HAL open science

Optimisation de l'échantillonnage des déchets ménagers. Application pratique de la méthode de tri sur sec

B. Morvan, J.P. Blanquart, S. Aboulam

To cite this version:

B. Morvan, J.P. Blanquart, S. Aboulam. Optimisation de l'échantillonnage des déchets ménagers. Application pratique de la méthode de tri sur sec. Environnement, Ingénierie & Développement, 2008, N°49 - Janvier-Février-Mars 2008, pp.14-19. 10.4267/dechets-sciences-techniques.1420 . hal-02590558

HAL Id: hal-02590558

https://hal.inrae.fr/hal-02590558

Submitted on 28 Apr 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Optimisation de l'échantillonnage des déchets ménagers Application pratique de la méthode de tri sur sec

Bernard Morvan*, Jean-Philippe Blanquart*, Smaïl Aboulam*

*Cemagref, 17 avenue de Cucillé, 35044 Rennes cedex

Pour tout contact : bernard.morvan@cemagref.fr

Résumé

Pour réaliser un échantillonnage de déchets ménagers selon la norme EN 14899, il faut déterminer le nombre et la masse des prélèvements nécessaires pour constituer un échantillon représentatif, ainsi que le nombre d'analyses nécessaires pour obtenir la précision de mesure souhaitée. Une étude statistique a été réalisée sur un échantillonnage de prélèvements opérés sur des ordures ménagères brutes admises en fosse de réception d'une décharge (Saint-Malo). Les échantillons ont été analysés sur produit sec selon la norme NF XP X30-466.
Les résultats montrent qu'une masse de prélèvement de 18 kg est suffisante pour avoir des distributions normales et donc des résultats représentatifs en ce qui concerne les principaux paramètres des ordures ménagères : matière sèche, matière organique, PCI et les principales catégories définies par la norme XP X30-408.
Les variances d'échantillonnage et d'analyses permettent d'établir un plan d'échantillonnage pour chaque paramètre recherché.

Mots clés
Déchets ménagers, échantillonnage, tri, caractérisation

Introduction

L'échantillonnage des déchets ménagers et assimilés contenus dans une benne à ordures ménagères fait l'objet de la norme XP X30-413. L'objectif de cet article est de pouvoir proposer un mode de prélèvement alternatif, notamment en fosse de réception, sur une période plus étendue, d'une semaine par exemple, pour apporter des solutions et recommandations aux bureaux d'études, collectivités et industriels chargés de ces analyses.
A partir de quand une analyse sera-t-elle représentative ? Combien doit-on prélever ? Pourquoi prélever 10 fois 50 kg pour constituer un échantillon ?
Pour répondre à ces interrogations, nous avons effectué une étude statistique sur des ordures ménagères résiduelles de Saint-Malo après collectes sélectives. Les analyses concernent 22 échantillons différents prélevés en fosse et portent sur :
— la matière sèche,
— la granularité en utilisant des trommels ou cribles rotatifs équipés de trous ronds de 100, 20 et 8 mm,
— les catégories de la norme XP X30-408,
— la matière organique (MO), la matière organique non synthétique (MONS), le pouvoir calorifique inférieur (PCI).

Méthodologie

Prélèvement : Les ordures ménagères ont été prélevées en fosse de réception le 21 novembre 2002, sans mélange préalable, à l'aide du grappin qui déverse son contenu dans le godet du chargeur. Ce godet est ensuite déversé sur 11 récipients de 70 litres. Les 11 récipients de 70 litres étaient pleins.

Séchage : Le contenu de chaque récipient a ensuite été déversé dans 2 bacs de 50 litres. Après ouverture des sacs, les échantillons ont été séchés à 70 °C jusqu'à masse constante (environ une semaine). Nous obtenons donc 22 échantillons différents, mais si nous regroupons les bacs 2 à 2, nous aurons aussi 11 échantillons différents, soit les 11 récipients de 70 litres.

Criblage : Les échantillons sont ensuite criblés aux mailles de 100, 20 puis 8 mm dans un trommel ou crible rotatif ayant 2 m^2 de surface de criblage et obturé aux 2 extrémités. L'arrêt du criblage se fait lorsque la quantité de passant devient négligeable. Cet instant est relativement simple à déterminer avec des produits secs.

