

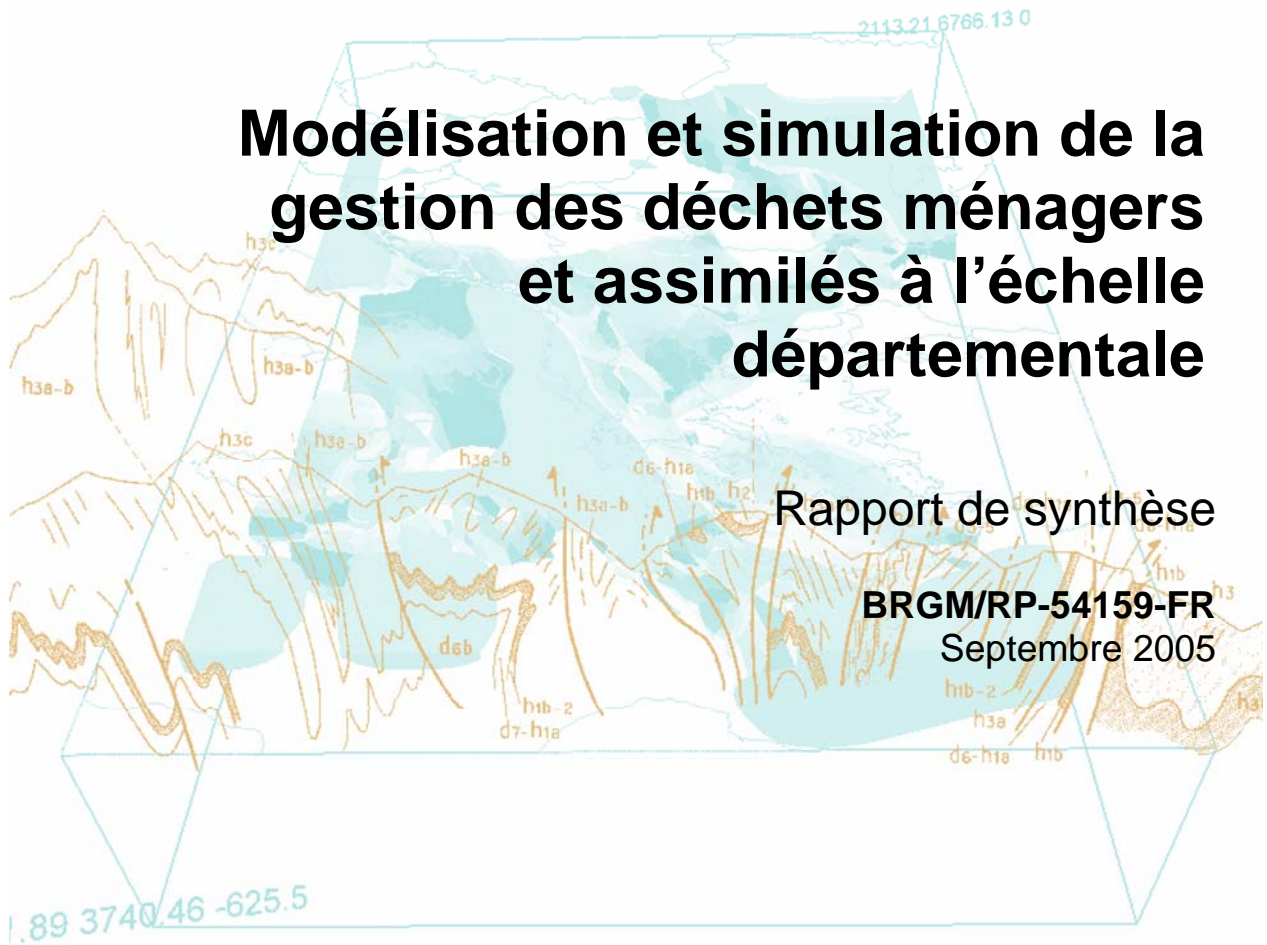


# Modélisation et simulation de la gestion des déchets ménagers et assimilés à l'échelle départementale

Rapport de synthèse

BRGM/RP-54159-FR

Septembre 2005



Ademe



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**



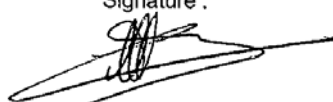
# Modélisation et simulation de la gestion des déchets ménagers et assimilés à l'échelle départementale

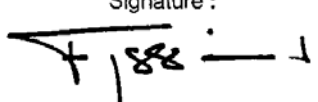
Rapport de synthèse

**BRGM/RP 54159-FR**  
Septembre 2005

Étude réalisée dans le cadre des opérations  
de Service public du BRGM 2005

**Ph. Wavrer, J. Villeneuve, Y. Ménard, P. Michel**

<p><b>Vérificateur :</b> Nom : Francis Cottard Date : 04/11/2005 Signature :</p> 
--

<p><b>Approbateur :</b> Nom : Philippe Freyssinet Date : 08/11/2005 Signature :</p> 
---



Ademe



Mots clés : Déchets, scénarios, département, simulation, bilans, émissions

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :  
Modélisation et simulation de la gestion des déchets ménagers et assimilés à l'échelle départementale. BRGM/RP-54159-FR

© BRGM, 2005, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## Synthèse

Le présent rapport de synthèse rassemble les principaux résultats obtenus lors des travaux effectués dans le cadre de la convention de recherche et développement entre le Conseil Général des Bouches du Rhône, l'ADEME et le BRGM. Cette convention de recherche avait pour objectif de valoriser à l'échelle départementale une méthodologie de modélisation et simulation de la gestion des déchets développée par la recherche Européenne lors du projet AWAST<sup>1</sup>, en effectuant dans un premier temps, le diagnostic territorial des Bouches du Rhône pour l'année 2003 et dans un second temps, en simulant des scénarios dans une approche prospective.

La méthode mise en œuvre repose sur quatre étapes :

- Représentation graphique (flowsheet) du système de gestion des déchets,
- Initialisation des flux entrants dans le système (c'est à dire associer à chaque flux représentant des déchets générés ou des déchets importés un tonnage et une composition),
- Association d'un modèle à chaque unité de traitement des déchets (représenté par une 'icône' dans le 'flowsheet'),
- Paramétrage des modèles sur la base des caractéristiques techniques et des caractéristiques de fonctionnement des installations.

A l'issue de la première phase, un simulateur de la situation en 2003 a ainsi été produit. Il est notamment ressorti de cette phase des enseignements utiles pour mesurer la faisabilité et l'intérêt de l'approche par simulation. En particulier les limites de l'observabilité d'un système de gestion des déchets à l'échelle départementale ont été approchées.

Lors de la deuxième phase, on s'est attaché à effectuer des simulations de scénarios de gestion des déchets à l'horizon 2016, à partir du constat de la situation en 2003 réalisé lors de la phase 1. Le choix des simulations à effectuer s'est porté sur un scénario d'innovation technologique qui détourne le flux actuel des centres d'enfouissement vers le tri-méthanisation-compostage (en ne considérant que la gestion des OMr, représentant une part importante du flux à la charge de la collectivité). Les principaux résultats de cette phase 2 ont ainsi consisté en la production de bilans matière issus de ces choix d'organisation et de traitement, ainsi qu'à la mise en évidence des différences de consommations énergétiques liées à ces choix et des effets de ce nouveau mode de gestion sur les impacts environnementaux.

---

<sup>1</sup> AWAST : Aid in the Management and European Comparison of Municipal Solid **W**aste **T**reatment Methods for a Global and Sustainable Approach



## Sommaire

<b>1. Objectif et méthodologie.....</b>	<b>11</b>
1.1. CONTEXTE .....	11
1.2. METHODOLOGIE ET PHASAGE DU PROGRAMME .....	11
1.2.1.Phase 1 – Modélisation et simulation de la situation actuelle .....	11
1.2.2.Phase 2 – simulation de scénarios.....	12
1.2.3.La construction d'un simulateur.....	12
1.2.4.Recueil des données.....	14
1.2.5.Analyse des données .....	16
<b>2. Phase 1 : Diagnostic territorial.....</b>	<b>17</b>
2.1. PRESENTATION .....	17
2.2. DONNEES QUANTITATIVES ET QUALITATIVES SUR LES FLUX.....	18
2.2.1.Types de flux pris en compte .....	18
2.2.2.Données quantitatives.....	19
2.2.3.Influence des Collectes Sélectives sur le gisement d'OMr.....	22
2.2.4.Données qualitatives – composition des flux .....	22
2.3. MODELISATION DES DIFFERENTS MOYENS DE GESTION.....	26
2.3.1.Modélisation des collectes .....	26
2.3.2.Modélisation des centres de transfert .....	28
2.3.3.Modélisation des centres de tri.....	28
2.3.4.Modélisation des centres d'enfouissement .....	29

2.4. RESULTATS DE LA SIMULATION POUR L'ANNEE 2003 .....	30
2.4.1. Bilan matière .....	30
2.4.2. Bilan environnemental .....	31
2.4.3. Bilan énergie .....	33
<b>3. Phase 2 : Simulation de scénarios.....</b>	<b>35</b>
3.1. PRESENTATION .....	35
3.2. CONCEPTION DU FLOWSHEET .....	36
3.3. COMPOSITION ET TONNAGES DES OM TRAITEES EN UNITES DE TMC .	39
3.4. DETERMINATION DU KILOMETRAGE LIE A LA COLLECTE ET AU TRANSPORT .....	40
3.5. MODELISATION DES CENTRES D'ENFOUISSEMENT .....	41
3.6. RESULTATS DES SIMULATIONS .....	42
3.6.1. Bilans matière .....	42
3.6.2. Bilan environnemental .....	44
3.6.3. Autres résultats .....	46
<b>4. Conclusions .....</b>	<b>49</b>
<b>5. Références bibliographiques .....</b>	<b>53</b>



## Liste des illustrations

Illustration 1 : Exemple de flowsheet (cas de la Communauté du Pays d'Aix-CPA).....	14
Illustration 2 : Découpage du territoire des Bouches du Rhône (Source : CG13).....	17
Illustration 3 : Collectes des déchets courants des ménages.....	18
Illustration 4 : Autres Collectes .....	19
Illustration 5 : Performances collecte traditionnelle (OMr+DAC) .....	19
Illustration 6 : Performances corrigées collecte traditionnelle.....	20
Illustration 7 : Performances collectes sélectives en porte à porte.....	20
Illustration 8 : Données de référence collectes sélectives (source ADEME).....	21
Illustration 9 : Performances collectes sélectives en apport volontaire .....	21
Illustration 10 : Influence des collectes sélectives sur le gisement d'OM résiduelles.....	22
Illustration 11 : Liste des constituants pris en compte .....	23
Illustration 12 : Liste des analyses MODECOM™ disponibles .....	23
Illustration 13 : Composition des flux d'OM résiduelles .....	24
Illustration 14 : Ensemble des compositions fournies pour les flux. ....	25
Illustration 15 : Kilométrages collectes OMr et DAC.....	26
Illustration 16 : Kilométrages collecte sélective en porte à porte.....	27
Illustration 17 : Kilométrages collecte sélective en apport volontaire .....	27
Illustration 18 : Historique des tonnages enfouis en CET .....	29
Illustration 19 : Modélisation de la génération de gaz de décharge .....	30
Illustration 20 : Bilan environnemental des scénarios.....	32
Illustration 21 : Influence de la diminution des fermentescibles enfouis sur le biogaz généré .....	33
Illustration 22 : Echelle nationale de la consommation d'énergie.....	33
Illustration 23 : Consommation d'énergie en équivalent habitant. ....	33
Illustration 24 : Flowsheet du futur schéma de gestion des OMr.....	37
Illustration 25 : Estimation de la composition des OMr pour 2006 et 2008 .....	39
Illustration 26 : Evolution des tonnages prévus pour les centres de TMC.....	40
Illustration 27 : Prévision des kilométrages pour 2011 et 2016 .....	40
Illustration 28 : Bilan matière 2011.....	42
Illustration 29 : Bilan matière 2016.....	43
Illustration 30 : Bilan matière 2011 détaillé .....	43
Illustration 31 : Bilan matière 2016 détaillé .....	44
Illustration 32 : Bilan environnemental détaillé 2011 et 2016 .....	45
Illustration 33 : Bilan environnemental global 2011 et 2016 .....	45
Illustration 34 : Bilan économique et social 2011.....	46
Illustration 35 : Bilan économique et social 2016.....	47



# 1. Objectif et méthodologie

## 1.1. CONTEXTE

Le présent document constitue le rapport de synthèse du programme de recherche et développement signé entre le BRGM, l'ADEME et le Conseil Général des Bouches du Rhône. Ce programme avait pour finalité la modélisation et la simulation de la gestion des déchets ménagers et assimilés à une échelle départementale et constituait ainsi la première réalisation d'un simulateur de la gestion des déchets à cette échelle à partir de l'outil AWAST<sup>2</sup> (validé à l'échelle des EPCI). Le programme se décomposait en deux phases principales :

1. modélisation et simulation de l'existant (diagnostic territorial).
2. simulation de scénarios dans une approche prospective à l'échelle du département.

La réalisation de ce cahier des charges a nécessité un appui méthodologique, ainsi que des outils de traitement de données et de simulation adaptés. Pour cela, on a mis en œuvre le logiciel de simulation du BRGM développé dans le cadre d'un projet de recherches du 5<sup>ème</sup> PCRD (Programme Cadre de Recherche et Développement), le projet AWAST, et qui repose sur une bibliothèque de modèles reproduisant le fonctionnement des unités de traitement existantes ou en projet (collecte, traitement biologique, traitement thermique, transport, centre de stockage...). Ce logiciel dispose en outre de bases de données sur la composition des différents flux et sur les performances des traitements qui peuvent combler « par défaut » des manques de données réelles. Son utilisation repose sur une méthodologie rigoureuse d'analyse de procédés, adaptée pendant le projet AWAST à la gestion des déchets.

## 1.2. METHODOLOGIE ET PHASAGE DU PROGRAMME

### 1.2.1. Phase 1 – Modélisation et simulation de la situation actuelle

La réalisation de la première phase a été menée en relation étroite avec le Conseil Général, en deux étapes simultanées :

- **Étape 1** : appui méthodologique pour la préparation et la mise en œuvre du recueil des données, visant à fournir au Conseil Général (CG13) une série de questionnaires pour collecter au niveau de chaque EPCI du département (ou de chaque commune indépendante, hors EPCI) des données aussi complètes que possible concernant l'ensemble de la filière de gestion des déchets.

---

<sup>2</sup> AWAST : Aid in the Management and European Comparison of Municipal Solid Waste Treatment Methods for a Global and Sustainable Approach

- **Etape 2** : traitement des données et réalisation du simulateur de la situation actuelle, en vue d'établir pour chaque entité (EPCI ou commune hors EPCI) et pour le département :
  - le synoptique du système (ou flowsheet),
  - les bilans matière, énergétiques et économiques, permettant notamment l'analyse des performances, du taux de valorisation matière, du taux de valorisation énergétique, etc...

### 1.2.2. Phase 2 – simulation de scénarios

Initialement, il avait été prévu de réaliser une première série d'une vingtaine de simulations d'orientation à partir du contexte actuel pour analyser la sensibilité de certains choix. Ces simulations devaient inclure les projets en cours, mais aussi le recours à d'autres filières comme la méthanisation, le co-compostage, etc. Ces simulations devaient fournir trois scénarios de base pour une analyse prospective dans le temps. Au final, le choix des simulations retenues par les partenaires porte sur un scénario «Tri-méthanisation-compostage» des ordures ménagères résiduelles décliné dans le temps (2006, 2008, 2011, 2016).

Le BRGM a réalisé les simulations et est en mesure de fournir :

1. Le flowsheet du système, ainsi que l'ensemble des flux de déchets et des produits de traitements, en termes de quantités (débits) et de qualité (composition), incluant les flux d'émissions.
2. Les consommations et productions énergétiques de chaque procédé (incluant les transports).
3. Les coûts de production du service, incluant investissements et coûts opératoires, assortis des hypothèses prises en compte dans les calculs, ainsi que les coûts liés aux différentes recettes (hormis la fiscalité).

Ces données ont été utilisées pour des calculs d'impacts environnementaux plus généraux (effet de serre, acidification atmosphérique).

### 1.2.3. La construction d'un simulateur

L'étude de la situation existante a été basée essentiellement sur les chiffres de l'année 2003, bien que les modifications des schémas de traitement effectuées en 2004 aient cependant été prises en compte dans certains flowsheets afin de refléter au mieux la situation existante.

#### ***a) Construction d'un simulateur avec le logiciel de simulation du BRGM***

Classiquement, les quatre étapes suivantes permettent de construire un simulateur par :

- représentation graphique du système de traitement des déchets (voir illustration 1, illustration d'un exemple de 'flowsheet'),

- initialisation des flux entrants dans le système, c'est à dire associer à chaque flux représentant des déchets générés ou des déchets importés un tonnage et une composition,
- association d'un modèle à chaque unité de traitement des déchets (représenté par une 'icône' dans le 'flowsheet'),
- paramétrage des modèles sur la base des caractéristiques techniques et des caractéristiques de fonctionnement des installations (données recueillies à l'aide des questionnaires fournis au CG13),

### ***b) Validation du simulateur***

A ce stade, une simulation peut alors être réalisée : tous les flux de déchets, les produits de traitement comme les produits des centres de tri (y compris les refus) sont estimés par les modèles mis en œuvre. Ces résultats calculés vont être confrontés aux données recueillies sur la situation réelle.

Cette comparaison permet d'ajuster les modèles pour qu'ils représentent le plus fidèlement possible le fonctionnement des installations pour l'année de référence (2003). Cette étape permet de valider le simulateur, c'est à dire de s'assurer de la justesse de ses prédictions.

**Ainsi, la construction et la validation d'un simulateur sont fortement dépendantes de la disponibilité ET de la qualité des données, à la fois pour l'alimenter, mais également pour le contrôler.**

L'appui méthodologique au recueil et à l'analyse des données est donc un élément clé de l'étude.

C'est seulement une fois le simulateur de la situation actuelle calibré sur les données réelles capable de reproduire le fonctionnement réel d'un schéma donné, qu'on est en mesure de simuler les différents scénarios.

Communauté du Pays d'Aix : Schéma de gestion des déchets ménagers

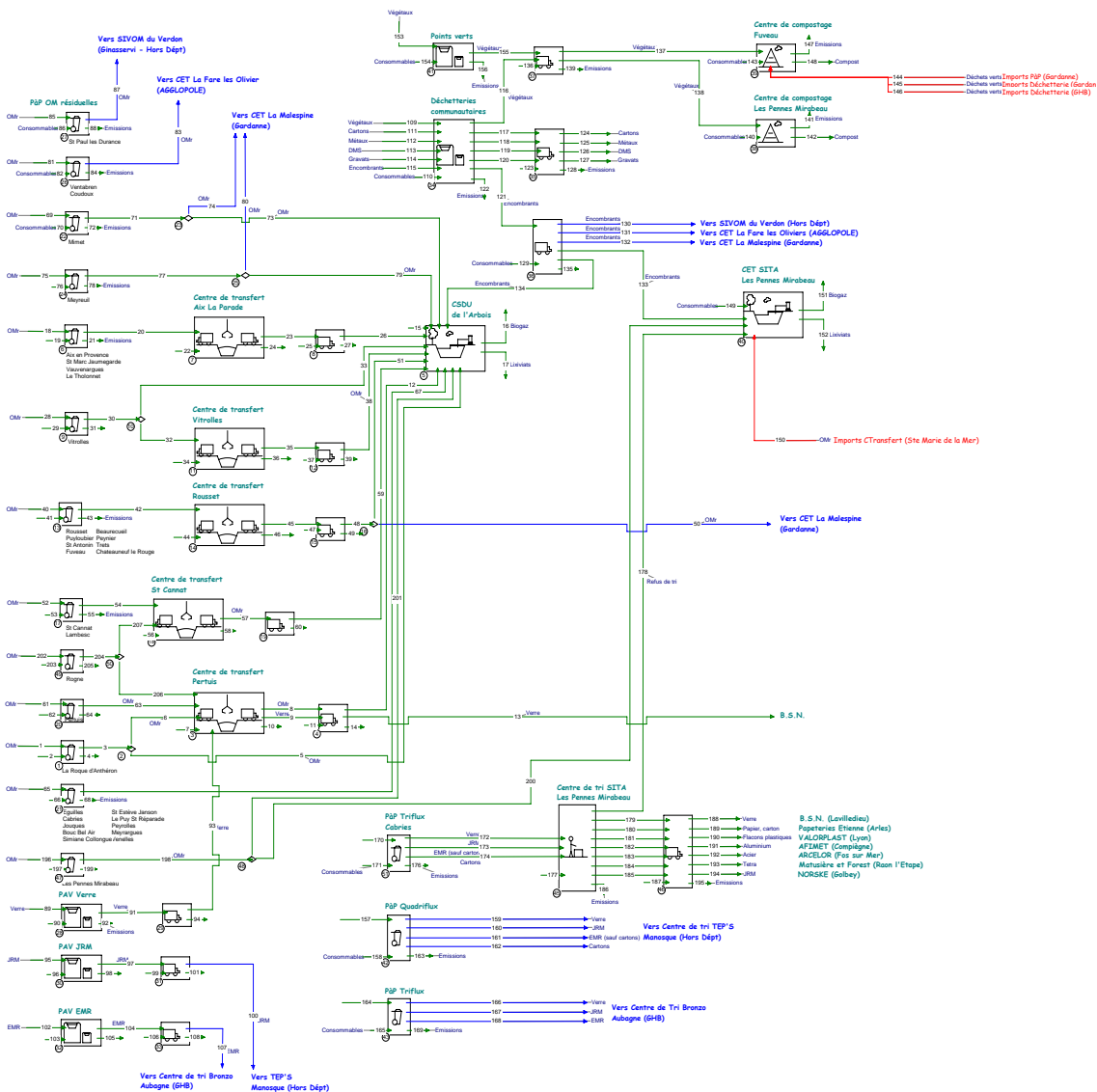


Illustration 1 : Exemple de flowsheet (cas de la Communauté du Pays d'Aix-CPA).

### 1.2.4. Recueil des données

Les données nécessaires pour élaborer un simulateur concernant l'ensemble de la filière de gestion des déchets sont les suivantes :

- Inventaire le plus complet possible de l'ensemble des flux de matière (déchets, produits de traitement) et des moyens (unités de traitement, collectes) mis en œuvre, en vue de représenter au mieux le synoptique (représentation graphique du système de gestion des déchets ou flowsheet) de la situation actuelle.

- Données liées aux flux de matière en terme de quantités (débits, tonnages, etc) et de qualité (composition, chimie).
- Données de fonctionnement des unités ou moyens de traitement (centres d'enfouissement, centre de tri, collectes, etc.) telles que : nombre et type de véhicules des différentes collectes, paramètres liés au fonctionnement d'un centre d'enfouissement, d'un centre de tri, les consommations énergétiques, etc.

Au moment où le BRGM est intervenu dans le projet (Octobre 2004), les deux premiers groupes de données avaient déjà été recueillies en grande partie par le CG13 au moyen des rapports annuels de chaque entité. Les flowsheets ont donc été élaborés sur la base des indications fournies et ont été corrigés au fur et à mesure jusqu'en Janvier 2005. Ils permettent de visualiser l'intégralité d'un schéma de gestion globale au niveau d'une collectivité. Des difficultés sont apparues principalement en raison de l'absence d'informations sur la destination de certains flux de déchets (notamment pour les déchetteries) ou de produits valorisables (en sortie de centres de tri). Ceci est particulièrement vrai lorsque les opérations et marchés concernés sont du ressort de sociétés privées.

Une attention particulière a été portée à la vérification que chacun des flux qui sortait d'un EPCI (export) était bien pris en compte comme import dans son EPCI de destination. Outre le fait que ces flowsheets constituent la base de la simulation à l'aide de l'outil du BRGM, ils permettent une première approche graphique synthétisant le schéma de la gestion des déchets à l'échelle de la collectivité. A ce titre, ils ont permis de lever des incertitudes quant à la destination de certains flux.

L'étape suivante s'est attachée à faire l'inventaire de l'état des connaissances concernant les flux identifiés sur chaque flowsheet en termes de tonnages et de compositions. Ce sont ces données, lorsqu'elles existent, qui sont utilisées pour initialiser les flux entrants dans le système.

Le CG13 a communiqué pendant toute la première phase les données liées aux flux de matière :

- Les quantités ( tonnages) sous la forme d'un tableau par type de flux et par commune,
- Les compositions sous la forme de résultats de campagnes MODECOM™ effectuées dans diverses localités du département.

Les données de fonctionnement des moyens de gestion (collectes, centres de transfert, centres de tri et d'enfouissement) ont été collectées sur la base des questionnaires élaborés par le BRGM au cours du projet AWAST et adaptés au contexte départemental. Ces questionnaires spécialisés pour chacune des opérations de gestion des déchets ont été envoyés aux opérateurs concernés : les communes pour la collecte, les opérateurs pour les installations de traitement.

Les questionnaires constituent une part importante du **soutien méthodologique** fourni par le BRGM, car ils synthétisent les informations essentielles à obtenir pour réaliser l'ensemble des bilans (matière, énergie, environnement, emplois) de chaque installation, qui seront cumulés au niveau de chaque simulateur.

### 1.2.5. Analyse des données

L'analyse des données recueillies a deux objectifs principaux :

- Evaluation** : pertinence en termes de cohérence au niveau du bilan global, la somme des entrées dans le système devant être égale à la somme de toutes les sorties. Les outils de réconciliation de données inclus dans le logiciel de simulation permettent d'obtenir un jeu de données dites "cohérentes" (au sens de la conservation de la matière) et dont la précision est connue. La détection des incohérences nécessite malgré tout la connaissance de « mesures » effectuées sur les entrées ET sur les sorties. Les seuls points où ces « mesures » ont pu être disponibles sont les centres de tri.
  
- Calibrage des modèles** : les données cohérentes servent à ajuster les modèles représentant les opérations de chaque flowsheet. Chacune des opérations est représentée par un modèle capable de prédire les sortants en fonction des caractéristiques des entrants et des caractéristiques des traitements. Tous les modèles sont paramétrés avec des valeurs par défaut issues de l'analyse de données nationales et européennes. Afin d'améliorer la qualité de la prédiction pour une situation particulière, il convient d'ajuster les modèles aux données réelles de cette situation qui auront été recueillies préalablement. Les manques éventuels de données réelles sont comblés "par défaut" à l'aide des bases de données incluses dans le logiciel et issues de statistiques de différents pays européens sur la composition des différents flux et sur les performances des traitements incluses dans l'outil. L'analyse des données des questionnaires a été effectuée lors du calibrage de chacun des modèles.

Pour avoir le détail de l'étude et l'intégralité des résultats obtenus on se reportera aux deux rapports d'avancement dont les références sont reportées en bibliographie.



## 2. Phase 1 : Diagnostic territorial

### 2.1. PRESENTATION

Le département des Bouches du Rhône (représenté dans l'illustration 2) est constitué de 119 communes. Deux communes hors département (St Zacharie-83 et Pertuis-84) sont rattachées à des EPCI des Bouches du Rhône. En accord avec les partenaires du projet, le découpage adopté pour cette recherche distingue :

- 10 EPCI (Agglopoie, Etoile-Merlançon, CAOUEB, SMICTTOM Nord-Alpilles, Vallée des Baux, Pays d'Aix, MPM, GHB, SAN, SRE)
- 4 communes indépendantes (S<sup>tes</sup>-Maries-de-la-Mer, Arles, S<sup>t</sup> Martin-de-Crau et Gardanne)
- 1 regroupement de 5 communes indépendantes (Regroupement de Mollégès).

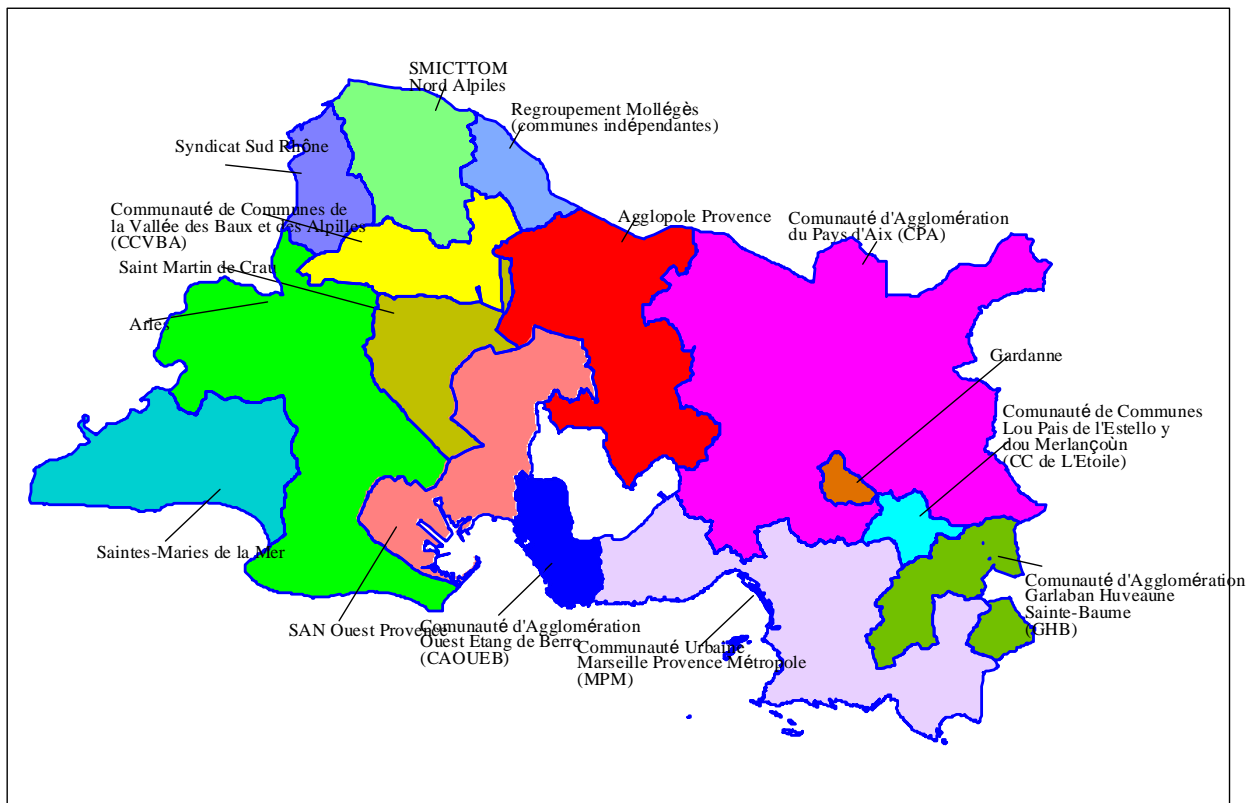


Illustration 2 : Découpage du territoire des Bouches du Rhône (Source : CG13).

Chaque entité a été représentée par un flowsheet. Chacun d'eux est indépendant, mais intègre des flux importés venant d'autres flowsheets, ou exportés.

## 2.2. DONNEES QUANTITATIVES ET QUALITATIVES SUR LES FLUX

La définition des informations véhiculées par les flux est tout à fait essentielle pour disposer d'un simulateur apte à fournir des éléments quantitatifs correspondant aux objectifs du plan. Ces informations sont les types de flux pris en compte, les phases de chaque flux, les constituants de chaque phase et les éléments chimiques de chaque constituant.

### 2.2.1. Types de flux pris en compte

La typologie des flux a été établie par le CG13 sur la base des informations disponibles dans les rapports annuels. Ces types de flux correspondent principalement à des données quantitatives produites par les autorités compétentes et qui peuvent facilement identifier une gestion particulière de chacun de ces types. **Cette typologie est néanmoins parfois floue dans la mesure où les données de certaines communes ou EPCI mélangent plusieurs types de flux.**

**Le respect d'une typologie précise dans les rapports annuels serait un atout considérable dans la mise en œuvre et le suivi du plan.**

Les flux qui ont été pris en compte sont représentés dans les tableaux 3 et 4 suivants :

<b>Collecte traditionnelle</b>	OM résiduelles Déchets d'Activités Commerciales (DAC) Total BOM
<b>Collecte sélective au porte à porte</b>	EMR (Emballages Ménagers Résiduels) Verre JRM (Journaux, Revues, Magazines) Recyclables (EMR, JRM,...)
<b>Collecte sélective en PAV</b>	JRM Emballages Plastiques Verre Textiles

*Illustration 3 : Collectes des déchets courants des ménages*

<b>Collectes des autres déchets des ménages en porte à porte</b>	Déchets Végétaux Gravats Encombrants
<b>Autres déchets des ménages collectés en déchetteries</b>	Déchets Végétaux Ferrailles Papiers et Cartons Bois Plastiques Encombrants DMS Gravats Pneus Batteries Huile
<b>Autres déchets des ménages produits par les services des collectivités</b>	Déchets végétaux Encombrants Papiers et cartons Autres déchets Gravats et inertes
<b>Boues</b>	Boues de STEP

*Illustration 4 : Autres Collectes*

### 2.2.2. Données quantitatives

Les tonnages annuels pour chaque commune et chaque type des flux ci-dessus ont été recensés par le CG13. Ces données permettent d'obtenir certains indicateurs sur le gisement des déchets dans le département, ainsi que sur les performances des collectes sélectives. Les données ont été recueillies sur 114 entités, la plupart des EPCI disposant des données par commune, sauf GHB et CAOUEB.

En ce qui concerne la collecte traditionnelle, les résultats sont reportés dans le tableau 5 suivant :

Kg/an/habitant	OM résiduelles	Déchets Activités Commerciales	Total BOM OMr + DAC
Moyenne/commune	<b>456</b>	<b>27</b>	<b>458</b>
Ecart type	182	29	182
MIN	259	1	259
MAX	2 019	93	2 019
Nombre communes	114	9	114
Habitants connectés	1 857 792	284 942	1 857 792
%Communes	100%	7.9%	100%
%Habitants	100%	15.3%	100%

*Illustration 5 : Performances collecte traditionnelle (OMr+DAC)*

Les communes des Baux de Provence (2019 kg/hab/an) et des S<sup>tes</sup> Maries de la Mer (1071 kg/hab/an) apparaissent largement en dehors de la moyenne (même en considérant l'écart-type). La forte activité saisonnière de ces deux communes constitue vraisemblablement une des explications possibles de cet écart à la moyenne importante. En vue de réduire le poids statistique de ces deux communes, les résultats reportés dans le tableau 6 suivant ont été recalculés en les écartant des données prises en compte :

Kg/an/habitant	OM résiduelles	Déchets Activités Commerciales	Total BOM OMr + DAC
Moyenne/commune	436	27	438
Ecart type	89	29	90
MIN	259	1	259
MAX	738	93	738
Nombre communes	112	9	112
Habitants connectés	1 854 880	284 942	1 854 880
%Communes	100%	8.0%	100%
%Habitants	99.8%	15.3%	99.8%

*Illustration 6 : Performances corrigées collecte traditionnelle*

L'écart-type passe de 182 à 89 kg/hab/an (soit 20% de 436 kg/hab/an tout de même !).

En ce qui concerne les collectes sélectives en porte à porte, couvrant 42% des communes du département, les résultats sont les suivants (tableau 7) :

Kg/an/hab	Emballages	Verre	JRM	Recyclables (EMR, JRM,...)	Total collecte sélective PAP
Moyenne/commune	12.4	13.7	15.1	33.8	33.0
Ecart type	8.5	9.4	20.6	20.6	22.7
Nombre communes	27	15	22	21	48
Habitants connectés	322 268	193 427	223 905	1 078 837	1 401 105
% Communes	24%	13%	19%	18%	42%
% Habitants	17%	10%	12%	58%	75%

*Illustration 7 : Performances collectes sélectives en porte à porte*

La collecte « Recyclables » est effectuée sur 21 communes, représentant 58% des habitants (MPM, SMICTTOM Nord-Alpilles), les autres concernant surtout CPA, SRE, Vallée des Baux. On peut raisonnablement penser que les communes non connectées constituent une réserve de « gisement ».

**Par contre, les estimations de performances ci-dessus ne tiennent compte que du nombre d'habitants des communes, et non des habitants réellement connectés.**

Les valeurs de référence ADEME (considérant des kg/an/hab desservis) sont reportées ci-dessous (tableau 8) :

kg/an/hab desservis	Rural PàP	Semi-urbain PàP	Urbain PàP
Métaux	2.4	2.1	1.2
EMR+ELA	8	10.4	8.1
Journaux	21.1	21.4	17.6
Plastique	3.6	3.7	2.3
Verre	43.7	28.5	21
<i>Emballages (EMR+ELA+plastiques)</i>	<i>11.6</i>	<i>14.1</i>	<i>10.4</i>
<i>Recyclables hors verre (Métaux+EMR+ELA+Jo urnaux+Plastiques)</i>	<i>35.1</i>	<i>37.6</i>	<i>29.2</i>

Illustration 8 : Données de référence collectes sélectives (source ADEME)

La moyenne par commune des valeurs de performances concernant les **emballages** : 12.4, peut être comparée aux valeurs de référence.

La moyenne par commune des valeurs de performances concernant le **verre** : 13.7, est largement sous-estimée.

La moyenne par commune des valeurs de performances concernant les **JRM** : 15.1, paraît aussi sous-estimée.

Enfin, la moyenne par commune des valeurs de performances concernant les **Recyclables** : 33.8, est comparable aux valeurs de référence.

Concernant les **collectes sélectives en apport volontaire** les résultats sont regroupés dans le tableau 9 ci-dessous :

Kg/an/hab	JRM	Emballages	Plastiques	VERRE	Textiles	Total PAV
Moyenne/commune	14.7	2.9	1.6	24.6	1.5	37.3
Ecart type	9.5	2.5	1.1	35.1	1.2	37.4
Nombre de communes	89	57	17	99	12	106
Habitants connectés	1 696 046	1 360 631	279 285	1 807 548	244 210	1 826 599
%Communes	78%	50%	15%	87%	11%	93%
%Habitants	91%	73%	15%	97%	13%	98%

Illustration 9 : Performances collectes sélectives en apport volontaire

Bien que sujette aux mêmes incertitudes que la collecte en PàP (performance calculée par rapport au nombre d'habitants des communes), les moyennes des valeurs de performance concernant les **JRM** (14.7 kg/hab/an), les **Emballages** (2.9 kg/hab/an), les **Plastiques**

(1.6 kg/hab/an) et le **Verre** (24.6 kg/hab/an), peuvent être comparées aux valeurs de référence. Ceci peut s'expliquer en partie par le taux de couverture de ces collectes, notamment pour les JRM et le verre.

Ainsi, l'estimation de la réserve de « gisement » des communes non couvertes par la collecte en PAV est-elle vraisemblablement plus fiable.

Concernant les **collectes des autres déchets en PàP**, ainsi que les **déchetteries**, les variations observées sur les chiffres recueillis d'une part, et la diversité des installations et des modes de fonctionnement d'autre part, rendent toute exploitation difficile en termes de « gisement potentiel ».

### 2.2.3. Influence des Collectes Sélectives sur le gisement d'OMr

On aurait pu s'attendre à ce que les communes ayant mis en place la collecte sélective voient leur gisement d'OMr diminuer. La figure 10 ci-dessous montre l'absence de relation manifeste entre ces deux paramètres (coefficient de corrélation 0.21).

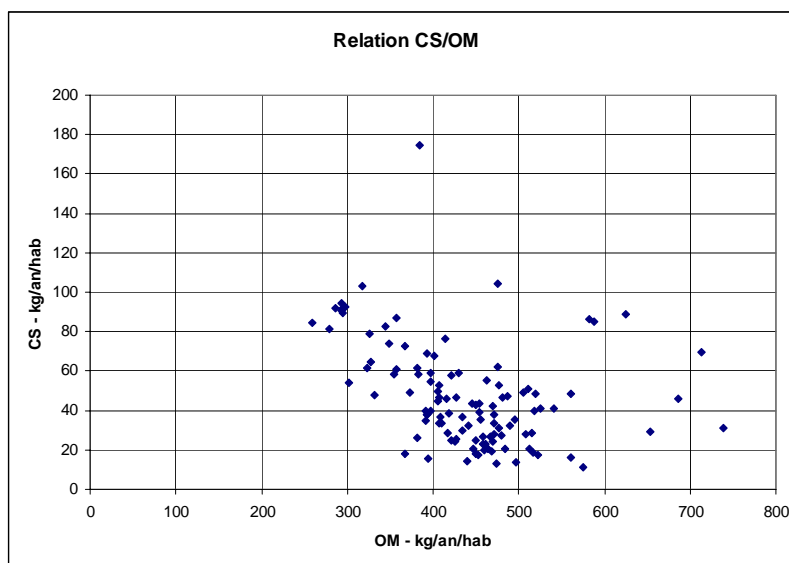


Illustration 10 : Influence des collectes sélectives sur le gisement d'OM résiduelles.

### 2.2.4. Données qualitatives – composition des flux

Les analyses MODECOM™ effectuées sur le département ces dernières années nous ont été fournies par le CG13. Ces données ont été introduites dans une « base de flux » conçue pour alimenter le simulateur. Les constituants à prendre en compte dans les simulations (et formant par conséquent le modèle de matière retenu) ont été sélectionnés à la suite d'une réunion de travail avec le CG13.

L'objectif étant d'identifier la part recyclable contenue dans les flux, les constituants listés dans le tableau ci-dessous ont été choisis :

Putrescibles – Déchets verts,
Putrescibles – Déchets alimentaires,
Papier - JMR,
Papier - Autres,
Cartons -Emballages,
Cartons - Autres,
Complexes - ELA,
Complexes - Autres,
Textiles,
Textiles Sanitaires,
Plastiques - Recyclables,
Plastiques – Films,
Plastiques – Autres,
Combustibles –Emballages,
Combustibles – Autres,
Verre – Emballage,
Verre – Autres,
Métaux Ferreux – Emballages,
Métaux Ferreux – Autres,
Métaux Non Ferreux – Emballages,
Métaux Non Ferreux – Autres,
Incombustibles,
Déchets Ménagers Spéciaux,
Fines ou Autres.

*Illustration 11 : Liste des constituants pris en compte*

Les analyses MODECOM™ fournies, au nombre de quinze, sont inventoriées ci-après :

<b>Années</b>	<b>Localisation</b>
1995	OM GHB
1996	OM Martigues collectif
1996	OM Martigues centre
1996	OM Martigues pavillons
1996	OM Martigues littoral
1996	OM Port de Bouc centre
1996	OM St Mitre pavillons
1996	OM Moyenne CAOUEB
1999	OM Salon habitat vertical
1999	OM Salon centre
1999	OM Eyguières
1999	OM Lançon
2003	OM en % /humide - Marseille 8 <sup>eme</sup> Arr. - Tri sur CTransfert Nord – Fév. 2003
2003	Refus de tri déchetterie du MIN - Marché des Arnavaux Marseille – Fév. 2003
2003	OM arrivage au CTBRU La Crau – Déc. 2003

*Illustration 12 : Liste des analyses MODECOM™ disponibles*

Concernant l'évolution du gisement des ordures ménagères résiduelles, sur la base de ces analyses MODECOM™ et par rapport aux résultats de la campagne nationale de 1993 (qui fait encore office de référence actuellement), on a mis en évidence :

- Une proportion stable en Matière Organique depuis 1993,
- Une diminution d'environ 10% de la proportion de recyclables depuis 1996, suite à la mise en place des collectes sélective,
- Une augmentation des plastiques et des textiles,

Les données concernant différentes strates d'une même zone (exemple à Martigues : Centre Ville, Zone pavillonnaire, Habitat collectif, Littoral ou à Salon de Provence : Centre ville, Habitat vertical) ne sont hélas pas assorties d'estimation des quantités de déchets.

**Si la méthode MODECOM™ insiste sur la détermination de la composition, sa première étape consiste malgré tout en un recueil d'informations sur la zone d'étude - dont la production d'OM – pour justement définir un zonage adapté. Dès lors que ce travail n'est pas réalisé, il est hasardeux de déduire une composition moyenne sur la zone concernée.**

Par contre, les données 1999 et 2003 confirment des tendances logiques et à ce titre ont été utilisées pour alimenter les simulateurs. Une moyenne a été faite entre les analyses de Lançon et Eyguières en vue de servir de composition par défaut pour les petites et moyennes communes. De la même façon une moyenne a été faite sur les analyses de Salon de Provence et a été utilisée pour les villes du département sauf Marseille. Pour cette dernière, on a utilisé l'analyse du 8<sup>ème</sup> arrondissement comme valeur par défaut (cf. Tableau 13).

%	Moyenne Lançon/Eyguières	Moyenne Salon	OM Marseille 8 <sup>ème</sup> Centre transfert Nord 2003
Put-Verts	19.8	9.8	1.8
Put-Alim	8.9	10.3	18.9
Pap-JMR	7.1	10.8	11.1
Pap-Autres	7.3	13.8	8.4
Cart-Emb	5.9	4.2	5.6
Cart-Autres	1.7	3.1	0.1
Cpx-ELA	0.9	0.6	0.5
Cpx-Autres	0.1	0.3	0.1
Textiles	5.3	4.0	3.4
Text Sanit	2.7	5.2	7.1
Plast-Recycl	2.9	2.3	2.5
Plast-Films	4.8	4.4	6.8
Plast-Autres	6.4	5.5	6.8
Comb-Emb	1.0	0.6	0.2
Comb-Autres	3.3	1.9	2.1
Verre-Emb	5.5	5.1	6.8
Verre-Autres	2.3	2.6	0.6
Fe-Emb	2.0	2.0	1.3
Fe-Autres	1.7	1.8	0.3
Nfe-Emb	0.2	0.4	1.7
Nfe-Autres	0.9	1.0	0.2
Incomb.	2.1	0.7	0.7
DMS	0.1	0.2	1.1
Fines ou Autres	7.1	9.5	12.2
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

*Illustration 13 : Composition des flux d'OM résiduelles*

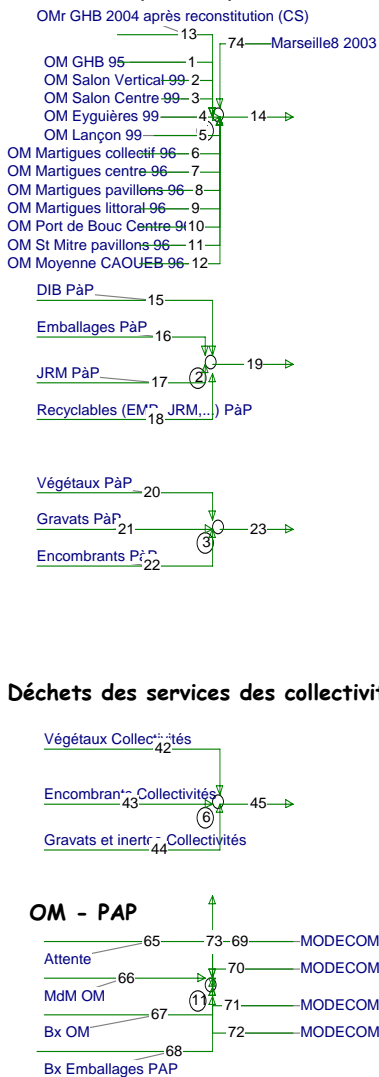


En ce qui concerne l'ensemble des flux autres que les OMr, la seule caractérisation disponible concerne des déchets de marché après tri des recyclables.

Une base de données, utilisant majoritairement **des résultats obtenus lors du projet AWAST**, a par conséquent été constituée pour l'étude (cf. Illustration 14). Au sein de celle-ci, chaque flux est caractérisé par une composition typique, « moyenne », qui a été utilisée comme composition par défaut, pour alimenter les simulateurs lorsque les données réelles n'étaient pas disponibles.

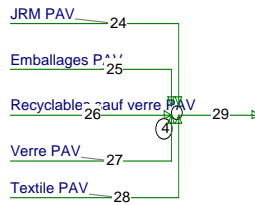
De la même façon aucune donnée concernant la chimie des différents constituants pris en compte n'étant disponible, une composition typique des catégories est fournie à partir des résultats d'AWAST.

**Collecte au porte à porte**

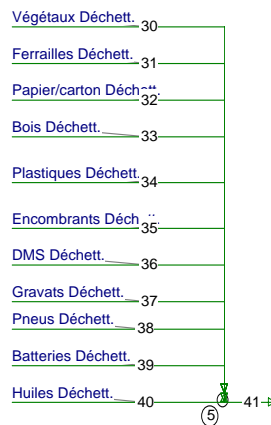


**Données sur flux de déchets**

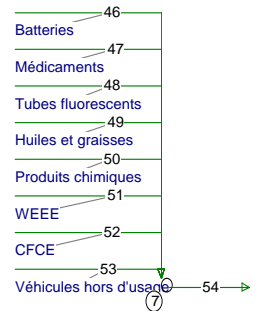
**Collecte en Points d'Apport Volontaire**



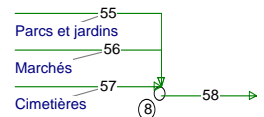
**Déchetterie**



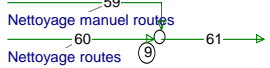
**Déchets spéciaux**



**Autres déchets organiques**



**Nettoyage des routes**



**Boues**

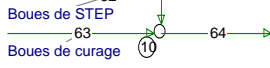


Illustration 14 : Ensemble des compositions fournies pour les flux.

## 2.3. MODELISATION DES DIFFERENTS MOYENS DE GESTION

La phase suivante a consisté à modéliser l'ensemble des différents moyens de gestion, en :

- Associant à chaque unité (ou moyen) de traitement des déchets un modèle,
- Paramétrant ces modèles sur la base des caractéristiques techniques et des caractéristiques de fonctionnement des installations recueillies à l'aide des questionnaires fournis au CG13, en vue de reproduire au plus près leur fonctionnement réel.

### 2.3.1. Modélisation des collectes

Sur l'ensemble des questionnaires envoyés aux communes ayant en charges les collectes, les informations réellement exploitables sont très pauvres : sur les 121 communes concernées du département, seuls 28 questionnaires sont exploitables en ce qui concerne les collectes d'OMr (ce qui représente un taux de retour de 23% environ), les chiffres sont encore moins bons si on s'intéresse aux autres collectes. Pour compenser ce manque de données nécessaires au bon fonctionnement du simulateur, une modélisation a été réalisée, en vue d'estimer pour chaque commune les kilométrages totaux parcourus (et calculer les émissions, notamment de gaz à effets de serre, engendrées par ces collectes), ainsi que les coûts des collectes pour les OMr et les DAC en porte à porte, les collectes sélectives en porte à porte et les collectes sélectives en apport volontaire<sup>3</sup>.

#### a) Estimation des kilométrages parcourus

Les données estimées de kilométrages pour la **collecte des OMr et des DAC** sont reportées dans le tableau 15 suivant :

Résultats par syndicat	Tonnages OM+DAC	Km totaux
Sous-total AGGLOPOLE	55 824 t	434 136
Sous-total C PEM	8 626 t	55 880
Sous-total CAOUEB	26 895 t	109 651
Sous-total CC RAD	15 849 t	176 773
Sous-total CC VBA	7 555 t	87 576
Sous-total CPA	146 909 t	1 244 221
Sous-total CU MPM	455 559 t	2 683 311
Sous-total GHB	33 620 t	1 789 894
Sous-total Ouest Provence	46 221 t	316 534
Sous-total SRE	6 700 t	36 274
Communes indépendantes	41 429 t	201 508
Groupement de Mollégès	6 338 t	56 218
<b>Somme</b>	<b>851 525 t</b>	<b>7 191 975</b>

*Illustration 15 : Kilométrages collectes OMr et DAC*

<sup>3</sup> On trouvera le détail des modèles mis en œuvre dans le rapport d'avancement n°1 : « CG13 - Modélisation et simulation de la gestion des déchets en 2003 » - BRGM/RP-54165-FR

Les données estimées de kilométrages pour la **collecte sélective en porte à porte** sont représentées dans le tableau 16 suivant :

Résultats par syndicat	Tonnages CS PAP	Km totaux
Sous-total AGGLOPOLE	144 t	3 015
Sous-total C PEM	0 t	
Sous-total CAOUEB	1 238 t	27 831
Sous-total CC RAD	2 241 t	53 450
Sous-total CC VBA	404 t	12 430
Sous-total CPA	3 040 t	141 400
Sous-total CU MPM	4 692 t	131 355
Sous-total GHB	710 t	17 041
Sous-total Ouest Provence	164 t	6 425
Sous-total SRE	280 t	6 323
Communes indépendantes	2 231 t	58 170
Groupement de Mollégès	0 t	
<b>Somme</b>	<b>15 144 t</b>	<b>457 438</b>

*Illustration 16 : Kilométrages collecte sélective en porte à porte*

Pour la **collecte sélective en apport volontaire**, aucune donnée n'était disponible. L'estimation du kilométrage total a par conséquent été basée sur la valeur moyenne des kilomètres parcourus par tonne de déchets transportée en porte à porte (Tableau 17).

	Km totaux	Tonnage CS PAV
<b>Somme</b>	<b>1 131 178</b>	<b>37 448 t</b>

*Illustration 17 : Kilométrages collecte sélective en apport volontaire*

## **b) Estimation des coûts de collectes**

Le modèle de base utilisé pour estimer les coûts de collectes est tiré de celui qui a été développé dans le cadre du projet européen AWAST, adapté aux spécificités des conditions locales et simplifié pour les besoins de l'étude. Comme mentionné plus haut, les données nécessaires à la mise en œuvre de ce modèle n'étaient pas en nombre suffisant au regard des questionnaires récupérés et les ajustements n'ont pu être réalisés que sur la base des coûts recensés dans les questionnaires.

Pour les **OMr+DAC** on détermine ainsi des coûts de collecte compris entre 52.2 €/t (CAOUEB) et 94.2 €/t (CC RAD), avec une moyenne de 58.2 €/t (pour un total de 851 526 t collectées). A noter que d'après les chiffres de l'ADEME, les coûts de collecte s'échelonnent entre 40 et 100 €/t pour les coûts techniques.

Pour les **collectes sélectives en porte à porte**, aucune donnée économique «Coûts totaux» ne s'est avérée exploitable. Une valeur par défaut en €/t collectée a ainsi été utilisée pour estimer les coûts engendrés par la collecte sélective de déchets en porte à porte.

Concernant la collecte sélective en apport volontaire 5 questionnaires étaient renseignés par rapport aux coûts. Néanmoins, les données correspondant à l'équipement et à l'organisation de

ces collectes n'étaient pas suffisamment renseignées pour que l'on puisse établir un modèle de coût comme pour la collecte des OMr. On a donc utilisé la valeur moyenne de 61,5 €/t collectée en PAV, déterminée à partir des 5 valeurs à disposition (à noter qu'on ne dispose de coûts de référence ADEME pour les collectes en PAV).

### **2.3.2. Modélisation des centres de transfert**

Le modèle de centre de transfert calcule les coûts d'investissement et les coûts opératoires liés à la mise en place et au fonctionnement du centre. Il évalue également le nombre d'employés nécessaire.

Un seul questionnaire a été retourné concernant les centres de transfert sur les 19 que compte le département.

### **2.3.3. Modélisation des centres de tri**

Le modèle utilisé est basé sur une matrice de coefficients de transfert de matière pour représenter la répartition des flux d'entrée dans les différents flux de sortie. La matrice est bien entendu calibrée sur des données réelles de performances de centres de tri existants.

Les questionnaires ont été envoyés aux sept centres de tri suivants, tous gérés par des sociétés privées :

- Centre de tri de Vitrolles (Société OTC Onyx)
- Centre de tri des Pennes-Mirabeau (SITA Sud)
- Centre de tri d'Arles (Delta Recyclage)
- Centre de tri de Marignane (C.E.R.)
- Centre de tri d'Aubagne (Bronzo)
- Centre de tri de La Penne sur Huveaune (SITA Sud)
- Centre de tri de Manosque (TEPS)

Les réponses montrent que si des informations ont bien été recueillies pour l'ensemble des centres de tri, celles-ci sont difficilement exploitables pour calibrer rigoureusement un modèle. Il semble ainsi très difficile d'obtenir de la part des sociétés privées gérant ces centres des informations détaillées sur les performances de tri à partir des collectes sélectives (en porte à porte ou en apport volontaire), collectivité par collectivité ou même flux par flux. Ceci est encore plus marqué pour les centres triant également (voire principalement) des DIB et pour lesquels il est souvent difficile, voire impossible, de distinguer les produits triés issus des collectes sélectives de déchets ménagers, de ceux provenant des DIB (ex. Centre de tri de Vitrolles).

Néanmoins, grâce à des données supplémentaires récupérées pour partie dans le rapport annuel de Marseille et pour le reste par l'intermédiaire des services de GHB, il a été possible de calibrer les modèles des centres de tri d'Aubagne et de Marignane. Les résultats obtenus permettent d'une part de valider les compositions par défaut des flux de collectes sélectives et d'autre part d'estimer les performances du tri (le rapport MPM globalise les centres de tri Aubagne et Marignane) sur les trois flux.

A noter que les taux de refus constatés, en particulier sur les collectes sélectives en porte à porte sont exceptionnellement forts. Cela pose le problème de l'extrapolation de ces résultats sur les autres centres de tri, en particulier sur ceux qui traitent aussi des DIB.

### 2.3.4. Modélisation des centres d'enfouissement

La modélisation des centres d'enfouissement a pour objectif principal d'estimer leur impact environnemental en comptabilisant les émissions liées à l'enfouissement des déchets depuis le premier dépôt jusqu'aux derniers dépôts correspondant à l'arrêt d'exploitation prévue. Le modèle utilisé permet également d'estimer les émissions par tonne de déchets enfouis et tient compte en particulier des systèmes de collecte et valorisation du biogaz généré, de la capacité totale de stockage, du nombre de casiers prévus, de leur surface et de leur hauteur etc. Moyennant quelques « allers-retours » avec les exploitants des différents centres d'enfouissement, le CG13 a pu obtenir des réponses suffisantes aux questionnaires pour utiliser les modèles.

La reconstitution de l'historique des dépôts représentée figure 18 a permis de déterminer un tonnage moyen de déchets enfouis par an et une durée d'exploitation de chaque décharge. A partir de l'année 1998, les données sont tirées d'un tableau réalisé par le CG13. Pour les tonnages enfouis avant 1998, on a considéré l'évolution de la production de déchets par habitant et l'évolution démographique (à partir de données nationales de l'ADEME) en vue de reconstituer ces tonnages sur la base des tonnages de 1998. Pour la décharge de la Crau (Entressen), un tonnage moyen a été déterminé par l'exploitant (sur la période 1956-2006). Concernant cette dernière et étant donné son « poids » important par rapport aux dix autres centres d'enfouissement du département, une amélioration du système de collecte de biogaz a été prise en compte entre 2003 et 2006 (fin programmée de l'exploitation), comme prévu dans la demande d'autorisation d'exploiter.

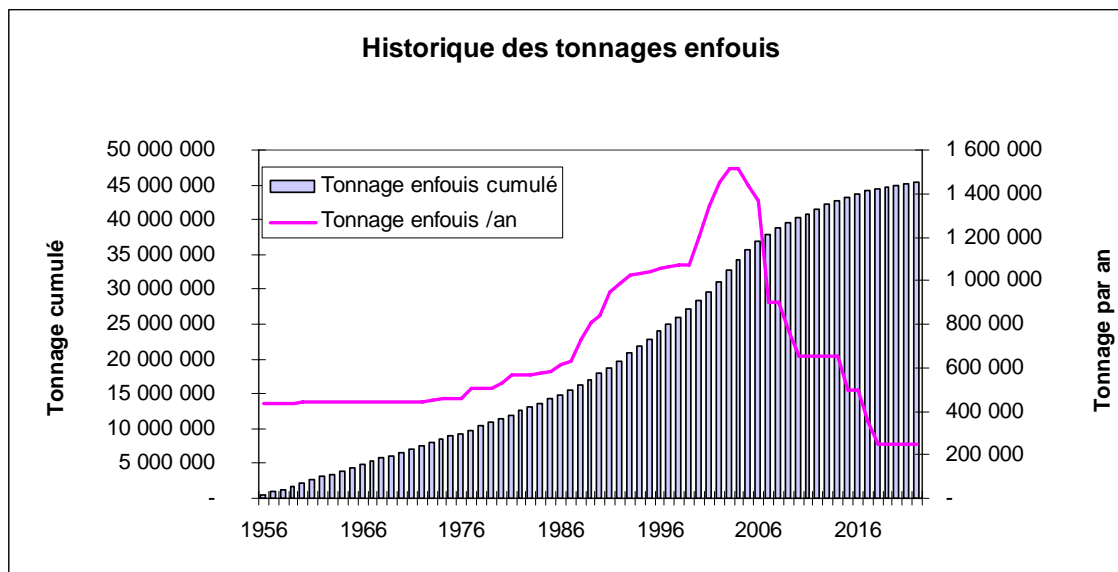


Illustration 18 : Historique des tonnages enfouis en CET

La modélisation de la génération de gaz de décharge (ou biogaz) est basée sur le modèle EMCON MGM<sup>4</sup> illustré par la figure 19 ci-dessous.

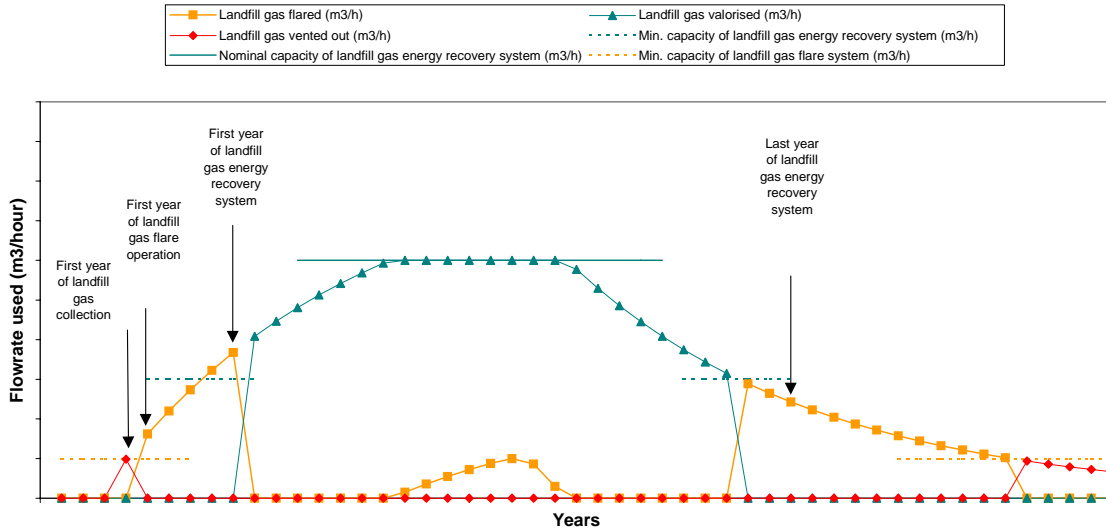


Illustration 19 : Modélisation de la génération de gaz de décharge

## 2.4. RESULTATS DE LA SIMULATION POUR L'ANNEE 2003

De son côté, le CG13 a travaillé sur le diagnostic départemental avec une approche particulièrement développée sur l'aspect bilan matière. Les simulations réalisées par le BRGM complètent naturellement cette approche et l'enrichissent sur des aspects non pris en compte, à savoir les bilans énergie et environnement.

### 2.4.1. Bilan matière

L'ensemble des 15 simulateurs mis au point fournit un moyen de réaliser le bilan matière complet du département.

Un des objectifs de recherche de la convention était de fusionner ces 15 simulateurs pour obtenir un bilan global. Une réflexion a été engagée à ce sujet mais n'a pas permis d'aboutir à un outil opérationnel dans le cadre de cette convention, l'ensemble des partenaires du projet ayant décidé de privilégier l'approche environnementale et énergétique.

Quoi qu'il en soit, le bilan matière en lui-même n'a d'intérêt pour les décideurs que s'il est exprimé sous la forme d'indicateurs pertinents. Une façon intéressante de le présenter est celle

<sup>4</sup> Liberti, L., Amicarelli, V., Amodio, F., Ferrara L. and Blasi, G. (1993) Proceedings Sardinia 93, Fourth International Landfill Symposium, 11-15 October 1993 Environmental Sanitary Engineering Centre pp. 745-758

qui permet de se rapporter aux principaux objectifs nationaux. La directive 2004/12/CE du parlement européen et du conseil du 11 février 2004 modifiant la directive 94/62/CE relative aux emballages et aux déchets d'emballages fixe par exemple des objectifs pour le 31 décembre 2008 :

- valorisation, par recyclage ou valorisation énergétique : 60 % au minimum en poids des déchets d'emballages seront valorisés ou incinérés dans des installations d'incinération des déchets avec valorisation énergétique,
- recyclage : de 55% au minimum et 80 % au maximum en poids des déchets d'emballages tous matériaux confondus avec un minimum de 15 % par matériau.
- des objectifs de recyclage sont aussi fixés pour les matériaux contenus dans les déchets d'emballage.

L'ADEME, dans son guide « Plans départementaux d'élimination des déchets ménagers et assimilés : flux de gestion des déchets et taux de recyclage et de valorisation, Novembre 2000 » propose une représentation du bilan matière qui permet d'extraire facilement les principaux indicateurs de comparaison avec les objectifs nationaux.

Les principaux indicateurs fournis sont les suivants : Indicateur de collecte pour recyclage, taux de recyclage, de valorisation et d'élimination, contributions des différentes formes de compostage aux performances de recyclage organique, répartition des déchets primaires entre les différents modes de traitement, destination finale des flux.

#### **2.4.2. Bilan environnemental**

Le bilan environnemental estimé grâce au simulateur prend en compte les émissions atmosphériques du système de gestion des déchets des Bouches du Rhône. Les principales sources considérées sont la collecte et le transport des déchets d'une part et les centres de stockage de déchets ultimes d'autre part. Sur ce dernier point, ne sont considérés dans ce bilan que les onze centres de stockage en exploitation en 2003. Il a été effectué en plusieurs étapes :

- Estimation des émissions gazeuses en tonnes.
- Calcul des impacts environnementaux de ces émissions gazeuses (contribution à l'augmentation des gaz à effet de serre et acidification de l'air).
- Normalisation de ces indicateurs (estimation de des impacts environnementaux en termes d'équivalents habitants).

Le simulateur mis en œuvre ne fournit pas une évaluation du type « ACV - analyse du cycle de vie ». En effet, le simulateur comptabilise uniquement les impacts réels du traitement des déchets. Les impacts évités tels que les émissions engendrées par la fabrication de plastiques, évitées grâce au recyclage de plastique ne sont par exemple pas pris en compte. Par contre, les quantités réelles d'émissions sont fournies.

Les principaux résultats obtenus convertis en indicateurs environnementaux en équivalents habitants sont regroupés dans le tableau ci-après :

<b>Collecte et transport</b>	<b>Unité scientifique</b>	<b>Equivalents habitants</b>
Kilomètres parcourus (km)	12 166 191	
Contribution à l'effet de serre (t eq.CO <sub>2</sub> )	40 534	4 660
Acidification de l'air (kg eq. H+)	2 671	1 406

<b>Centre de stockage</b>	<b>Unité scientifique</b>	<b>Equivalents habitants</b>
Contribution à l'effet de serre (t eq.CO <sub>2</sub> )	839 494	96 494

<b>Impact de la gestion des déchets du département des Bouches du Rhône</b>	<b>Unité scientifique</b>	<b>Equivalents habitants</b>
Contribution à l'effet de serre (t eq.CO <sub>2</sub> )	880 028	101 154
Acidification de l'air (kg eq. H+)	2 671	1 406

*Illustration 20 : Bilan environnemental des scénarios*

On met par exemple en évidence que le poids du transport (collecte + transport proprement dit) est inférieur à 5% de la contribution totale à l'effet de serre, en grande partie lié aux émissions des centres de stockage.

Il apparaît en effet que la contribution principale aux gaz à effet de serre est liée aux émissions de méthane (CH<sub>4</sub>) des centres d'enfouissement techniques qui ne sont pas été équipés d'un système de collecte du biogaz. A noter que le CO<sub>2</sub> émis, soit directement, soit après combustion du biogaz en torchère, n'est pour sa part pas comptabilisé car il participe au cycle de renouvellement de la matière organique. La modélisation des décharges du département a aboutit à l'évaluation suivante : 35,3 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> est émis par tonne de déchets enfouis pour 63,2 m<sup>3</sup> de CO<sub>2</sub>.

Même si les émissions liées au transport peuvent être sous-estimées, elles sont cohérentes avec les données de référence. Dans la mesure où les transports contribuent seulement pour moins de 5% à l'effet de serre, l'enjeu de leur amélioration ne justifie pas une action prioritaire. Les émissions calculées des décharges des Bouches du Rhône sont aussi cohérentes avec les données de référence et reflètent l'absence historique de gestion des biogaz.

Les principales perspectives d'amélioration portent sur les systèmes de collecte du biogaz. Même si l'état actuel est proche de la moyenne européenne, il est encore loin des meilleures performances connues. D'autre part, la réduction de la mise en décharge de matière organique peut contribuer à réduire les émissions dans des proportions non négligeables. Une simulation de l'effet de la diminution de produits fermentescibles (putrescibles, papiers, cartons, textiles sanitaires) sur les quantités de biogaz générées par tonne de déchets enfouis donne une idée des performances à attendre. Le tableau 21 suivant précise l'impact d'une diminution des fermentescibles (diminution de la proportion des fermentescibles, des papiers, des cartons et des textiles sanitaires dans les déchets enfouis) sur la quantité de biogaz générée par tonne de déchets enfouis. La diminution correspondante relative à la teneur en carbone organique est précisée.



Diminution des "fermentescibles"	kg C <sub>org</sub> /t déchets enfouis	m <sup>3</sup> biogaz généré/t (Référence : 98 m <sup>3</sup> /t 58,6% CH <sub>4</sub> – 41,4%CO <sub>2</sub> )
-10%	-4%	-6%
-20%	-7%	-12%
-30%	-11%	-17%
-40%	-14%	-23%
-50%	-18%	-29%
-60%	-22%	-35%
-70%	-25%	-41%
-80%	-29%	-47%

Illustration 21 : Influence de la diminution des fermentescibles enfouis sur le biogaz généré

Cette réduction n'affecte bien sûr que les tonnages enfouis à l'avenir.

Une simulation de l'effet de la diminution globale de la quantité de matière organique des déchets enfouis a été réalisée. Cette diminution peut être le résultat d'un traitement préalable à l'enfouissement comme le compostage sur ordures brutes ou la méthanisation des déchets. La diminution de la quantité de biogaz généré est directement proportionnelle à la réduction de la teneur des déchets en carbone organique.

**Si la quantité de carbone organique stockée est diminuée de 80% alors la quantité de biogaz généré est diminué d'autant pour atteindre 20 m<sup>3</sup> de biogaz généré/tonne.**

### 2.4.3. Bilan énergie

La principale source de consommation énergétique du système actuel de gestion des déchets est la collecte et le transport des déchets. Afin d'estimer l'échelle de cette consommation par rapport à une référence, elle a été convertie en « équivalent habitants » dont les résultats sont exprimés dans les tableaux suivants :

	Echelle nationale pour la France
Consommation d'énergie	166 GJ/hab./an

Illustration 22 : Echelle nationale de la consommation d'énergie.

Collecte et transport	Unité scientifique	Equivalent habitant
Kilomètres parcourus (km)	12 166 191	
Consommation d'énergie (GJ)	97 622	589

Illustration 23 : Consommation d'énergie en équivalent habitant.



## 3. Phase 2 : Simulation de scénarios

### 3.1. PRESENTATION

Le choix final des simulations à effectuer a été réalisé par le Conseil Général des Bouches du Rhône. Il se limite à un scénario «Tri-méthanisation-compostage» (TMC) des ordures ménagères résiduelles, décliné dans le temps (2006, 2011, 2016), en vue d'une analyse prospective dans le temps.

Le modèle de méthanisation du simulateur « AWAST » a été appliqué au cas des scénarios de gestion des déchets ménagers et assimilés sur le département des Bouches du Rhône. Les paramètres des modèles qui représentent chacune des opérations unitaires de traitement sont identiques quelle que soit l'usine considérée, sachant que quatre unités de traitement ont été prises en compte sur le territoire, réparties de la façon suivante :

- Une unité de 350 000 t sur le territoire du SAN,
- Une unité de 350 000 t sur le territoire de GHB,
- Une unité de 150 000 t sur le territoire de CPA,
- Et une unité de 35 000 t sur le territoire du SMICTTOM.

En accord avec les partenaires du projet, les hypothèses suivantes ont été formulées :

- Compte tenu des délais liés à la prise de décision, à la construction et à la phase de démarrage des unités de TMC, on a estimé que le régime de fonctionnement optimal de ces quatre unités serait atteint à l'horizon 2010. En conséquence, pour les simulations, le schéma de fonctionnement actuel (mise en CSDU des OMr) sera appliqué jusqu'en 2010, les OMr n'étant traitées dans les unités de TMC qu'à partir de cette date : plus aucune OMr ne sera donc envoyée directement en CSDU à cette date.
- A partir de 2010 et en ce qui concerne les OMr, seuls seront mis en CSDU les refus des unités de TMC. Le choix pour la destination finale a été basé sur le principe de proximité en considérant la destination la plus proche, en tenant compte des capacités connues et autorisées à la date de l'étude pour les différents CSDU existants.
- Les performances d'une unité de TMC dépendent en partie de la composition des OMr qui y sont traitées. On a ainsi tenu compte d'une augmentation graduelle des performances de collectes sélectives des recyclables (sur la base de données fournies par le CG13) pour adapter la composition des OMr traitées en unités de TMC en conséquence.
- Lors de la Phase 1 (Diagnostic territorial), le schéma de traitement actuel des déchets ménagers des Bouches du Rhône a été modélisé EPCI par EPCI. Ce travail a permis de synthétiser les données de compositions d'OMr issues des différents MODECOM™ qui ont été réalisés dans le département. Pour chacune des collectivités (communes indépendantes, groupements de communes, EPCI) considérées, une composition d'OMr a été définie. Pour cette deuxième phase, le schéma d'organisation par EPCI se

trouve fortement modifié. Pour avoir une vision globale de la situation, il a été décidé de travailler à l'échelle du département et de ne considérer qu'une composition unique pour les OMr ; cette composition tient bien sûr compte de l'augmentation des performances des collectes sélectives de recyclables.

### 3.2. CONCEPTION DU FLOWSHEET

La première étape de la modélisation a consisté à représenter la future organisation du schéma de gestion sous la forme d'un flowsheet. Pour cela, il a été nécessaire de définir pour chacune des quatre unités de TMC prévues la provenance des OMr à traiter en considérant celles qui, dans le schéma actuel, transitaient par un centre de transfert et celles qui étaient directement envoyées en CSDU après la collecte.

En ce qui concerne les refus de méthanisation, le choix des destinations a été fait en considérant les CSDU les plus proches de l'unité de traitement et en fonction des capacités connues et autorisées à la date de l'étude d'une part et de leur évolution aux dates des scénarios d'autre part. Ne sont ainsi pas pris en compte les différents projets de nouvelles installations ou d'extension de centres d'enfouissement existants. Une des principales conséquences de cette hypothèse réside dans le fait que les bilans environnementaux calculés (notamment le bilan lié aux transports) seront vraisemblablement « pessimistes » par rapport à ce que serait la réalité en considérant des possibilités non prises en compte ici.

Au terme de cette première étape, le futur schéma de gestion peut être représenté par le flowsheet reproduit page suivante (illustration 24). La mise en œuvre du simulateur permet de calculer pour chacun des flux sa quantité et sa composition par rapport au modèle de matière défini avec le CG13 lors de la Phase 1. Chaque flux est ainsi caractérisé en termes de composition en catégories (putrescibles, papiers, cartons, etc), en éléments chimiques (H, C<sub>org</sub>, C<sub>fos</sub>, Pb, Zn, etc), mais également en matière organique synthétique (MOS) ou non (MONS), cette dernière étant capable de se dégrader.

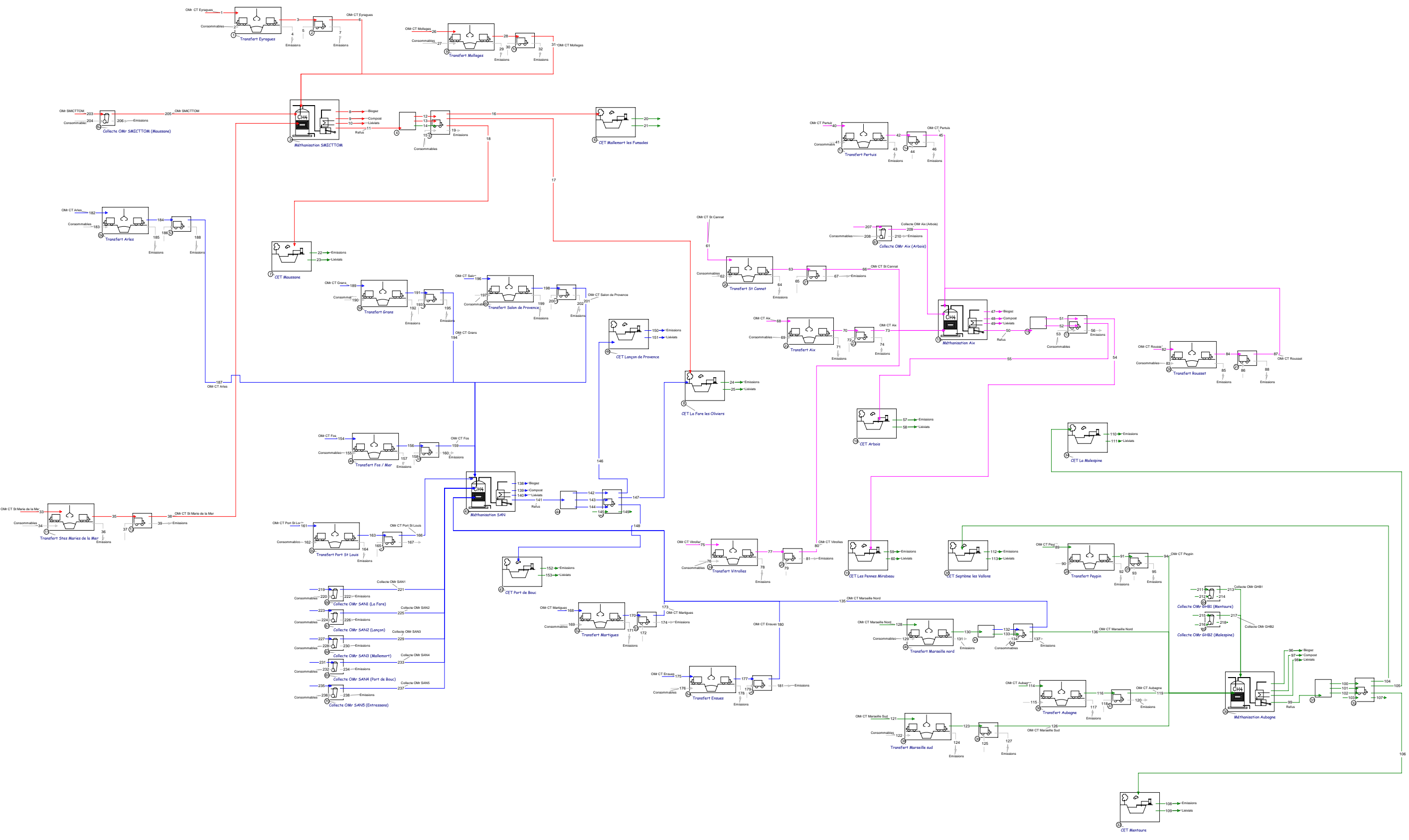


Illustration 24 : Flowsheet du futur schéma de gestion des Ordures ménagères résiduelles



### 3.3. COMPOSITION ET TONNAGES DES OMR TRAITÉES EN UNITÉS DE TMC

La composition « moyenne » des OMr traitées dans les unités de TMC a été déterminée :

- sur la base du modèle de matière défini lors de la phase 1 « Diagnostic territorial »,
- à partir de données ADEME relatives au gisement des valorisables au sein des ordures ménagères, assorties d'hypothèses de performances de collectes sélectives pour les années 2006 et 2008. Ces données ont été fournies par le Conseil Général.

Les compositions résultantes pour les OMr sont reportées dans le tableau 25 suivant :

		OMr 2003		OMr 2006		OMr 2008	
		Kg/hab	%	Kg/hab	%	Kg/hab	%
<b>Putrescibles</b>	Déchets Verts	74,7	16,7%	74,7	17,3%	74,7	17,5%
	Déchets Alimentaires	36,2	8,1%	36,2	8,4%	36,2	8,5%
<b>Papiers</b>	JRM	22,98	5,1%	20,11	4,6%	19,11	4,5%
	Autres	62,7	14,0%	62,7	14,5%	62,7	14,7%
<b>Cartons</b>	Emballages	15,37	3,4%	12,85	3,0%	11,02	2,6%
	Autres	9,6	2,2%	9,6	2,2%	9,6	2,3%
<b>Complexes</b>	ELA	2,32	0,5%	2,31	0,5%	2,26	0,5%
	Autres	1,4	0,3%	1,4	0,3%	1,4	0,3%
<b>Textiles</b>		14,5	3,2%	14,5	3,3%	14,5	3,4%
<b>Textiles Sanitaires</b>		16,9	3,8%	16,9	3,9%	16,9	4,0%
<b>Plastiques</b>	Recyclables	13,52	3,0%	12,32	2,8%	11,44	2,7%
	Films	7,2	1,6%	7,2	1,7%	7,2	1,7%
	Autres	30,8	6,9%	30,8	7,1%	30,8	7,2%
<b>Combustibles</b>	Emballages	2,4	0,5%	2,4	0,6%	2,4	0,6%
	Autres	14,5	3,2%	14,5	3,3%	14,5	3,4%
<b>Verres</b>	Emballages	31,73	7,1%	25,20	5,8%	22,20	5,2%
	Autres	14,5	3,2%	14,5	3,3%	14,5	3,4%
<b>Métaux</b>	Ferreux Emballages	6,75	1,5%	6,35	1,5%	6,05	1,4%
	Ferreux Autres	7,2	1,6%	7,2	1,7%	7,2	1,7%
	Non ferreux Emballages	2,40	0,5%	2,39	0,6%	2,38	0,6%
	Non ferreux Autres	2,4	0,5%	2,4	0,6%	2,4	0,6%
<b>Incombustibles</b>		3,4	0,8%	3,4	0,8%	3,4	0,8%
<b>Déchets Ménagers Spéciaux</b>		2,4	0,5%	2,4	0,6%	2,4	0,6%
<b>Fines &lt; 20 mm ou autres</b>		50,6	11,3%	50,6	11,7%	50,6	11,9%
<b>Total</b>		<b>446,5</b>	<b>100%</b>	<b>432,9</b>	<b>100%</b>	<b>425,8</b>	<b>100%</b>

Illustration 25 : Estimation de la composition des OMr pour 2006 et 2008

On peut noter que les différences de compositions entre 2003, 2006 et 2008 sont assez faibles (période de montée en puissance des collectes sélectives).

Pour la simulation des scénarios 2011 et 2016, on a considéré, sur la base des données transmises par le CG13, que les performances maximales de collectes sélectives étaient atteintes en 2008 et que par conséquent la **composition** des OMr n'était plus modifiée par rapport à celle de 2008. En ce qui concerne les tonnages des flux d'OMr envoyés vers les quatre unités de TMC, le tableau de répartition des OMr en fonction de leur provenance conduit aux chiffres rassemblés dans le tableau 26 suivant :

	<b>GHB</b>	<b>SAN</b>	<b>SMICTTOM</b>	<b>AIX</b>
Tonnage entrant 2008	337 568	341 205	34 030	147 096
Tonnage entrant 2011	336 028	339 622	33 898	146 417
Tonnage entrant 2016	333 457	336 978	33 680	145 285

*Illustration 26 : Evolution des tonnages prévus pour les centres de tri-méthanisation-compostage*

Le tonnage des OMr diminue légèrement : la politique de réduction à la source compense l'évolution de la population.

### 3.4. DETERMINATION DU KILOMETRAGE LIE A LA COLLECTE ET AU TRANSPORT

Rappelons que le modèle mis en œuvre dans le simulateur estime les kilomètres parcourus pour la collecte et le transport des déchets, en vue de déterminer la consommation en carburant et les émissions. Par rapport au bilan de l'existant réalisé lors de la phase 1, l'estimation du kilométrage pour la collecte et le transport des OMr a été totalement réévaluée pour la simulation des scénarios. On considère ainsi que les OMr qui étaient transportées directement vers un CSDU après collecte, sont envoyées maintenant directement vers une unité de TMC, tandis que les OMr qui transitaient par un centre de transfert avant d'être envoyées en CSDU, continuent de transiter par un centre de transfert avant traitement en unité de TMC.

**Remarque :** Les kilométrages du transport des refus de TMC est sans doute "pessimiste", le kilométrage parcouru au fur et à mesure des fermetures de CSDU pouvant certainement être réduit (ou en tout cas optimisé) en considérant des extensions de CSDU existants.

En ce qui concerne l'estimation des kilomètres parcourus lors de la collecte et du transport des déchets autres que les OMr (déchets issus des collectes sélectives vers les centres de tri, transport des produits de centre de tri, collecte des encombrants, des déchets des services, transport des produits de déchetteries, etc...), on a repris les résultats issus du diagnostic de l'existant (cf. phase 1). On a estimé en effet que les déchets considérés ne sont pas envoyés en unités de TMC et que, par conséquent, le schéma actuel n'était pas modifié. Enfin, on a considéré que les déchets transitant par le centre de transfert nord de Marseille sont envoyés en unités de TMC par train. Au final, on détermine les kilométrages représentés dans le tableau 27 suivant :

	<b>2011</b>	<b>2016</b>
	km/an	km/an
<b>Collecte et transport tous déchets</b>	16 264 976	16 185 138
<b>Collecte et transport OMr + refus TMC seulement</b>	12 070 795	11 990 957
<b>Dont transport par rail</b>	37 378	37 378

*Illustration 27 : Prévission des kilométrages pour 2011 et 2016*

**On observe une augmentation des km parcourus par rapport au diagnostic de l'existant de 25%. Cette estimation ne tient pas compte des km parcourus pour l'extension géographique des collectes sélectives.**



### 3.5. MODELISATION DES CENTRES D'ENFOUISSEMENT

Sur la base de ce qui a été fait lors du diagnostic de l'existant en phase 1, la modélisation des CSDU permet d'estimer les quantités de biogaz générées, ainsi que la part de ceux-ci récupérée et valorisée.

En ce qui concerne les OMr, si l'on considère que les unités de Tri-Méthanisation-Compostage atteindront leur régime de fonctionnement optimal à partir de 2010, on ne pourra plus envoyer en CSDU à cette date que les refus de ces unités. Pour étudier l'influence de cette modification majeure du fonctionnement du schéma de gestion des déchets du département sur les émissions des CSDU, on s'est intéressé aux flux liés aux OMr en écartant volontairement (pour des raisons de manque de données) les DIB ainsi que tout ce qui est enfoui en provenance des collectes sélectives (refus de centre de tris) et des déchetteries (avec essentiellement les encombrants).

Cependant, en vue de pouvoir comparer les scénarios à la situation actuelle, on trouvera dans les différents tableaux de résultats les valeurs d'émissions pour 2003 recalculées en ne considérant que celles liées à l'enfouissement des OMr.

La phase 1 avait permis d'estimer la génération (ainsi que la récupération et le brûlage en torchère) du biogaz liée à l'enfouissement des déchets :

- du début de l'exploitation jusqu'en 2003, sur la base des données réelles d'exploitation du CSDU obtenues grâce à un questionnaire,
- de 2003 jusqu'à la date de fin d'exploitation, sur la base d'hypothèses concernant le tonnage d'OMr enfouis.

Pour les scénarios 2011 et 2016, en supposant que seuls les refus de TMC seront envoyés en CSDU à partir de 2010, l'estimation de la génération du biogaz s'effectue en deux étapes :

1. une simulation du CSDU, réalisée sur la base des tonnages d'OMr enfouis depuis le début de son exploitation jusqu'en 2010,
2. une seconde simulation concernant le biogaz généré à partir des refus de TMC enfouis dès 2010 jusqu'à la fin d'autorisation d'exploitation.

Cette démarche a été appliquée pour chaque CSDU et les résultats ont été globalisés à l'échelle du département.

### 3.6. RESULTATS DES SIMULATIONS

#### 3.6.1. Bilans matière

Les illustrations 28 et 29 suivantes présentent les bilans matière pour les années 2011 et 2016. Comme précisé au § 3.2, les simulations considèrent que les refus de centres de TMC sont dirigés vers les CSDU les plus proches de l'unité de traitement et répartis en fonction des capacités connues et autorisées à la date de l'étude (sans tenir compte des dossiers d'extension ou de création de nouveaux sites). Ceci a pour conséquence la fermeture de certains CSDU existants assez rapidement, puisqu'en 2011, seuls les sites de La Fare-les-Oliviers, Les Pennes-Mirabeau, Septème-les-Vallons et Aix-Arbois seront susceptibles d'accueillir des déchets, auxquels il faut également soustraire le CSDU d'Aix-Arbois pour le scénario 2016.

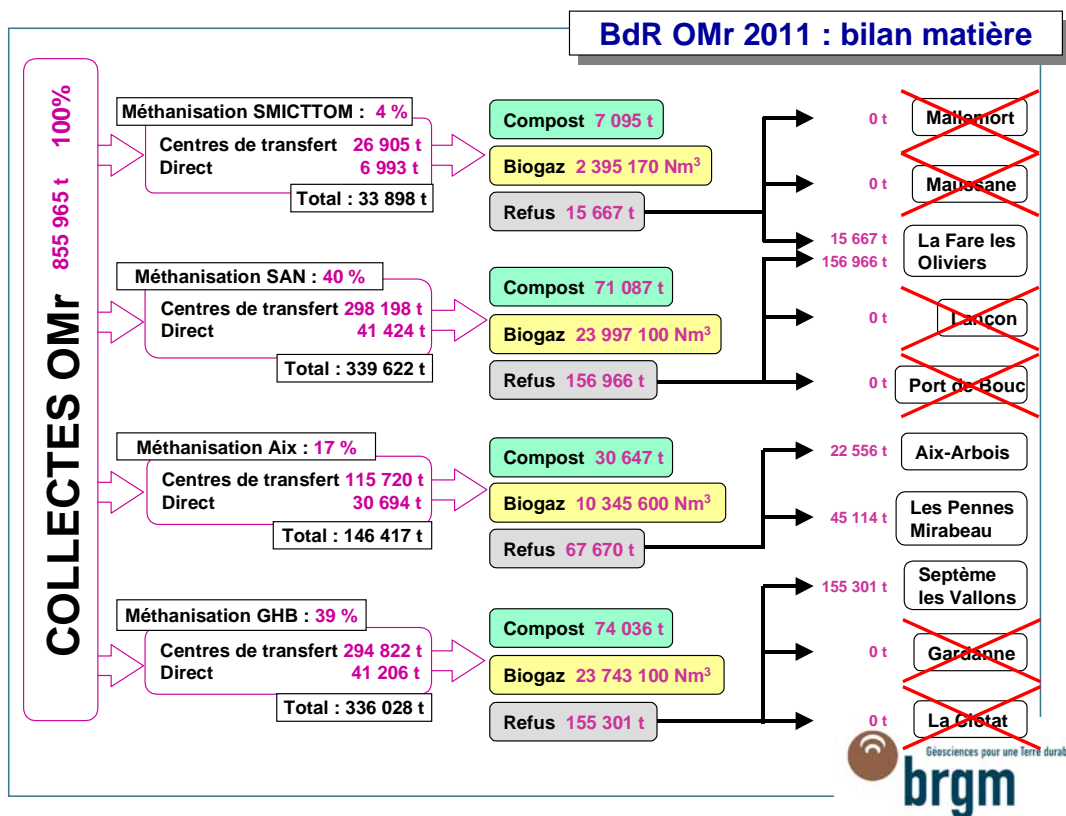


Illustration 28 : Bilan matière 2011

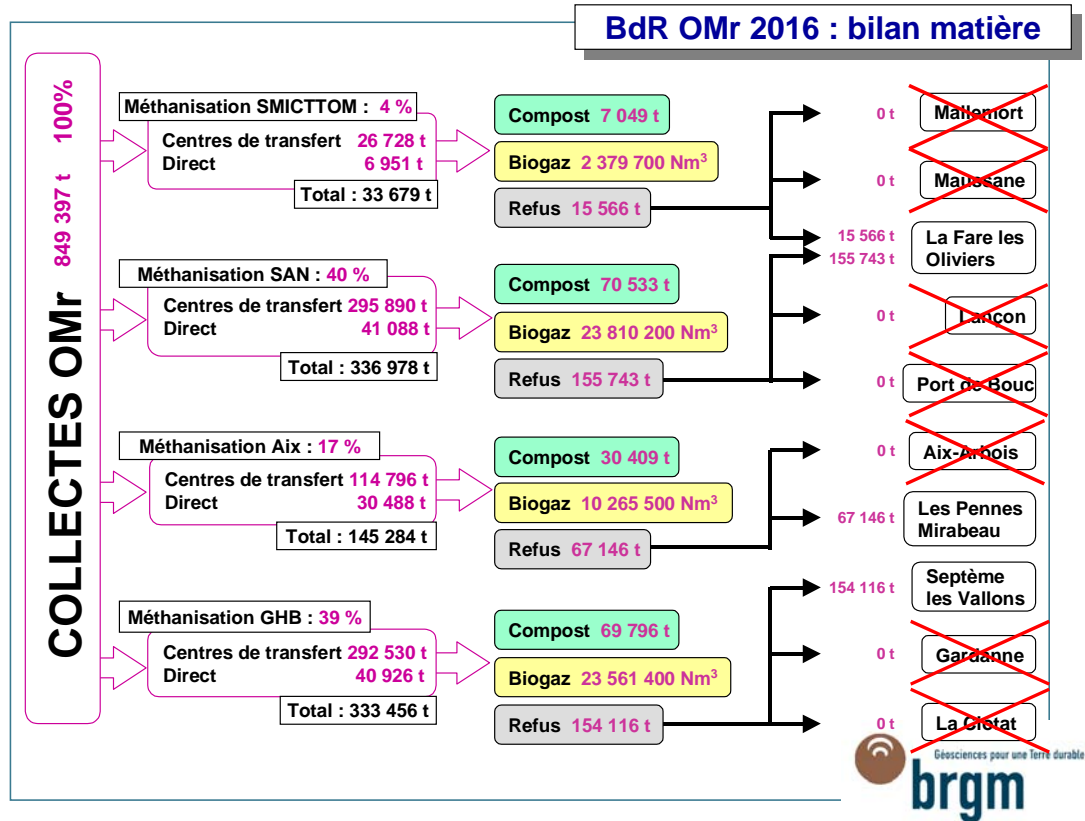


Illustration 29 : Bilan matière 2016

Un aperçu plus précis des différents flux est donné dans les tableaux 30 et 31 ci-après.

Horizon 2011						
Bilan matière						
	SMICTTOM	SAN	AIX	GHB	TOTAL	
Entrée Usine de méthanisation (t/an)	33 898	339 622	146 417	336 028	855 965	t/an
Refus criblage primaire (t/an)	16 027	160 573	69 225	158 875	404 700	t/an
Refus criblage après mise en pulpe (t/an)	2 144	21 486	9 263	21 258	54 151	t/an
Recyclables sur tri secondaire (t/an)	2 878	28 835	12 431	28 530	72 674	t/an
Refus de tri secondaire (t/an)	15 294	153 225	66 057	151 600	386 176	t/an
Entrée digesteur (t/an)	15 726	157 563	67 928	155 895	397 112	t/an
Consommation eau de procédé (m3/an) (recirculation 80%, siccité pulpe 30%)	7339	73 529	31 700	72 751	185 319	m3/an
Biogaz (Nm3/an)	2 395 170	23 997 100	10 345 600	23 743 100	60 480 970	Nm3/an
Effluents (m3/an)	6 846	68 590	29 570	67 863	172 869	m3/an
Entrée compostage (t/an) (siccité 50%)	14 936	149 654	64 520	148 070	377 180	t/an
Refus affinage du compost (t/an)	373	3741	1 613	3 701	9 429	t/an
Compost mûré et affiné (t/an)	7095	71087	30 647	74 036	182 864	t/an
Pertes maturation compost	7 468	74 826	32 260	70 333	184 887	t/an
Total refus (t/an)	15 667	156 966	67 670	155 301	395 605	t/an

Illustration 30 : Bilan matière 2011 détaillé

Horizon 2016						
Bilan matière						
	SMICTTOM	SAN	AIX	GHB	TOTAL	
Entrée Usine de méthanisation (t/an)	33 679	336 978	145 284	333 456	849 397	t/an
Refus criblage primaire (t/an)	15 923	159 323	68 689	157 658	401 593	t/an
Refus criblage après mise en pulpe (t/an)	2 130	21 318	9 191	21 096	53 735	t/an
Recyclables sur tri secondaire (t/an)	2 859	28 610	12 335	28 311	72 115	t/an
Refus de tri secondaire (t/an)	15 195	152 031	65 546	150 443	383 215	t/an
Entrée digesteur (t/an)	15 625	156 336	67 402	154 702	394 065	t/an
Consommation eau de procédé (m³/an) (recirculation 80%, siccité pulpe 30%)	7291	72 956	31 454	72 194	183 895	m³/an
Biogas (Nm³/an)	2 379 700	23 810 200	10 265 500	23 561 400	60 016 800	Nm³/an
Effluents (m³/an)	6 800	68 054	29 340	67 344	171 538	m³/an
Entrée compostage (t/an) (siccité 50%)	14 840	144 490	64 020	146 938	370 288	t/an
Refus affinage du compost (t/an)	371	3712	1 600	3 673	9 356	t/an
Compost mûré et affiné (t/an)	7049	70533	30 409	69 796	177 788	t/an
Pertes maturation compost	7 420	70 245	32 011	73 469	183 144	t/an
Total refus (t/an)	15 566	155 743	67 146	154 116	392 571	t/an

Illustration 31 : Bilan matière 2016 détaillé

Comme explicité plus en détail dans le deuxième rapport d'avancement, les performances des usines peuvent être affectées par la quantité et la composition des entrants. Entre 2011 et 2016, la légère diminution des tonnages en entrée ne permet pas de changer le nombre de batch (17 batch de 20 jours dans l'année), et la composition ne change pas. Les performances des usines sont donc identiques.

### 3.6.2. Bilan environnemental

Les émissions liées aux CSDU et aux transports (y compris la collecte) ont été estimées pour les années 2011 et 2016. Les détails de ces calculs sont reportés dans la note intitulée « *Bilan des émissions atmosphériques du futur système de gestion des déchets des Bouches du Rhône* », Note de synthèse BRGM-EPI/PW n°2005/320, Avril 2005.

Les impacts environnementaux associés aux émissions gazeuses engendrées par le traitement des déchets dans le département des Bouches du Rhône sont synthétisés dans le tableau 32 suivant (impacts liés à la collecte et aux transports de tous les déchets et les refus de traitement et impacts liés à l'enfouissement des refus de TMC).

	<b>Collecte et transport Tous déchets</b>		<b>Enfouissement des refus de TMC</b>	
<b>Scénario 2011</b>	Unité scientifique	Equivalent habitant	Unité scientifique	Equivalent habitant
Contribution à l'effet de serre (t eq CO <sub>2</sub> )	52 656	6 053	100 333	11 533
Acidification de l'air (kg eq. H <sup>+</sup> )	3 470	1 827		
<b>Scénario 2016</b>	Unité scientifique	Equivalent habitant	Unité scientifique	Equivalent habitant
Contribution à l'effet de serre (t eq CO <sub>2</sub> )	52 379	6 021	100 263	11 525
Acidification de l'air (kg eq. H <sup>+</sup> )	3 451	1 817		
	<b>Collecte et transport Tous déchets</b>		<b>Enfouissement des OMr</b>	
<b>Rappel 2003</b> - Enfouissement des OMr seules	Unité scientifique	Equivalent habitant	Unité scientifique	Equivalent habitant
Contribution à l'effet de serre (t eq CO <sub>2</sub> )	40 534	4 660	689 294	79 230
Acidification de l'air (kg eq. H <sup>+</sup> )	2 671	1 406		

Illustration 32 : Bilan environnemental détaillé 2011 et 2016

Au final, les résultats peuvent être également exprimés tels que présentés dans le tableau 33 ci-après.

<b>Scénario 2011</b>	Unité scientifique	Equivalents habitants
Contribution à l'effet de serre (t eq CO <sub>2</sub> )	152 989	17 586
Acidification de l'air (kg eq. H <sup>+</sup> )	3 470	1 827
<b>Scénario 2016</b>	Unité scientifique	Equivalents habitants
Contribution à l'effet de serre (t eq CO <sub>2</sub> )	152 642	17 546
Acidification de l'air (kg eq. H <sup>+</sup> )	3 451	1 817
<b>Rappel 2003 avec enfouissement des OM seulement considérées</b>	Unité scientifique	Equivalents habitants
Contribution à l'effet de serre (t eq CO <sub>2</sub> )	729 828	83 890
Acidification de l'air (kg eq. H <sup>+</sup> )	2 671	1 406

Illustration 33 : Bilan environnemental global 2011 et 2016

**La simulation de la mise en œuvre d'unités de tri-méthanisation-compostage pour le traitement des OMr sur le département des Bouches du Rhône montre une diminution importante des émissions atmosphériques engendrant des gaz à effet de serre pour les scénarios de 2011 et 2016.**

La diminution la plus importante correspond ainsi à celle liée aux émissions des CSDU puisqu'on note une réduction de plus de 80% par rapport à la situation existante de 2003. Par contre, la part des émissions liées aux transports et à la collecte sur le bilan environnemental augmente de façon significative, puisqu'elle passe de 5 % en 2003 à 35-40% dès 2011 (cf. Tableau 32) : la contribution totale à l'effet de serre en t eq.CO<sub>2</sub> passant de 729 828 en 2003 à 152 989 en 2011 (baisse liée à la réduction de la mise en CSDU principalement), la part de la collecte et des transports variant pour la même période de 40 534 à 52 656 t eq CO<sub>2</sub>.

### 3.6.3. Autres résultats

Le modèle d'usine de méthanisation évalue également les aspects économiques, le nombre d'emplois et l'emprise au sol, présentés dans les deux tableaux 34 et 35 ci-dessous.

Horizon 2011						
Bilan économique						
	SMICTTOM	SAN	AIX	GHB	TOTAL	
Investissement (génie civil + équipements de procédé)	10 275 000	60 600 000	29 750 000	60 600 000	161 225 000	euros
Frais Financier (€/an) (durée du prêt = 5 ans, taux = 6%)	384 248	2 266 222	1 112 543	2 266 222	6 029 235	euros/an st
Coûts de fonctionnement (personnel, maintenance, évacuation des sous-produits)	1 864 390	18 679 210	8 052 935	18 481 540	47 078 075	euros/an
Recette vente électricité (euros/an) (0,04 euros/kWh)	141 470	1 417 376	611 054	1 402 372	3 572 272	euros/an
Recette vente compost (15 euros/tonne)	106 420	1 066 300	459 700	1 110 540	2 742 960	euros/an
Coûts de production (euros/an) (durée de vie des centres de traitement = 20 ans)	2 378 140	21 709 210	9 540 435	21 511 540	55 139 325	euros/an
Coûts de production net (=Coûts de production - recettes)	2 130 250	19 225 534	8 469 681	18 998 628	48 824 093	euros/an
Coûts de production net avec frais financier	2 514 498	21 491 756	9 582 224	21 264 850	54 853 328	euros/an st
	74.18	63.28	65.44	63.28	64.08	euros/t déc

Bilan social					
	SMICTTOM	SAN	AIX	GHB	TOTAL
Nombre d'employés	10	70	35	70	185

Emprise au sol					
	SMICTTOM	SAN	AIX	GHB	TOTAL
aire (ha) (Tri + méthanisation + maturation com)	1.8	11	5	11	29

Illustration 34 : Bilan économique et social 2011

Horizon 2016						
Bilan économique						
	SMICTTOM	SAN	AIX	GHB	TOTAL	
Investissement (génie civil + équipements de procédé)	10 275 000	60 600 000	29 750 000	60 600 000	161 225 000	euros
Frais Financier (€/an) (durée du prêt = 5 ans, taux = 6%)	384 248	2 266 222	1 112 543	2 266 222	6 029 235	euros/an su
Coûts de fonctionnement (personnel, maintenance, évacuation des sous-produits)	1 852 345	18 533 790	7 990 620	18 340 080	46 716 835	euros/an
Recette vente électricité (euros/an) (0,04 euros/kWh)	140 532	1 406 339	606 328	1 391 639	3 544 838	euros/an
Recette vente compost (15 euros/tonne)	105 740	1 058 000	456 140	1 046 940	2 666 820	euros/an
Coûts de production (euros/an) (durée de vie des centres de traitement = 20 ans)	2 366 095	21 563 790	9 478 120	21 370 080	54 778 085	euros/an
Coûts de production net (=Coûts de production - recettes)	2 119 823	19 099 451	8 415 652	18 931 501	48 566 427	euros/an
Coûts de production net avec frais financier	2 504 071	21 365 673	9 528 195	21 197 723	54 595 661	euros/an su
	74.35	63.40	65.58	63.57	64.28	euros/t déct
Bilan social						
	SMICTTOM	SAN	AIX	GHB	TOTAL	
Nombre d'employés	10	70	35	70	185	
Emprise au sol						
	SMICTTOM	SAN	AIX	GHB	TOTAL	
cessaire (ha) (Tri + méthanisation + maturation compost +	1.8	11	5	11	29	ha

Illustration 35 : Bilan économique et social 2016

Les différents paramètres de calcul du bilan économique (prix de vente du compost, de l'électricité, durée de vie des équipements, etc.) sont tirées des travaux réalisés dans le cadre du projet européen AWAST et du rapport dédié « *Costs models for each municipal solid waste process – AWAST Deliverables 5 and 7* » - A. Le Bozec - 2004.





## 4. Conclusions

La présente étude a constitué une valorisation pour une application à l'échelle départementale d'une méthodologie de modélisation et de simulation de la gestion des déchets développée par la recherche Européenne.

En premier lieu, elle a permis de mettre en évidence des potentiels d'amélioration de la connaissance de la situation de la gestion des déchets dans les Bouches du Rhône. En particulier, les travaux effectués lors de la **phase 1** dédiée au diagnostic territorial, ont abouti aux conclusions suivantes :

- la réalisation des **schémas de gestion des déchets** pour chaque EPCI ou commune indépendante (15 entités) a intégré une démarche de vérification/validation de l'équipe en contact avec le terrain. Plusieurs allers-retours ont été nécessaires pour définir précisément la destination de tous les flux, du fait en particulier que les produits de certains traitements sont susceptibles de changer de destinataire en fonction de conditions technico-économiques variables (produits des déchetteries, des centres de tri, ...). Nous avons noté à cet égard que les rapports annuels des entités en charge du traitement (EPCI ou commune) ne mentionnent pas cet aspect de « circulation des flux ».
- l'analyse des **données quantitatives** (tonnages) recueillies dans les rapports annuels ou les questionnaires spécifiques envoyés par l'équipe fait ressortir une nécessité de mettre en place d'une part, une nomenclature précise des flux à utiliser par les EPCI (précisément dans leur rapport annuel) et d'autre part, un système d'information plus global, permettant de déduire simplement des performances de collecte par entité responsable, mais aussi de recueillir auprès des opérateurs privés des bilans complets d'activités qui impactent au final la gestion publique des déchets (capacité des CSDU en particulier). Que l'on raisonne par EPCI ou à l'échelle du département, les « imports » sont liés à l'activité des opérateurs et peuvent, à terme, fortement influencer sur les politiques déchets à mettre en place.
- la synthèse des **données de composition** a montré que les seules données disponibles concernent les caractérisations d'ordures ménagères. Malheureusement, ces données ne sont pas assorties d'éléments quantitatifs de production sur le secteur caractérisé. Les applications de la méthodologie MODECOM™ présentent toutes des lacunes sévères sur la réflexion initiale de sectorisation. Cela reflète une nouvelle fois le lourd héritage culturel des donneurs d'ordres en matière de gestion des déchets : « comment se débarrasser au mieux d'un déchet qu'on a sur les bras ? » domine la question pourtant primordiale « comment exploiter au mieux un gisement toujours renouvelé ? ». Les compositions des autres flux (collectes sélectives, déchetteries, déchets des collectivités, autres déchets en porte à porte,...) sont très mal connues (voire inconnues) des autorités. Ainsi, les informations disponibles aujourd'hui ne permettent pas de reconstituer un « gisement » logique à partir duquel on peut définir un potentiel d'amélioration et des objectifs pour une politique « déchets ». Dès lors, ces objectifs ne sont pas fondés sur une connaissance de la réalité.
- Aucune information sur la **chimie** des catégories MODECOM™ n'est disponible. Faute de ces informations, les décideurs ne peuvent réaliser de bilan environnemental de leurs projets qu'en utilisant des données nationales (ou même européennes) datant aujourd'hui

de 12 ans et peuvent par conséquent défavoriser des procédés technologiquement éprouvés.

- La synthèse des données sur les **collectes** (issues des questionnaires) fait ressortir un manque important d'informations nécessaires pour mettre en œuvre les modèles utilisés dans le simulateur. Si des données telles que tonnages, fréquences, ainsi que coûts constituent des informations qu'il est possible d'obtenir dans la plupart des cas, les données relatives aux kilométrages réalisés en fonction des collectes, au matériel utilisé, au temps de travail effectué etc, sont très difficiles (voire impossibles) à obtenir.
- La qualité des informations sur les **centres de tri**, fournies par les exploitants, fait que des difficultés apparaissent quand on essaye de comprendre les résultats du tri à partir des compositions et des quantités des flux triés ; des incohérences de bilan matière difficilement solubles sont ainsi mises en évidence. Cela est particulièrement vrai lorsque le centre de tri travaille pour plusieurs collectivités et sur plusieurs flux (collectes sélectives et DIB en particulier). Il devient alors très difficile d'obtenir des informations détaillées, qui permettent d'individualiser les résultats en fonction de l'origine des déchets et de leur composition.
- La modélisation et la simulation de l'ensemble des **centres d'enfouissement** ont été réalisées. Moyennant quelques aller-retours avec les exploitants, on a pu obtenir des réponses suffisantes sur les questionnaires pour utiliser les modèles. Les émissions ont ainsi été calculées, montrant les conséquences actuelles graves sur l'effet de serre et l'acidification de l'air de la gestion passée de ces centres.

En second lieu, la **phase 2** a consisté à tester par simulation un scénario qui détourne le flux actuel d'OMr du centre d'enfouissement vers le tri-méthanisation-compostage. Moyennant des hypothèses optimistes d'évolution du gisement (stabilisation jusqu'en 2011 puis décroissance jusqu'en 2016), les principales conclusions consistent en :

- Les impacts techniques de ce choix sont liés d'une part, au transport des déchets (les flux initialement dirigés vers les centres d'enfouissement sont dirigés vers 4 usines réparties dans le département, modifiant les distances parcourues par les déchets) et d'autre part, au traitement lui-même (la méthanisation en alternative au dépôt des OMr).
- En termes de **bilan matière**, il n'y a pas de différences notables entre les scénarios 2011 et 2016. Les performances sont liées à la composition des OMr qui ne varie pas entre ces dates. Le système de gestion parvient à détourner environ 47.6% du flux d'OMr actuellement mis en CSDU vers la récupération matière (8.5% en recyclage, 21% en compost) ou la récupération énergétique (12.5% sert à la production du biogaz). Le reste de ce flux détourné, soit 11.9%, correspond à la perte de masse en maturation du compost.

L'essentiel du flux résiduel mis en CSDU est le refus du tri primaire chargé de préparer une alimentation aussi adéquate que possible pour le digesteur. Ce tri primaire constitue un potentiel d'amélioration du bilan : non seulement il occasionne une perte de matière organique fermentescible (environ 25% du Carbone organique contenu dans les OMr) mais il conditionne les performances du 2<sup>ème</sup> étage de préparation. Dans l'état actuel des technologies, un compromis doit être fait au niveau du tri primaire entre l'élimination des indésirables et les pertes de matière organique.

Dans le bilan du Carbone organique, environ 26% sert à la production de biogaz, 25% se retrouve dans le compost, 9% sont perdus en maturation, et le reste, hormis la fraction comprises dans les recyclables, (soit environ 35%) se retrouve en CSDU.

- D'un **point de vue énergétique**, les scénarios conduisent à une production nette d'énergie. Selon des hypothèses correspondant à une bonne efficacité du procédé (inspirées des documents de la Commission Européenne sur les Meilleures Techniques Disponibles) et compte tenu de la teneur en carbone des déchets traités en digestion, la production se situe dans le haut de la fourchette communément admise (250 kWh/t de déchets traités). La combustion de ce biogaz couvre largement l'auto-consommation des usines (50 kWh/t de déchets traités) et permet une production excédentaire qui représente environ 70%.
- Le **bilan environnemental**, plus précisément l'impact dû aux émissions atmosphériques, est en nette amélioration par rapport à la situation en 2003.

Le surcroît de transport occasionne sur la contribution à l'effet de serre le passage de 4660 équivalent-habitants (Eq.hab) en 2003 à 6053 en 2011 et à 6021 en 2016 (+30%).

Le traitement des OMr par tri-méthanisation-compostage a par contre un effet considérable sur cet indicateur (contribution à l'effet de serre) en provoquant une diminution des émissions des CSDU. On passe ainsi de 79230 Eq.hab en 2003 à 11533 en 2011 et à 11525 en 2016 (-85%). Ainsi, l'ensemble du système engendre donc une diminution globale de la contribution à l'effet de serre de 79%. Dans ce nouveau système, la part du transport se retrouve de fait plus importante : 34% au lieu de 5%.

Ainsi, outre leur intérêt technique immédiat, ces travaux ont permis de mettre en évidence les apports de l'outil et de la démarche AWAST à l'échelle d'un département, mais également d'en mesurer les besoins pour une mise en œuvre efficace.

En termes d'apports, la démarche proposée permet une vision globale de la situation, que ce soit au niveau des bilans matière, énergie ou coûts. La réalisation de flowsheets par EPCI permet de visualiser graphiquement l'ensemble des flux sur un territoire donné et de mettre en évidence les manques et incohérences des données en ce qui concerne déchets générés et déchets traités (notamment en ce qui concerne les différents produits après traitement). Si l'ensemble du bilan matière global (en t/an) est relativement simple à établir, il en est tout autrement des bilans partiels par catégorie de déchets. Hormis quelques analyses de composition des OMr rarement exploitables, force est de constater qu'il n'y a pas de réel suivi de la composition des déchets au niveau départemental, et donc peu de possibilités d'extrapolation pour des scénarios à 5 ou 10 ans. L'enjeu est pourtant de taille car cette composition interfère sur tous les objectifs du traitement des déchets : recyclage matière (emballages), recyclage organique (DMS), recyclage énergétique (PCI).

Néanmoins, sous réserve de vérification des hypothèses de composition, l'apport majeur de l'étude a consisté en la possibilité d'établir un bilan environnemental de l'existant et d'en étudier les évolutions en fonction des scénarios retenus. La capacité de l'outil à déterminer les émissions liées aux CSDU, à la collecte et au transport des déchets, avec notamment des indicateurs tels que la contribution à l'effet de serre et l'acidification de l'air, apporte indéniablement un plus dans l'analyse de scénarios et dans la planification.

De fait, la gestion des déchets étant désormais placée dans un cadre de développement durable. Si les critères environnementaux ont d'ores et déjà leur place dans le débat, la possibilité d'en établir la contribution due à l'activité locale conduit à une responsabilité élargie des décideurs. Indépendamment du respect des lois qui doit rester un moteur fort dans les décisions, la gestion des déchets hérite d'objectifs propres liés à ce caractère « durable » :

- protection de l'homme et de l'environnement (à chaque déchet un traitement adapté et une destination finale appropriée),
- conservation des ressources (et prise en compte des impacts évités),
- caractère définitif de la gestion (pas de nécessité de soins ultérieurs).

AWAST ne fournit pas TOUS les indicateurs pour apprécier l'atteinte de ces objectifs. La notion de « bilan environnemental » doit donc être replacée dans ces réserves, considérant que les impacts atmosphériques immédiats sont un aspect, pour l'instant « prioritaire », des efforts à consentir pour diminuer les conséquences néfastes à long terme de la gestion des déchets. Il conviendrait cependant, sur la base des résultats des simulations, d'examiner les répercussions d'autres critères sur les objectifs mentionnés ci-dessus.

Par ailleurs, il est apparu au cours du projet des limitations quant à la transposition de l'outil AWAST tel qu'il a été validé sur les EPCI à l'échelle d'un département. Le niveau de détail attendu sur les données recueillies à l'aide des questionnaires et nécessaires à la calibration des modèles mis en œuvre, s'avère trop important par rapport à ce qu'il est réaliste d'attendre à cette échelle. D'une part, certaines données ne sont pas disponibles, et d'autre part, le temps de traitement de ces données est trop long. Néanmoins, le niveau de détail attendu sur les résultats est quant à lui élevé. Le bilan des émissions des centres d'enfouissement du département ne peut se faire site par site, de même que le bilan du tri des collectes sélectives ne peut se faire que centre de tri par centre de tri. Le « bilan global » de la gestion des déchets sur le département n'est que la somme des contributions de chaque « bilan local », et c'est bien au niveau local que sont les voies d'amélioration.

A ce stade de la réflexion, il apparaît ainsi qu'il est nécessaire non pas de développer l'outil existant pour qu'il soit capable de travailler à un niveau moins élevé en termes de données nécessaires, mais plutôt de développer son utilisation régulière pour chaque EPCI afin d'en exploiter les possibilités sans avoir à investir par à-coup dans une lourde campagne d'acquisition des données.

## 5. Références bibliographiques

Villeneuve J., Wavrer Ph., Ménard Y., Michel P. (2005) « *CG13 - Modélisation et simulation de la gestion des déchets en 2003 - 1<sup>er</sup> rapport d'avancement* » - BRGM/RP-54165-FR

Villeneuve J., Wavrer Ph., Ménard Y., Michel P. (2005) « *Simulation d'un scénario de gestion des ordures ménagères résiduelles à l'échelle du département des Bouches du Rhône - 2<sup>ème</sup> rapport d'avancement* » - BRGM/RP-53891-FR

Liberti, L., Amicarelli, V., Amodio, F., Ferrara L. and Blasi, G. (1993) Proceedings Sardinia 93, Fourth International Landfill Symposium, 11-15 October 1993 Environmental Sanitary Engineering Centre pp. 745-758

« *Bilan des émissions atmosphériques du futur système de gestion des déchets des Bouches du Rhône* », Note de synthèse BRGM-EPI/PW n°2005/320, Avril 2005.

Le Bozec A. (2004) « *Costs models for each municipal solid waste process – AWAST Deliverables 5 and 7* »







**Centre scientifique et technique  
Service EPI**

3, avenue Claude-Guillemin  
BP 6009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34