
L'échantillonnage des déchets ménagers

Bernard Morvan

Nous présentons ici les résultats d'une étude sur la comparaison de deux méthodes d'échantillonnage de déchets ménagers. Cette étude a pour but de justifier une méthode plutôt qu'une autre, afin de répondre à une demande croissante d'analyses de la part des collectivités locales qui s'inquiètent à juste titre des fortes hausses des dépenses du secteur déchets.

En effet, les collectivités locales se sont engagées dans la voie de la récupération des matériaux. Pour augmenter les taux de récupération, les ménages doivent trier leurs déchets à la source dans deux ou trois poubelles.

Le bilan économique global fait ressortir un coût supplémentaire de 15 % par rapport à une collecte classique, ce qui n'empêche pas le nombre d'habitants disposant de plusieurs poubelles d'augmenter rapidement et de dépasser le million d'habitants en France.

Les collectivités ont vu le coût de la collecte et du traitement augmenter de 120 F par tonne d'ordures ménagères soit 40 F par habitant. Pour un million d'habitants cela représente déjà un surcoût de 40 millions de francs par an. Avant d'étendre le système de collecte à 20 millions d'habitants comme en Allemagne, il paraît important de disposer de données techniques et économiques fiables.

Des forums de concertation ont été organisés par la Communauté Economique Européenne à l'initiative de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) pour harmoniser les méthodes de caractérisation des déchets ménagers.

Un consensus a pu être trouvé pour classer les déchets. En revanche, chaque laboratoire ou chaque pays préconise sa méthode de prélèvement : dans la rue notamment pour l'Allemagne, l'Angleterre, le Luxembourg ; à partir d'une benne entière pour la France et les Pays-Bas.

Ces approches différentes s'expliquent par la différence d'objectif des types de collectes particuliers, les habitudes des laboratoires, et on pourrait ajouter, la réglementation et les contraintes financières.

En ce qui concerne les objectifs des analyses, les laboratoires qui opèrent des prélèvements sur rue sont plutôt animés par des objectifs universitaires ou sociologiques : caractérisation des ordures ménagères en fonction de la composition de la famille, du type d'habitat, des activités commerciales et artisanales, connaissance du pouvoir calorifique inférieur (PCI) des déchets d'un syndicat, selon la commune ou la saison. Par contre les collectivités territoriales et les entreprises de traitement de déchets s'intéressent au produit déchargé par les bennes.

A propos des types de collecte, de plus en plus de collectes sélectives ou séparatives se mettent en place actuellement : verre, PVC, déchets verts, poubelle verte de déchets putrescibles (déchets verts et déchets alimentaires), corps creux (flacons plastiques, boîtes de conserve, verre), corps plats (papiers, cartons). Il reste alors une poubelle grise constituée des autres ordures ménagères brutes non récupérées.

Chaque laboratoire a ses « habitudes », il dispose de matériels différents. Celui qui possède un cri-

Bernard Morvan
Cemagref
17, av. de Cucillé,
35044 Rennes Cedex

ble mécanique aura tendance à trier et échantillonner plus finement des déchets humides pour diminuer ses besoins en séchage. A l'inverse un autre laboratoire préférera sécher tout l'échantillon pour le trier ensuite dans des conditions sanitaires plus satisfaisantes.

Enfin, les contraintes des collectivités et des entreprises de collecte doivent définir des objectifs de qualité et d'efficacité des collectes, par exemple du verre à moins de 0,5 % d'impuretés, avec un taux de récupération de 70 % par rapport au gisement des ordures ménagères.

Ces objectifs peuvent également être définis par la réglementation mais il est évident qu'il faudra tenir compte des contraintes budgétaires. Récemment une ville de 500 000 habitants en Allemagne a consacré 800 kF à l'analyse des ordures ménagères, ce n'est pas le cas dans les pays du sud de l'Europe et en France.

L'échantillonnage

■ Objectifs de l'échantillonnage

Un échantillonnage se conçoit toujours vis-à-vis d'une grandeur à mesurer. Si plusieurs grandeurs sont à prendre en compte, il importe de les hiérarchiser.

Il appartient à l'opérateur de hiérarchiser les grandeurs. Le MODECOM, (méthode de caractérisation des ordures ménagères (1993), mis en place à l'initiative de l'Ademe, a retenu l'humidité comme principale grandeur, puis 13 catégories de tri ont été retenues (encadré 1).

Les catégories de tri des déchets ménagers

- déchets putrescibles,
- papiers,
- cartons,
- complexes,
- textiles,
- textiles sanitaires,
- plastiques,
- combustibles non classés,
- verres,
- métaux,
- combustibles non classés,
- déchets ménagers spéciaux,
- fines inférieures à 20 mm.