Tri manuel : Les fractions granulométriques sont triées selon les catégories et sous-catégories du Modecom figurant dans la norme XP X30-408. Le tri porte sur la totalité des supérieurs à 100 mm, la totalité des 20 à 100 mm, 500 g des 8 à 20 mm. Les inférieurs à 8 mm font l'objet d'une perte au feu à 550 °C sur 200 g environ. Une nouvelle base de données de masses fragmentaires a été établie à partir des fragments issus des tris de Saint-Malo pour pouvoir ensuite utiliser les formules de Gy.

Détermination de la masse M d'un prélèvement élémentaire : Cette masse sera suffisante si la normalité des distributions est vérifiée pour chaque mesure.

Calculs d'erreur : Les formules de P. Gy ont été utilisées pour calculer l'erreur d'analyse minimale engendrée par l'hétérogénéité des fragments dans un échantillon parfaitement mélangé. Ce calcul nécessite une détermination aussi précise que possible des masses de fragments Mf_i.

Optimisation d'un échantillonnage selon la norme européenne EN 14899 : Le calcul de la variance de l'erreur sur l'analyse d'un échantillon de m prélèvements se fait de la manière suivante : $VAR(\text{échantillon}) = \sigma_e^2/m + \sigma_a^2$, avec σ_e^2 la variance entre les m prélèvements élémentaires de masse M, σ_a^2 la variance de l'erreur d'analyse, m le nombre de prélèvements élémentaires pour constituer un échantillon.

Calcul du nombre d'analyses à réaliser :
$n = (u_p / p)^2 VAR(\text{échantillon}) = (u_p / p)^2 (\sigma_e^2/m + \sigma_a^2)$, avec $u_p = 1{,}96$ pour un niveau de confiance de 95 %, p est la précision souhaitée.

L'objectif des mesures est donc de déterminer Mf_i, M, σ_e, σ_a, m et n pour optimiser l'échantillonnage des déchets ménagers.

Résultats des mesures

Les résultats des mesures des 22 échantillons figurent dans les tableaux 1 et 2 pour le séchage et le criblage.

Les tableaux 3 et 4 présentent la composition globale des échantillons triés sur sec. Nous avons auparavant établi 22 tableaux de ce type.

Les résultats de MO (matière organique totale) et de MONS (matière organique non synthétique) intéressent les usines de tri-compostage, les résultats de PCI (pouvoir calorifique inférieur) intéressent les usines d'incinération. Les 22 mesures sont présentées dans le tableau 5.

Le tableau 6 présente les masses unitaires des fragments Mfi triés par tranche granulométrique. Ces mesures seront par la suite utilisées pour calculer les erreurs fondamentales selon la théorie de P. Gy.

Tableau 1 : Résultats du séchage

Numéro	Matière humide (g)	Matière sèche (g)	Matière sèche (% sur humide)
1	8350	4520	54,1
2	6595	3450	52,3
3	6325	4030	63,7
4	9725	5825	59,9
5	7130	3615	50,7
6	9400	5685	60,5
7	10850	5735	52,9
8	5645	2600	46,1
9	8600	4320	50,2
10	10895	5405	49,6
11	11520	6490	56,3
12	9970	5635	56,5
13	10890	5550	51,0
14	8600	4005	46,6
15	10915	5085	46,6
16	8835	3875	43,9
17	6235	3100	49,7
18	7370	4120	55,9
19	7565	3420	45,2
20	6455	3960	61,3
21	11245	5030	44,7
22	10856	6155	56,7
Moyenne	8817	4619	52,5
Ecart-type	1918	1088	5,8

