

ÉTUDE DE FAISABILITE POUR L'UTILISATION DES REFUS DES UNITÉS DE TRI-COMPOSTAGE DES ORDURES MÉNAGERES COMME COMBUSTIBLES SOLIDES DE RÉCUPÉRATION (CSR)

Février 2014

Étude réalisée sous la conduite de la FNCC -Fédération Nationale des Collectivités de Compostage
par Michel NOUGARET, Ingénieur Consultant, Etude cofinancée par l'ADEME
Convention n° 1306C0047

Coordination technique : Sandra LE BASTARD – Service Prévention et Gestion des Déchets –
Direction Consommation Durable et Déchets – ADEME Angers



RAPPORT FINAL



En partenariat avec :

REMERCIEMENTS - AVERTISSEMENT

La Fédération Nationale des Collectivités de Compostage, à l'initiative de cette étude, tient à remercier particulièrement l'ADEME pour son soutien technique et financier.

Elle remercie également l'ensemble des collectivités auditées pour la transmission des données utiles à la compréhension, ainsi que les exploitants des unités de tri-compostage qui ont bien voulu mettre du personnel à disposition ou adapter temporairement leurs unités aux besoins des échantillonnages.

Enfin, cette étude n'aurait pas pu avoir lieu sans la ténacité et l'expertise de Monsieur Michel NOUGARET (mnougaret@aol.com), ingénieur consultant et sans les compétences des laboratoires SOCOR pour les analyses.

Pour tous renseignements complémentaires, contacter :

* Frédéric LAMOUREUX- animateur de la FNCC - contact@fncccompostage.fr

* Sandra LE BASTARD- service Prévention et Gestion des Déchets - ADEME - sandra.lebastard@ademe.fr

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droits ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par la Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

SOMMAIRE

<i>Liste des tableaux</i>	4
<i>Liste des graphiques</i>	5
<i>Liste des cartes</i>	6
RÉSUMÉ	7
ABSTRACT	8
LEXIQUE	9
1. CONTEXTE ET OBJECTIFS	10
1.1. Les unités participantes	10
1.2. Les technologies mises en œuvre	12
1.3. Les refus étudiés	13
1.4. Les prélèvements	14
1.5. Les valeurs mesurées	15
1.6. Les valeurs de référence	16
2. RESULTATS	16
2.1. Le taux d'incombustibles	17
2.2. L'humidité	18
2.3. Le taux de cendres	19
2.4. Le taux de chlore	20
2.5. Le PCI, Pouvoir Calorifique Inférieur	22
2.6. Les refus de tri-compostage utilisables comme CSR ?	23
2.7. Gisements	24
3. CONCLUSION	26
4. ANNEXES	28
4.1. Annexe 1 : exemple de schéma synoptique d'un procédé	28
4.2. Annexe 2 : nature des refus	30
4.3. Annexe 3 : calendrier des prélèvements	31

Liste des tableaux

Tableau 1 : les unités participantes	11
Tableau 2 : les refus de criblage primaire	13
Tableau 3 : les refus primaires de tri	14
Tableau 4 : les refus d'affinage.....	14
Tableau 5 : les refus en mélange	14
Tableau 6 : taux d'incombustibles des refus	17
Tableau 7 : humidité des refus	18
Tableau 8 : taux de cendre des refus.....	20
Tableau 9 : taux de chlore des refus	21
Tableau 10 : PCI des refus.....	22

Liste des graphiques

Graphique 1 : taux d'incombustibles des refus.....	17
Graphique 2 : humidité des refus	18
Graphique 3 : taux de cendre des refus	19
Graphique 4 : taux de chlore des refus	21
Graphique 5 : PCI des refus	22

Liste des cartes

Carte 1 : localisation des unités participantes	12
Carte 2 : les gisements	25

RÉSUMÉ

Les refus de traitement des ordures ménagères par tri compostage sont depuis plusieurs années pressentis comme prometteurs pour une utilisation en tant que combustibles solides de récupération (CSR). Pour mieux connaître leurs caractéristiques face aux exigences principales des utilisateurs de CSR, cette étude a été conduite sur 19 flux de refus prélevés dans 15 unités à divers stades des procédés.

Les critères observés montrent que :

- la teneur en incombustibles est faible mais doit être abaissée pour contribuer à l'augmentation du PCI,
- l'humidité est supérieure au seuil limite,
- le taux de cendres est variable mais majoritairement en dessous des seuils,
- le taux de chlore est légèrement au dessus des seuils,
- le PCI est correct mais en limite basse des valeurs demandées.

Sans négliger le tri à la source et les consignes qui pourraient être données en amont au niveau de la production des déchets, plusieurs axes d'amélioration doivent être envisagés pour optimiser la qualité des CSR face aux cahiers des charges des utilisateurs, tant au niveau de la production des refus que de la fabrication des CSR elle-même : abaisser l'humidité, limiter la présence de fibreux, d'incombustibles et de PVC en faveur de la présence de plastiques produisant moins de cendres, de chlore, et à haut PCI.

Pour les seuls refus primaires extraits des OMR avant fermentation, une estimation des gisements produits par les 33 unités fonctionnant à ce jour totalise plus de 450 000 tonnes potentielles issues du traitement de 1 million de tonnes d'OMR environ, ce qui pourrait justifier le projet de 7 à 8 d'unités de préparation de CSR.

Les autres types de refus, issus de l'affinage des composts par exemple, ne semblent pas utilisables en l'état, mais des mélanges sont envisageables avec ces refus primaires de bien meilleure qualité, constituant ainsi des tonnages potentiels supplémentaires.

ABSTRACT

Refuse from household waste, processed by sorting and composting, have been identified for several years as a promising material to be used as solid recovered fuel (SRF). In order to better measure their technical features as against the main requirements from SRF users, this study has been conducted over 19 refuse flows sampled in 15 units at various stages of the process.

Observation criteria have shown the following :

- Although incombustible content is low, it has to be lowered in order to contribute to an increase in the NCV,
- moisture is above the threshold,
- cinders' ratios vary but remain mainly below the thresholds,
- the chlorine ratio is slightly above the thresholds,
- The NCV is correct but at the bottom scale of the required values.

Source sorting, as well as instructions given upstream at waste production level, must not be neglected. Nevertheless, several improvement areas have to be envisaged in order to optimize the quality of the SRF as required by the users, both at waste and SRF production levels : moisture has to be lowered, the presence of fibrous matters, incombustible materials and PVC has to be limited to increase the proportion of plastics as they produce less cinders and chlorine and hold a higher NCV.

Considering only primary refuse extracted from residual household refuse before fermentation, the process from the 33 units currently running could total an estimated 450,000 tons, resulting from the treatment of about 1 million tons of residual household refuse. This could give grounds for proceeding with the project of 7 to 8 SRF preparation units.

Other refuse categories, as those resulting from compost refining for instance, do not appear to be usable as such however, it may be advisable to cut them with the higher quality primary refuse, so as to increase the potential of additional tonnages.

LEXIQUE

BRS : Bio Réacteur Stabilisateur. Attention, "BRS®" désigne un modèle breveté en France par Vinci Environnement, il serait plus juste de parler de "tube de pré-fermentation". Il s'agit d'un tube à rotation lente, de 3 à 5 m de diamètre pour 40 à 50 m de long, destiné à accélérer en quelques jours, dans une atmosphère aérée et humide, le processus biologique de dégradation aérobie de la FFOM.

Compostage : procédé biologique permettant la dégradation accélérée de déchets organiques pour produire du compost, sous l'action de bactéries aérobies (en présence d'oxygène).

CSR : Combustible Solide de Récupération. Combustibles solides préparés à partir de déchets non dangereux destinés à être valorisés énergétiquement dans des installations d'incinération ou de co-incinération.

FFOM : Fraction Fermentescible des Ordures Ménagères. Ensemble des déchets fermentescibles contenus dans les ordures ménagères : papiers, cartons, matières organiques, certains textiles,...

OMR : Ordures Ménagères Résiduelles. Fraction des ordures ménagères restant après le tri à la source des éléments recyclables et / ou valorisables.

Ordures ménagères : ensemble des déchets issus de l'activité domestique quotidienne des ménages et des activités économiques, collectés dans les mêmes conditions.

PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur. Énergie thermique libérée par la combustion d'un kilogramme de combustible sous forme de chaleur sensible - à l'exclusion de l'énergie de vaporisation (chaleur latente) de l'eau présente en fin de réaction. Le PCI est ici exprimé en MJ/kg (mégajoule par kilogramme de matière sèche).