Selon les objectifs, ces 13 catégories seront hiérarchisées, il est évident que la teneur en verre est plus importante que la teneur en combustibles non classés, sauf exception.

Les principales grandeurs à mesurer peuvent être :

- pour le tri et la récupération des ordures ménagères : le verre, le papier-carton, les métaux, les fermentescibles, les déchets verts, les matières plastiques, les piles,

- pour le compostage : l'humidité, la matière organique, les inertes (verre, métaux, matières plastiques),

- pour l'incinération : le PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur), l'humidité, le taux de cendres potentiel, le chlore, le soufre.

L'échantillon sera représentatif s'il est juste et reproductible, c'est-à-dire si le biais et la variance sont inférieurs à une valeur de référence fixée à l'avance. A partir d'une masse à prélever, on calculera *a posteriori* la précision de la mesure ; inversement, à partir de la précision souhaitée, on déduira la masse à analyser.

La stratégie d'échantillonnage doit également tenir compte des moyens financiers ou matériels mis en œuvre.

■ Les outils statistiques

L'erreur expérimentale

Après avoir analysé séparément n prélèvements dans la rue, on obtient une moyenne et une variance expérimentale donc une estimation de la représentativité. Nous devons vérifier au préalable pour quelles grandeurs recherchées les distributions sont normales ou gaussiennes.

L'erreur fondamentale

La théorie de l'échantillonnage des matières morcelées (établie par GY P, 1983) permet, à partir d'une analyse, de calculer la moyenne et la variance de l'erreur fondamentale due à l'hétérogénéité de constitution de la matière. Cette erreur est une erreur minimale, elle ne s'annule jamais et se calcule à l'aide d'une formule (encadré 2).

La variance totale de l'erreur d'échantillonnage est la somme des variances de l'erreur fondamentale, de l'erreur de ségrégation, et de toutes les autres erreurs, dont l'erreur de pesée. D'après GY P, (1983),

pour un échantillonnage correct, la variance totale doit être inférieure à deux fois la variance de l'erreur fondamentale.

L'observation des termes de la somme effectuée pour obtenir Z nous renseigne sur l'origine des erreurs.

La validité des calculs a été vérifiée de plusieurs manières, par l'expérimentation et en appliquant la méthode de Monte-Carlo.

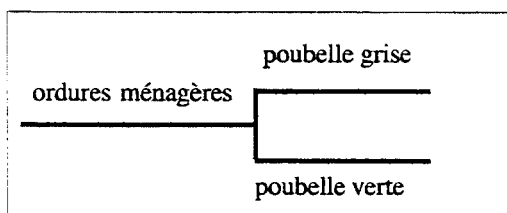
Le bilan matière

Le logiciel BILCO a été mis au point par le BRGM (bureau de recherches géologiques et minières) en 1990. Il permet d'obtenir un « bilan matière » cohérent.

Il calcule les estimateurs des débits, des teneurs et des rendements à partir des équations de conservation de la matière à chaque nœud et des précisions de mesures. Les précisions sont calculées pour les débits et les teneurs estimées.

Il a l'avantage d'effectuer des calculs statistiques sur des produits de variables aléatoires, (flux x teneur) par exemple.

Le logiciel sera utilisé dans le cas présent pour déterminer notamment l'efficacité de la collecte sélective des fermentescibles et cartons de la poubelle verte par rapport au gisement des ordures ménagères selon le schéma ci-dessous :



Avec un nœud, trois flux et trois constituants (eau, fermentescibles, fermentescibles + cartons + fines), le logiciel va déjà résoudre un système de 16 équations à 16 inconnues.

L'expérimentation mise en place à Niort

Le but de l'expérimentation mise en place à Niort est de comparer les variances des erreurs obtenues à l'issue des deux méthodes d'échantillonnage : d'une part prélèvements élémentaires dans la rue, d'autre part échantillonnage sur une benne de collecte selon le protocole MODECOM.

Calcul de l'erreur fondamentale

$$s_r^2(EF) = (1-p) (\sum [(a_i - a_l) / a_l]^2 t_i M_{Fi}) / M_s = (1-p) Z / M_s$$

Dans laquelle :

- $s_r^2(EF)$: variance relative de l'erreur fondamentale
- p : proportion de l'échantillon par rapport au lot
- i : indice d'une classe de fragments
- a_i : grandeur recherchée pour le fragment d'indice i
- a_l : grandeur recherchée du lot
- t_i : teneurs des fragments d'indice i dans le lot
- M_{Fi} : masse du fragment d'indice i
- M_s : masse de l'échantillon
- Z : facteur d'hétérogénéité exprimé en grammes.