Tableau 2 : Résultats du criblage

Numéro	> à 100 mm (% sur sec)	20 à 100 mm (% sur sec)	8 à 20 mm (% sur sec)	< à 8 mm (% sur sec)
1	26,2	40,9	15,5	17,4
2	25,8	43,9	13,6	16,7
3	34,8	45,2	9,0	11,0
4	37,1	27,2	12,8	22,9
5	33,0	41,2	13,6	12,3
6	41,0	35,6	11,4	11,9
7	14,6	41,5	23,5	20,4
8	18,4	38,4	24,1	19,1
9	32,1	38,6	15,0	14,4
10	19,4	46,3	16,4	17,9
11	34,0	40,6	12,2	13,2
12	37,1	37,5	11,0	14,3
13	37,2	33,4	13,7	15,8
14	36,4	39,6	11,2	12,8
15	23,3	29,6	15,9	31,2
16	33,6	38,5	15,0	12,9
17	27,8	36,9	19,4	15,8
18	45,8	33,6	9,6	11,0
19	4,5	19,2	29,1	47,2
20	51,0	31,6	8,4	9,0
21	21,5	37,0	21,3	20,2
22	19,8	49,7	15,0	15,6
Moyenne	29,74	37,55	15,31	17,41
Ecart-type	10,8	6,8	5,3	8,2

Tableau 3 : Composition sur sec selon les sous-catégories de la norme XP X30-408

Catégories	> à 100 mm	20 à 100 mm	8 à 20 mm	< à 8 mm	Totaux
Déchets alimentaires	0,05	5,24	8,55		13,84
Déchets de jardin	0,50	2,00			2,50
Papiers emballages	0,26	0,74			1,00
Journaux	3,49	0,70			4,19
Magazines	4,55	0,39			4,94
Autres papiers	3,64	1,41	0,12		5,17
Cartons emballages plats	1,70	1,54			3,25
Cartons emballages ondulés	0,77	0,11			0,89
Autres cartons	0,60	0,26	0,04		0,90
Complexes ELA	0,34	0,04			0,37
Complexes emballages	0,33	0,73			1,05
Autres complexes	0,00	0,24	0,10		0,35
Textiles emballages	0,05	0,01			0,07
Autres textiles	3,31	0,68	0,01		4,00
Textiles sanitaires	1,02	3,22	0,01		4,25
Films	3,42	1,27	0,01		4,69
PVC transparent	0,00	0,00			0,00
PET transparent	0,53	0,04			0,58
PEhd - PP	0,19	0,10			0,29
PVC opaque	0,00	0,00			0,00
PET opaque	0,07	0,00			0,07
PSE	0,16	0,11			0,27
Autres plastiques emballages	1,14	2,16			3,30
Autres plastiques	0,74	0,85	0,32		1,91
Bois emballage	0,10	0,19			0,29
Autres emballages combustibles	0,00	0,09			0,09
Autres combustibles non classés	1,58	1,77	0,73		4,08
Verre vert	0,00	2,88			2,88
Verre blanc	0,00	4,38			4,38
Verre brun	0,00	0,07			0,07
Verre autres emballages	0,00	0,00			0,00
Verre autres	0,00	0,22	2,64		2,87
Métaux ferreux emballages	1,03	0,97			2,00
Autres métaux ferreux	0,24	0,09	0,23		0,56
Aluminium emballages	0,11	0,46			0,57
Aluminium autres	0,00	0,00	0,01		0,01
Autres métaux emballages	0,00	0,00			0,00
Autres métaux	0,00	0,14			0,14
Incombustibles non classés emballages	0,00	0,00			0,00
Autres incombustibles non classés	0,06	4,25	2,09		6,41
Déchets spéciaux - Piles	0,00	0,11			0,11
Déchets spéciaux - Aérosols	0,00	0,16			0,16
Déchets spéciaux - Autres	0,00	0,30	0,14		0,43
Eléments fins inférieurs à 8 mm				17,09	17,09
Totaux	**29,97**	**37,93**	**15,01**	**17,09**	**100,00**

Tableau 4 : Composition sur sec selon les catégories de la norme XP X30-408.