Ppm : partie par million. Un ppm correspond à un rapport de 10^{-6} , soit par exemple, un milligramme par kilogramme. Le ppm n'est pas une concentration mais un rapport, c'est-à-dire un quotient sans dimension, à l'instar d'un pourcentage.

Tri-compostage : procédé de traitement des OMR, qui allie le compostage de la FFOM et le tri mécanique des autres fractions en vue de leur recyclage ou de leur valorisation.

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

La FNCC, Fédération Nationale des Collectivités de Compostage, regroupe des collectivités territoriales et des établissements publics en charge de la gestion des déchets ménagers, et qui ont pour ambition la valorisation de la matière organique de ces déchets. Dans cette optique, la Fédération souhaite accompagner ses membres dans le développement de solutions alternatives à l'enfouissement pour des refus de procédés qui présenteraient un potentiel remarquable en termes d'énergie, et plus particulièrement sous forme de combustibles solides de récupération (CSR).

Afin de mieux connaître ce potentiel d'utilisation comme CSR, la présente étude a pour but final de mesurer le PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur) et certaines teneur clés (humidité, incombustibles, cendres et chlore) de plusieurs refus sélectionnés dans diverses unités de traitement, puis de les comparer aux exigences des utilisateurs de CSR.

1.1. Les unités participantes

17 unités devaient initialement participer à l'étude, proposées par la FNCC et sur la base du volontariat, pour représenter des technologies anciennes et récentes : certaines unités ont une vingtaine d'année, d'autres sont au stade de la Mise en Service Industrielle (MSI) et traitent leurs premières tonnes. Deux prélèvements étaient prévus dans toutes les unités en fonctionnement, un seul dans celles encore au stade de la MSI au début de l'étude.

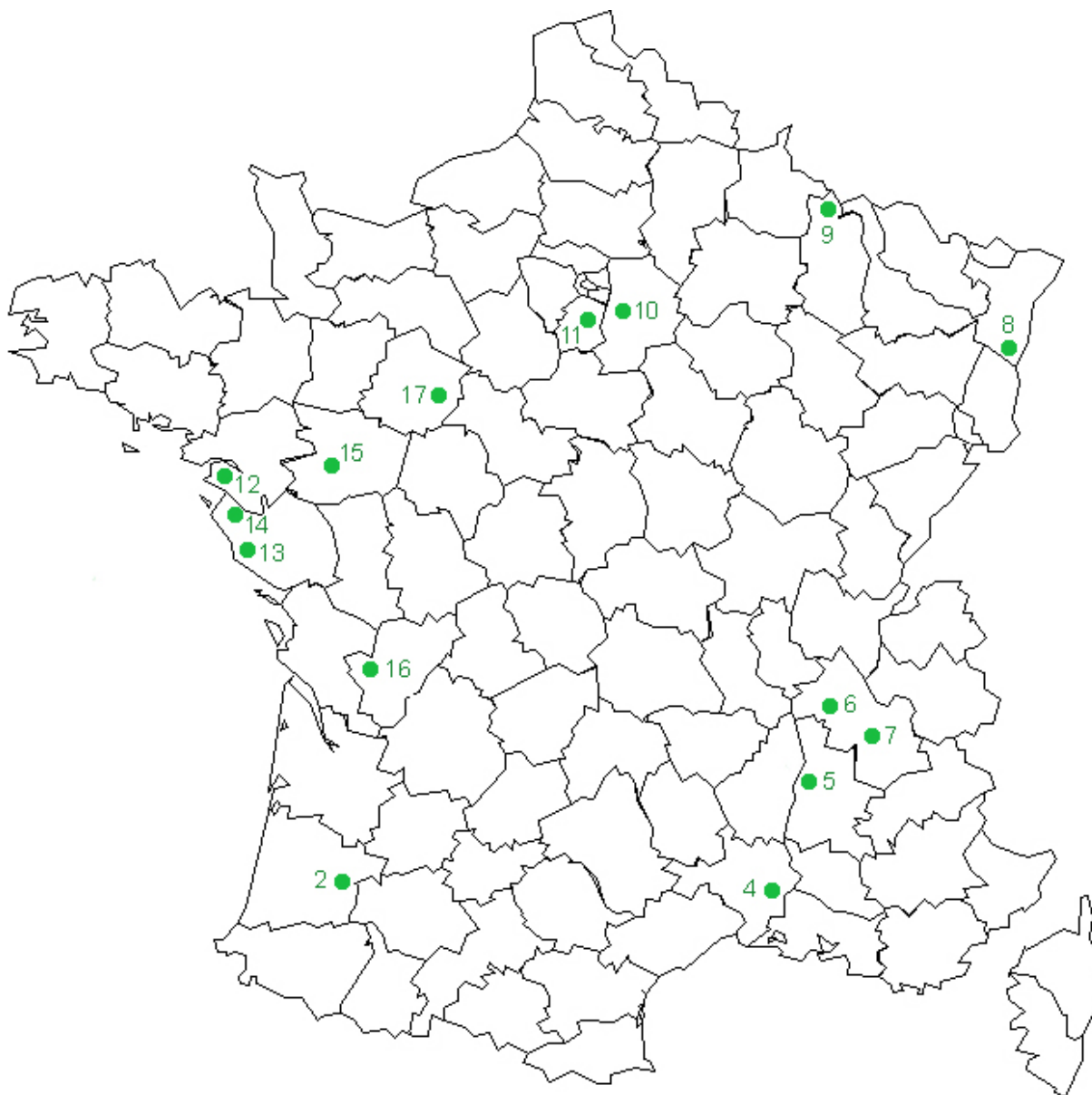
Après la visite préalable de l'ensemble des unités et le choix des flux de refus à étudier, plusieurs aléas d'exploitation ont empêché les prélèvements dans 2 unités ; ce sont donc au total **19 flux de refus** qui ont été prélevés dans **15 unités**.

La numérotation des unités est une convention fixée dès le début de l'étude, et qui est reprise dans les fiches de prélèvements et les résultats d'analyses mis en annexe. Les unités qui n'ont pas poursuivi l'étude (n°1 et 3) n'apparaissent pas.

	Collectivité	Exploitant
2	SICTOM du MARSAN 1038 Rte du Marcadé 40 090 ST PERDON	Exploitant : TIRU Site : Cyclergie 1038 Rte du Marcadé 40 090 ST PERDON
4	SUD RHONE ENVIRONNEMENT 3, avenue de la Croix Blanche 30 300 BEAUCAIRE	ECOVAL30 ZI Domitia - 360, avenue Pierre et Marie Curie 30 300 BEAUCAIRE
5	SYTRAD 7, rue Louis Armand Z.I. la Motte 26 800 PORTES-LES-VALENCE	SITA centre-Est Chemin des Caires Nord 26800 ETOILE-SUR-RHONE
6	SICTOM des Pays de la Bièvre Lieu-dit les Burettes 38 260 PENOL	Exploitant : SERPOL Site : UTVDM du SICTOM Lieu-dit les Burettes 38 260 PENOL
7	GRENOBLE ALPES METROPOLE Le Forum - 3 rue Malakoff 38 031 GRENOBLE cedex 01	GRENOBLE ALPES METROPOLE Unité de compostage Chemin des îles 38 420 MURIANETTE

8	SMICTOM d'Alsace Centrale 2, rue des Vosges 67 750 SCHERWILLER	Séché Éco-industries 2, rue des Vosges 67 750 SCHERWILLER
9	SMTOM de Villerupt 52, rue Gambetta 54 190 VILLERUPT	Exploitant : BARISIEN SAS Site : MAXIVAL Route de Morfontaine 54 920 VILLERS LA MONTAGNE
10	SIETOM de Tournan en Brie 6 rue Abel Leblanc - BP 8 77 220 PRESLES EN BRIE	Exploitant : VEOLIA SIETOM de TOURNAN EN BRIE Avenue de la liberté 77 330 OZOIR LA FERRIERE
11	SIVOM Vallée de l'YERRES et des SENARTS Route du Tremblay 91 480 VARENNES-JARCY	Exploitant : URBASYS SIVOM Vallée de l'YERRES et des SENARTS Route du Tremblay 91 480 VARENNES-JARCY
12	Communauté de Communes de Pornic 2, rue du docteur Ange Guépin 44 215 PORNIC Cedex	Exploitant : VEOLIA propreté / GEVAL Site : Ecocentre de la Communauté de Communes de Pornic Route de Chauvé par la D6 - La Sicaudais 44 320 ARTHON EN RETZ
13	TRIVALIS 31, rue de l'Atlantique CS 30605 85 015 LA ROCHE-SUR-YON Cedex	Exploitant : URBASER Environnement Site : TRIVALONNE Les Taffeneaux 85 860 CHATEAU D'OLONNE
14	TRIVALIS 31, rue de l'Atlantique CS 30605 85 015 LA ROCHE-SUR-YON Cedex	Exploitant : VEOLIA propreté Pays de Loire Site : TRIVALANDES Les landes franches - l'Ardoisière 85 860 SAINT CHRISTOPHE DE-LIGNERON
15	SYNDICAT MIXTE VALOR3E 179 Avenue des Trois Provinces 49 300 CHOLET	Exploitant : COVED Site : Unité VALOR3E D17 - route de Saint Quentin en Mauge 49 290 BOURGNEUF EN MAUGES
16	CALITOM ZE La Braconn 19 route du Lac des Saules 16 600 MORNAC	Exploitant : CALITOM Site : Valoparc Pôle déchets Ouest Charente Lieu-dit "Panneloup" 16 200 STE SEVERE
17	SMIRGEOMES 11 rue Henri Maubert 72 120 SAINT CALAIS	Exploitant : VEOLIA Site : BIOVEA 72 Lieu-dit le Ganotin 72 120 ECORPAIN