Nous avons retenu le site de Niort qui nous permettrait d'effectuer la comparaison sur deux poubelles à la fois. Par ailleurs A. Resse (Cemagref) effectue des suivis de collectes séparatives à Niort depuis 1993.

La ville de Niort a mis en place une collecte séparative de déchets fermentescibles en mettant à disposition deux poubelles par foyer dans les zones pavillonnaires, une poubelle verte pour les fermentescibles avec quelquefois des cartons, une poubelle grise pour le reste des ordures ménagères.

15 poubelles grises et 15 poubelles vertes ont été prélevées à Niort le 13 juin 1995. Les prélèvements ont été effectués au hasard dans neuf rues situées dans deux quartiers différents. Les poubelles ont ensuite été analysées séparément. Pour l'expérimentation, nous avons arbitrairement choisi d'échantillonner les foyers qui présentaient leurs deux poubelles à la collecte.

Les grandeurs mesurées ont été successivement : la masse du prélèvement, la matière sèche ou l'humidité, la granulométrie aux mailles rondes de 100, 40 et 20 mm, les catégories de tri selon le MODECOM par tranches granulométriques.

Les résultats bruts figurent dans des tableaux et graphiques. Tableau n°1 et graphique n°1 : composition de la poubelle grise ; tableau n°2 et graphique n°2 : composition de la poubelle verte.

Après séchage, les fermentescibles tombent en majeure partie en poussières, donc dans les fines inférieures à 20 mm. La constitution de la poubelle verte comprendra donc les fermentescibles, les cartons et les fines. Les erreurs dues aux fines non fermentescibles sont minimales.

N° des prélèvements	Poids humide		Poids sec		Eau	Déchets putrescibles	Papiers	Cartons	Composites	Textiles	Textiles sanitaires	Films plastiques	Plastiques	Combustibles non classés	Verres	Métaux	Incombustibles non classés	Déchets spéciaux	Fines <20 mm
	Poids humide	Poids sec	Poids humide	Poids sec															
1g	8945	7047	1898	543	4876	346	37	1	0	82	514	0	144	132	8	106	258		
2g	8405	5243	3162	9	1610	466	269	21	819	281	1088	19	0	388	6	11	256		
3g	22085	15548	6537	155	1876	930	582	275	1413	327	1692	92	6087	1026	54	68	971		
4g	3230	2340	890	176	527	108	0	7	1	70	178	17	378	575	0	6	297		
5g	9300	5132	4168	85	1702	356	128	498	7	342	584	20	283	172	85	129	741		
6g	6390	4863	1527	23	1580	147	83	47	28	99	372	3	1303	26	478	10	664		
7g	2065	1928	137	0	65	0	117	0	0	228	686	8	235	539	0	0	50		
8g	6925	2733	4192	165	0	0	0	0	1	0	0	257	0	0	0	55	2255		
9g	3450	2409	1041	110	493	559	106	0	0	41	106	1	306	203	183	0	301		
10g	1165	748	417	28	53	103	28	10	1	69	309	0	39	4	0	35	69		
11g	4230	3435	795	271	1034	196	162	0	140	47	203	7	903	148	18	0	306		
12g	11495	7762	3733	139	983	1145	121	543	147	140	534	44	1806	225	946	98	891		
13g	2540	1734	806	0	816	26	38	23	0	74	109	51	420	0	0	112	65		
14g	8930	5675	3255	32	1507	282	232	98	169	198	920	265	565	389	338	9	671		
15g	3720	2860	860	106	1287	134	38	6	12	65	345	14	204	212	0	270	167		
TOTAL	102875	69459	33416	1842	18409	4798	1941	1529	2739	2063	7640	798	12673	4039	2116	909	7962		

▲ Tableau 1. - Composition de la poubelle grise - Résultats en grammes

A la lecture de ces tableaux, on constate que le numéro 8 est anormal, un sac de déchets ménagers n'aurait pas dû se trouver dans la poubelle verte. Les ménages numérotés 7 et 13 sont les seuls à avoir pensé qu'ils pouvaient mettre les cartons avec les déchets fermentescibles.

■ **Calcul des erreurs expérimentales du prélèvement dans la rue**

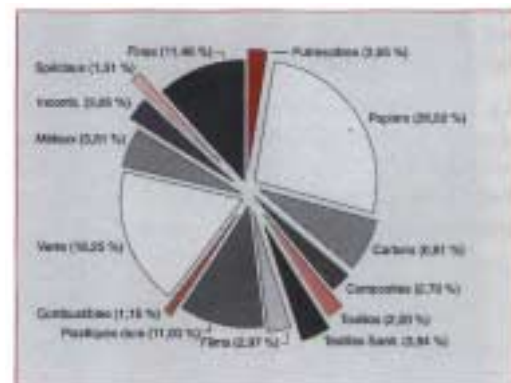
Le calcul des écarts-types peut être fait pour toutes les catégories, mais visiblement certaines distributions ne sont pas normales au sens statistique.

Le test de normalité de Shapiro-Wilk est le plus puissant des tests pour les petits échantillons, il montre que les distributions de certaines grandeurs sont déjà normales avec les quantités prélevées. Avec un risque d'erreur de 5 %, la normalité est vérifiée :

- pour l'eau et l'ensemble fermentescibles, cartons et fines de la poubelle grise,

Tableau n° 3. - Ecart-types relatifs du prélèvement sur rue ▼

Grandeur	Poubelle grise moyenne (%)	Ecart-type relatif (%)	Poubelle verte moyenne (%)	Ecart-type relatif (%)
Masse analysée (g)	102 875	19,9	167 000	19,6
Humidité (% sur brut)	32,5	10,4	60,7	6,4
Fermentescibles (% sur sec)	2,65	24,7	22,4	18,5
Fermentescibles + cartons + fines (% sur sec)	21,02	22,1	88,75	3,7



▲ Graphique 1. - Poubelle grise (% sur sec)

- pour la matière sèche, les fines et l'ensemble fermentescibles, cartons et fines de la poubelle verte.

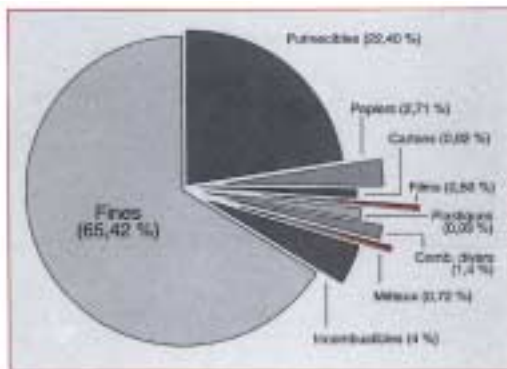
On ne retiendra donc que les principales grandeurs dans le tableau n°3.

Le rendement de la collecte séparative est mesuré par le rapport déchets de la poubelle verte sur déchets des ordures ménagères (poubelle grise + poubelle verte). Ce rapport figure dans le tableau n°4 du logiciel BILCO sous la désignation rendement.

Il en résulte que l'efficacité de la mise en place de la collecte séparative mesurée par prélèvement dans la rue est évaluée avec une certaine précision relative dans le tableau n°5.

L'échantillonnage des déchets ménagers

N° des prélèvements	Poids humide			Déchets putrescibles	Poids sec														
	Poids humide	Poids sec	Eau		Papiers	Cartons	Composites	Textiles	Textiles sanitaires	Films plastiques	Plastiques	Combustibles non classés	Verres	Métaux	Incombustibles non classés	Déchets spéciaux	Fines <20 mm		
1v	14670	6044	8626	1628	3	0	0	0	0	6	1	0	0	0	96	0	4310		
2v	32045	10034	22011	2923	372	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	6718		
3v	13545	6710	6835	467	104	0	8	14	0	0	25	149	0	0	2066	0	3877		
4v	10910	3721	7189	217	0	0	0	1	0	0	0	406	0	0	84	0	3013		
5v	7630	1585	6045	414	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	1167		
6v	5280	1213	4067	671	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	541		
7v	4210	1546	2664	81	535	421	0	0	0	4	6	7	0	0	20	0	472		
8v	10660	7311	3349	124	628	32	35	9	17	314	545	6	0	470	1	18	5112		
9v	7245	2588	4657	1534	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1054		
10v	5015	1368	3647	229	0	0	0	0	0	0	0	122	0	0	0	0	1017		
11v	8225	2777	5448	1412	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68	0	1292		
12v	28370	8994	19376	2503	0	0	0	0	0	0	1	191	0	0	418	0	5881		
13v	9080	5546	3534	1490	121	150	0	0	0	0	49	0	0	0	329	0	3407		
14v	2380	713	1667	191	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	518		
15v	7735	5100	2635	735	0	0	0	0	0	3	0	0	4	0	52	0	4306		
Total	167000	65251	101749	14619	1770	603	43	24	17	327	648	881	4	472	3087	70	42685		



▲ Graphique 2. - Poubelle verte (%) sur sec

■ Calcul des erreurs d'échantillonnage pour le prélèvement sur benne de collecte

Le prélèvement sur benne de collecte consiste succinctement à prélever 500 kg en dix prélèvements élémentaires sur une benne de huit tonnes à l'aide d'un mini chargeur type « bobcat ».