Catégories	> à 100 mm (% sur sec)	20 à 100 mm (% sur sec)	8 à 20 mm (% sur sec)	< à 8 mm (% sur sec)	Totaux (% sur sec)
Déchets putrescibles	0,6	7,6	9,1		17,3
Papiers	11,7	3,2	0,1		15,0
Cartons	3,0	1,9	0,0		5,0
Complexes	0,7	1,0	0,1		1,8
Textiles	3,4	0,7	0,0		4,1
Textiles sanitaires	1,0	3,2	0,0		4,2
Films	3,5	1,3	0,0		4,8
Autres plastiques	3,0	3,3	0,2		6,5
Combustibles non classés	1,6	2,1	0,7		4,4
Verre	0,0	6,9	2,4		9,3
Métaux ferreux	1,2	1,0	0,3		2,5
Autres métaux	0,1	0,6	0,0		0,7
Incombustibles non classés	0,0	4,0	2,2		6,3
Déchets spéciaux	0,0	0,6	0,1		0,7
Eléments fins < à 8 mm				17,4	17,4
Totaux	**29,7**	**37,5**	**15,3**	**17,4**	**100,0**

Tableau 5 : Résultats de MO, MONS et de PCI

Numéro	MO % sur sec	MONS % sur sec	PCI sur sec kJ/kg	PCI sur brut kJ/kg
1	55,8	36,6	12159	5464
2	60,5	44,1	13440	5869
3	64,1	38,6	14131	8119
4	68,8	56,0	14426	7664
5	66,3	48,4	14427	6113
6	61,2	41,7	13009	6905
7	46,1	35,6	9925	4097
8	68,9	53,2	14936	5565
9	66,3	39,9	15003	6324
10	53,3	44,5	11368	4412
11	58,4	49,1	12219	5820
12	69,6	46,2	15340	7611
13	65,7	40,4	14566	6229
14	76,3	54,5	16137	6213
15	61,7	52,8	12870	4694
16	69,1	35,7	16187	5732
17	70,9	58,7	15144	6304
18	74,6	56,1	15953	7843
19	51,0	48,5	9991	3182
20	71,0	51,6	16052	8906
21	59,2	51,0	12154	4090
22	49,7	35,2	10894	5121
Moyenne	**63,1**	**46,3**	**13652**	**6012**
Ecart-type	**8,2**	**7,5**	**1978**	**1441**

Tableau 6 : Masses unitaires des fragments secs par tranche granulométrique

Sous-catégories	> à 100 mm (g)	20 à 100 mm (g)	8 à 20 mm (g)
Déchets alimentaires	47,0	3,1	0,91
Déchets de jardin	19,4	1,9	
Papiers emballages	29,0	2,8	
Journaux	83,0	10,6	
Magazines	136,6	13,7	
Autres papiers	25,2	2,6	0,13
Cartons emballages plats	38,3	4,7	
Cartons emballages ondulés	93,2	7,8	
Autres cartons	20,2	1,7	0,17
Complexes ELA	35,8	9,3	
Complexes emballages	19,4	2,1	
Autres complexes		20,8	0,36
Textiles emballages	18,6	3,5	
Autres textiles	164,9	13,9	0,12
Textiles sanitaires	36,3	5,1	0,41
Films	16,1	2,6	0,03
PVC transparent			
PET transparent	37,4	15,1	
PEhd - PP	31,8	34,2	
PVC opaque			
PET opaque	37,9		
PSE	18,1	1,4	
Autres plastiques emballages	20,9	6,2	
Autres plastiques	68,7	6,4	0,16
Bois emballage	14,8	4,8	
Autres emballages combustibles		4,8	
Autres combustibles non classés	200,8	4,6	0,30
Verre vert		15,3	
Verre blanc		15,6	
Verre brun		7,4	
Verre autres emballages			
Verre autres		32,7	0,89
Métaux ferreux emballages	78,5	11,9	
Autres métaux ferreux	78,5	6,1	1,49
Aluminium emballages	23,1	2,7	
Aluminium autres			0,12
Autres métaux emballages		1,3	
Autres métaux		23,6	
Incombustibles non classés emballages			
Autres incombustibles non classés	61,7	8,9	0,60
Déchets spéciaux - Piles		22,1	
Déchets spéciaux - Aérosols		83,6	
Déchets spéciaux - Autres		8,4	0,1

Interprétation des résultats

Détermination de M, la masse minimale d'un prélèvement : 50 kg, un récipient de 70 litres ou moins ?