Tableau 1 : les unités participantes



Carte 1 : localisation des unités participantes

1.2. Les technologies mises en œuvre

Les unités participantes, adhérentes en majorité à la FNCC, mettent en œuvre par définition des procédés de tri-compostage, c'est-à-dire de dégradation aérobie des matières organiques des ordures ménagères résiduelles (OMR) visant à les stabiliser en les transformant en compost.

La grande majorité des procédés, à l'exception de deux, comportent un tube BRS (Bio Réacteur Stabilisateur). Certaines unités ont 1 BRS, d'autres 2 BRS ; les longueurs varient et ne sont pas précisées ici. La durée de séjour des déchets dans le tube n'est pas connue précisément, elle dépend du débit d'entrée et se situe aux alentours de 3 à 5 jours.

Certains procédés comportent un criblage rotatif par un trommel avant le BRS, chaque trommel a 2 ou 3 mailles allant de 60 à 400 m. Tous les procédés ayant un BRS comportent ensuite un criblage rotatif, les mailles simples ou multiples vont de 20 mm à 70 mm.

Les étapes spécifiques à certaines unités sont détaillées dans les schémas de fonctionnement.

Les passants de ces criblages sont dirigés vers les étapes de fermentation, soit directement soit après des tris complémentaires par exemple balistiques.

Après les étapes de fermentation / maturation, tous les procédés comportent des étapes d'affinage réalisées avec divers équipements : tables à rebond, tables densimétriques, criblages rotatifs ou vibrants (Liwell). Les criblages sont très fins de 7 à 20 mm.

Un exemple de schéma synoptique de procédé est donné en **annexe 1**

1.3. Les refus étudiés

Afin d'avoir une vision assez globale de la qualité des refus d'unités de tri-compostage face aux cahiers des charges CSR, nous avons étudié plusieurs types de refus provenant d'unités mettant en œuvre des technologies différentes.

Ces refus ont été choisis en majorité en fonction de leur **nature** (pressentis comme CSR potentiels) mais aussi des **tonnages produits** (les flux sortants majoritaires des unités). Mais pour avoir un panel objectif et le plus large possible, nous avons également choisi quelques refus différents et/ou produits en plus faibles proportions.

Parmi les 19 refus prélevés, on peut ainsi distinguer :

- des refus issus d'un criblage primaire, avant fermentation (11 refus)

le criblage est effectué en une ou plusieurs étapes, les refus ont des dimensions supérieures à une maille allant de 30 mm à 220 mm

Refus de criblage primaire		
Refus	Unité	Nature
7	Grenoble (38)	refus > 240 mm + refus > 60 mm
6 A	Pénol (38)	refus > 220 mm
15 A	Cholet (49)	refus > 80 mm
4	Beaucaire (30)	refus léger > 70 mm
2 A	Mont de Marsan (40)	refus primaire > 50 mm
8	Scherwiller (67)	refus > 50 mm
12	Pornic (44)	refus > 50 mm
17 A	Ecorpain (72)	refus > 50 mm
11	Varennes Jarcy (91)	refus > 30 mm
13	Château d'Olonne (85)	refus > 30 mm
14	Saint Christophe de Ligneron (85)	refus > 30 mm
16	Sainte Sévère (16)	refus > 30 mm

Note : le refus 7 est un mélange de 2 flux inséparables

Tableau 2 : les refus de criblage primaire

- des refus issus d'un tri primaire (criblage balistique) à 50 mm (1 refus)

le criblage à 50 mm associé à un tri balistique permet de séparer un flux riche en corps plats légers

Refus de tri primaire		
Refus	Unité	Nature
6 B	Pénol (38)	corps plats > 50 mm

Tableau 3 : les refus primaires de tri

- des refus issus d'un traitement secondaire d'affinage, après fermentation (3 refus)

ces traitements sont : un crible à toile (1 refus), un tri balistique (1 refus), une soufflerie (1 refus)

Refus d'affinage		
Refus	Unité	Nature
15 B	Cholet (49)	refus du crible à toile 8-80 mm
17 B	Ecorpain (72)	refus balistique < 50 mm
2 B	Mont de Marsan (40)	refus soufflerie après crible Liwell

Tableau 4 : les refus d'affinage

- des mélanges : refus de criblage primaire + refus secondaire d'affinage (4 refus)

ces flux sont produits en l'état et les contraintes des unités ne permettent pas de les séparer.

Refus	Unité	Nature	
		refus primaire	+ refus d'affinage
9	Villers la Montagne (54)	refus > 400 mm	refus > 60 mm
5	Etoile sur Rhône (26)	refus > 350 mm	refus > 50 mm
10	Tournan en Brie (77)	refus > 30 mm	refus léger 0-30 mm

Tableau 5 : les refus en mélange

L'ensemble des refus est présenté en **annexe 1**

1.4. Les prélèvements

Afin d'observer la variabilité des résultats, les prélèvements ont été répétés autant que cela a été possible en fonction des impératifs d'exploitation et des dates de mise en service pour les unités les plus récentes.

- répétition en juin et octobre (10 refus)

- répétition en octobre et janvier (2 refus)

- un seul prélèvement en juin, ou octobre, ou janvier (7 refus)

Le calendrier des prélèvements est donné **annexe 2**

1.5. Les valeurs mesurées

Dans l'optique d'une potentielle utilisation comme CSR, et pour pouvoir rapprocher les résultats d'analyse des cahiers des charges CSR, nous avons confié au laboratoire SOCOR les analyses suivantes :

- humidité totale, par séchage en étuve selon NF EN-14346
- teneur en combustibles, par un tri manuel de l'échantillon sec
- cendres à 815 °C, par calcination selon ISO 1171
- carbone total (C) et hydrogène total(H), par microanalyseur selon NF EN 15407
- chlore total par chromatographie ionique après minéralisation selon NF EN 14582
- Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI), par calorimétrie selon NF EN 15400

1.6. Les valeurs de référence

Les refus des unités de tri-compostage constituent un potentiel de production des CSR qui pourraient en théorie se substituer à des combustibles fossiles et être valorisés dans des unités dédiées (UIOM, chaudière, incinérateur industriel,...) ou des co-incinérateurs (cimenterie, four à chaux, centrale thermique,...). A l'heure actuelle seuls les cimentiers utilisent des CSR mais les autres utilisateurs potentiels de CSR sont variés et leurs exigences par conséquent sont également très diverses.

Le rapprochement des résultats d'analyses sur refus brut (avant préparation), avec les cahiers des charges des utilisateurs (après préparation) doit donc être effectué avec les réserves qui s'imposent.

Dans tous les cas, vu la diversité de ces exigences et la diversité des refus en termes de granulométrie et de composants, il apparaît comme nécessaire le passage par une étape préalable de préparation.

A titre de référence, nous proposons de comparer les résultats aux valeurs moyennes mentionnées dans le rapport ADEME 2009 sur la valorisation en cimenterie.¹ Les seuils mentionnés sont les plus stricts à l'heure actuelle, mais le rapprochement avec les résultats de l'étude est indispensable et permet par ailleurs de connaître l'état actuel de la production de refus.