Pour nous permettre de comparer les résultats nous effectuons le calcul théorique avec les masses du prélèvement dans la rue de notre expérimentation. Pour la ville de Niort, nous estimons que le prélèvement est négligeable par rapport au gisement, en conséquence le facteur $(1 - p)$ sera pris égal à 1.

▲ Tableau 3. - Composition de la poubelle verte. Résultats en grammes

Tableau 4. - Application du logiciel Bilco au prélèvement sur rue ▼

Flux		Débit		Eau		Fermentescibles		Ferm. + cartons + fines	
		Kg	écart-type relatif (%)	Teneur %	écart-type relatif (%)	Teneur %	écart-type relatif (%)	Teneur %	écart-type relatif (%)
Valeurs mesurées	Ordures ménagères	270000,0	100,0	50,0	100,0	12,0	100,0	50,0	100,0
	Poubelle grise	102875,0	19,9	32,5	10,4	2,7	24,7	21,0	22,1
	Poubelle verte	167000,0	19,6	60,7	6,4	22,4	18,5	88,8	3,7
Valeurs calculées avec les rendements en %	Ordures ménagères	Kg	Rendement	%	Rendement	%	Rendement	%	Rendement
	Poubelle grise	269875,0	100,0	50,0	100,0	12,2	100,0	53,9	100,0
	Poubelle verte	102875,0	38,1	32,5	24,8	2,7	11,1	21,0	20,0
Ecart-type relatif des valeurs calculées ci-dessus	Ordures ménagères	Kg	Rendement	%	Rendement	%	Rendement	%	Rendement
	Poubelle grise	167000,0	61,9	60,7	75,2	22,4	88,9	88,7	80,0
	Poubelle verte	14,1	0,0	6,6	0,0	18,7	0,0	9,1	0,0
	Poubelle grise	19,8	17,2	10,4	23,0	24,7	33,8	22,1	24,9
	Poubelle verte	19,4	10,5	6,4	7,3	18,2	3,6	3,7	6,0

	Rendement de la collecte séparative (%)	Ecart-type relatif %
Masse prélevée	61,9	10,5
Eau	75,2	7,3
Fermentescibles	88,9	3,6
Fermentescibles + cartons + fines	79,9	6,0

▲ Tableau n° 5. - Rendement de la collecte séparative du prélèvement sur rue

Rappelons la formule de calcul de l'écart-type :

$$s_r^2 \text{ (éch. sur benne)} \leq 2s_r^2 \text{ (erreur fondamentale) avec } 2s_r^2 \text{ (E F)} = 2 \sum [(a_i - a_r)/a_i]^2 \tau_i M_{ri} / M_r = 2 Z / M_r$$

Le lot de déchets sortant d'une benne n'est certes pas homogénéisé, mais à partir de la rue il a été mélangé trois fois : à l'arrière et dans la benne, au déversement sur aire, et avec le mini-chargeur. Des expériences préalables ont montré que dans ce cas, en prenant deux fois la variance de l'erreur fondamentale, on est proche de la réalité.

▼ Tableau n° 6. - Calculs d'erreur pour l'humidité de la poubelle grise

Les tableaux n°6 et n°7 présentent les calculs d'erreur pour l'humidité de la poubelle grise et de la poubelle verte.

Pour l'élaboration de ces deux tableaux, nous avons repris des moyennes nationales de masses fragmentaires (M_{ri}), et d'humidité (a_i) de chaque constituant selon la granulométrie. Ces moyennes ont été obtenues par le Cemagref ; par contre les teneurs (τ_i) ont été mesurées lors de notre expérimentation.

L'écart-type relatif de l'humidité du prélèvement sur benne est de 2,4 % pour la poubelle grise, il est de 0,40 % pour la poubelle verte.

L'observation des résultats, et notamment la répartition des termes de la somme qui permet de calculer Z, montre que les erreurs sur l'humidité de la poubelle grise proviennent à 50 % du verre, à 23 % des textiles sanitaires, à 11 % des déchets fermentescibles.

Pour la poubelle verte, les erreurs sur l'humidité proviennent à 49 % des combustibles non classés, à 14 % des combustibles non classés, à 11 % des papiers, à 9 % des déchets fermentescibles.

Catégories	Déchets putrescibles	Papier	Carton	Composites	Textile	Textiles sanitaires	Film plastiques	Plastiques durs	Combustibles	Verre	Métaux	Incombustibles	Déchets spéciaux	Fines	Total
Humidité > 100 (%)	61,8	31,1	21,1	29,0	25,0	50,3	28,0	5,7	14,1	2,3	11,5	13,2	15,0		
Humidité 40 - 100 (%)	69,5	45,7	44,5	42,9	39,7	62,3	53,0	46,4	42,9	0,8	7,8	7,5	13,3		
Humidité 20 - 40 (%)	69,2	28,0	62,0	58,0	18,8	63,3	0,0	27,5	2,9	4,3	2,5	10,7	0,0		
> 100 Poids	629	23443	5217	1885	1592	4515	2026	5107	661	1002	2600	0	546		49224
40 à 100 Poids	2031	3867	1191	971	504	1192	1262	4838	61	11535	1733	722	430		30336
20 à 40 Poids	3192	220	48	114	38	121	11	323	201	263	143	1621	72		6367
< 20 Poids														16947	16947
Poids (g)	5851	27529	6457	2971	2134	5828	3299	10267	924	12801	4475	2343	1048	16947	102875
Masse fragmentaire >100 (g)	173	50	19	31	140	365	10	40	92	171	82	91	20		
Masse fragmentaire 40-100 (g)	75	14	20	14	58	197	10	25	52	124	27	193	18		
Masse fragmentaire 20-40 (g)	13	2	5	1	8	3	0,2	4	7	7	4	15	22,6		
z1	0,865	0,021	0,119	0,006	0,115	4,806	0,004	1,345	0,189	1,435	0,868	0,000	0,031	0,000	9,803
z2	1,919	0,087	0,032	0,013	0,014	1,929	0,049	0,216	0,003	13,222	0,263	0,804	0,026	0,000	18,577
z3	0,516	0,000	0,002	0,001	0,001	0,003	0,000	0,000	0,011	0,013	0,005	0,107	0,016	0,000	0,675
Somme Zi (g)	3,300	0,108	0,153	0,021	0,129	6,738	0,053	1,561	0,203	14,670	1,136	0,910	0,073	0,000	29,055
Zi / Z	0,11	0,00	0,01	0,00	0,00	0,23	0,00	0,05	0,01	0,50	0,04	0,03	0,00	0,00	1,00

Catégories	Déchets putrescibles	Papier	Carton	Composites	Textile	Textiles sanitaires	Film plastiques	Plastiques durs	Combustibles	Verre	Métaux	Incombustibles	Déchets spéciaux	Fines	Total
> 100 (%) Humidité	61,8	31,1	21,1	29,0	25,0	50,3	28,0	5,7	14,1	2,3	11,5	13,2	15,0		
40 - 100 (%) Humidité	69,5	45,7	44,5	42,9	39,7	62,3	53,0	46,4	42,9	0,8	7,8	7,5	13,3		
20 - 40 (%) Humidité	69,2	28,0	62,0	58,0	18,8	63,3	0,0	27,5	2,9	4,3	2,5	10,7	0,0		
> 100 Poids	18920	1917	662	0	0	0	317	475	526	0	98	78	0		22995
40 à 100 Poids	10323	735	142	47	31	11	211	299	581	0	412	502	21		13316
20 à 40 Poids	13809	70	3	38	6	35	0	55	100	4	5	2859	52		17037
< 20 Poids														113653	113653
Poids (g)	43052	2722	807	85	38	46	528	829	1208	4	516	3440	73	113653	167000
Masse fragmentaire >100 (g)	173	50	19	31	140	365	10	40	92	171	82	91	20		
Masse fragmentaire 40-100 (g)	75	14	20	14	58	197	10	25	52	124	27	193	18		
Masse fragmentaire 20-40 (g)	13	2	5	1	8	3	0,2	4	7	7	4	15	22,6		
z1	0,004	0,138	0,032	0,000	0,000	0,000	0,006	0,093	0,171	0,000	0,032	0,026	0,000	0,000	0,502
z2	0,091	0,004	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,003	0,016	0,000	0,051	0,447	0,001	0,000	0,616
z3	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,175	0,007	0,000	0,207
Somme Zi (g)	0,115	0,142	0,034	0,000	0,001	0,000	0,006	0,096	0,191	0,000	0,083	0,648	0,008	0,000	1,325
Zi / Z	0,09	0,11	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,14	0,00	0,06	0,49	0,01	0,00	1,00

▲ Tableau n° 7. - Calculs d'erreur pour l'humidité de la poubelle verte

Nous ne reproduirons pas dans cet article les calculs pour les fermentescibles et l'ensemble fermentescibles, cartons, fines étant donné la lourdeur des calculs. L'essentiel des résultats est repris dans le tableau n°8.

L'écart-type relatif sur chaque flux a été calculé pour huit tonnes avec la même dispersion de constitution entre poubelles. L'erreur de pesée d'une benne est négligeable ; la précision d'un pont-basculé est généralement de 20 kg.

Pour l'efficacité de la collecte séparative, la démarche de calcul avec le logiciel BILCO est la même que pour le prélèvement sur rue. Les résultats figurent dans le tableau n° 9.

Pour la même masse à analyser que sur la rue avec pesée des bennes « vertes » et des bennes « grises », l'efficacité de la mise en place de la collecte séparative mesurée par prélèvement MODECOM sur benne est évaluée dans le tableau n° 10.

Comparaison des résultats

■ Le prélèvement dans la rue : moins précis

La variance des erreurs étant inversement proportionnelle à la masse prélevée, le rapport des variances de prélèvement dans la rue et des variances de prélèvement sur benne nous donnera les masses à prélever sur la rue pour obtenir la même précision que l'échantillonnage sur benne.

Les principaux résultats figurent dans le tableau n° 11.

▼ Tableau n° 8. - Ecart-types relatifs du prélèvement sur benne

Grandeur	Poubelle grise moyenne (%)	Ecart-type relatif (%)	Poubelle verte moyenne (%)	Ecart-type relatif (%)
Masse analysée (g)	102 875	2,25	167 000	2,83
Humidité (% sur brut)	32,5	2,38	60,7	0,40
Fermentescibles (% sur sec)	2,65	14,3	22,4	5,75
Fermentescibles + cartons + fines (% sur sec)	21,02	4,48	88,75	1,12

Flux		Débit		Eau		Fermentescibles		Ferm. + cartons + fines	
		Kg	écart-type relatif (%)	Teneur %	écart-type relatif (%)	Teneur %	écart-type relatif (%)	Teneur %	écart-type relatif (%)
Valeurs mesurées	Ordures ménagères	270000,0	100,0	50,0	100,0	12,0	100,0	50,0	100,0
	Poubelle grise	102875,0	2,3	32,5	2,4	2,7	10,4	21,0	4,5
	Poubelle verte	167000,0	2,8	60,7	0,4	22,4	5,8	88,8	1,1
Valeurs calculées avec les rendements en %	Ordures ménagères	269875,0	100,0	50,0	100,0	12,2	100,0	53,9	100,0
	Poubelle grise	102875,0	38,1	32,5	24,8	2,7	11,1	21,0	20,0
	Poubelle verte	167000,0	61,9	60,7	75,2	22,4	88,9	88,8	80,0
Ecart-type relatif des valeurs calculées ci-dessus	Ordures ménagères	2,0	0,0	6,6	0,0	5,6	0,0	1,7	0,0
	Poubelle grise	2,3	2,2	10,4	3,3	14,3	13,9	4,5	4,3
	Poubelle verte	2,8	1,4	6,4	1,1	5,7	1,7	1,1	1,1

▲ Tableau 9. - Application du logiciel Bilco au prélèvement sur benne

	Rendement de la collecte séparative (%)	Ecart-type relatif %
Masse prélevée	61,9	1,38
Eau	75,2	1,08
Fermentescibles	88,9	1,73
Fermentescibles + cartons + fines	79,9	1,09

▲ Tableau 10. - Rendement de la collecte séparative du prélèvement sur benne

Type de collecte	Grandeur mesurée	Prélèvement écart-type relatif (%)		Rapport des variances
		sur rue	sur benne	
Poubelle grise	Masse	19,9	2,25	78
	Humidité	10,4	2,38	19
	Fermentescibles	24,7	14,30	3
	Ferm. + cartons + fines	22,1	4,50	24
Poubelle verte	Masse	19,6	2,83	48
	Humidité	6,4	0,40	256
	Fermentescibles	18,5	5,75	10
	Ferm. + cartons + fines	3,7	1,12	11
Rendement de la collecte séparative p. verte/p. grise	Masse	10,5	1,38	58
	Humidité	7,3	1,08	46
+ p. verte)	Fermentescibles	3,6	1,73	4,3
	Ferm. + cartons + fines	6	1,09	30

▲ Tableau 11. - Comparaison des deux méthodes d'échantillonnage

▼ Tableau 12. - Coûts des deux méthodes d'échantillonnage

Opération	Prélèvement sur rue	Prélèvement sur benne
Collecte	1320 F	3200 F
Echantillonnage	0	3000 F
Tri	3520 F	3520 F
Calculs	1760 F	1760 F
Totaux	6600 F	11480 F

Le résultat le plus important est qu'à précision égale la mesure du rendement de la collecte séparative nécessite de trier 30 fois plus de déchets si on prélève dans la rue.

■ Le prélèvement dans la rue : moins cher

L'évaluation est faite pour un échantillon de 500 kg.

Prélèvement dans la rue

La collecte de 500 kg se fait en trois heures avec deux personnes, l'échantillonnage se fait simultanément. Le tri de 500 kg nécessite quatre heures de travail pour quatre personnes, la mise forme des résultats quatre heures pour deux personnes.

Prélèvement sur benne

Il est nécessaire de mobiliser une benne de collecte à 400 F la tonne, l'échantillonnage MODECOM avec location d'un bobcat coûte 3 000 F, les opérations de tri sont identiques au cas précédent.

Le prélèvement dans la rue s'avère donc être environ deux fois moins onéreux que le prélèvement sur benne (tableau n°12).

Préférer l'échantillonnage à la benne de collecte

Dans la pratique, il est préférable pour un laboratoire d'attendre une benne de collecte en fin de matinée à l'usine de traitement que de collecter des poubelles sur la rue à six heures du matin. Avec la même quantité à trier manuellement, la mesure du rendement de la collecte séparative sera deux fois plus coûteuse mais la variance de l'erreur sera 30 fois plus faible.

Le prélèvement dans la rue sera réservé à des cas particuliers, lorsque la préservation des échantillons n'est pas garantie : mesure du verre cassé dans une benne de collecte, souillure de matériaux récupérables par exemple.

L'expérimentation a permis de mesurer la dispersion entre foyers pour la poubelle grise et la poubelle verte. Ce type de mesure mérite d'être étendu à d'autres types de collectes séparatives : verre, PVC, corps creux, corps plats, etc.

Ces résultats sont particulièrement utiles pour les laboratoires qui prélèvent dans la rue. Ils doivent savoir si les distributions ont quelques chances d'être normales. La stratégie d'échantillonnage sera revue en fonction des résultats : inutile par exemple de consacrer 20 kF à trier 500 kg d'ordures ménagères pour mesurer le rendement d'une collecte séparative avec une précision relative de 40 % seulement. □

Résumé

Comment avoir un échantillon représentatif de déchets ménagers ? Une expérience est menée à Niort sur deux types de poubelles. La poubelle verte recueille les déchets fermentescibles et les cartons, la poubelle grise contient le reste. La dispersion des résultats entre ménages est mesurée par 15 prélèvements sur la rue. La précision des mêmes résultats est calculée pour un prélèvement d'échantillon à partir d'une benne. La précision sur le rendement de la collecte séparative est évaluée à l'aide du logiciel BILCO. La comparaison des écarts-types obtenus par les deux méthodes montre que le prélèvement sur benne est beaucoup plus précis. Le prélèvement dans la rue sera réservé à des cas particuliers, lorsque la préservation des échantillons n'est pas garantie.

Abstract

How can a representative sample of household waste be obtained ? An experiment is being carried out in Niort on two types of dustbin. The green dustbin contains biodegradable waste and cardboard : the grey dustbin contains the rest. The differences between households are measured by taking 15 samples on the street. The accuracy of these results is calculated using a sample taken from a skip. The accuracy of the separation coefficient of the selective collection is evaluated using the BILCO computer program. A comparison of the standard deviations obtained by the two methods shows that the sampling per skip is much more accurate. Sampling on the street will be reserved for special cases where it is not possible to ensure that samples are preserved.

Bibliographie

- MODECOM, 1993. Méthode de caractérisation des ordures ménagères, Ademe, 61 p.
- GY, P., 1988. Hétérogénéité, Echantillonnage, Homogénéisation, Paris, Masson (Ed.), 608 p.
- GY, P., 1983. Les erreurs d'échantillonnage, *Analisis*, Volume 11, n° 9, p. 413-440
- WONNACOTT, T. ; WONNACOTT, R., 1991. *Statistiques*, Paris, Economica, 920 p.
- BRGM, 1990. BILCO, Logiciel d'équilibrage et d'analyse de bilans matière cohérents, *Manuel d'utilisation*, 28 p.
- RESSE, A., 1993. Poubelle verte, poubelle grise qui sont-elles ? *Informations techniques du Cemagref*, n° 92, note 3.
- RESSE, A., 1996. Compostage des déchets fermentescibles issus d'une collecte séparative, Application du procédé Végéterre, Ingénieries-EAT à paraître.
- Etude de la normalité d'une distribution, Norme AFNOR NF X 06-050.