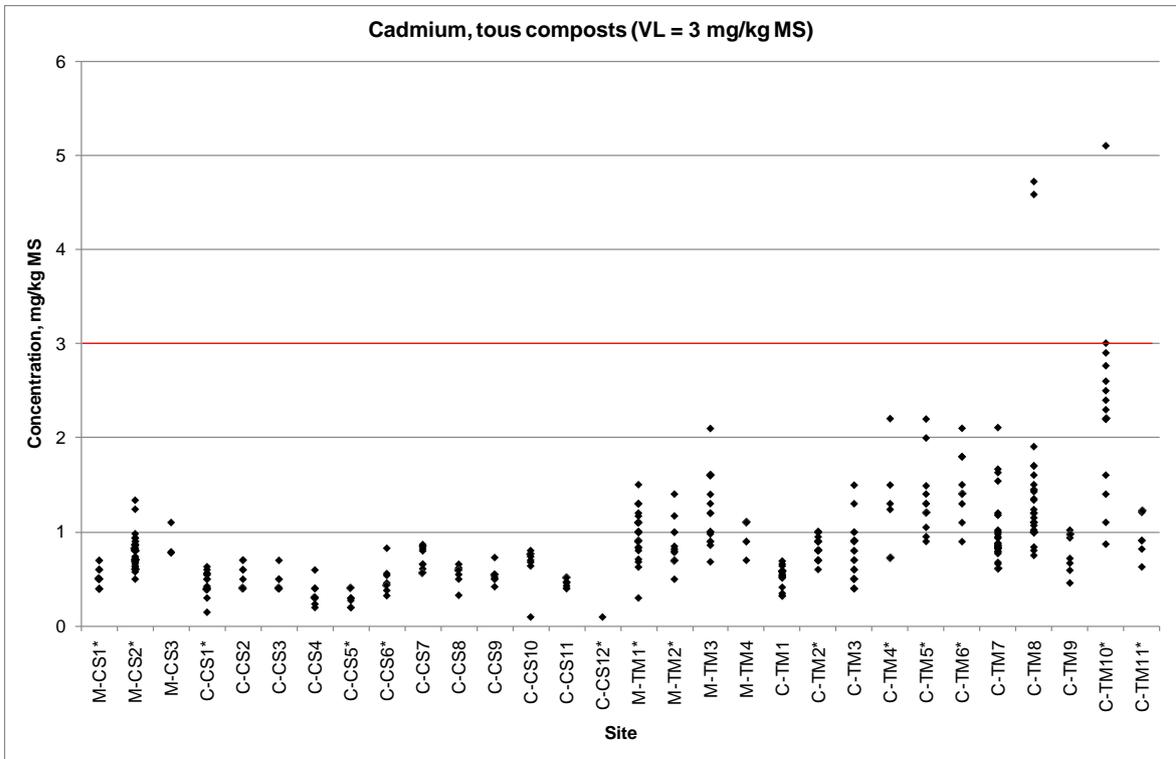
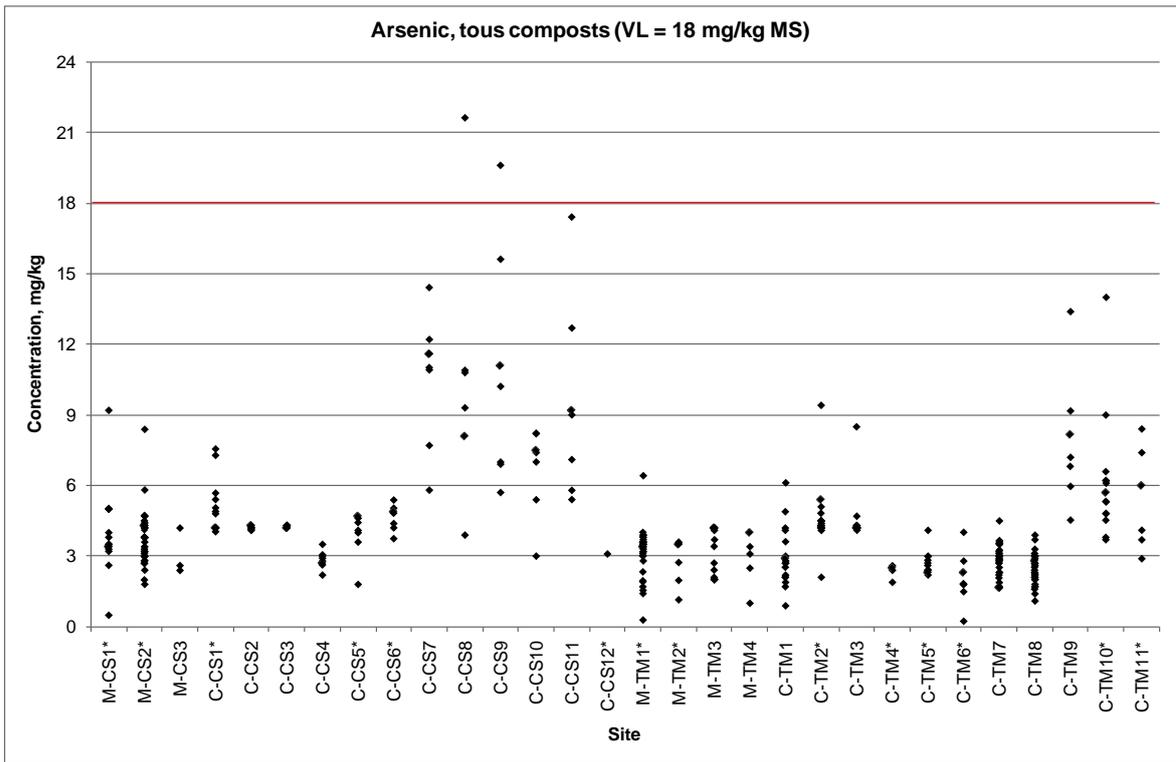


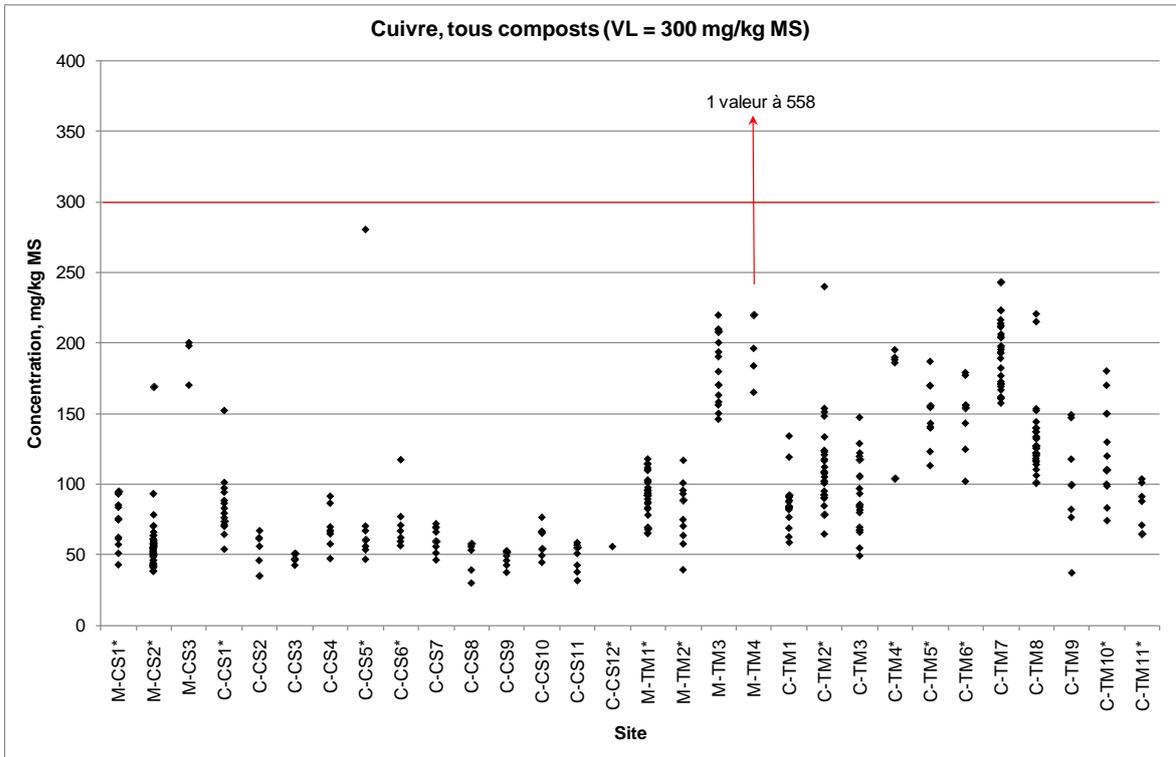
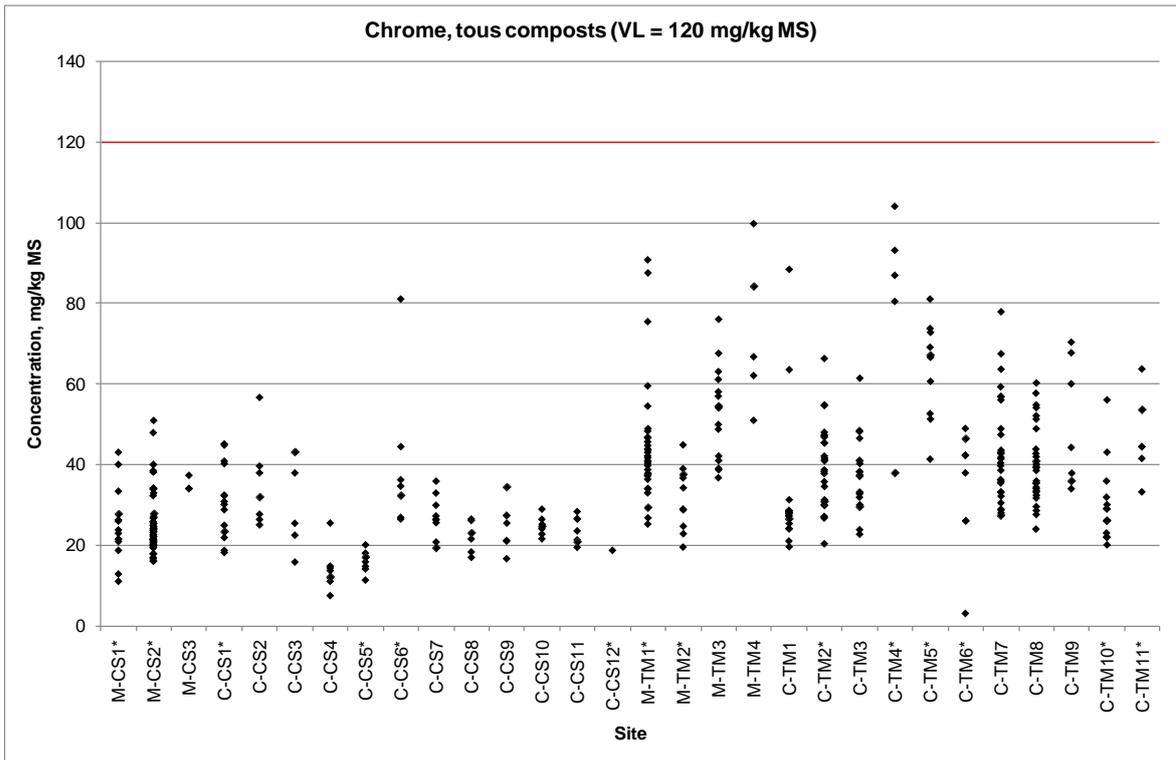




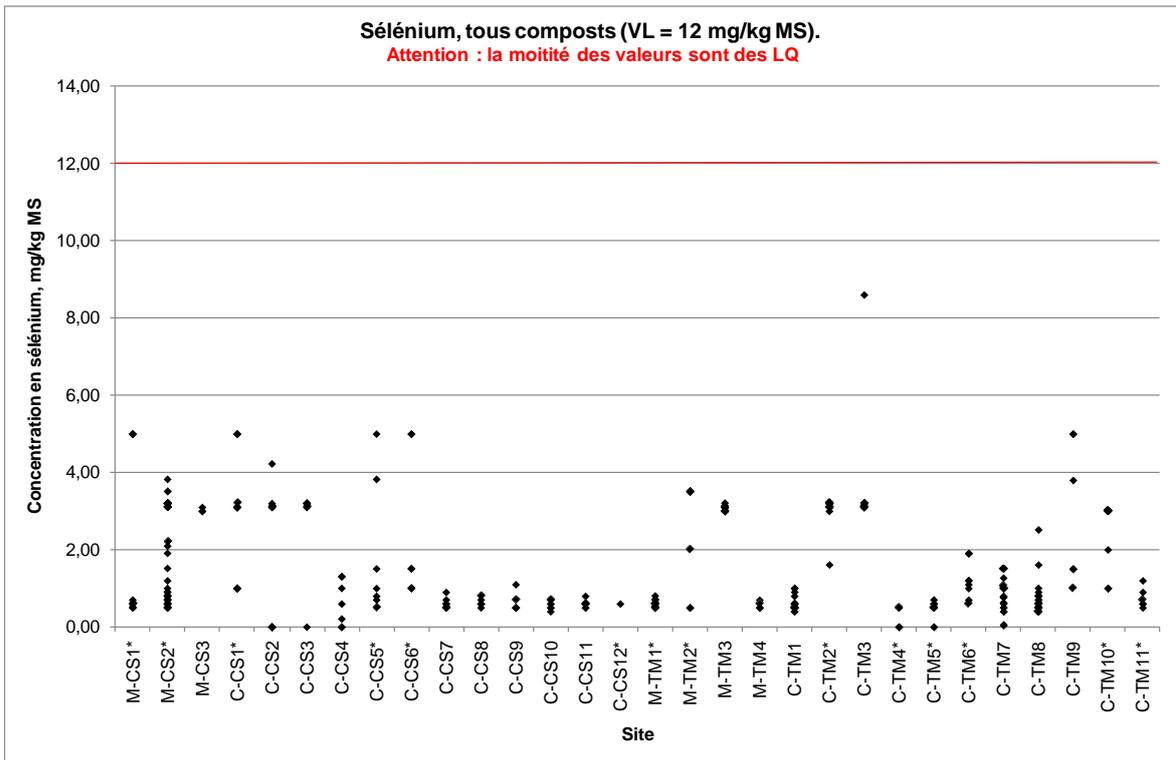
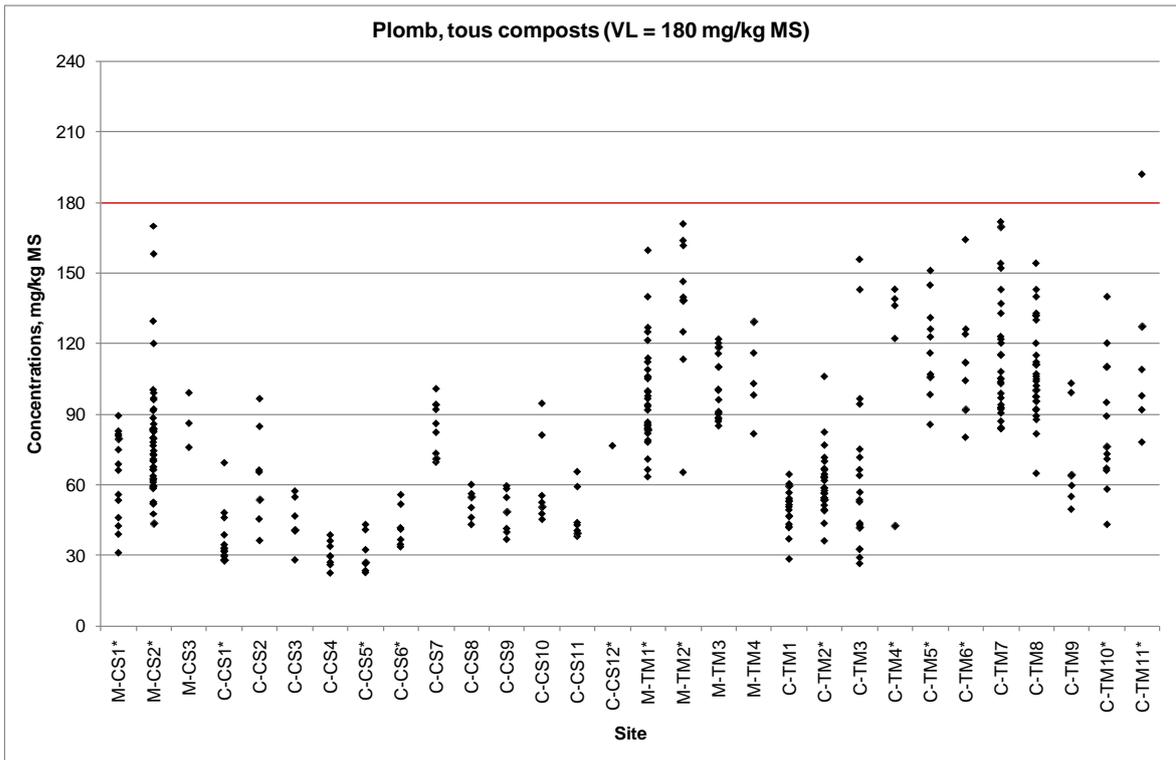


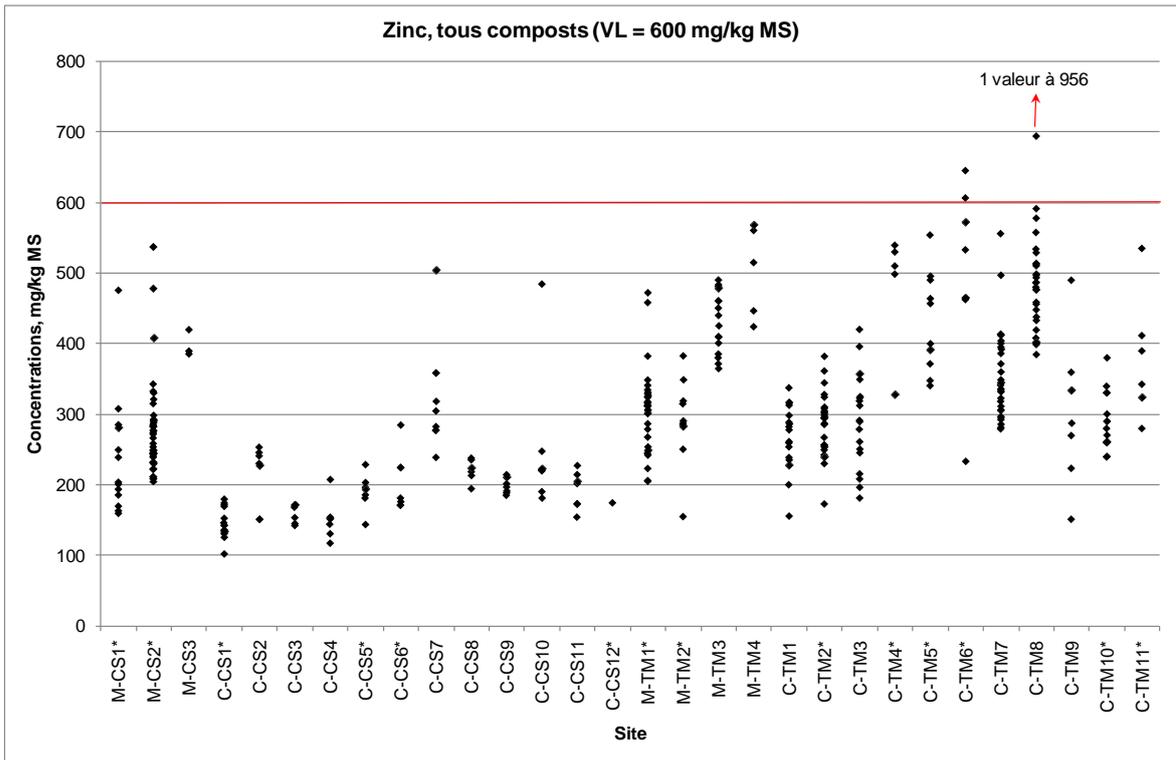


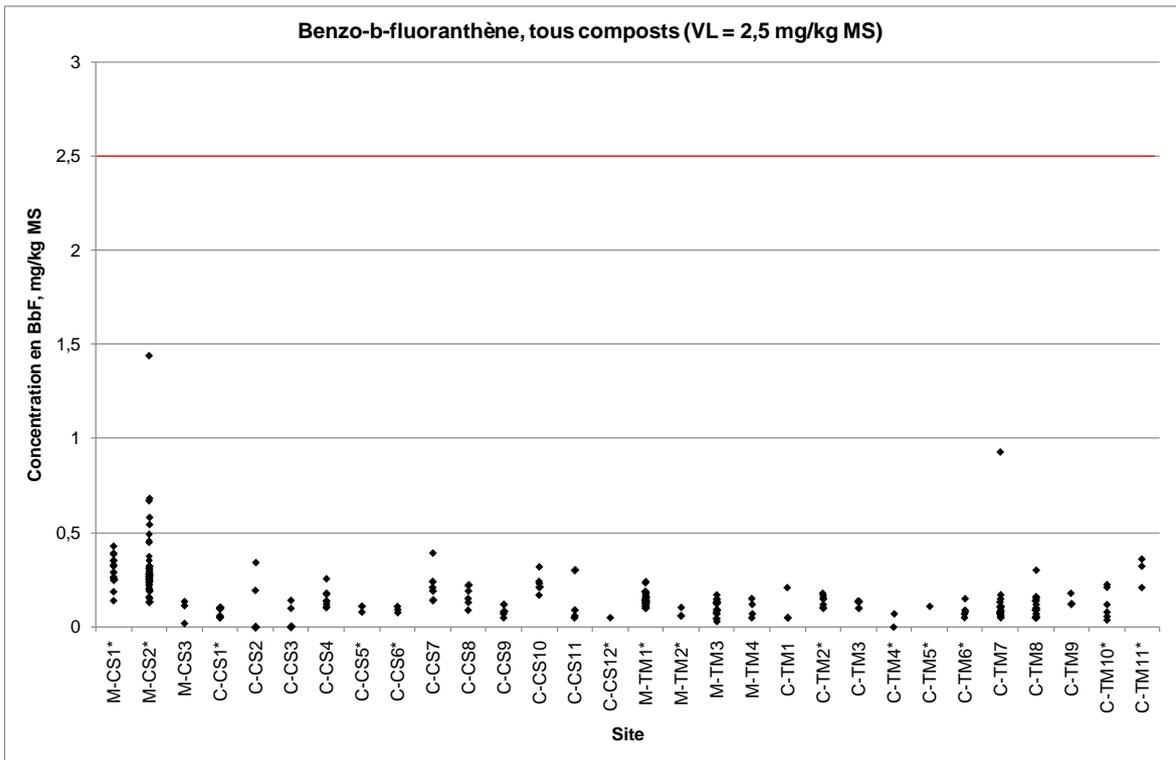
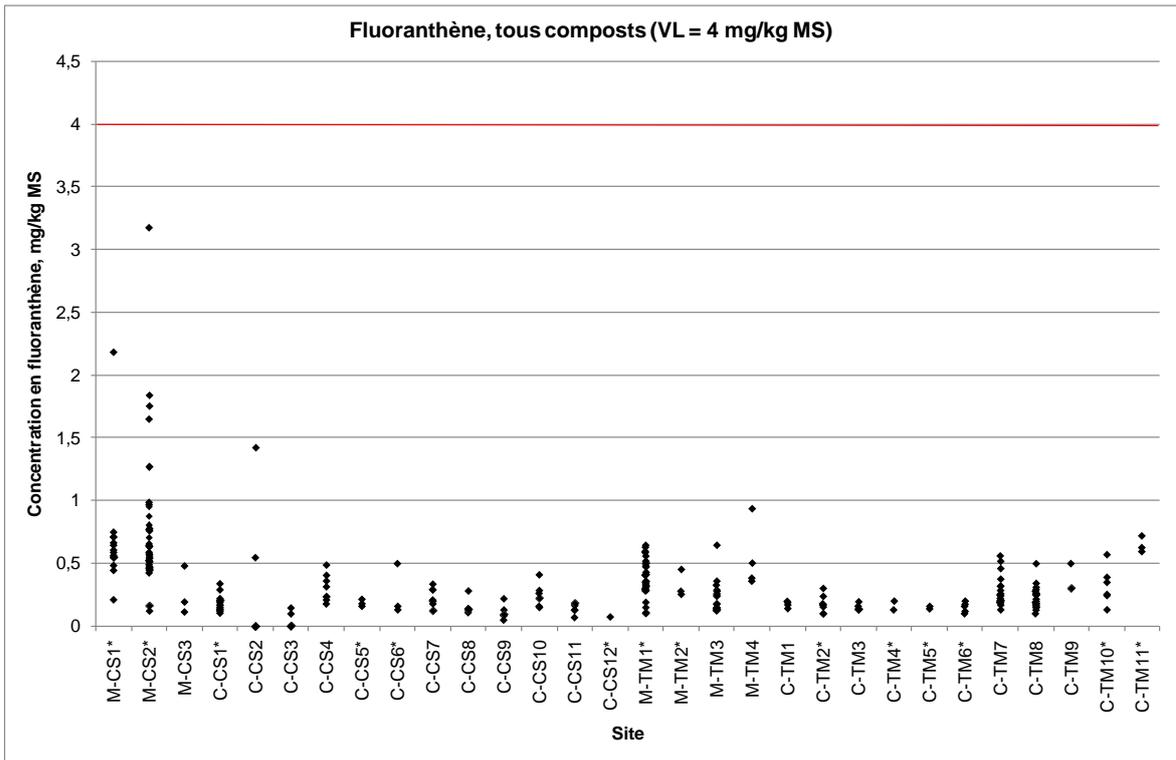


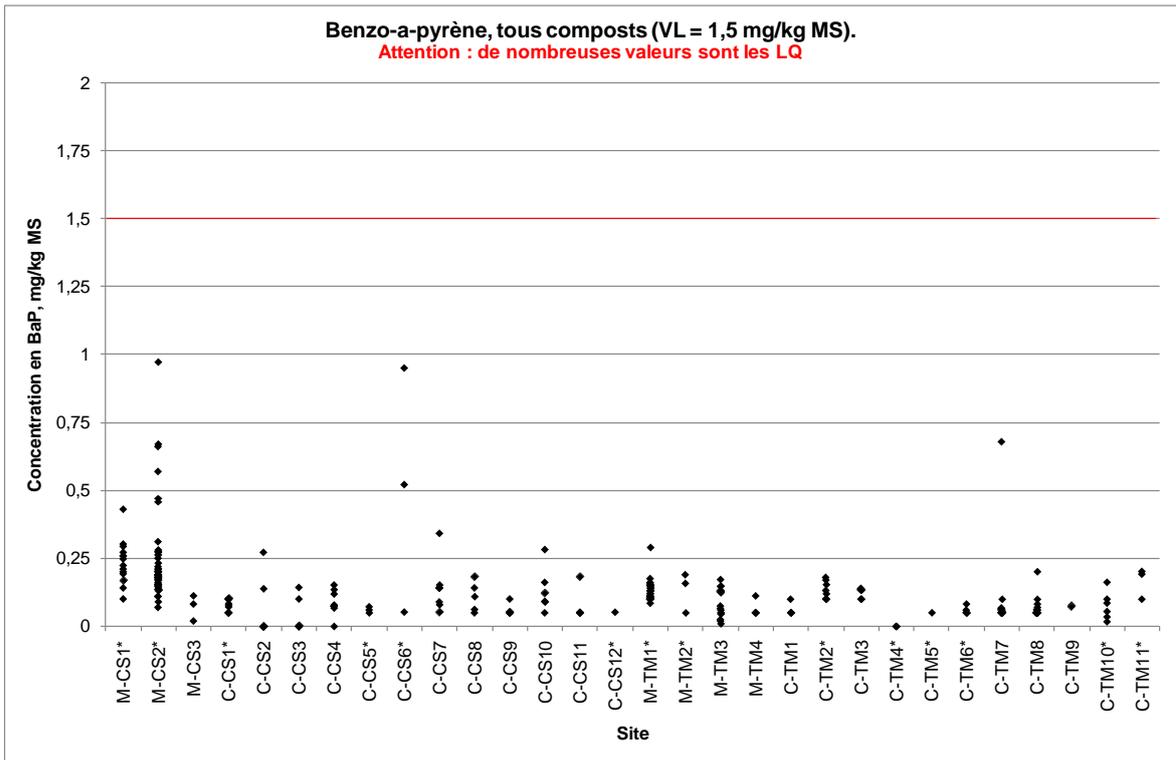


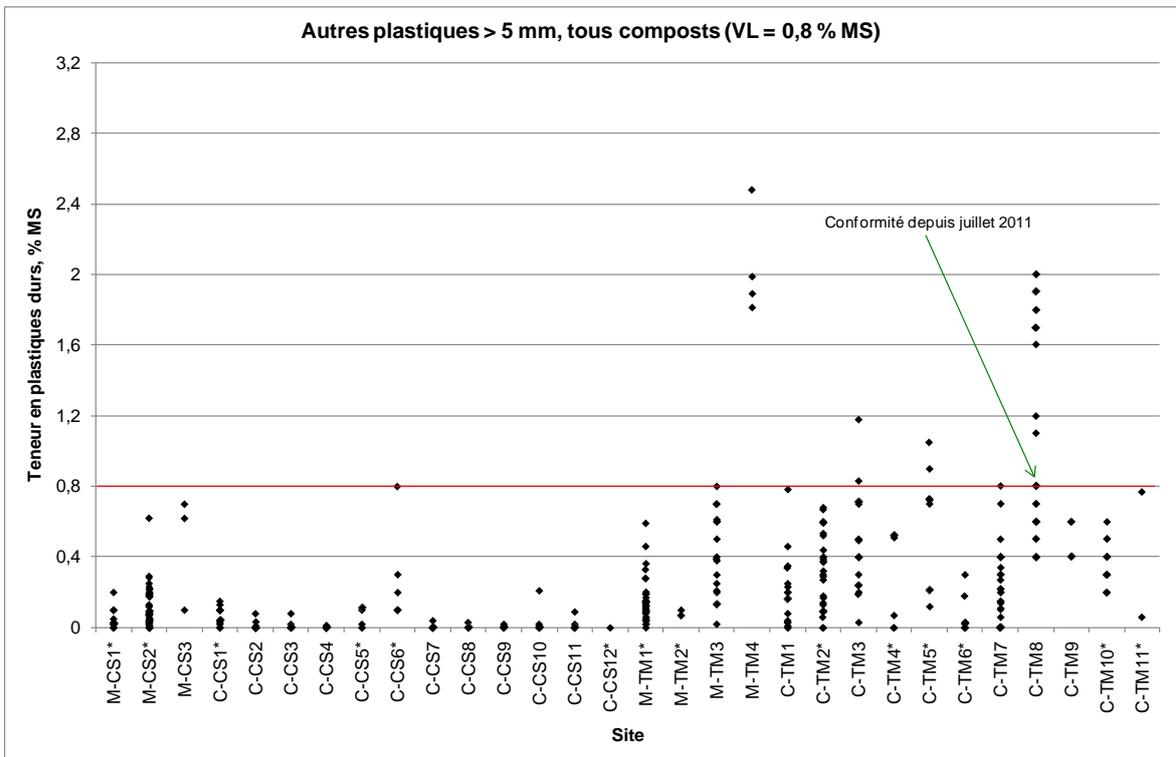
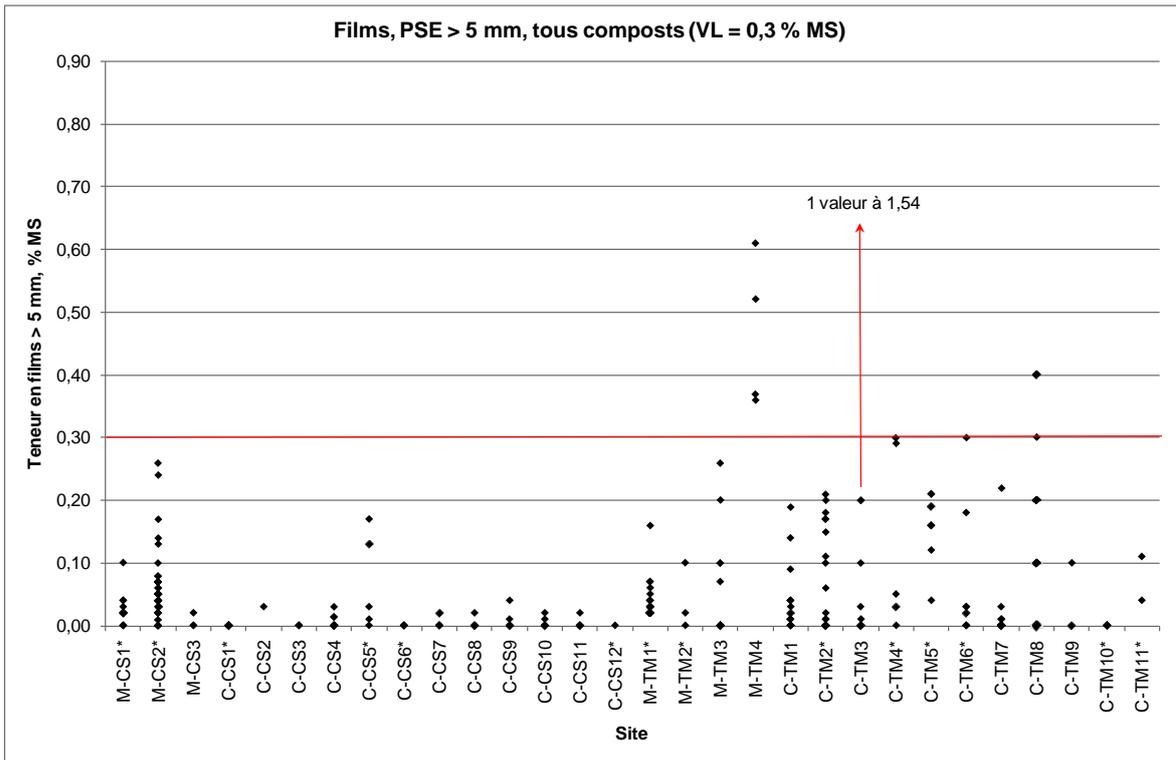


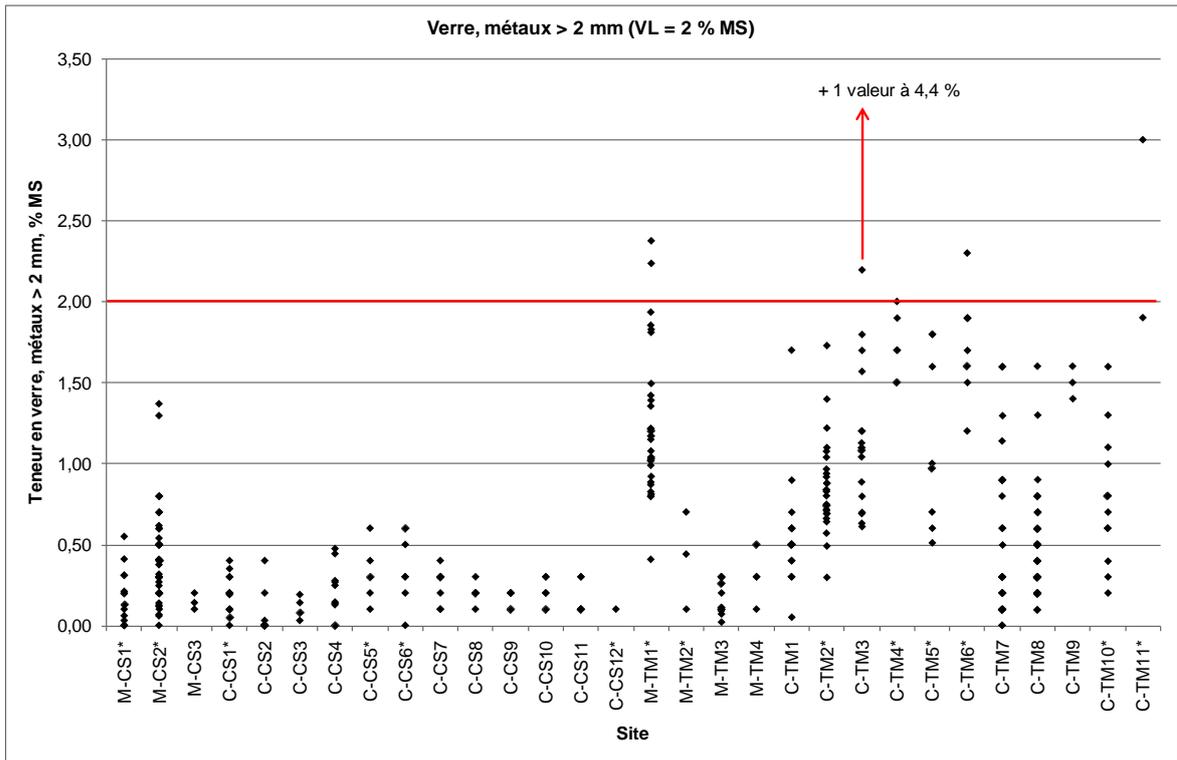














### **ANNEXE 3**

## **FORMULAIRE D'ENQUETE SUR LES DONNES ET LES METHODOLOGIES DE PRELEVEMENT ET D'ANALYSES**



**Site :**

**Personne ayant rempli le questionnaire :**

**Tél. / e-mail :**

**Date :**

**A) Sur la procédure :**

Quelle est la périodicité des analyses ? <i>(elle est généralement indiquée dans le tableau de résultats déjà fourni, mais pas toujours)</i>	
Quel est le mode opératoire de prélèvement ?	
Est-il effectué par vous ou par le laboratoire ?	
Selon quelle méthode ? Est-elle normalisée, <i>(par ex. NF EN 12579 –juillet 2000)</i> ? <i>Pages suivantes : exemples de prélèvement</i>	

Autre information que vous pensez utile, remarque ?

**B) Sur l'analyse :**

Quel laboratoire a procédé aux analyses ? est-il certifié COFRAC ?	
En avez-vous changé au cours du temps ? Si oui, pourquoi ?	

**La méthode d'analyse de chacun des paramètres est-elle normée, et si oui, quelles sont les normes de références utilisées ?** *Rem. : ces informations figurent normalement sur le rapport d'analyse ; ci-dessous les normes d'analyse citées par la NFU44-051 (ce tableau n'est pas à remplir si les informations figurent sur les rapports d'analyse que vous fournirez)*

Paramètre	Norme d'analyse (réf. NFU44051 :2006)	Autre norme citée par le laboratoire ?	Incertitude associée ? (figure normalement sur le rapport)
Matière organique	prXPU44-162		
Minéralisation carbone-azote	prXPU44-163		
Inertes	XPU44-164 : 2004		
Formes d'azote	NFU42-191 : 1988		
Salmonella	NFV08-052 : 1997		
E. Coli	NFV08-053 : 2002		
HAP et PCB (boues)	XPX33-012 : 2000		
Oeufs d'Helminthes	XPX33-017 : 2004		
Extraction d'éléments solubles dans l'eau régale	NFEN13650 : 2002		
Métaux ?	(pas de norme citée)		

Autre information que vous pensez utile, remarque ?

## Exemples de prélèvements (norme NFEN 12579:juillet 2000)

### 1) Mode opératoire INERIS, lorsqu'une pelle mécanique est disponible

Ouverture de l'andain à la pelle mécanique, sur 4 à 5 radiales (figure 1). Prélèvement des matières du cœur, de haut en bas, déposées en tas à côté de l'andain. Prélèvement de 4-5 pelletées par tas, constitution d'un composite, quartage, prélèvement en sac ou bidon propre. Pour l'analyse de la microbiologie, la pelle à main est lavée à l'éthanol et séchée à l'air libre, le flacon stérile étant fourni par le laboratoire.



Figure 1 : exemple de prélèvement : ouverture de l'andain à la pelle mécanique



Figure 2 : prélèvement de pelletées dans chaque tas

## 2) Prélèvements à la pelle à main :

Un support de formation réalisé par Rhône-Alpes qualité Composts (29 avril 2010) est particulièrement utile : ci-dessous les diapos se rapportant au prélèvement.

# 3- Protocole d'échantillonnage

## æ L'échantillonnage : une étape de rigueur importante

- Conditionne la représentativité du lot et donc les aspects commerciaux, agronomiques et sanitaires
- Et ce d'autant que les composts ont des granulométries variables

## æ Référence : norme NF EN 12579 de juillet 2000

- Amendements et supports de culture : échantillonnage en vue de l'estimation de la teneur moyenne d'un lot

## æ A retrouver sur :

[http://www.compostqualite-rhone-alpes.com/le\\_referentiel.ws](http://www.compostqualite-rhone-alpes.com/le_referentiel.ws)

dans les annexes « fiche 4 »

## æ Nombre de points d'échantillonnage

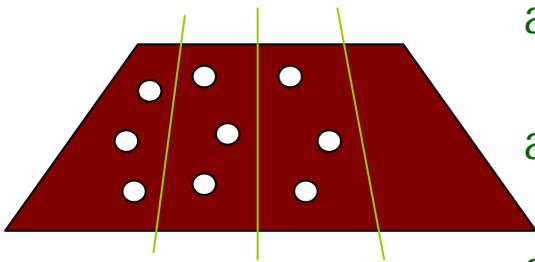
=  $0,5 \times \sqrt{\text{Volume du tas ou l'andain}}$  ( $\sqrt{\quad}$  : racine carrée)

Avec un minimum de 12 et un maximum de 30

Dimension du lot en volume	< 580 m <sup>3</sup>	800 m <sup>3</sup>	1 000 m <sup>3</sup>	1 500 m <sup>3</sup>
Dimension du lot en poids (évaluation pour densité = 0.6)	< 350 tonnes	480 tonnes	600 tonnes	900 tonnes
<b>Nombre de points d'échantillonnage</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>19</b>

## æ Définitions

- Lot : « quantité de produit fabriqué par le même procédé, dans les mêmes conditions, étiqueté de la même manière et censé avoir les mêmes caractéristiques »
- Unité d'échantillonnage : « quantité maximale du même matériau (produit) venant du même lot sur lequel doit être prélevé l'échantillon global représentatif »
- Prélèvement élémentaire : « quantité représentative de matériau prélevée en un point d'échantillonnage »



æ Diviser le lot « au coup d'œil » en fonction du nombre de points d'échantillonnage

æ Selon la taille de l'andain, ouvrir l'andain au chargeur jusqu'au centre

æ Effectuer en chaque point les prélèvements élémentaires sur toute l'épaisseur du matériau (laisser de côté les 50 premiers centimètres et obtenir un volume de 0,5 à 2 litres)

#### æ Matériel nécessaire

- 2 caisses en plastique d'un volume minimum de 25 litres ou 1 échantillonneur (schéma ci-joint)
- 1 bassine plastique
- 1 feutre noir indélébile
- Sacs plastiques solides
- 1 croc à main (pour les prélèvements élémentaires)
- 1 fourche (pour nettoyer la base des tas de compost)
- 1 paire de gants (attention aux épines dans le compost frais)

æ Chaque prélèvement élémentaire ne doit privilégier ni une fraction fine ni une fraction grossière

æ Regrouper et mélanger les prélèvements élémentaires

æ Puis réduire pour donner l'échantillon final et celui pour le laboratoire.

#### æ Volume final de l'échantillon

- 5 litres pour les déterminations analytiques usuelles.
- Pour l'analyse des indésirables, 5 kg (environ 8 litres).

#### æ Etiquetage

- Il comprend : type de produit, n° du lot, date et lieu d'échantillonnage, opérateur.

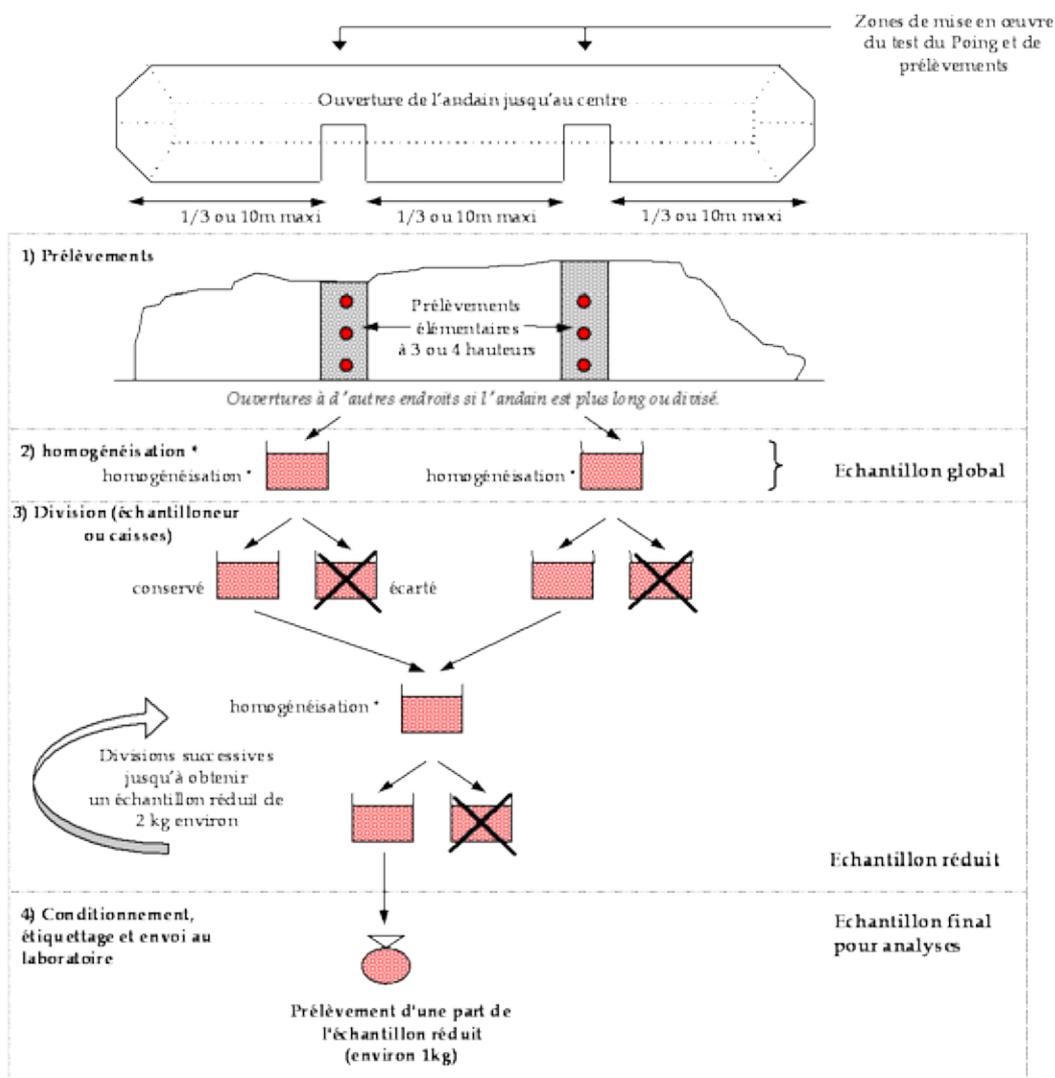
#### æ Rapport d'échantillonnage

- Chaque prise d'échantillon a une fiche d'échantillonnage conservée sur le site de la plateforme de compostage. Elle comprend : nom de l'opérateur et organisme, description du produit (notamment maille de criblage et durée de compostage), n° du lot et date de fabrication, quantité totale de produit échantillonné, plan d'échantillonnage, date, heure et lieu d'échantillonnage, destination des échantillons, analyses demandées.
- Conserver un échantillon représentatif de celui envoyé au laboratoire, pour effectuer un contrôle en cas de valeurs analytiques aberrantes ou étonnantes. A conserver dans un réfrigérateur ou congélateur (sauf pour analyses microbiologiques).

#### æ Conditions de prélèvements

- Eviter les conditions atypiques (fortes pluies entre autres)

## æ Résumé illustré



\* L'homogénéisation consiste à brasser à la main, dans la caisse, les échantillons élémentaires prélevés dans une section d'andain