Nous mentionnerons également des résultats d'études réalisées par des collectivités : essais internes du SYTRAD (26)², et de TRIVALIS (85)³ ; par un exploitant : Véolia sur une unité du SYTRAD (26)⁴, et par un bureau d'études : Eurotekno pour le syndicat mixte Bil Ta Garbi (65)⁵

2. RESULTATS

Pour chaque grandeur étudiée, nous disposons de 31 mesures : 24 proviennent de 12 refus prélevés et analysés 2 fois, 7 proviennent de 7 refus prélevés et analysés 1 fois. Ces refus sont très divers en nature, mais aussi en quantités produites : une valeur moyenne ne serait pas le reflet de cette diversité. Pour rapprocher et comparer ces mesures, nous proposons :

- de conserver la distinction entre les 4 familles de refus identifiées : primaires de criblage, primaires de tri, mélange primaires + secondaires d'affinage, secondaires d'affinage,
- de calculer une moyenne arithmétique pour les refus prélevés 2 fois,
- de calculer une moyenne arithmétique pour chaque famille en excluant les éventuelles valeurs incohérentes résultant certainement de biais de prélèvement, les critères d'exclusion seront précisés le cas échéant.
- d'exprimer la répartition des résultats autour de la valeur moyenne en mentionnant l'écart moyen, c'est-à-dire la moyenne des écarts à la moyenne.

¹ Etat de l'art de la valorisation énergétique des déchets non dangereux en cimenterie - Ademe, 2009

² Essais de production de CSR à Coderes à partir d'OM prétraitées par TMB - SYTRAD, 2012

³ Document des services techniques de TRIVALIS - 2012

⁴ Valorisation des refus combustibles point d'avancement - Véolia propreté, 2011

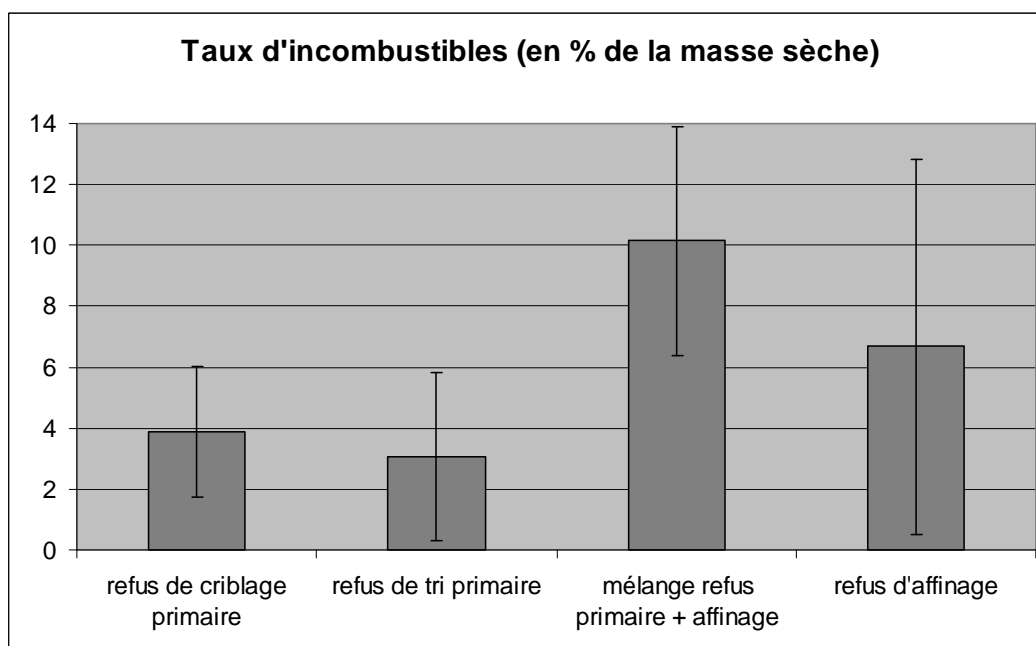
⁵ Conseil technique pour la gestion adéquate des résidus plastiques d'origine urbaine - Eurotekno, 2008

2.1. Le taux d'incombustibles

La présence de corps étrangers non combustibles est une contrainte importante que les cimentiers évoquent avant le taux de chlore pourtant souvent rédhibitoire : les bourrages qui en résultent sont très dommageables pour les fours et réduisent significativement la durée de vie des installations. La diminution de ces corps étrangers doit être envisagée au stade de la préparation, mais également au stade de l'obtention des refus, en amont.

Les incombustibles ont été identifiés et séparés par un tri manuel de l'échantillon après séchage. On a extrait les métaux, les verres, les cailloux et terres cuites, les coquillages.

Les valeurs sont exprimées en % de la masse sèche.



Graphique 1 : taux d'incombustibles des refus

Taux d'incombustibles	moyenne	écart moyen
refus de criblage primaire	3,9 %	2,1
refus de tri primaire	3,1 %	2,8
mélange refus primaire + affinage	10,2 %	3,8
refus d'affinage	6,7 %	6,2
teneur en éléments incombustibles	la plus faible possible	

Tableau 6 : taux d'incombustibles des refus

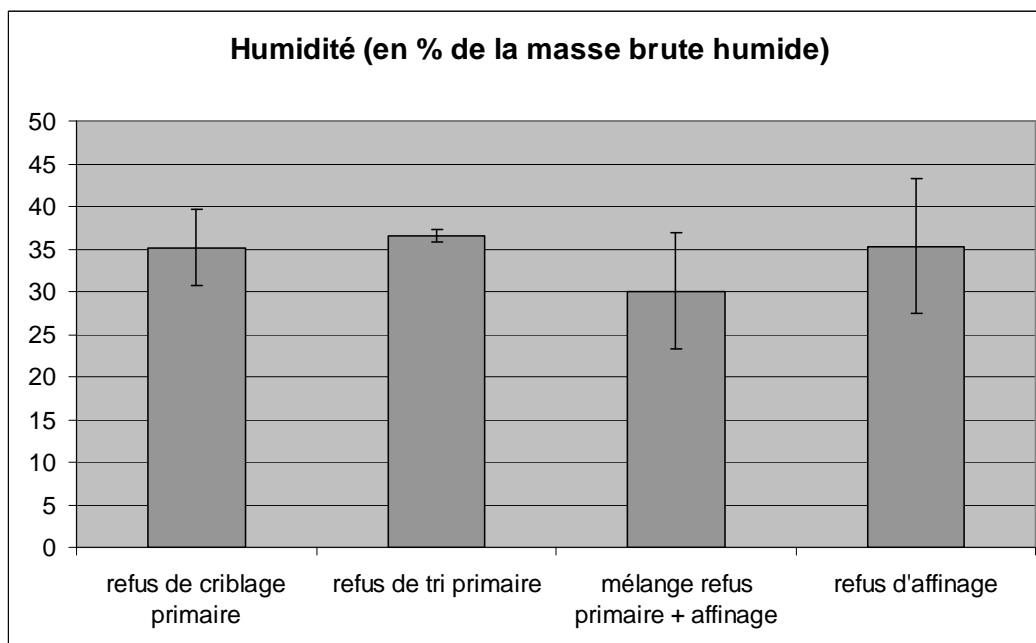
Les teneurs extrêmes en incombustibles sont 0,5 % pour les refus de tri primaire et 23,6 % pour un mélange de refus de tri primaire et d'affinage, une seule valeur sur un refus primaire nous paraissant incohérente (34,5 %) a été écartée.

Les refus primaires de criblage et de tri présentent les teneurs les plus basses avec une faible variabilité. Les autres types de refus ont des valeurs plus élevées et plus variables.

2.2. L'humidité

Les cahiers des charges mentionnent des humidités maximales de 12 % lorsque le CSR est utilisé en précalcination et de 15 % lorsqu'il est injecté directement dans la tuyère. A coté de ces impératifs liés à la combustion elle-même, ce seuil relativement bas est également important pour éviter les colmatages et la re-agglomération des CSR pouvant entraîner un éventuel démarrage de fermentation lors d'un stockage. L'évaporation de cette eau est par ailleurs énergivore et contribue à la baisse du rendement des unités utilisatrices.

L'humidité a été mesurée sur l'échantillon total, avant extraction des incombustibles - les valeurs sont exprimées en % de la masse brute humide.



Graphique 2 : humidité des refus

Humidité	moyenne	écart moyen
refus de criblage primaire	35,1 %	4,4
refus de tri primaire	36,6 %	0,7
mélange refus primaire + affinage	30,1 %	6,8
refus d'affinage	35,3 %	7,9
valeur limite de référence	< 12 à 15 %	

Tableau 7 : humidité des refus

Les valeurs vont de 19,7 % pour un refus d'affinage à 47,1 % pour un refus de criblage primaire ; les valeurs étant réparties régulièrement dans cet intervalle, aucune valeur n'a été écartée.