Des expériences antérieures montrent qu'a priori, 15 kg suffisent. Il est possible de prendre 30 fois la masse unitaire moyenne de 5 % des plus gros fragments, soit 15 kg avec 30 bouteilles en verre, mais cette règle n'est pas correcte pour tous les paramètres recherchés. Prendre des outils ayant une ouverture de 3 fois la plus grande dimension conduit à des prélèvements élémentaires de 50 kg (MODECOM) qui semblent trop importants.
En l'absence d'étude spécifique, la masse minimale d'un prélèvement sera ici déterminée par l'étude de la normalité des distributions à l'aide du test de Shapiro-Wilk (norme NF X06-050). Les problèmes d'estimation et de comparaison de moyennes et de variances impliquent généralement l'hypothèse de normalité des distributions des populations ou lots d'où proviennent les échantillons utilisés.
Une solution pour obtenir une distribution normale ou gaussienne est d'augmenter la masse de l'échantillon. Si ce n'est pas le cas, on peut toujours calculer un écart-type mais on ne pourra pas interpréter en disant qu'avec un niveau de confiance de 0,95, la valeur moyenne est connue à plus ou moins 1,96 fois l'écart-type.

Les résultats de calcul de W, conformément au test de Shapiro-Wilk, figurent dans les tableaux 7 et 8 pour des prélèvements élémentaires de 9 kg. Si $W_{0,95}$ est inférieur à 0,911, l'hypothèse de normalité est rejetée avec un risque d'erreur de 5 %. Les distributions ne sont pas normales pour les chiffres ayant un fond hachuré.

Tableau 7 : Test de Shapiro-Wilk pour des paramètres globaux (22 échantillons de 9 kg)

Critère	Humidité ou MS	MO	MONS	PCI sur sec	PCI sur brut
W	0,957	0,964	0,943	0,931	0.980

Le tableau 7 montre que l'hypothèse de normalité est acceptée pour l'humidité (ou matière sèche), la MO, la MONS, le PCI.

Tableau 8 : Test de Shapiro-Wilk pour les catégories de tri (22 échantillons de 9 kg)

	> à 100 mm (% sur sec)	20 à 100 mm (% sur sec)	8 à 20 mm (% sur sec)	< à 8 mm (% sur sec)	Totaux (% sur sec)
Déchets putrescibles	0,637	0,877	0,786		0,834
Papiers	0,915	0,923	0,873		0,924
Cartons	0,877	0,785	0,843		0,939
Complexes	0,818	0,762	0,521		0,861
Textiles	0,818	0,830	0,488		0,837
Textiles sanitaires	0,813	0,856	0,221		0,832
Films	0,937	0,959	0,427		0,968
Autres plastiques	0,856	0,976	0,557		0,972
Combustibles non classés	0,477	0,652	0,645		0,650
Verre		0,865	0,902		0,881
Métaux ferreux	0,687	0,940	0,422		0,871
Autres métaux	0,488	0,943	0,759		0,928
Incombustibles non classés	0,221	0,899	0,683		0,770
Déchets spéciaux		0,437	0,254		0,495
Eléments fins < à 8 mm				0,729	0,729
Totaux	0,979	0,958	0,907	0,729	

Le tableau 8 montre que l'hypothèse de normalité est acceptée, dans la dernière colonne pour les papiers, cartons, plastiques et métaux non ferreux, dans la dernière ligne pour les fractions supérieures à 20 mm.

Les résultats de calcul de W, conformément au test de Shapiro-Wilk, figurent dans les tableaux 9 et 10 pour des prélèvements élémentaires de 18 kg. Si $W_{0,95}$ est inférieur à 0,850, l'hypothèse de normalité est rejetée avec un risque d'erreur de 5%. Les distributions ne sont pas normales pour les chiffres ayant un fond hachuré.

Tableau 9 : Test de Shapiro-Wilk pour des paramètres globaux (11 échantillons, 18 kg)

Critère	MS	MO	MONS	PCI sur sec	PCI sur brut
W	0,967	0,971	0,900	0,978	0,977

Le tableau 9 montre que l'hypothèse de normalité est acceptée de manière très significative pour l'humidité (ou matière sèche), la MO, la MONS, le PCI.