Toutes les familles de refus ont des humidités largement supérieures aux seuils de 12 % et 15 %; elles sont proches de celles mesurées pour divers refus dans les études Véolia (27,4 à 35,5 %), Bil ta Garbi (14,9 % à 21,2 %), SYTRAD (35,1 %) et TRIVALIS (24,8 % à 38,0 %).

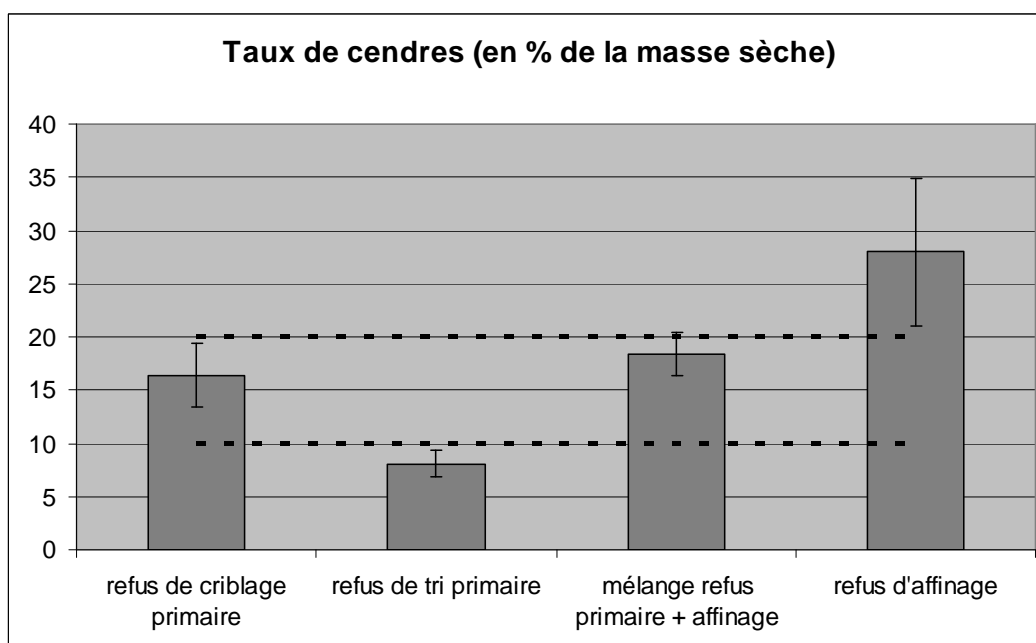
Les refus primaires présentent les valeurs les plus constantes avec peu de variabilité.

Bien qu'il soit difficile d'estimer la répartition de l'humidité entre combustibles et incombustibles, les phases de production des refus dans les unités de tri-compostage et / ou de préparation de CSR devront impérativement viser à abaisser globalement la valeur de l'humidité de 60 % environ.

2.3. Le taux de cendres

Les cendres sont constituées de résidus de combustion des éléments combustibles mais également d'incombustibles initialement présents. Elles constituent un apport de matière puisqu'elles sont incorporées au clinker fabriqué et bien que n'étant pas une difficulté majeure pour les utilisateurs au niveau des combustions, elles font l'objet d'une valeur limite car elles induisent des impuretés dans les produits finis. Selon les utilisations, les seuils hauts vont de 10 % à 20 %.

Le taux de cendres a été mesuré par calcination de la fraction combustible séchée, après extraction des incombustibles, les valeurs sont exprimées en % de la masse sèche.



Graphique 3 : taux de cendre des refus

Taux de cendres	moyenne	écart moyen
refus de criblage primaire	16,4 %	3,0
refus de tri primaire	8,1 %	1,3
mélange refus primaire + affinage	18,4 %	2,0
refus d'affinage	28,0 %	6,9
valeur limite de référence	< 10 à 20 %	

Tableau 8 : taux de cendre des refus

Les valeurs moyennes sont proches des seuils de 10 % et 20 % et se répartissent avec les proportions suivantes :

5 % des valeurs sont < 10 %

70 % des valeurs sont comprises entre 10 % et 20 %

25 % des valeurs sont > 20 %

D'autres études similaires ont donné des résultats proches allant de 10 % (SYTRAD) à 21,5 % (Véolia), idem pour TRIVALIS (9,3 % à 20,4 %) selon la granulométrie.

Le refus de tri primaire présente la valeur la plus faible, les valeurs obtenues pour la famille de refus primaires sont situées entre les 2 seuils; les valeurs des refus d'affinage sont nettement au dessus du seuil supérieur. Les mélanges refus primaires / refus d'affinage présentent des valeurs intermédiaires toujours comprises entre les 2 seuils.

A noter que ces teneurs en cendres n'incluent pas les inc combustibles retirés en début d'analyses pour la détermination du taux d'inc combustibles, les teneurs en cendres réelles globales des refus non préparés seraient donc supérieures.

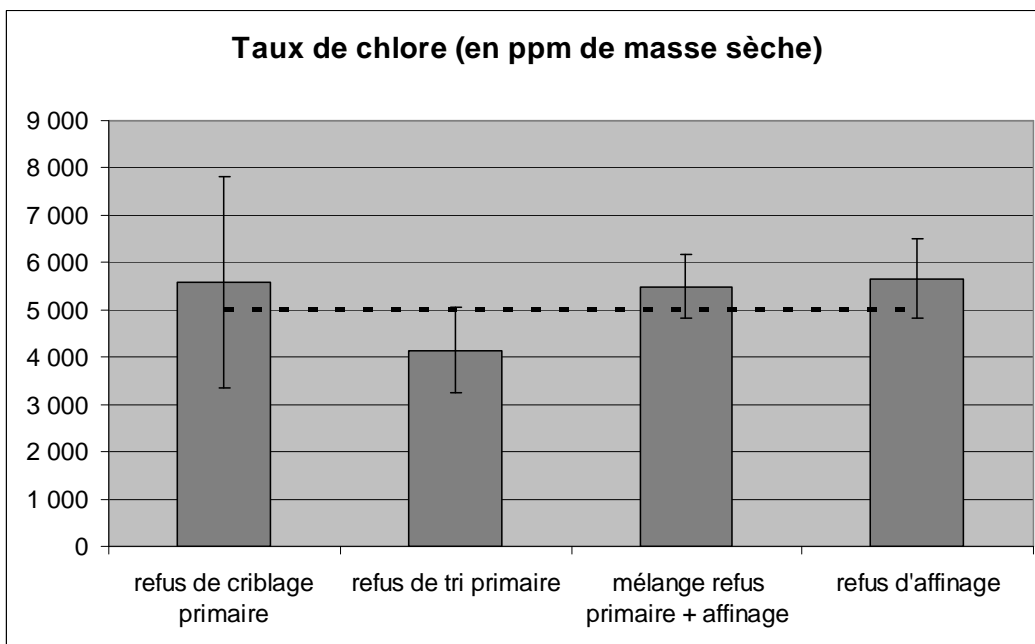
Pour abaisser ce taux, les étapes de production de refus et/ ou de préparation des CSR devront par exemple travailler à la diminution des fibreux, sources importante de cendres (papiers, cartons, bois, textiles) et favoriser la teneur en plastiques.

2.4. Le taux de chlore

Le taux de chlore est un critère absolu de sélection d'un combustible CSR car il a des conséquences techniques et économiques importantes ; il est également limité réglementairement.

La teneur maximale acceptée est de 5 000 ppm (soit 0,5 %) ; les cimenteries munies d'un by-pass chlore acceptent un taux pouvant aller jusqu'à 7 000 ppm (soit 0,7 %) mais cela ne solutionne pas totalement les difficultés posées par le chlore et concerne uniquement les unités fonctionnant par voie sèche, soit à peine la moitié du parc français.

Le taux de chlore a été mesuré par chromatographie ionique après minéralisation du refus séché - les valeurs sont exprimées en ppm (1 000 ppm = 0,1 %) sur la masse sèche.



Graphique 4 : taux de chlore des refus

Taux de chlore	moyenne	écart moyen
refus primaire de criblage	5 578	2 225
refus primaires de tri	4 154	895
mélange refus primaires + affinage	5 502	669
refus d'affinage	5 664	844
valeur limite de référence	< 5 000	

Tableau 9 : taux de chlore des refus

La valeur mesurée sur le refus primaire de tri (4 154 ppm) est inférieure au seuil de 5 000 ppm. Les autres présentent globalement une grande variabilité et vont de 2 133 ppm à 14 233 ppm. Dans chaque famille de flux l'homogénéité est plus importante, seuls les refus primaires présentent une assez forte variabilité. Nous n'avons exclu aucune valeur dans les calculs car les méthodes de préparation des échantillons, mélanges et broyage fin, homogénéisent la matière.

Les valeurs sont du même ordre de grandeur que celles mesurées pour divers refus dans les études Véolia (6 000 à 10 400 ppm), SYTRAD (6 300 ppm) et TRIVALIS (6 200 à 32 800 selon la granulométrie)

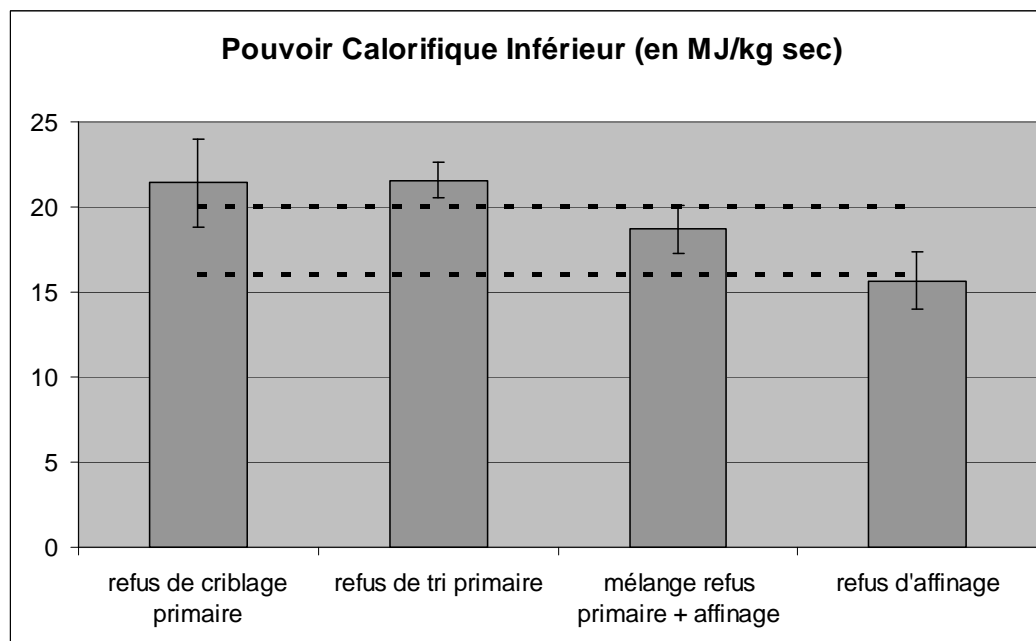
Dans les CSR issus de traitement de déchets ménagers par tri-compostage, le chlore provient majoritairement du PVC (polyvinyl chlorure) et dans une moindre mesure du chlore diffus des autres matériaux, des matières organiques et des sels.

Ce chlore diffus est peu connu, une meilleure connaissance des sources potentielles serait utile pour appréhender les possibilités de sa réduction dans les déchets, cibler des consignes de tri à la source et des actions de prévention. Deux voies sont souvent évoquées pour limiter la teneur en chlore : un criblage fin de la matière organique au niveau de la production du refus pour limiter le chlore diffus, une séparation du PVC au cours de la préparation du CSR.

2.5. Le PCI, Pouvoir Calorifique Inférieur

Le pouvoir calorifique traduit la quantité d'énergie contenue dans un combustible. Le PCS ou Pouvoir Calorifique Supérieur a été mesuré en bombe calorimétrique, il inclue l'énergie nécessaire à la vaporisation de l'eau. Le PCI ou Pouvoir Calorifique Inférieur utilisé ici est obtenu par le calcul, il déduit cette énergie que l'on considère comme perdue - les valeurs sont exprimées MJ/kg (mégajoules par kilogramme) de masse sèche.

Pour les cimentiers, les utilisateurs les plus exigeants, le PCI minimum requis est de 20 MJ/kg en alimentation de la tuyère d'injection et de 16 MJ/kg en alimentation du précalcinateur ; il n'y a pas de limite haute.



Graphique 5 : PCI des refus

PCI	moyenne	écart moyen
refus de criblage primaire	21,4	2,6
refus de tri primaire	21,6	1,0
mélange refus primaire + affinage	18,7	1,4
refus d'affinage	15,7	1,7
valeur limite de référence	> 16 à 20 MJ/kg	

Tableau 10 : PCI des refus

Globalement les valeurs mesurées vont de 12,3 à 25,1 MJ/kg.

Les refus issus d'un traitement primaire (criblage ou tri) ont les valeurs les plus élevées comme cela était pressenti avec respectivement 21,4 MJ/kg et 21,6 MJ/kg. Les refus d'affinage, bien qu'issus de séparations assez fines visant à isoler des matériaux légers comme les plastiques, ont les PCI les plus bas - 15,7 MJ/kg

- car ils sont toujours chargés en combustibles fins. Les flux en mélange ont en conséquence un PCI intermédiaire mais acceptable puisque situé entre les 2 seuils limites.

On peut noter que pour chaque famille de refus les résultats sont très homogènes et varient peu autour de la valeur moyenne. C'est un point positif puisque pour les utilisateurs, la régularité du PCI découlant d'une qualité constante du CSR est aussi importante que sa valeur absolue.

Les valeurs sont globalement supérieures à celles mesurées pour divers refus dans les études Véolia (11,2 à 14,9 MJ/kg), Bil ta Garbi (20 MJ/kg calculé, non mesuré), SYTRAD (13,5 MJ/kg). Les premières mesures de TRIVALIS quand à elles vont de 9,1 MJ/kg à 26,6 MJ/kg respectivement sur des refus primaires et secondaires; des mesures plus fines par tranches granulométriques sur les refus primaires donnent des résultats allant de 19,5 MJ/kg à 29,5 MJ/kg

2.6. Les refus de tri-compostage utilisables comme CSR ?

Plusieurs caractéristiques physico-chimiques des refus de tri-compostage ont été mesurées pour les comparer aux exigences des utilisateurs de CSR, et ce pour deux types de refus :

- les refus primaires issus de la préparation des déchets avant compostage,
- les refus d'affinage issus de la purification des composts après fermentation.

Globalement en l'état actuel de leur production, ils ne sont pas conformes pour la majorité des critères mesurés, mais les refus sont très divers et on peut distinguer les tendances suivantes, avec une très faible variation saisonnière :

Les **teneurs en combustibles** (métaux, verres, cailloux, terres cuites, etc.) sont très variables avec une moyenne de 3,9 % pour les refus primaires et 6,7 % pour les refus d'affinage. Bien qu'aucun seuil chiffré ne soit imposé par les utilisateurs, on sait que la présence d'combustibles est une contrainte importante que les cimentiers évoquent en priorité, avant le taux de chlore pourtant souvent rédhibitoire. La diminution de ces corps étrangers doit être envisagée au stade de la préparation, mais également au stade de l'obtention des refus, en amont.

Les **humidités** moyennes sont proches pour les différents flux avec 35,1 % pour les refus de criblage primaire et 35,3 % pour les refus d'affinage, supérieures aux seuils de 12 % et 15 %.

La production de CRS devra donc viser à abaisser la valeur de l'humidité, au stade de la production des refus et / ou de la préparation des CSR elle-même.

Les **taux de cendres** sont variables, les valeurs mesurées pour les refus primaires (16,4 %) sont entre les seuils de 10 % et 20 %, les refus d'affinage ont des valeurs supérieures (28,0 %), seul un refus primaire issu de criblage balistique est en dessous du seuil bas avec 8,1 %.

Ces cendres ne représentent pas en soi un obstacle à la combustion mais elles font l'objet d'une valeur limite car elles induisent des impuretés dans les produits finis. A noter que ces teneurs n'incluent pas les combustibles extraits pour la mesure du taux d'combustibles./Les teneurs en cendres réelles globales des refus non préparés seraient donc supérieures. Les étapes de production de refus et/ ou de préparation des CSR devront en tenir compte et viser par exemple la diminution des fibres (papiers, cartons, bois, textiles) au bénéfice des combustibles de type plastiques ou composites.

Les **taux de chlore** moyens sont très légèrement supérieurs au taux limite de 5 000 ppm avec 5 578 ppm pour les refus primaires et 5 664 ppm pour les refus d'affinage ; seule la valeur mesurée sur le refus primaire de tri (4 154 ppm) est inférieure. Tous les taux sont inférieurs au seuil de 7 000 ppm exigé par les cimenteries munies d'un by-pass chlore.