Tableau 10 : Test de Shapiro-Wilk pour les catégories de tri (11 échantillons de 18 kg)

	supérieurs à 100 mm (% sur sec)	20 à 100 mm (% sur sec)	8 à 20 mm (% sur sec)	inférieurs à 8 mm (% sur sec)	Totaux (% sur sec)
Déchets putrescibles	0,825	0,954	0,905		0,918
Papiers	0,946	0,924	0,945		0,964
Cartons	0,906	0,624	0,894		0,944
Complexes	0,908	0,795	0,663		0,942
Textiles	0,957	0,777	0,688		0,920
Textiles sanitaires	0,859	0,923	0,345		0,920
Films	0,982	0,956	0,552		0,936
Autres plastiques	0,861	0,840	0,681		0,950
Combustibles non classés	0,674	0,798	0,699		0,803
Verre		0,931	0,841		0,890
Métaux ferreux	0,856	0,906	0,492		0,925
Autres métaux	0,499	0,934	0,877		0,940
Incombustibles non classés	0,345	0,943	0,707		0,823
Déchets spéciaux		0,634	0,395		0,712
Eléments fins inférieurs à 8 mm				0,898	0,898
Totaux	0,875	0,892	0,913	0,898	

Le tableau 10 montre qu'avec 18 kg, l'hypothèse de normalité est acceptée pour toutes les fractions granulométriques, toutes les catégories supérieures à 8 mm exceptées des catégories peu présentes : combustibles et incombustibles non classés, déchets spéciaux. C'était le résultat recherché. La normalité n'est pas vérifiée pour des catégories supérieures à 100 mm (putrescibles, combustibles et incombustibles non classés et aluminium), pour des catégories de 20 à 100 mm (cartons, complexes, textiles, autres plastiques que les films, combustibles non classés et déchets spéciaux). Par contre, les résultats sur les papiers et les films plastiques sont hautement significatifs.
On peut conclure qu'une masse de prélèvement élémentaire M de 18 kg est suffisante dans la plupart des cas. En pratique, un récipient de 70 litres suffira.

Détermination de la variance d'échantillonnage σ_e^2

La variance d'échantillonnage ou expérimentale est calculée d'après les 11 résultats d'analyses des récipients de 70 litres de masse M = 18 kg. L'écart-type expérimental figure dans le tableau 11. Pour toutes les mesures ou grandeurs retenues, on a vérifié précédemment que les distributions étaient normales, sauf pour les combustibles et incombustibles non classés et les déchets spéciaux.

Détermination de la variance d'analyse σ_a^2

L'erreur d'analyse sera calculée pour une masse M de 18 kg. Elle comprend une erreur due à la méthode d'analyse et une erreur fondamentale incompressible due à l'hétérogénéité de la matière.

L'erreur due à la méthode d'analyse est considérée comme nulle ou négligeable pour les criblages et les tris manuels, le biais est difficile à mesurer mais doit être constant pour un même opérateur. Par ailleurs, des écarts types de répétabilité ont été indiqués dans des normes pour certaines analyses :
— Humidité ou matière sèche : 0,95% sur brut
— Matière organique : 1,3% sur sec
— PCI sur sec : 210 kJ par kg (100 kJ sur brut)

L'erreur fondamentale est calculée à l'aide des formules de Gy pour connaître la précision d'une mesure si les ordures ménagères étaient parfaitement mélangées. L'objet de ce document n'est pas d'expliquer ces formules. Le lecteur averti peut calculer la plupart des résultats à partir des tableaux 1 à 6. A priori, les variances de prélèvements vont continuer à décroître (d'abord dans la rue, ensuite dans la benne, puis en fosse). En pratique, que peut-on espérer gagner en demandant au pontier de brasser les ordures ménagères en fosse ?
L'écart-type fondamental figure dans le tableau 11. Le rapport des variances expérimentales et fondamentales figure dans la dernière colonne. Ce rapport est proportionnel aux masses triées, donc plus concrètement au travail accompli.

Tableau 11 : Teneur moyenne, écart-type expérimental et fondamental pour M = 18 kg, rapport des variances

Critère		Teneur moyenne	Ecart-type expérimental 11 fois 18 kg	Ecart-type fondamental 18 kg	Rapport des variances
Matière sèche	% sur brut	52,6	4,3	0,9	20,7
MO	% sur sec	63,1	5,7	2,7	4,5
MONS	% sur sec	46,3	4,6	2,0	5,5
PCI sur sec	kJ par kg sec	13650	1230	380	10,6
PCI sur brut	kJ par kg brut	6010	1000	270	13,5
> à 100 mm	% sur sec	29,7	7,2	2,8	6,7
20 à 100 mm	% sur sec	37,5	5,1	1,8	7,7
8 à 20 mm	% sur sec	15,3	3,8	0,7	27,2
< à 8 mm	% sur sec	17,4	4,6	0,8	37,3
Putrescibles	> à 8 mm en % sur sec	17,3	4,3	0,9	22,2
Papiers	> à 8 mm en % sur sec	15,0	6,0	1,0	36,2
Cartons	> à 8 mm en % sur sec	5,0	2,5	1,2	3,9
Complexes	> à 8 mm en % sur sec	1,8	0,8	0,5	2,1
Textiles	> à 8 mm en % sur sec	4,1	2,3	2,4	1,0
Textiles sanitaires	> à 8 mm en % sur sec	4,2	1,8	0,7	5,6
Films	> à 8 mm en % sur sec	4,8	0,8	0,8	1,1
Autres plastiques	> à 8 mm en % sur sec	6,5	1,5	1,1	1,8
Combustibles non classés	> à 8 mm en % sur sec	4,4	3,8	1,7	4,8
Verre	> à 8 mm en % sur sec	9,3	5,0	1,1	21,6
Métaux ferreux	> à 8 mm en % sur sec	2,5	1,7	1,0	2,7
Autres métaux	> à 8 mm en % sur sec	0,7	0,5	0,3	2,8
Incombustibles non classés	> à 8 mm en % sur sec	6,3	3,1	0,7	20,6
Déchets spéciaux	> à 8 mm en % sur sec	0,7	1,2	0,5	6,0
Fines	< à 8 mm en % sur sec	17,4	4,6	0,8	37,3

Le rapport des variances montre que les ordures ménagères ne sont pas bien mélangées en fosse. Mais ce rapport des variances se rapproche de 1 pour les films. Les sacs sont donc très bien mélangés mais leur contenu est variable d'un foyer à un autre. Il sera donc probablement difficile d'opérer sans crever les sacs.

Détermination du nombre de prélèvements élémentaires m et du nombre d'analyse n

Tout dépend de la précision recherchée, du coût du prélèvement et du coût d'une analyse comme l'indique la formule $n = (1{,}96 / p)^2 (\sigma_e^2/ m + \sigma_a^2)$. Les coûts et les situations sont tellement variables qu'il est préférable de donner quelques exemples en se référant au tableau 11.

1er exemple :
Mesurer la teneur en MONS (Matière organique non synthétique) à 2 % près (erreur absolue) dans les ordures ménagères résiduelles sur une période de 6 heures pour une expertise d'usine.
D'après le tableau 11 :
$T_{MONS} = 46{,}3$, M = 18 kg, p = 2, $\sigma_e = 4{,}6$, $\sigma_a = 1{,}3$
D'où $n = 4{,}6^2/m + 1{,}3^2 = 20{,}3/m + 1{,}7$

Compte tenu qu'il n'y a qu'un déplacement, on prendra n = 1, alors m est négatif, la précision demandée est excessive. Dans la pratique, on fera en sorte que la variance d'échantillonnage soit proche de la variance d'analyse, donc 20,3/m = 1,3 ; soit m = 16. En triant 16 récipients de 18 kg, soit 300 kg environ, le résultat sera de 46,3 ± 1,3÷2.

2e exemple :
Mesurer le PCI à 400 kJ/kg près (erreur absolue) dans les ordures ménagères résiduelles sur une période de 6 heures (expertise d'usine).
$T_{PCI} = 6010$ M = 18 kg p = 400 $\sigma_e = 1000$ $\sigma_a = 100$
D'où $n = (1,96/400)^2 \times (1000^2/m + 100^2) = 25/m + 0,2$

Compte tenu qu'il n'y a qu'un déplacement, on prendra n = 4, alors m = 7. Il faudra prélever et analyser 4 fois 126 kg pour espérer avoir la précision souhaitée.

3e exemple :
Caractérisation du gisement d'ordures ménagères résiduelles d'une grande ville sur une année, déterminer les catégories à 2 % près (en valeur absolue).

C'est la teneur en papiers qui a la variance la plus élevée, ensuite c'est le verre (voir le tableau 9).
$t_{papiers} = 15,0$, M = 18 kg, p = 2, $\sigma_e = 6,0$, $\sigma_a = 0$ (car on trie tout)
D'où $n = (1,96/2)^2 \times (6^2/m) = 36/m$

Compte tenu des déplacements (1 par trimestre), on prendra n = 4, alors m = 9. On peut prendre 9 récipients par trimestre, soit 150 à 200 kg en fosse. En un an, on aura trié 650 kg environ. Avec les 4 résultats, on pourra faire des statistiques. Il est évident que l'on peut faire une analyse par mois, mais ce sera plus cher.

4e exemple :
Caractérisation nationale du gisement d'ordures ménagères résiduelles.
Déterminer les catégories à 0,5 % près (en valeur absolue).

C'est la teneur en papiers qui a la variance la plus élevée, ensuite c'est le verre (voir le tableau 9).
$t_{papiers} = 15,0$, M = 18 kg, p = 0,5, $\sigma_e = 6,0$, $\sigma_a = 0$ (car on trie tout)
D'où $n = (1,96/0,5)^2 \times (6^2/m) = 576/m$

Compte tenu de l'importance du travail à accomplir, différentes options peuvent être envisagées :
n = 100 et m = 6
n = 150 et m = 4
n = 200 et m = 3
n = 300 et m = 2
n = 400 et m = 1,5

On pourra optimiser l'échantillonnage en calculant le coût total des opérations d'échantillonnage et d'analyses, en fonction du matériel, des transports, de l'organisation générale, etc.

Le nombre de prélèvements élémentaires m et le nombre d'analyses n dépendent des plans d'échantillonnages. Tout dépend de ce que l'on cherche et des conditions locales. Il n'y a pas de règle établie mais plutôt une démarche à suivre.

Conclusion

On peut conclure qu'une masse de prélèvement élémentaire M de 18 kg est suffisante dans la plupart des cas. En pratique, un récipient de 70 litres suffira.

Les sacs d'ordures ménagères résiduelles sont bien mélangés en fosse, mais leur contenu est variable d'un foyer à un autre. Il sera donc préférable de crever les sacs pour obtenir une répartition aléatoire de leur contenu.

Les erreurs d'analyses sont souvent faibles par rapport aux erreurs d'échantillonnages.

Le responsable de l'échantillonnage a un rôle important à jouer dans la détermination du nombre de prélèvements élémentaires et du nombre d'analyses à réaliser.

Références bibliographiques

AFNOR (avril 2006), Norme NF EN 14899. Caractérisation de déchets - Prélèvements de déchets - Procédure cadre pour l'élaboration et la mise en œuvre d'un plan d'échantillonnage.

Déchets, Sciences et Techniques, n° 20, 4e trimestre 2000, pp. 9 à 11. Méthode de caractérisation des déchets ménagers : analyse sur produit sec.

AFNOR (mars 2005), Norme NF XP X30-466 - Déchets ménagers et assimilés. Méthodes de caractérisation - Analyse sur produit sec.

Manuel méthodologique MODECOM (mars 1993), Collection Connaître pour agir - Guides et cahiers techniques - Ademe.

AFNOR (octobre 1996), Norme NF XP X30-408. Déchets - Caractérisation d'un échantillon de déchets ménagers et assimilés.

AFNOR (juin 1997), Norme NF XP X30-413. Déchets - Constitution d'un échantillon de déchets ménagers et assimilés contenus dans une benne à ordures ménagères.

AFNOR (juillet 1975), Norme NF X06-050. Statistique et qualité. Etude de la normalité d'une distribution.