Dans les CSR issus de traitement de déchets ménagers par tri-compostage, le chlore provient majoritairement du PVC (polyvinyl chlorure) et dans une moindre mesure du chlore diffus des autres matériaux, des matières organiques et des sels.

La baisse de la teneur en chlore peut donc être envisagée au stade de la production du refus avec des criblages fin de la matière organique pour limiter le chlore diffus, et également au stade de la préparation du CSR avec une séparation du PVC. En complément, une meilleure connaissance des sources potentielles de chlore diffus serait utile pour appréhender les possibilités de sa réduction en amont.

Les **PCI** des refus issus de traitement primaire (criblage ou tri) ont les valeurs les plus élevées avec 21,4 MJ/kg et 21,6 MJ/kg, tout à fait acceptables au regard des limites basses de 16 MJ/kg (précalcination) à 20 MJ/kg (tuyère d'injection). Les refus d'affinage ont le PCI moyen le plus bas à peine inférieur à la limite, les flux en mélange ont un PCI intermédiaire situé entre ces 2 seuils limites.

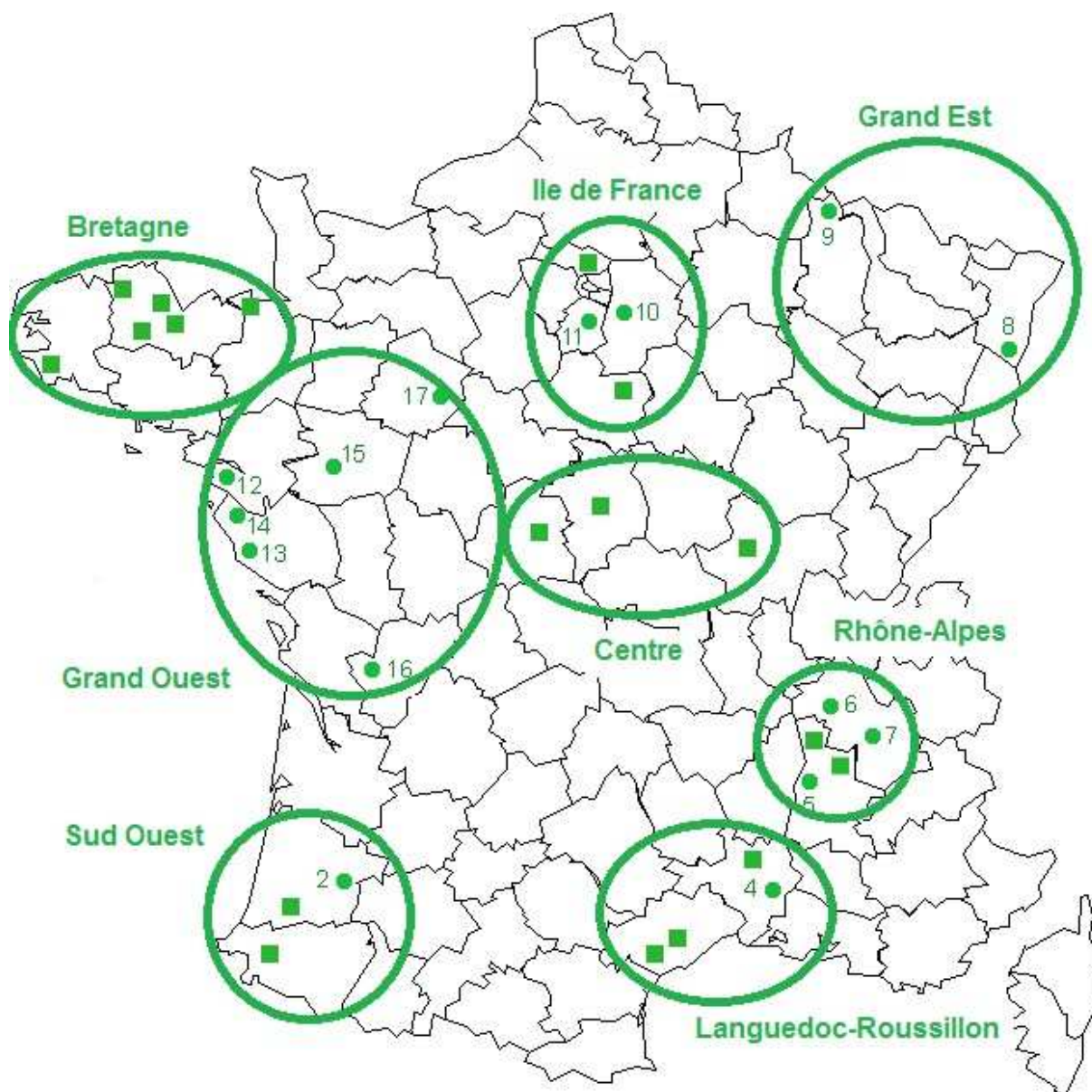
Un point positif important est l'homogénéité des résultats puisque pour les utilisateurs, la régularité du PCI découlant d'une qualité constante du CSR est aussi importante que sa valeur absolue.

Les voies envisageables pour augmenter le PCI recourent les autres critères : baisse du taux d'incombustibles, augmentation de la teneur en éléments de PCI élevés comme les plastiques.

2.7. Gisements

Sur la base des tonnages des 17 unités étudiées, OMR traités et refus, nous proposons une extrapolation à l'ensemble des unités similaires du territoire français, à l'exception de certaines :

- les unités traitant OMR et déchets verts,
- les unités utilisant des procédés différents, méthanisation ou stabilisation
- les unités en projet ou en cours de construction



Carte 2 : les gisements

- Unités participantes
- Autres unités prises en compte

Les 15 unités étudiées représentent 54 % du tonnage traité par les 33 unités du parc français que nous avons divisé en 8 bassins géographiques de gisements, pouvant correspondre à de futures unités de préparation de CSR.

De nombreuses contingences devront être prises en compte, en particulier de tonnages, de transport, et de proximité des utilisateurs de CSR. Une première approche tenant compte des refus primaires uniquement, permet de dégager les gisements suivants :

Bassin	nombre d'unités	capacité (tonnes omr / an)	tonnes OMR 2013	refus primaire
Languedoc-Roussillon	4	150 500	125 200	50 554
Sud-Ouest	3	62 000	54 000	20 199
Bretagne	6	187 000	158 950	71 050
Grand Ouest	6	188 100	175 500	67 478
Centre	3	78 000	66 300	29 636
Ile-de-France	4	183 000	151 419	63 369
Rhône-Alpes	5	246 000	238 066	126 851
Grand Est	2	76 000	64 441	22 707
Total	33	1 170 600	1 033 876	451 845

L'ensemble des 8 bassins totalise plus de 450 000 tonnes potentielles issues du traitement de 1 million de tonnes d'omr environ.

Les autres types de refus sont également prometteurs mais un chiffrage précis n'est pas possible sans connaître le détail des étapes des procédés et la nature des refus. Les refus d'affinage ne semblent pas utilisables en l'état car trop chargés en incombustibles et avec un PCI très bas, mais des mélanges sont envisageables en particulier avec des refus issus d'étapes de tri en amont, de bien meilleure qualité face aux exigences des utilisateurs de CSR.

3. CONCLUSION

La qualité des refus de tri-compostage n'a pas été mesurée face à la totalité des éléments des cahiers des charges CSR. Toutefois les critères observés montrent que :

- la teneur en incombustibles est faible mais doit être abaissée pour contribuer à l'augmentation du PCI,
- l'humidité est supérieure au seuil limite
- le taux de cendres est très variable et en partie en dessous des seuils
- le taux de chlore est légèrement au dessus des seuils
- le PCI est correct mais en limite basse des valeurs demandées

Ces résultats sont comparables et cohérents face à ceux de mesures réalisées par des collectivités ou des exploitants : Bil ta Garbi en 2008, Véolia à St Barthélémy-de-Vals et Beauregard-Baret (26) en 2011); SYTRAD (26) en 2012, TRIVALIS en 2012.

Sans négliger le tri à la source et les consignes qui pourraient être données en amont au niveau de la production des déchets, deux axes principaux peuvent être envisagés pour améliorer la qualité des CSR face aux cahiers des charges des utilisateurs :

- au niveau de la production dans les unités de tri-compostage :

Optimiser la séparation des fractions organiques fines

Limiter la présence de fibreux, papiers cartons

Favoriser la présence de plastiques produisant moins de cendres et à haut PCI

Limiter la présence d'incombustibles

Abaissier l'humidité

- au niveau de la préparation des CSR :

Abaissier l'humidité

Extraire les PVC

Extraire les incombustibles restants

Une première approche estimative des gisements potentiels chiffre environ 450 000 tonnes de refus primaires susceptibles de produire un CSR.

4. ANNEXES

Les annexes présentent :

Annexe 1 : exemple de schéma d'un procédé de traitement

Annexe 2 : nature des refus

Annexe 3 : calendrier détaillé des prélèvements

4.1. Annexe 1 : exemple de schéma synoptique d'un procédé

Les schémas de fonctionnement synoptiques ont été un outil de travail pour le choix des flux à analyser.

Par convention, ils mentionnent les entrées et sorties de matière, les ajouts éventuels d'eau, les pertes, et comprennent :

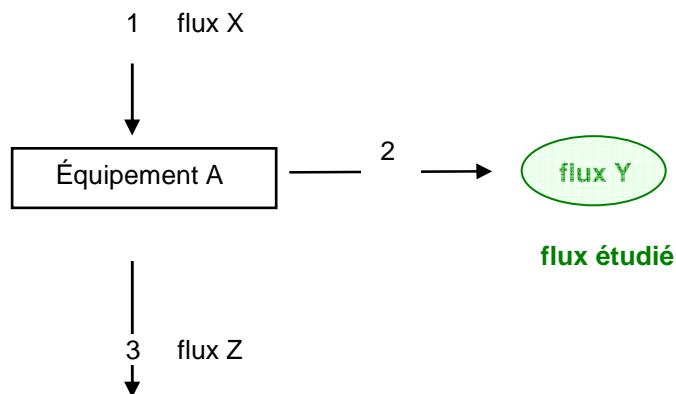
des flux numérotés et nommés

des nœuds également identifiés

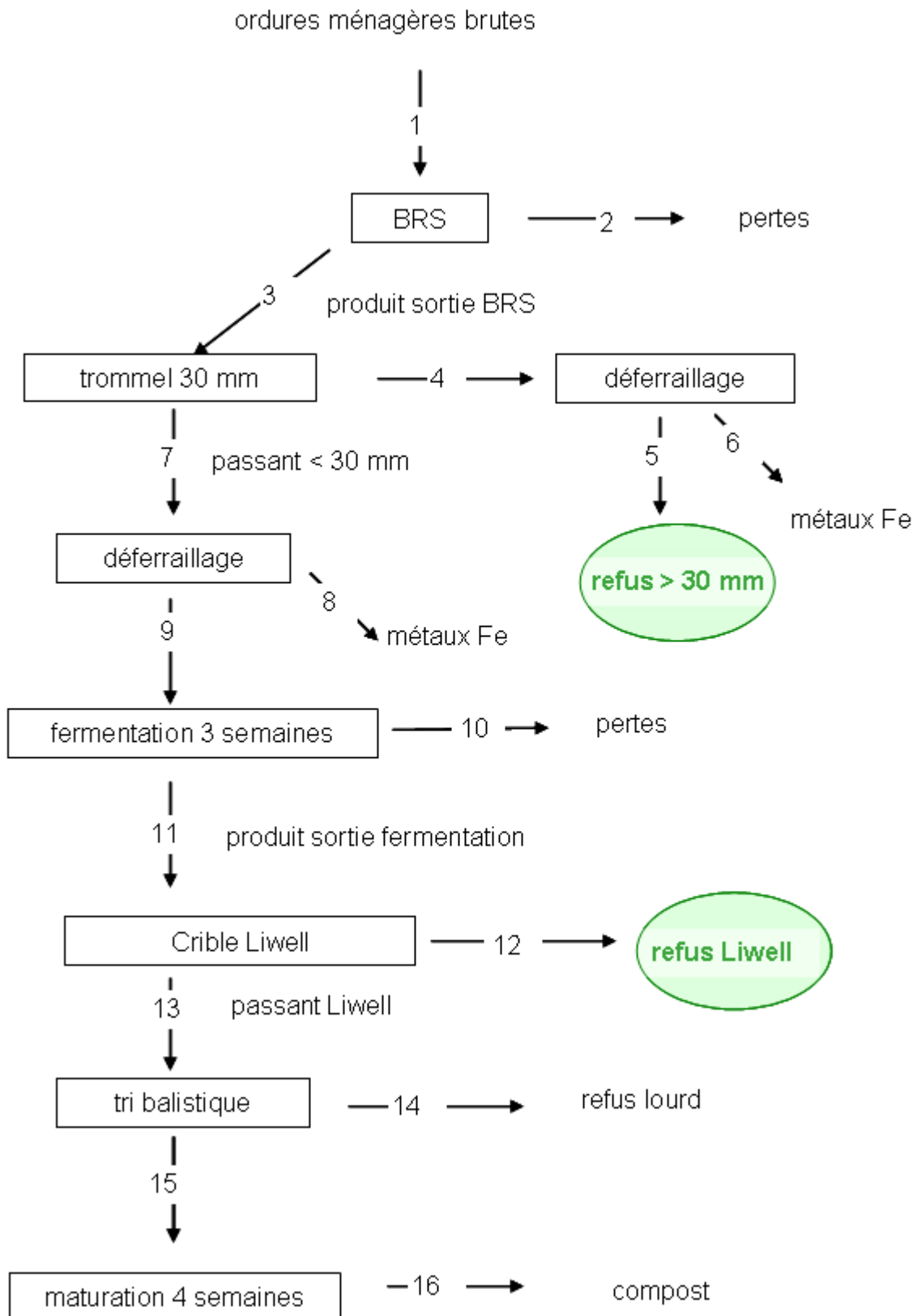
Les nœuds sont les points où les flux subissent une action particulière, se séparent ou se regroupent,

Les flux ont un sens : d'un nœud vers un autre nœud, de l'extérieur vers un nœud, d'un nœud vers l'extérieur ; des boucles sont possibles.

Exemple :



Exemple :



4.2. Annexe 2 : nature des refus

N°	Unité	Flux de refus	
		primaire (avant fermentation)	secondaire (après fermentation)
2 A	Mont de Marsan (40)	refus primaire > 50 mm	
2 B	Mont de Marsan (40)		refus soufflerie après Liwell
4	Beaucaire (30)	refus léger > 70 mm	
5	Etoile sur Rhône (26)	refus > 350 mm + refus > 50 mm	
6 A	Pénol (38)	refus > 220 mm	
6 B	Pénol (38)	corps plats > 50 mm	
7	Grenoble (38)	refus > 240 mm + refus > 60 mm	
8	Scherwiller (67)	refus > 50 mm	
9	Villers la Montagne (54)	refus > 400 mm + refus > 60 mm	
10	Tournan en Brie (77)	refus > 30 mm + refus léger 0-30 mm	
11	Varenes Jarcy (91)	refus > 30 mm	
12	Pornic (44)	refus > 50 mm	
13	Château d'Olonne (85)	refus > 30 mm	
14	Saint Christophe de Lignerion (85)	refus > 30 mm	
15 A	Cholet (49)	refus > 80 mm	
15 B	Cholet (49)		refus du crible à toile 8-80 mm
16	Sainte Sève (16)	refus > 30 mm	
17 A	Ecorpain (72)	refus > 50 mm	
17 B	Ecorpain (72)		refus balistique < 50 mm

4.3. Annexe 3 : calendrier des prélèvements

Toutes les unités ont fait l'objet de deux prélèvements, sauf exceptions :

Unités n° 2, 10, 16 : au stade de la Mise en Service Industrielle (MSI) au début de l'étude, un seul prélèvement en octobre

Unité n°8 : un prélèvement en octobre

Unité n°11 : un prélèvement en juillet

Unités n°2 : un prélèvement en octobre sur 2 refus

Unités n°17 : un prélèvement en octobre sur 1 refus, un prélèvement en janvier sur 2 reus

Unités	nombre de flux	nombre de prélèvements			
		juin	octobre	janvier	total
2 Mont-de-Marsan (40)	2		2		2
4 Beaucaire (30)	1	1	1		2
5 Etoile-sur-Rhône (26)	1	1	1		2
6 Pénol (38)	2	1	2		3
7 Grenoble (38)	1	1	1		2
8 Scherwiller (67)	1		1		1
9 Villiers-la-Montagne (54)	1	1	1		2
10 Tournan-en-Brie (77)	1			1	1
11 Varennes-Jarcy (77)	1	1			1
12 Pornic (44)	1	1	1		2
13 Château-d'Olonne (85)	1	1	1		2
14 Saint-Christophe-de-Lignerion (85)	1	1	1		2
15 Cholet (49)	2	2	2		4
16 Sainte-Sévère (16)	1		1		1
17 Ecorpain (72)	2		1	3	4
Total	19	11	16	4	31

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.



ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr