

Document à accès réservé

Évaluation de scénarios de gestion des déchets du secteur sud-est du SYCTOM à l'horizon 2020

Rapport final

BRGM/RP-57526-FR
août 2009

P. Michel, Y. Ménard, S. Vaxelaire

<p>Vérificateur : Nom : Gaël BELLENFANT Date : 27/07/09 Signature : </p>
--

<p>Approbateur : Nom : Hervé GABORIAU Date : 20/08/09 Signature : </p>
--

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique, l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

Avertissement

Ce rapport est adressé en communication exclusive au demandeur : SYCTOM de l'agglomération Parisienne en 3 exemplaires.

Le demandeur assure lui-même la diffusion des exemplaires de ce tirage initial.

Le BRGM ne saurait être tenu comme responsable de la divulgation du contenu de ce rapport à un tiers qui ne soit pas de son fait, et, des éventuelles conséquences pouvant en résulter.

Mots clés : Déchets, Traitement, AWAST, Ivry-sur-Seine, Ordures ménagères, SYCTOM, Simulation.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

P. Michel, Y. Ménard, S. Vaxelaire (2009) - Évaluation de scénarios de gestion des déchets du secteur sud-est du SYCTOM à l'horizon 2020. Rapport final. BRGM-RC-57526-FR, 118 p., 47 ill., 4 ann.

Synthèse

À la demande du SYCTOM, le BRGM a réalisé un bilan environnemental de neuf scénarios de gestion de l'ensemble des déchets ménagers produits sur le bassin versant du centre Ivry Paris XIII à l'horizon 2020 dans le cadre du marché de service n° 0991023.

Présentée en juin 2009, cette étude actualise les données de celle remise en 2005, qui faisait une simulation à l'horizon 2015.

L'étude compare du point de vue de leurs performances et de leurs impacts environnementaux :

- trois scénarios de traitement des ordures ménagères résiduelles à Ivry Paris XIII (incinération, tri-valorisation organique-incinération de la fraction combustible résiduelle (FCR) , tri-valorisation organique-stockage de la FCR) ;
- le maintien à Ivry Paris XIII de l'unité de traitement des OMr et leur relocalisation à 12 et 75 km.

L'étude se fonde sur une hypothèse de 683 000 tonnes de déchets ménagers produits par 1,53 million d'habitants en 2020, dont près de 520 000 tonnes d'ordures ménagères résiduelles. Le centre d'Ivry Paris XIII traiterait 490 000 tonnes d'OMr et 110 000 tonnes de FCR en provenance des unités de valorisation organique de Romainville/Bobigny et de Blanc-Mesnil/Aulnay-sous-Bois – le différentiel de 30 000 tonnes étant traité dans une autre unité d'incinération distante de moins de 20 km. L'étude intègre les transports par voie fluviale et voie ferrée des apports de FCR et de certains flux sortants des unités de traitement du SYCTOM (mâchefers et matières recyclables).

Les comparaisons ont été établies sur la base d'indicateurs couramment utilisés dans les bilans environnementaux, notamment ceux mis en avant par l'ADEME :

- les indicateurs dits de performance mesurent : la production nette d'énergie (intégrant l'ensemble des productions et des consommations d'énergie), le taux de recyclage global (matière et organique), le taux de valorisation globale (recyclage, valorisation énergétique, valorisation des mâchefers) ;
- les indicateurs dits d'impacts prennent en compte l'effet de serre, l'acidification de l'air, les déchets ultimes en installations de stockage de déchets, les émissions de métaux lourds, de dioxines et de furanes, les kilomètres parcourus, la consommation de carburant.

En ce qui concerne les émissions de gaz contributeurs à l'effet de serre et l'acidification de l'air, les impacts évités du fait de la valorisation énergétique et du recyclage matière et organique ont été pris en compte, à la différence de l'étude de

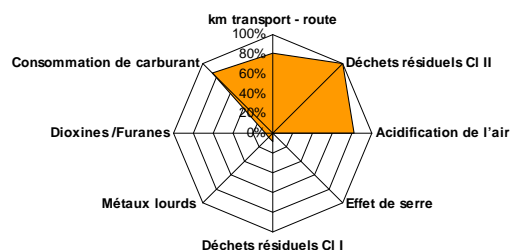
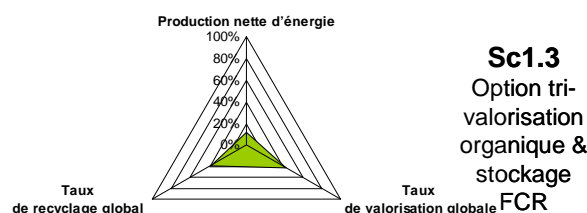
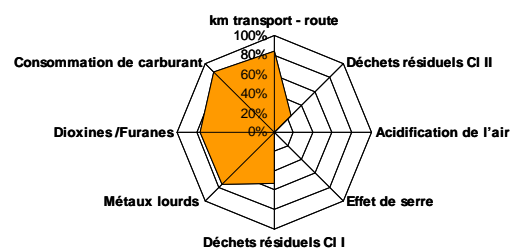
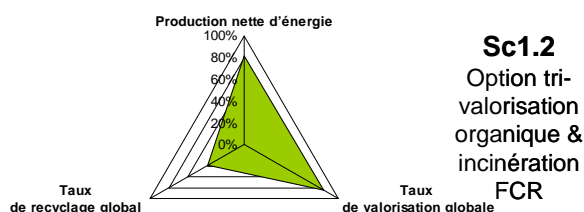
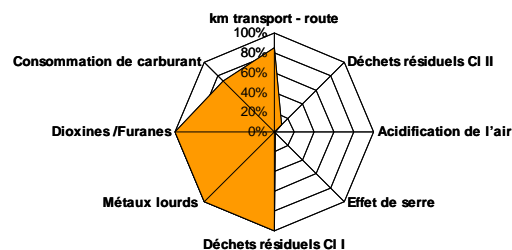
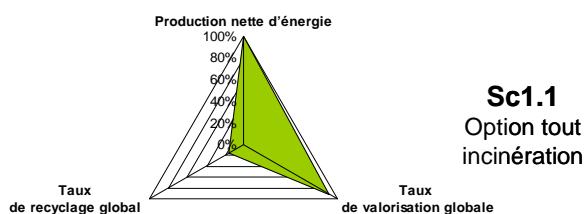
2005. En revanche, les émissions indirectes ne l'ont pas été (liées par exemple à la construction des installations ou à la production de réactifs).

Pour chaque scénario, les impacts directs « effet de serre » ou « acidification de l'air » liés aux émissions gazeuses (valeur positive) peuvent être atténués par des impacts évités (valeur négative). Au final, l'impact « effet de serre » ou « acidification de l'air » peut avoir une valeur positive ou négative selon l'intensité de l'impact évité. Pour aider à interpréter les impacts des scénarios les uns par rapport aux autres à partir d'une représentation graphique, les valeurs d'impact (direct + évité) ont été comparées sur la base de leur valeur réelle corrigée¹. Cette correction a été faite de la même manière sur l'ensemble des scénarios pour les indicateurs effet de serre et acidification de l'air. Ainsi, en ce qui concerne par exemple l'impact effet de serre, les scénarios s'échelonnent sur une plage allant de 0 % (correspondant à la valeur d'impact associée à -44 355 t eq. CO₂) à 100 % (valeur d'impact associée à 282 652 t eq. CO₂).

Les simulations sont basées sur différentes hypothèses notamment en termes de performances attendues par le SYCTOM pour les différentes unités de traitement envisagées et les valeurs de référence prises en compte pour l'évaluation des impacts évités.

L'étude montre qu'entre les trois scénarios de traitement, celui qui couple tri, valorisation organique et incinération de la FCR (Sc1.2) présente le meilleur équilibre entre maximisation des performances et minimisation des impacts environnementaux.

¹ Augmentation de l'ensemble des valeurs d'impacts des scénarios de la valeur absolue de l'impact minimum parmi l'ensemble des 9 scénarios, soit une augmentation de +44 355 t eq. CO₂ pour l'impact « effet de serre » et de +24 159 kg eq. H⁺ pour l'impact « acidification de l'air ».



Indicateurs de performance :

. Pour l'indicateur production nette d'énergie : indicateur à 100 % = valeur associée au scénario le plus favorable parmi les 9 scénarios

. Pour les taux de recyclage et de valorisation : Indicateur = valeurs réelles des taux

Indicateurs d'impacts :

. Indicateur à 100 % = valeur associée au scénario le plus défavorable parmi les 9 scénarios

. Sauf pour les impacts effets de serre et acidification de l'air : indicateurs basés sur leurs valeurs réelles augmentées de la valeur absolue de l'impact minimum parmi l'ensemble des 9 scénarios

Représentation graphique des performances et des impacts de Sc1.1, Sc1.2 et Sc1.3

Pour analyser la pertinence d'un scénario de gestion des déchets sur la base des illustrations précédentes, il faut noter que plus l'aire des « indicateurs de performance » (**aire verte**) est grande plus le scénario est performant. *A contrario*, plus l'aire des « indicateurs d'impact » (**aire orange**) est petite et moins le scénario génère d'impacts.

Par rapport à une solution « tout incinération » (Sc1.1), la performance énergétique du scénario tri-valorisation organique – incinération de la FCR (Sc1.2) est légèrement en retrait mais le taux de recyclage global est meilleur d'un facteur 2 et le bilan net des impacts environnementaux est plus favorable.

Le scénario tri-valorisation organique – incinération de la FCR (Sc1.2) présente une moindre performance énergétique, du fait d'une réduction de 39 % des tonnages incinérés (taux de valorisation énergétique de 35,7 % versus 57 %, soit 21,3 points d'écart). En outre, son taux d'élimination est dégradé (15,1 % vs 8,8 %), les tonnages

envoyés en centres de stockage étant doublés (109 000 tonnes au lieu de 50 000 tonnes).

En revanche, il présente le meilleur taux de recyclage global (38,6 % versus 15,5 %, soit + 23 points), du fait du recyclage organique (taux de recyclage organique de 23 % versus 0,6 %). Son taux de valorisation globale est donc légèrement inférieur (84,9% versus 91,2 %, soit 6,3 points d'écart).

Ce scénario est conforme à la hiérarchie des modes de traitement fixée par la Directive cadre européenne relative aux déchets (directive 2008/98/CE), qui donne la priorité au recyclage par rapport à la valorisation énergétique. Il diminue de 28 % les tonnages incinérés et enfouis (512 000 tonnes au lieu de 715 000 tonnes).

Par ailleurs, bien qu'inférieure à l'option « tout incinération » (Sc1.1), la production d'énergie de ce scénario, qui permet d'alimenter en énergie près de 150 000 équivalent-logements, satisferait aux besoins de chauffage de la Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain (CPCU) (sur la base de 4 293 kWh électrique par logement et de 7 956 kWh thermique par logement. Source PREDMA IDF).

En ce qui concerne les émissions de gaz à effet de serre (GES) et l'acidification de l'air, les impacts sont comparables (- 44 000 t eq. CO₂ (Sc1.2) versus - 42 000 t eq. CO₂ pour le tout incinération (Sc1.1)). Pour l'impact effet de serre, en effet, si l'incinération émet beaucoup de GES, sa production d'énergie et l'impact évité associé à cette production compense largement ses impacts directs. Pour l'impact acidification de l'air, les impacts directs liés aux émissions de gaz sont comparables entre les Sc1.1 et Sc1.2. L'impact évité lié à la production d'énergie est moindre pour le scénario tri-valorisation organique et incinération de la FCR (Sc1.2) (moins d'énergie produite que dans le scénario tout incinération). Par contre, le pré-tri des OMr et la valorisation organique envisagé dans le scénario 1.2 permet d'extraire des OMr des produits recyclables supplémentaires et d'améliorer la valorisation organique des déchets (production de compost) par rapport au scénario tout incinération. L'impact évité lié au recyclage matière et à l'utilisation du compost produit est donc favorable au scénario 1.2, il compense la diminution de l'impact évité lié à la moindre production d'énergie pour le scénario tri-valorisation organique et incinération de la FCR (Sc1.2) par rapport au scénario tout incinération (Sc1.1).

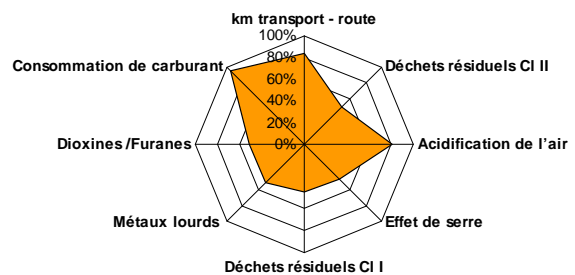
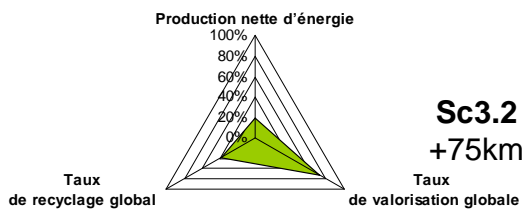
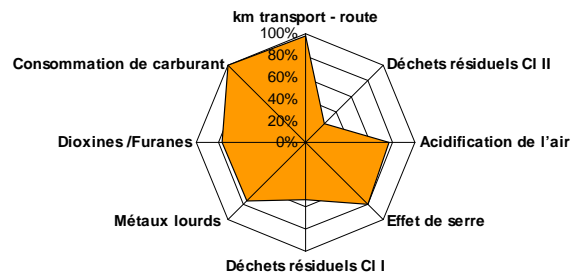
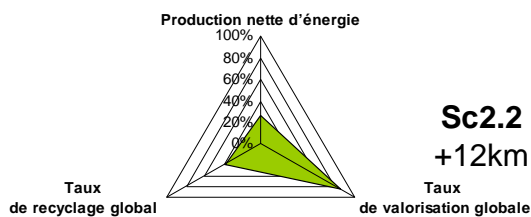
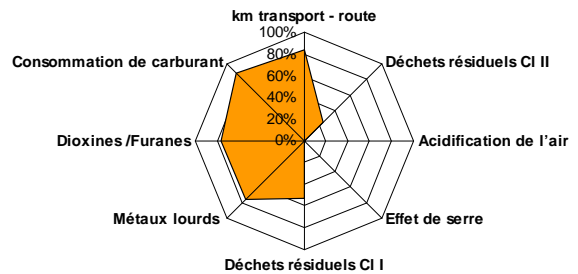
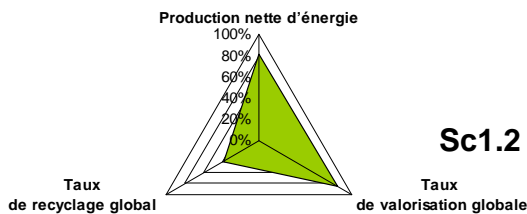
En revanche, en ce qui concerne la globalité des impacts, le scénario tri-valorisation organique- incinération de la FCR (Sc1.2) se révèle beaucoup plus satisfaisant.

Le scénario tri-valorisation organique-stockage de la FCR (Sc1.3) ne soutient pas la comparaison avec les deux autres scénarios du point de vue de sa performance.

Son taux de valorisation globale (42,6 % versus 84,9 % pour le scénario tri-valorisation organique-incinération de la FCR (Sc1.2)) est lourdement pénalisé par le taux d'élimination (57,4 % versus 15,1 %). Sa très faible production d'énergie (taux de valorisation énergétique de 4,0 % versus 35,7 %) contribue aussi à dégrader son indicateur de performance.

Son impact sur les émissions de gaz à effet de serre est comparable (- 43 000 t eq. CO₂ versus - 44 000 t eq. CO₂). Par contre, ce scénario se montre un peu plus avantageux du point de vue des kilomètres parcourus (-3 % à -6 %), le centre de stockage étant localisé à 30 km alors que le centre de valorisation des mâchefers est situé à 50 km. De plus, l'estimation des émissions de dioxines et furanes basée sur les connaissances scientifiques actuelles montre que le scénario tri-valorisation organique-stockage de la FCR est le plus favorable de ce point de vue.

L'étude montre que la relocalisation du traitement des OMr, quel que soit le scénario de traitement retenu, dégrade les performances environnementales et augmente les impacts environnementaux. Selon ces critères, le maintien de l'unité de traitement des OMr sur le site d'Ivry Paris XIII apparaît comme une solution plus favorable.



Représentation graphique des performances et des impacts du scénario tri-valorisation organique-incinération de la FCR à 12 km et 75 km (Sc2.2 et Sc3.2 transport fluvial).

Que la relocalisation des activités s'effectue à 12 km ou à 75 km, le bilan énergie est fortement dégradé. Sans réseau de chaleur urbain de grande échelle à proximité, le SYCTOM a fait l'hypothèse que l'installation ne ferait pas de cogénération (plus de commercialisation de la vapeur). Ainsi, la chaleur produite par la combustion serait

intégralement transformée en électricité, entraînant une diminution importante du rendement énergétique global de l'installation. À traitement identique (tri-valorisation organique-incinération de la FCR), le nombre de logements pouvant être desservis diminuerait de 69 %. Avec cette dégradation du rendement énergétique, les installations d'incinération des scénarios à 12 ou 75 km relèveraient davantage de l'élimination que de la valorisation énergétique, au sens de la Directive cadre européenne relative aux déchets (directive 2008/98/CE) selon le mode de calcul de la directive (cf. Annexe II, opérations de valorisation).

La relocalisation dégrade également le bilan des impacts sur l'environnement, du fait de l'augmentation des transports qu'elle induit, et de la moindre performance énergétique des installations (moins d'impact évité). Elle se traduit aussi par une augmentation des coûts de gestion liés au transport.

Une relocalisation du traitement des OMr à 12 km augmente les kilomètres parcourus pour la collecte de 24 %, la consommation de carburant de 19 %, le nombre de camions nécessaires à la collecte de 11 %, le temps d'utilisation des véhicules de 10 %, avec pour effets induits l'engorgement du trafic routier et les nuisances qui lui sont liées (ralentissement de la circulation, surconsommation de carburant, augmentation des temps de trajet des autres usagers de la route). Les coûts de transport² seraient renchérissés, à raison de 150 €/1 000 t.km (source ADEME-AMF, 1998). Les coûts externes du transport routier (évaluation économique de ses effets sur les pollutions, les accidents, le bruit, la nature et les paysages, hors congestion routière) sont par ailleurs estimés à 88 €/1 000 t/km (source ADEME-VNF, 2001).

Une relocalisation à 75 km nécessiterait la mise en place d'un centre de transfert avec à la clef une augmentation du coût du traitement, estimée de 3 € à 7 € la tonne hors transport (source ADEME, 2000).

Les OMr sont supposées être acheminées par voie fluviale à partir du centre de transfert vers l'unité de traitement à 75 km, cela permet de limiter l'impact de la relocalisation à 75 km des installations de traitement. La consommation de carburant liée à la collecte et au transport est augmentée de l'ordre 8 % et les kilomètres parcourus totaux, tout mode confondu, de 7 %. L'augmentation des kilomètres parcourus sur route est limitée à 4 % du fait du transport par voie fluviale des OMr en aval du centre de transfert. Les coûts de transport seraient renchérissés à raison de 22,9 à 38,1 €/1 000 t/km (péniche Freycinet - source ADEME-VNF, 2001). Dans ce scénario, la FCR des unités de valorisation organique de Seine-Saint-Denis serait transportée dans un centre de stockage plus proche.

À noter également que l'abandon de la cogénération (hypothèse associée aux scénarios de relocalisation) liée à la relocalisation (à 12 ou 75 km) ne permettrait pas de classer l'incinération comme une installation de valorisation des déchets au sens de la Directive cadre européenne relative aux déchets.

² Coûts d'investissement et de fonctionnement du véhicule de transport.

Sommaire

1. Contexte, description des scénarios et hypothèses	15
1.1. CONTEXTE	15
1.2. GISEMENT DE DÉCHETS CONCERNÉS	15
1.3. DESCRIPTION DES SCÉNARIOS RETENUS.....	17
1.4. INSTALLATIONS COMMUNES À TOUS LES SCÉNARIOS	19
1.5. HYPOTHÈSES	20
1.6. CONSTRUCTION DU SIMULATEUR, RÉSULTATS BRUTS ET INDICATEURS DE RÉSULTATS RETENUS POUR L'ANALYSE DE LA PERTINENCE DES SCÉNARIOS	25
2. Résultats de simulation	37
2.1. OBJECTIFS	37
2.2. IMPACTS DES OPTIONS DE TRAITEMENT RETENUES.....	37
2.2.1. Bilans matières globaux	37
2.2.2. Déchets et destinations	40
2.2.3. Bilan du recyclage et de la valorisation	41
2.2.4. Impacts de la collecte et du transport.....	42
2.2.5. Bilan énergie.....	44
2.2.6. Impacts « effet de serre »	45
2.2.7. Bilan des performances et des impacts associés aux trois scénarios de traitement.....	47
2.3. IMPACTS D'UNE RELOCALISATION.....	51
2.3.1. Impact d'une relocalisation à 12 km	51
2.3.2. Impact d'une relocalisation à 75 km	54
2.3.3. Bilan des effets d'une relocalisation (à 12 km ou 75 km)	56
3. Résultats complémentaires	59
3.1. SIMULATION DU SCÉNARIO TOUT ENFOUISSEMENT	59
3.2. ESTIMATION DES CONSOMMATIONS ÉVITÉES DE RESSOURCES NATURELLES	64
3.2.1. Contexte, objectif et méthodologie suivie	64

3.2.2. Résultats, les consommations de ressources naturelles évitées associées aux scénarios Sc1.1, Sc1.2 et Sc1.3	68
4. Conclusions.....	73
5. Bibliographie	75

Liste des illustrations

Illustration 1 - Gisement de déchets du secteur sud-est du SYCTOM.....	16
Illustration 2 - Déchets à intégrer dans l'étude.	17
Illustration 3 - Description des neuf scénarios définis par le SYCTOM.....	19
Illustration 4 - Détails des spécificités de l'étude actuelle par rapport à l'étude 2004.	20
Illustration 5 - Données de caractérisation des déchets pris en compte dans l'étude.	21
Illustration 6 - Répartition des déchets collectés sur la déchetterie d'Ivry-Paris XIII en 2008.	22
Illustration 7 - Effet d'un changement du taux de valorisation du biogaz capté en installation de stockage.....	25
Illustration 8 - Flowsheet « représentation graphique » du système de traitement des déchets du secteur sud-est du SYCTOM (tous scénarios).	27
Illustration 9 - Indicateurs sélectionnés pour la comparaison des scénarios.	28
Illustration 10 - Données de référence pour l'estimation des impacts évités effet de serre et acidification de l'air.	31
Illustration 11 - Méthodologie d'évaluation du bilan du recyclage et de la valorisation.....	33
Illustration 12 - Représentation graphique des indicateurs de performance.....	34
Illustration 13 - Représentation graphique des indicateurs d'impacts.....	35
Illustration 14 - Échelle nationale pour la France des indicateurs environnementaux.	36
Illustration 15 - Schéma des flux de matière correspondant au scénario de gestion Sc1.1 (incinération des OMr).	38
Illustration 16 - Schéma des flux de matière correspondant au scénario de gestion Sc1.2 (tri-valorisation organique des OMr-incinération de la FCR).....	39
Illustration 17 - Schéma des flux de matière correspondant au scénario de gestion Sc1.3 (tri-valorisation organique des OMr-enfouissement de la FCR).....	39
Illustration 18 - Répartition des déchets intégrés dans l'étude (793 019 tonnes au total) selon leurs destinations.	41
Illustration 19 - Bilan du recyclage et de la valorisation (indicateurs ADEME).....	42

Illustration 20 - Distance totale parcourue pour le transport des déchets, tous modes de transport confondus (route, rail et fluvial).....	43
Illustration 21 - Bilan des activités « collecte et transport » des déchets, par mode de transport.	44
Illustration 22 - Productions (électriques et thermiques) et consommations énergétiques (carburant).....	44
Illustration 23 - Bilans « effet de serre » incluant les impacts directs et les impacts évités associés à l'utilisation du compost, au recyclage et à la production d'énergie.....	46
Illustration 24 - Performances et impacts des scénarios Sc1.1, Sc1.2 et Sc1.3.	47
Illustration 25 - Représentation graphique des performances et des impacts de Sc1.1, Sc1.2 et Sc1.3.	48
Illustration 26 - Impacts effet de serre et acidification des scénarios Sc1.1, Sc1.2, Sc1.3.	50
Illustration 27 - Impact d'une relocalisation à 12 km sur les distances totales parcourues pour les opérations de collecte et de transport des déchets.....	51
Illustration 28 - Impact d'une relocalisation à 12 km sur les aspects transport et engorgement du trafic.	52
Illustration 29 - Bilan énergétique des scénarios « relocalisation à 12 km ».	53
Illustration 30 - Comparaison des indicateurs de performances et d'impacts des scénarios de relocalisation à 12 km aux scénarios pour lesquels les installations sont basées à « Ivry ».	54
Illustration 31 - Récapitulatif des options de traitement des déchets par scénario.....	55
Illustration 32 - Impacts d'une relocalisation à 75 km sur les opérations de collecte et de transport.	55
Illustration 33 - Performances et impacts du scénario tri-valorisation organique-incinération de la FCR à 12 km et 75 km.	56
Illustration 34 - Représentation graphique des performances et des impacts du scénario tri-valorisation organique-incinération de la FCR à 12 km et 75 km.	58
Illustration 35 - Schéma des flux de matière correspondant au scénario de gestion Sc1.4 (enfouissement des OMr et de la FCR).	60
Illustration 36 - Bilan du recyclage et de la valorisation (Sc1.4 comparé au Sc1.2).....	60
Illustration 37 - Bilan « électricité » et « chaleur » (Sc1.4 comparé au Sc1.2).	61
Illustration 38 - Représentation graphique de la performance des scénarios Sc1.4 (option tout enfouissement) et Sc1.2 (option tri-méthanisation et incinération de la FCR).....	61
Illustration 39 - Impacts effet de serre et acidification des scénarios Sc1.4 (option tout enfouissement) et Sc1.2 (option tri-méthanisation et incinération de la FCR).	62
Illustration 40 - Bilan des impacts liés au scénario 1.4 (par rapport au scénario 1.2).	63
Illustration 41 - Quantités de produits envoyés en recyclage ou valorisés en kilotonnes.....	65

Illustration 42 - Substitutions envisagées par produits, les taux de substitution considérés et les hypothèses prises.....	67
Illustration 43 - Consommations de ressources naturelles potentiellement évitées en kt (Sc1.1, Sc1.2 et Sc1.3) pour « l'option de base ».....	68
Illustration 44 - Consommation de ressources naturelles potentiellement évitées en kt (Sc1.1, Sc1.2 et Sc1.3) pour « l'option majorante ».....	69
Illustration 45 - Ressources naturelles économisées (hors biomasse), option majorante.....	70
Illustration 46 - Ressources naturelles économisées (hors biomasse), option de base.....	70
Illustration 47 - Consommations évitées de combustibles fossiles (kt).....	71

Liste des annexes

Annexe 1 - Résultats bruts.....	77
Annexe 2 - Données de référence utilisées et sources bibliographiques associées.....	91
Annexe 3 - Détails des impacts effets de serre et acidification par installation de traitement (Sc1.1, Sc1.2, Sc1.3 et Sc1.4).....	99
Annexe 4 - Incinération et rendement énergétique.....	103

Glossaire

CPCU	Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain
Déchets résiduels CI I	Déchets résiduels en installation de stockage de classe I (ISDD)
Déchets résiduels CI II	Déchets résiduels en installation de stockage de classe II (ISDND)
DV	Déchets verts
FCR	Fraction combustible résiduelle
FFOM	Fraction fermentescible des ordures ménagères
ISDD	Installation de stockage de déchets dangereux
ISDND	Installation de stockage de déchets non dangereux
ISDI	Installation de Stockage des Déchets Inertes
JRM	journaux-revues-magazines

OMr	Ordures ménagères résiduelles
OE	Encombrants
PREDMA	Plan régional d'élimination des déchets ménagers et assimilés
ScX.Y	Scénario numéroté X.Y

1. Contexte, description des scénarios et hypothèses

1.1. CONTEXTE

Le SYCTOM de l'agglomération parisienne a souhaité que le BRGM actualise à l'horizon 2020 les résultats de l'étude de scénarios de gestion des déchets du bassin versant d'Ivry-Paris XIII à l'horizon 2015, réalisée en 2004-2005 (voir Michel *et al.*, 2005 et Villeneuve *et al.*, 2008). Pour mémoire, cette étude avait pour objet d'une part la réalisation d'une image aussi fiable que possible de la situation 2003 de la gestion des déchets sur le bassin versant d'Ivry visant à déterminer les performances des opérations de traitement et, d'autre part, une comparaison de scénarios combinant un facteur de localisation (Ivry, Ivry + 12 km, Ivry + 75 km) et un choix de filière de traitement (incinération, tri/méthanisation + incinération de la fraction combustible résiduelle FCR, tri/méthanisation + enfouissement de la FCR). L'étude avait notamment permis d'illustrer d'une part, que le maintien d'une activité de traitement des déchets à Ivry-Paris XIII apparaissait comme une solution plus favorable et d'autre part, que l'association de plusieurs modes de traitement ciblés sur la nature du déchet apparaissait comme un bon compromis.

Aujourd'hui, de nouvelles données de composition et de caractéristiques physico-chimiques (PCI, pouvoir méthanogène) des déchets (étude MODECOM 2008) sont disponibles. Des spécifications de performances précises ont été obtenues pour l'usine de méthanisation de Romainville. Des études de faisabilité (2008) lancées par le SYCTOM proposent des schémas de performances macroscopiques pour la future installation d'Ivry. Enfin, les hypothèses de production des ordures ménagères et les capacités des installations de traitement ont été actualisées par rapport aux hypothèses retenues dans la première étude.

Il importe donc de tenir compte de ces données nouvelles pour confirmer ou infirmer le choix du scénario le plus favorable du point de vue des performances macroscopiques du système (taux de recyclage et de valorisation, énergie produite) et des conséquences environnementales.

L'objectif du marché de service n° 0991023 consiste à effectuer une mise à jour des résultats de l'étude 2004, incluant les données récentes et une révision des scénarios.

1.2. GISEMENT DE DÉCHETS CONCERNÉS

Le gisement de déchets concernés correspond aux déchets dits du secteur sud-est du SYCTOM (correspondant aux déchets du « bassin versant ordures ménagères » qui sont actuellement traités dans l'incinérateur d'Ivry-sur-Seine). L'horizon temporel est fixé à 2020.

Pour l'étude 2004, ce territoire comprenait 1 301 517 habitants pour un horizon temporel fixé à 2015. Pour la présente étude, 1 533 569 habitants sont considérés à l'horizon 2020 sur le territoire sud-est du SYCTOM. Plusieurs facteurs sont à l'origine de la différence entre ces deux estimations du nombre d'habitants concernés, déterminé par le SYCTOM : le changement d'horizon temporel, la modification du périmètre du bassin versant OM-Ivry depuis 2004 et l'évolution démographique des communes associées.

Neuf scénarios ont été retenus par le SYCTOM, trois options pour la localisation croisées avec trois options de traitement (incinération, méthanisation et incinération ou méthanisation et enfouissement), soit neuf scénarios.

	Étude 2004 Production 2015 (1 301 517 hab)		Production 2015 Production 2020 (1 533 569 hab)	
	Production de déchets (tonnes)	Ratio de production de déchets (kg/hab)	Production de déchets (tonnes)	Ratio de production de déchets (kg/hab)
Ordures ménagères (OMr)	502 015	386	518 799	338
CS multi et mono-matériaux (CS multi)	49 544	38	61 440	40
Encombrants (OE)	48 209	37	52 124	34
Déchets verts (DV)	4 295	3,30	5 329	3,4
Déchetteries	33 728		8 392	
Verre	26 030	20	37 026	24
TOTAL	663 821		683 019	

Illustration 1 - Gisement de déchets du secteur sud-est du SYCTOM.

Pour la présente étude, des éléments complémentaires ont été demandés par le SYCTOM dans le cadre d'un avenant au marché de service n° 0991023. Ainsi, un dixième scénario a été simulé. Ce scénario supplémentaire nommé « Sc1.4 » correspond à l'option « tout enfouissement ». Le paragraphe 3.1 reprend les hypothèses et les résultats de simulation. De plus, une estimation des consommations en ressources naturelles évitées du fait des produits envoyés en recyclage à l'issue des traitements des déchets a été menée. Cette évaluation réalisée sur les trois scénarios déclinant les trois options de traitement envisagées à Ivry est décrite au paragraphe 3.2.

En 2020, les déchets du secteur sud-est du SYCTOM sont donc estimés à 683 019 tonnes. 110 000 tonnes d'apports de fraction combustible résiduelle (FCR) doivent être également intégrées à l'étude :

- 80 000 tonnes de FCR provenant du centre de Romainville/Bobigny acheminées par le fleuve ;
- 30 000 tonnes de FCR provenant du centre de Blanc-Mesnil/Aulnay sous Bois acheminées par le train.

À noter que pour l'étude 2004, 40 000 tonnes d'apports d'OM et 110 000 tonnes d'apports de FCR étaient considérées.

Au final, 793 019 tonnes de déchets doivent être ainsi intégrées à l'étude.

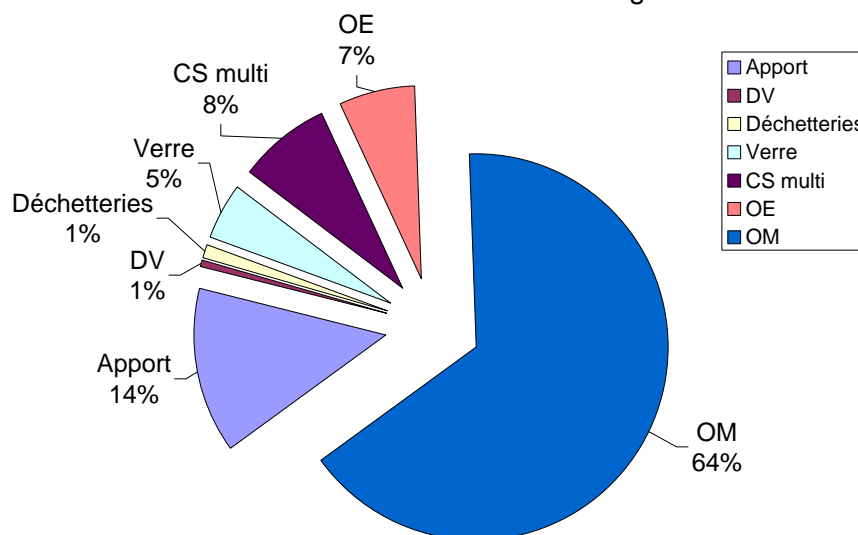


Illustration 2 - Déchets à intégrer dans l'étude.

1.3. DESCRIPTION DES SCÉNARIOS RETENUS

Neufs scénarios ont été définis par le SYCTOM. Chaque scénario se décline en termes de localisation et d'options de traitement pour les OMr, de type d'énergie produite et des options retenues pour le traitement des apports de FCR.

Description des neufs scénarios retenus et de leurs spécificités (localisation et options de traitement pour les OMr)

Neuf scénarios ont été définis par le SYCTOM, trois options pour la localisation croisées avec trois options de traitement, soit neuf scénarios. Les options pour la localisation sont les suivantes :

- maintien de l'unité de traitement des OMr à Ivry-sur-Seine. Cette hypothèse définit la base géographique des scénarios nommés scénarios 1.x ou Sc1.x ;
- relocalisation de l'unité de traitement des OMr à 12 km d'Ivry-sur-Seine vers le sud-est. Cette hypothèse définit la base géographique des scénarios nommés scénarios 2.x ou Sc2.x ;
- relocalisation de l'unité de traitement des OMr à 75 km d'Ivry-sur-Seine vers le sud-est avec création d'un centre de transfert pour regrouper les OMr avant transport à 75 km à Ivry. Cette hypothèse définit la base géographique des scénarios nommés scénarios 3.x ou Sc3.x.

Trois options de traitement pour les OMr ont été retenues :

- incinération des OMr ;
- tri-méthanisation des OMr et incinération de la fraction combustible résiduelle (FCR) extraite des OMr grâce au pré-tri ; cette fraction concentre les éléments constitutifs des OMr à fort pouvoir calorifique ;
- tri-méthanisation et enfouissement de la FCR en installation de stockage (ISD).

Ces trois options de traitement ont été retenues pour les trois localisations présentes ce qui permet de décliner les scénarios en trois sous-scénarios.

Le scénario 1 (maintien des installations à Ivry) se décline ainsi en sous-scénarios comme décrit ci-dessous :

- scénario 1.1 (Sc1.1) : incinération des OMr à Ivry ;
- scénario 1.2 (Sc1.2) : tri-méthanisation et incinération de la FCR à Ivry ;
- scénario 1.3 (Sc1.3) : tri-méthanisation à Ivry et enfouissement de la FCR.

De la même manière, le scénario 2 et le scénario 3 se déclinent respectivement en scénarios 2.1, 2.2 et 2.3 et 3.1, 3.2, 3.3.

Valorisation énergétique

À noter que l'étude est limitée à la valorisation d'énergie sous forme d'électricité et/ou de vapeur. La valorisation énergétique du traitement des déchets sous forme de production de vapeur pour le chauffage urbain n'a de sens que si les installations de traitement des déchets se trouvent à proximité d'un réseau de chauffage urbain. Si les installations de traitement dédiées aux OMr sont relocalisées, la valorisation sous forme d'électricité est alors envisagée. Quel que soit le scénario considéré, par contre, on suppose que le biogaz issu de l'installation de stockage est valorisé sous forme d'électricité.

Traitement des apports dans les scénarios

Les 110 000 tonnes d'apports de FCR à considérer dans l'étude sont incinérés lorsqu'une installation d'incinération est considérée dans un scénario ou sont à défaut enfouis. Ceci est valable lorsque les installations de traitement sont localisées à Ivry ou à 12 km d'Ivry, c'est-à-dire pour les scénarios 1.x ou 2.x. Dans le cas du scénario 3 (relocalisation à 75 km), il a été considéré que les apports ne suivaient pas la filière des OMr (pas de transport à 75 km) et qu'ils étaient enfouis en installation de stockage quelle que soit l'option de traitement envisagée pour les OMr. Toutes ces hypothèses sont synthétisées dans le tableau ci-dessous (Illustration 3) :

	Localisation de l'unité de traitement dédiée aux OMr du secteur sud-est et type d'énergie produite		Type de traitement	
			Pour les OMr du secteur sud-est	Pour les apports de FCR
Scénario 1 (étude 2004 : scénario 1)	Ivry Production d'énergie en incinération et méthanisation sous forme de vapeur en lien avec la demande de CPCU ³	Sc1.1	Incinération	Incinération
		Sc1.2	Tri-méthanisation + Incinération FCR	Incinération
		Sc1.3	Tri-méthanisation + FCR en ISD	ISD
Scénario 2 (étude 2004 : scénario 3)	Relocalisation à 12 km d'Ivry Pas de centre de transfert Production d'électricité en incinération et méthanisation	Sc2.1	Incinération	Incinération
		Sc2.2	Tri-méthanisation + Incinération FCR	Incinération
		Sc2.3	Tri-méthanisation + FCR en ISD	ISD
Scénario 3 (étude 2004 : scénario 4)	Relocalisation à 75 km Centre de transfert à Ivry Production d'électricité en incinération et méthanisation	Sc3.1	Incinération	ISD
		Sc3.2	Tri-méthanisation + Incinération FCR	ISD
		Sc3.3	Tri-méthanisation + FCR en ISD	ISD

Illustration 3 - Description des neuf scénarios définis par le SYCTOM.

1.4. INSTALLATIONS COMMUNES À TOUS LES SCÉNARIOS

Les installations communes à tous les scénarios sont les suivantes :

- un centre de tri pour les collectes sélectives multimatériaux (CS multi) localisé à 5 km d'Ivry (deux centres étaient considérés en 2004) ;
- des centres de tri privés pour encombrants (OE) ;
- quatre déchetteries (Paris, Ivry, Montrouge + une nouvelle) ;
- un centre de transfert pour le verre collecté sélectivement ;
- un incinérateur extérieur au secteur sud-est destiné à recevoir :
 - les OMr générées sur le secteur sud-est excédant 490 000 tonnes,
 - les refus de tri de collecte sélective multimatériaux,
 - les divers de déchetteries (tout venant) ;
- un centre de compostage pour valoriser les déchets verts (DV) des collectivités et les déchets verts collectés en déchetteries.

³ Les besoins de la Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain (CPCU) s'élèvent à 1 230 000 tonnes de vapeur à 230 °C et 20 bars par an.

Les spécificités de l'étude actuelle par rapport à l'étude 2004 sont mentionnées dans l'illustration ci-dessous :

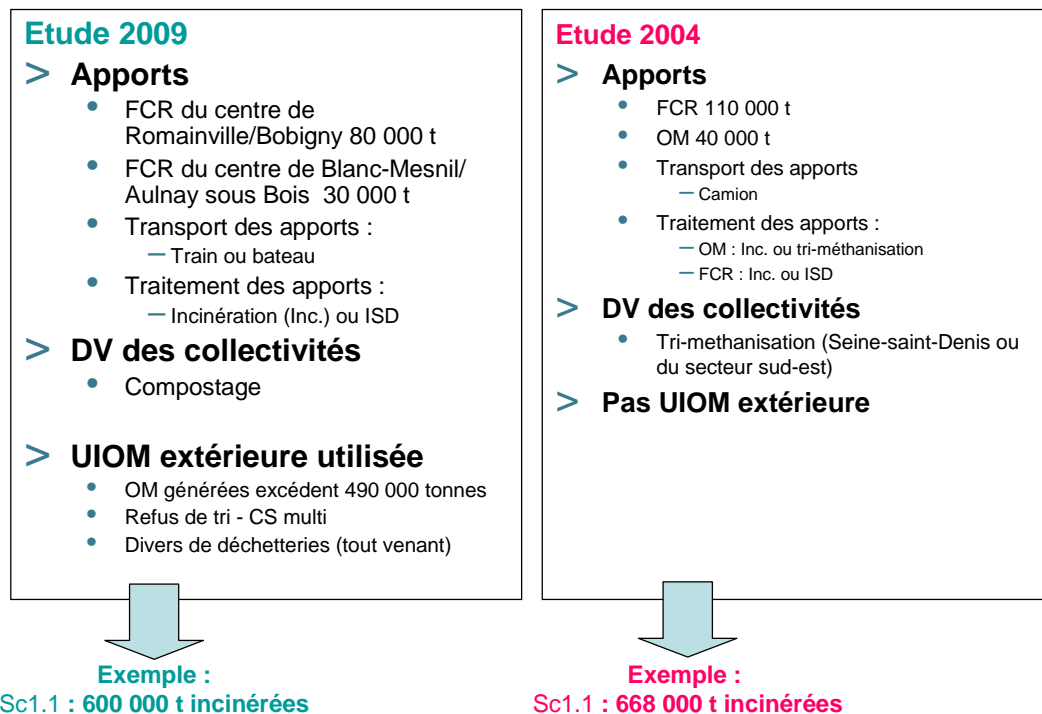


Illustration 4 - Détails des spécificités de l'étude actuelle par rapport à l'étude 2004.

1.5. HYPOTHÈSES

L'ensemble des hypothèses prises en compte ont été discutées avec le SYCTOM et validées par le SYCTOM.

Tonnage et composition des déchets du secteur sud-est du SYCTOM

Les tonnages de déchets générés à l'horizon 2020 ont été définis par le SYCTOM (cf. Illustration 1).

Des éléments de caractérisation des déchets nous ont été fournis par le SYCTOM. Ils sont recensés dans le tableau ci-dessous ; les valeurs correspondantes sont consultables en annexe (cf. Annexe 2) :

	Données fournies par le SYCTOM	Valeurs retenues
OM	Caractérisations 2007 et 2008 réalisées par le BRGM	Moyenne des caractérisations 2007 et 2008
Encombrants (OE)	Données SYCTOM - Caractérisation de l'entrant sur le centre de tri d'Ivry Revival	Moyenne 2008 de l'entrant sur le centre Ivry Revival
Collectes sélectives multi-matériaux	Données SYCTOM - caractérisation des entrants des centres de tri d'Ivry Paris XIII et Ivry Derichebourg	
Apports FCR	Données SYCTOM – Rapport de faisabilité du centre de valorisation biologique et énergétique.	

Illustration 5 - Données de caractérisation des déchets pris en compte dans l'étude.

Collecte et transport des déchets

Les destinations des produits de centre de tri, d'incinération, de déchetteries ont été précisées par le SYCTOM ainsi que les modes de transport. En ce qui concerne le transport alternatif par voie fluviale ou ferroviaire, les déchets concernés sont les suivants :

- le transport fluvial est envisagé pour :
 - le transport des apports de FCR du centre de Romainville/Bobigny vers l'installation de traitement (à Ivry ou Ivry + 12 km ou Ivry + 75 km ou vers l'ISDND),
 - le transport des mâchefers (d'Ivry ou d'Ivry + 12 km ou d'Ivry + 75 km) vers la plateforme de maturation d'Isles les Meldeuses,
 - le transport des journaux-revues-magazines (JRM) et des emballages en PET en sortie de centre de tri vers les repreneurs ;
- le transport ferroviaire est envisagé pour le transport des apports de FCR du centre de Blanc-Mesnil/Aulnay sous Bois vers l'installation de traitement (à Ivry ou Ivry + 12 km ou Ivry + 75 km ou vers l'ISDND).

Enfin, il a été supposé que l'ensemble des bennes de collecte utilisées à l'horizon 2020 serait des bennes fonctionnant au gaz naturel de ville (GNV).

Les données d'émission et de consommation de carburant utilisées sont précisées en annexe (cf. Annexe 2) ; elles sont extraites de document ADEME principalement. Le modèle de collecte du simulateur permet d'estimer, en fonction du gisement de déchets annuel à collecter, de la fréquence de collecte, de la capacité des bennes utilisées, de la distance entre le gisement et la destination des déchets, le nombre de bennes nécessaires et les kilomètres parcourus. Les résultats obtenus en ce qui concerne les kilomètres parcourus à la tonne de déchets collectés sont cohérents avec les chiffres estimés par l'ORDIF (extrait du rapport sur l'observation environnementale

2006 de la gestion des déchets ménagers et assimilés en Ile-de-France, ORDIF, septembre 2008, Série Etudes).

Déchetteries

Quatre déchetteries sont considérées sur le périmètre étudié à l'horizon 2020 réparties sur le territoire.

En 2020, on suppose que pour ces quatre déchetteries, les flux de déchets collectés sont conformes aux déchets collectés sur la déchetterie d'Ivry-Paris XIII en 2008 (données transmises par le SYCTOM). Ces données sont reprises dans le tableau ci-dessous avec les destinations des flux collectés définies par le SYCTOM :

Déchetterie Ivry-Paris XIII (déchets collectés en 2008) - Données SYCTOM	Répartition des déchets collectés par type	Destination des déchets collectés
Gravats	64,5 %	Enfouissement - ISDI ⁴
Bois	11,1 %	Valorisation
Déchets verts	4,0 %	Valorisation
Grosses ferrailles	3,6 %	Valorisation
Cartons	0,9 %	Valorisation
Tout venant	15,9 %	Incinération dans un centre extérieur

Illustration 6 - Répartition des déchets collectés sur la déchetterie d'Ivry-Paris XIII en 2008.

Installations de tri (collecte sélective multi-matériaux et encombrants)

Les hypothèses relatives à l'installation de tri dédiée aux collectes sélectives multi-matériaux sont les suivantes :

- la totalité des collectes sélectives produites sur le territoire Sud-est du SYCTOM est supposée être traitée dans un centre de tri localisé à 5 km d'Ivry, centre dédié de capacité correspondante au gisement de déchets collectés sur ce territoire. Toutes les collectes sélectives de ce territoire seront triées dans ce centre et il est supposé que ce centre ne traite aucun autre déchet ;
- le SYCTOM a défini les performances attendues pour ce nouveau centre en 2020 soit une performance globale (taux de valorisation globale de 75 % des déchets entrants et des rendements de captation par produits (taux d'extraction atteint par l'exploitant)). Ces taux de captations sont consultables en annexe (cf. Annexe 2) ;
- il est supposé que les déchets issus de la collecte sélective multi matériau vont s'enrichir en matériau recyclable d'ici 2020 pour que l'objectif de performance de tri attendu par le SYCTOM (75 % de valorisation) puisse être respecté ;

⁴ ISDI : Installation de Stockage des Déchets Inertes

- on suppose que les refus de tri seront incinérés dans un centre extérieur avec les tonnages d'OMr excédent 490 000 tonnes (définition des scénarios par le SYCTOM).

Les hypothèses relatives aux installations de tri dédiées aux encombrants sont les suivantes :

- actuellement, les encombrants ne sont pas traités dans le secteur sud-est, mais dans des centres extérieurs privés. Pour 2020, on considère également que les encombrants seront traités dans des centres extérieurs ;
- les performances attendues par le SYCTOM pour le tri des encombrants s'élèvent à un taux de valorisation globale de 25 % ;
- on suppose que les refus de tri seront envoyés en centre de stockage en 2020 (définition des scénarios par le SYCTOM).

Installation d'incinération : étude de faisabilité – SYCTOM

Le fonctionnement de l'usine d'incinération d'ordures ménagères simulé dans les scénarios est basé sur la mise en œuvre d'un modèle mathématique calibré à partir des données de fonctionnement fournies par le SYCTOM. Ces données figurent dans l'étude de faisabilité du SYCTOM. Elles concernent :

- les performances énergétiques du four, de la chaudière et du turboalternateur (cela permet de définir les quantités d'énergie sous forme de vapeur et/ou d'électricité récupérables à partir d'une quantité de déchets brûlés et de leur pouvoir calorifique) ;
- l'excès d'air de combustion ;
- les paramètres de fonctionnement de la chaudière à savoir les caractéristiques de l'eau alimentaire (température, débit) et de la vapeur d'eau surchauffée (pression, température, débit) ;
- les performances des équipements d'épuration des fumées.

Pour les simulations, ont été considérés pour les émissions de polluants à l'atmosphère, les seuils de rejet (en termes de concentration dans les fumées) fournis par l'étude de faisabilité du SYCTOM (valeurs plus contraignantes que les valeurs limites réglementaires). Les valeurs retenues pour l'ensemble des polluants gazeux figurent en annexe (Annexe 2).

Installation de tri-méthanisation : étude de faisabilité SYCTOM

L'installation de tri mécanique traite les ordures ménagères brutes afin d'en extraire (en pourcentages exprimés par rapport au flux d'OMr entrant dans l'installation) :

- des produits recyclables (plastiques 1 % et métaux 1,9 %) ;
- une fraction combustible résiduelle (FCR) à fort pouvoir calorifique destinée à être valorisée énergétiquement (48,2 %) ;

- une fraction fermentescible (FFOM) destinée à alimenter les digesteurs anaérobie (38,6 %) ;
- des fines destinées à l'enfouissement (12,6 %).

Les performances de tri ont été fournies par le SYCTOM et figurent dans l'étude de faisabilité commandée par le SYCTOM.

L'étanchéité des réacteurs de fermentation est supposée être parfaite. Ainsi, aucune fuite de biogaz n'est considérée sur l'installation de méthanisation. Le compost produit présente une humidité de 38 %. La production annuelle de biogaz s'élève à 19,65 millions de Nm³ soit environ 132 Nm³ de biogaz produit par tonne de déchets digérés. Les seuils de rejet (cf. Annexe 2) dans les fumées de combustion du biogaz pris en compte sont basés sur la circulaire du 10 décembre 2003 relative aux Installations classées : installations de combustion utilisant du biogaz.

Installations de stockage des déchets

Le modèle de centre de stockage permet d'estimer la quantité de biogaz qui sera générée en fonction de la quantité et de la composition des déchets enfouis (teneur en carbone organique). Le biogaz généré est capté pour être brûlé pour la production d'électricité (moteurs) ou par défaut brûlé en torchères ou rejeté à l'atmosphère lorsque le débit de biogaz devient inférieur au débit minimal de fonctionnement des torchères. La combustion du biogaz permet de limiter l'impact effet de serre de cette installation en transformant le méthane (gaz au pouvoir de réchauffement global important) en CO₂ d'origine organique. Les hypothèses prises en compte pour la simulation de l'installation de stockage sont les suivantes :

- taux de collecte du biogaz (quantité de biogaz capté par rapport à la quantité de biogaz généré) : 82 % (selon les déclarations des exploitants extraites du PREDMA Ile de France⁵) ; selon AEA Technology Environment en 2001, rapport⁶ établi pour la commission européenne un taux de collecte de 80 % correspond au taux atteint par un centre de stockage décrit comme « a modern 'best practice' landfill site » ;
- combustion de 90 % du biogaz capté (60 % brûlé pour la production d'électricité et 30 % brûlé en torchères) ; ces valeurs correspondent à une gestion du biogaz capté représentative de la situation moyenne en Europe selon le rapport précédemment cité.

L'installation de stockage simulée est donc performante. À noter que l'effet d'un changement du taux de valorisation du biogaz capté en installation de stockage a des conséquences peu significatives par rapport aux performances ou aux impacts d'un

⁵ PREDMA (2009) Plan régional d'élimination des déchets ménagers et assimilés d'Ile de France, projet de plan, Version arrêtée par le Conseil Régional le 6 mai 2009.

⁶ Source : Waste Management Options and Climate Change, Final Report ED21158R4.1, report to the European Commission, DG Environment, July 2001, AEA Technology Environment.

scénario de gestion des déchets du secteur sud-est du SYCTOM pris dans sa globalité (cf. tableau ci-dessous) :

- variation de moins de 1 % des productions d'énergie en équivalent logements sur le scénario 1.2 par exemple,
- variation de moins de 1 % de l'impact effet de serre associé au scénario 1.2 par exemple en t eq. CO₂.

Exemple Sc1.2	Hyp : Taux de captage 82% Taux de valorisation 60% (torchère 30% + rejet à l'atmosphère 10%)	Hyp : Taux de captage 82% Taux de valorisation 90% (rejet à l'atmosphère 10%)
Sc1.2 Electricité produite (MWh)	48 359	52 033
Sc1.2 Production (vapeur + électricité) (eq. Logement)	149 624	150 480 +0,6%
Sc1.2 Impacts effet de serre (directs + évités) (t eq CO ₂)	- 44 355	- 44 575 -0,5%

Illustration 7 - Effet d'un changement du taux de valorisation du biogaz capté en installation de stockage.

Les fumées de combustion du biogaz capté contiennent également des gaz acides, des métaux lourds, etc. Nous avons supposé que les rejets des torchères et des moteurs respectaient les valeurs limites d'émission définies par la circulaire du 10 décembre 2003. Pour les éléments gazeux pour lesquels aucun seuil réglementaire n'est défini à l'heure actuelle, les valeurs de référence sont extraites d'un document de l'INERIS daté de 2002⁷.

1.6. CONSTRUCTION DU SIMULATEUR, RÉSULTATS BRUTS ET INDICATEURS DE RÉSULTATS RETENUS POUR L'ANALYSE DE LA PERTINENCE DES SCÉNARIOS

Construction du simulateur de la gestion de déchets sur le secteur sud-est du SYCTOM

Le projet de recherche AWAST (Aid in the Management and European Comparison of Municipal Solid WASTE Treatment methods for a Global and Sustainable Approach – <http://awast.brgm.fr>) a été cofinancé par la Commission européenne de janvier 2001 à décembre 2003. Il a abouti à la réalisation d'un outil de simulation des filières de traitement des déchets fondé sur l'analyse de procédés, incluant une approche

⁷ INERIS (2002) Caractérisation des BIOGAZ Bibliographie et mesures sur sites, Rapport final, J. POULLEAU, Octobre 2002.

énergétique, environnementale et économique. Cet outil intègre les aspects collecte, transport, tri, compostage, incinération, méthanisation et installation de stockage. L'idée maîtresse de cette approche est de recourir à de véritables modèles prédictifs des installations de gestion des déchets, sensibles à la composition, à la chimie des déchets et aux caractéristiques des moyens de traitements pour apporter une dimension « locale » à l'analyse des systèmes de gestion des déchets et discriminer leurs performances non pas en fonction de « moyennes nationales » mais bien en rapport avec les technologies employées et la manière dont elles sont opérées⁸. À cet égard, la définition du système doit être aussi précise que possible afin de bien référencer l'extension « géographique » et « temporelle » du système. Le système étudié commence à la collecte des déchets en porte à porte, en apport volontaire ou à la gestion des déchets de déchetterie. L'ensemble des installations de traitement est prise en compte ainsi que le transport des déchets et des produits de traitement jusqu'à leur destination finale : les installations de stockage ou les industries du recyclage. L'extension « temporelle » est l'année. L'ensemble des résultats de simulation sont à mettre en relation avec les déchets générés sur l'année 2020, horizon temporelle de l'étude. À noter qu'on valorise les procédés à cinétique lente (par exemple les émissions des centres de stockage) par une « moyenne » annuelle.

Concrètement, les étapes suivantes permettent de construire le simulateur du système de gestion des déchets étudié avec le logiciel de simulation :

- représentation graphique du système de traitement des déchets encore appelé « flowsheet » (cf. Illustration 8) ;
- initialisation des flux entrants dans le système c'est à dire association à chaque flux représentant des déchets générés ou des déchets apportés d'un tonnage et d'une composition ;
- association d'un modèle mathématique à chaque unité de traitement des déchets (représentés par une « icône » dans le « flowsheet ») ;
- paramétrage des modèles sur la base des caractéristiques techniques et des caractéristiques de fonctionnement des installations.

Toutes les installations de traitement sont représentées par des modèles prédictifs capables de calculer d'une part, les flux de matière en sortie d'installation en fonction des déchets entrants et, d'autre part, les consommations et les productions d'énergie. Le calcul des émissions est traité à différents niveaux : certaines émissions sont dues à l'opération elle-même (nombre et type des véhicules de collectes, kilomètres parcourus...) alors que d'autres sont dues aux transformations de la matière (combustion ou fermentation). Pour représenter ces opérations, le logiciel de simulation dispose d'une librairie de modèles plus ou moins élaborés selon la complexité des lois physico-chimiques qui gouvernent les performances des procédés.

⁸ Voir à ce propos Environnement&Techniques n° 235, Avril 2004, p. 37-40 et n° 217, Juin 2002, p. 31-34.

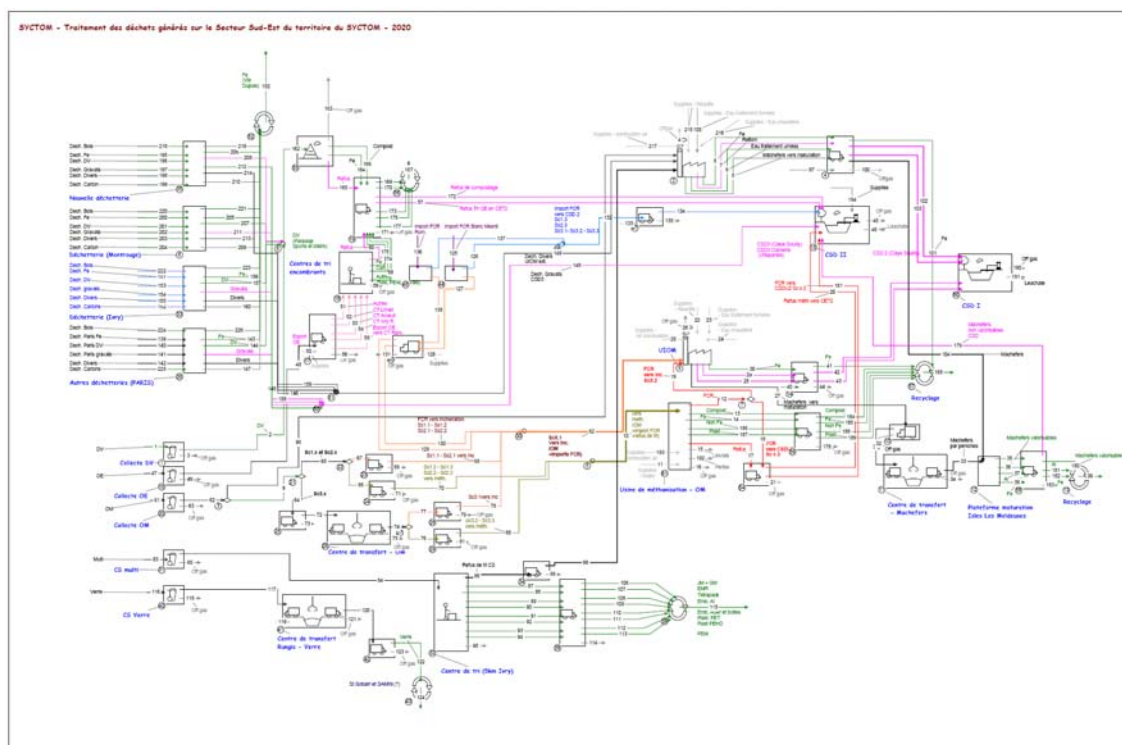


Illustration 8 - Flowsheet « représentation graphique » du système de traitement des déchets du secteur sud-est du SYCTOM (tous scénarios).

Résultats bruts de simulation et indicateurs de résultats pour l'analyse des scénarios

Le simulateur fournit les débits et les compositions (en catégories et en éléments chimiques) de tous les flux (y compris les émissions), les bilans « énergie » de toutes les installations. Ces résultats « bruts » sont nombreux et ont besoin d'une synthèse pour être utilisables. Cette synthèse est effectuée sous deux formes : un synoptique des flux (exemple cf. Illustration 15) et des « indicateurs de résultats ».

Les comparaisons des scénarios ont été établies sur la base d'indicateurs couramment utilisés dans les bilans environnementaux, notamment ceux mis en avant par l'ADEME. Ces indicateurs ont été proposés, discutés et validés par le SYCTOM.

On retrouve des indicateurs dits de performance pour lesquels plus la valeur associée est importante et meilleur est le scénario et des indicateurs d'impact pour lesquels plus la valeur associée est importante et plus le scénario est impactant :

- les indicateurs dits de performance mesurent : la production nette d'énergie (intégrant l'ensemble des productions et des consommations d'énergie), le taux de recyclage global (matière et organique), le taux de valorisation globale (recyclage, valorisation énergétique, valorisation des mâchefers) ;

- les indicateurs dits d'impacts prennent en compte l'effet de serre, l'acidification de l'air, les déchets résiduels en installations de stockage de déchets (dans les ISDD notées CI I pour classe 1 et dans les ISDND notées CI II pour classe 2), les émissions de métaux lourds, de dioxines et de furanes, les kilomètres parcourus, la consommation de carburant.

Ces indicateurs sont reportés dans l'illustration suivante :

	Source	Commentaire
« Indicateurs de performance »		
Production nette d'énergie (en équivalent logement)		Voir détails dans le paragraphe ci-dessous
Taux de valorisation globale (%)	ADEME, 1999 ⁹	Fait le point sur le bilan matière du système de traitement
Taux de recyclage global (%)	ADEME, 1999	Evalue les performances d'un système de déchets c'est-à-dire la proportion de matière recyclée et valorisée
« Indicateurs d'impact »		
Effet de serre (t eq.CO₂)	ADEME, 2002 ¹⁰	Indicateurs cités parmi les indicateurs d'impacts environnementaux des systèmes de gestion des déchets ménagers caractérisant les principaux enjeux globaux et locaux
Acidification de l'air (kg eq. H⁺)		
Déchets résiduels CI I (en t)		
Déchets résiduels CI II (en t)		
Métaux lourds (émissions) (Hg+Cd) (g)	SYCTOM &ADEME	
Dioxines /Furanes (g)	SYCTOM	Indicateur non pris en compte par l'ADEME pour cause de manque de données homogènes entre les systèmes de traitement
Kilomètres parcourus – Route (km)	SYCTOM	Participe à l'impact des relocalisations
Consommation de carburant (GJ)		Participe à l'impact des relocalisations

Illustration 9 - Indicateurs sélectionnés pour la comparaison des scénarios.

Trois de ces indicateurs peuvent être considérés comme des indicateurs « pesant » sur la filière incinération : les déchets résiduels en classe I, les dioxines et furanes et les métaux lourds émis à l'atmosphère.

- **Production nette d'énergie**

Pour l'étude 2004, l'indicateur « énergie » (production nette globale d'énergie en GJ) correspondait au bilan des productions d'électricité, de vapeur et des consommations

⁹ ADEME (1999) - Guide de révision des plans départementaux d'élimination des déchets ménagers et assimilés, Fascicule 1, Méthodologie de révision des Plans, ANNEXE 9 plans départementaux d'élimination des déchets ménagers et assimilés : flux de gestion des déchets et taux de recyclage et de valorisation, 21 p.

¹⁰ ADEME - Eco Emballage (2001) Déchets ménagers : leviers d'améliorations des impacts environnementaux, Octobre 2001, n° 3989.

de carburant liées au transport. Pour l'étude actuelle, il a été décidé de scinder cet indicateur en deux parties :

- un indicateur « production nette d'énergie » ;
- un indicateur « consommation de carburant en GJ » correspondant aux consommations de carburant liées au transport et à la manutention des déchets.

Pour améliorer l'appréciation qui peut être faite des effets de la gestion des déchets, l'indicateur « production nette d'énergie » est exprimé en équivalents logements.

Le simulateur permet d'estimer l'ensemble des productions d'énergie sous forme d'électricité en MWh (incinération des déchets et valorisation du biogaz issu de la méthanisation et/ou des centres de stockage des déchets). Cette production est diminuée de la consommation (autoconsommation et consommation électrique dans les centres de tri, etc.) pour estimer la production nette d'électricité associée au scénario de gestion des déchets. De la même manière, pour la production de vapeur, la valeur retenue en MWh est celle correspondante à la production de vapeur diminuée de l'autoconsommation. Les productions nettes d'énergie sous forme d'électricité et de vapeur sont ensuite exprimées en équivalents logements à l'aide des ratios estimés à partir de données extraites du PREDMA Ile de France¹¹ :

- 4 293 kWh électrique pour l'alimentation électrique d'un logement en Ile de France ;
- 7 956 kWh thermique pour le chauffage d'un logement en Ile de France.

• **Émissions gazeuses et impacts effet de serre et acidification de l'air**

Le simulateur estime les émissions gazeuses (gaz acides et gaz contributeurs à l'effet de serre) liées à la consommation de carburant, au fonctionnement de l'usine d'incinération, du centre de tri-méthanisation et du centre stockage des déchets. Ces émissions génèrent des impacts dits « directs » qui sont calculés à l'aide de coefficients d'équivalence permettant d'exprimer :

- pour l'impact effet de serre : des tonnes de méthane émises par exemple, en tonnes équivalent CO₂ (t eq. CO₂) grâce au coefficient nommé potentiel de réchauffement global à 100 ans extrait du rapport n° 4 du GIEC de 2007 ;
- pour l'impact acidification de l'air : des tonnes de SO_x par exemple en kilogramme équivalent H⁺ (kg eq. H⁺) grâce aux coefficients nommés indicateurs acide équivalent calculés sur la base de la part en masse des ions H⁺ (CITEPA¹², 2008).

La gestion des déchets génère des impacts effets de serre et acidification dits « directs, indirects et évités ». Pour l'étude BRGM, l'évaluation de ces impacts est basée sur le guide méthodologique ADEME-MEDD pour l'évaluation des principaux

¹¹ Plan régional d'élimination des déchets ménagers et assimilés d'Île-de-France, projet de plan, Version arrêtée par le Conseil Régional le 6 mai 2009.

¹² Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique.

enjeux environnementaux identifiés liés à la gestion des déchets (ADEME-MEDD, 2006¹³) :

- les impacts directs sont pris en compte, ce sont les impacts liés aux émissions dues à la consommation de carburant (transport), à l'incinération, tri-méthanisation et stockage des déchets ;
- les impacts indirects ne sont pas pris en compte : ce sont les émissions liées, par exemple, à la construction des installations, à la production des réactifs utilisés pour épurer les fumées d'incinérateur. Une étude¹⁴ de Bio Intelligence Service en 2007 montre parmi d'autres que les contributions des impacts indirects sont faibles par rapport aux impacts directs ou évités. Cette étude avait pour objectif la quantification des émissions directes, indirectes et évitées liés à la gestion des déchets ménagers et assimilés et des déchets verts des particuliers en 2004 ;
- les impacts évités du fait de la valorisation énergétique et du recyclage matière et organique ont été pris en compte, à la différence de l'étude de 2004 ;
- à noter également que les impacts liés à la consommation de carburant pour la manutention des déchets dans les diverses installations de traitement ont également été estimés (comme de plus en plus souvent dans ce genre d'analyses). On peut citer notamment le protocole de quantification des émissions de GES liées à la gestion des déchets réalisé par le groupe de travail d'Entreprises pour l'Environnement (EPE, 2008) :
 - les données de consommations de carburant (en MJ par tonne traitée) pour la manutention des déchets comme le retournement des andains en compostage sont extraites du rapport BRGM d'Assistance à l'évaluation environnementale du PREDMA Ile de France (Vaxelaire *et al.*, 2008) ;
 - les données d'émissions (en kg CO₂, Kg SO_x... par GJ de carburant consommé) sont extraites de deux documents, le premier étant une note de l'ADEME sur les facteurs d'émission de dioxyde de carbone pour les combustibles (ADEME, 2005), le second étant le rapport d'inventaire national des émissions atmosphérique en France établi par le CITEPA (CITEPA, 2009) ;
- pour chaque scénario, les impacts directs « effet de serre » ou « acidification de l'air » liés aux émissions gazeuses (valeur positive) peuvent être atténués par des impacts évités (valeur négative). Au final, l'impact « effet de serre » ou « acidification de l'air » peut avoir une valeur positive ou négative selon l'intensité de l'impact évité.

Les impacts évités sont d'une part associés à la production nette d'énergie (incinération, tri-méthanisation, ISD). Cette production permet d'éviter la production d'énergie par un autre mode de production et donc permet d'éviter les impacts

13 ADEME-MEDD (2006) - Évaluation environnementale des plans départementaux de gestion des déchets, Août 2006.

14 Bio Intelligence Service (2007) - Étude « Effet de Serre et Secteur des Déchets » présentée au Colloque « Gestion des déchets : Quelles actions pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? » organisé par la FNADE le 13 novembre 2007.

associés à cet autre mode de production (les valeurs prises en compte sont regroupées dans l'illustration 10).

Impacts évités – effet de serre	Production de vapeur	-264 kg eq. CO ₂ /MWh therm. (cas France)	<i>Source : ADEME MEDD (2006) Evaluation environnementale des plans départementaux de gestion des déchets, 2006</i>
	Production d'électricité	-60 kg eq. CO ₂ /MWh élect. (cas France)	
Impacts évités – acidification	Production de vapeur	-174 kg SO _x /GWh avec 32 kg SO _x = 1 kg eq. H+ -455 kg NO _x /GWh avec 46 kg NO _x = 1 kg eq. H+	<i>Source : ELYO¹⁵ (2004) Rapport annuel</i>
	Production d'électricité	-150 kg SO _x /GWh avec 32 kg SO _x = 1kg eq. H+ -200 kg NO _x /GWh avec 46 kg NO _x = 1 kg eq. H+	<i>Source : EDF SA EDF (2006) Rapport annuel Développement durable EDF, 2006</i>

Illustration 10 - Données de référence pour l'estimation des impacts évités effet de serre et acidification de l'air.

Aux impacts évités liés à la production nette d'énergie à l'issue du traitement des déchets, s'ajoutent les impacts évités liés au recyclage et à l'utilisation du compost produit :

- impacts évités liés au recyclage (effet de serre et acidification) : le recyclage des produits extraits des déchets à l'issue des centres de tri, des métaux extraits en incinération permet d'éviter la production de produits à partir de matières premières. Les émissions évitées liées à la valorisation matière sont calculées en ayant recours à une approche Analyse de Cycle de Vie (ACV) comme le propose l'ADEME (ADEME-MEDD, 2006). Les valeurs utilisées (t eq. CO₂ évitée par tonne de ferraille envoyée en recyclage par exemple) sont extraites de la base de données ACV Wisard ;
- impacts évités liés à l'utilisation du compost produit (effet de serre) : l'épandage du compost sur les champs permet de diminuer le recours aux engrais chimiques. Les valeurs utilisées sont extraites du document suivant : évaluation environnementale des plans départementaux de gestion des déchets, ADEME – MEDD, Août 2006 citant l'étude ADEME Eco-Emballages 2000 : « Déchets ménagers : leviers d'amélioration des impacts environnementaux ».

Noter bien que les simulations sont basées sur différentes hypothèses notamment en termes de performances attendues par le SYCTOM pour les différentes unités de traitement envisagées et les valeurs de référence prises en compte pour l'évaluation des impacts évités.

¹⁵ La société ELYO, maintenant COFELY (GDF -Suez), gère 62 réseaux de chaleur dont le premier réseau de France avec la filiale CPCU qui gère le réseau de Paris.

• **Méthodologie d'évaluation du bilan du recyclage et de la valorisation**

Le bilan du recyclage et de la valorisation s'intéresse à la destination finale des matières traitées, valorisées, recyclées ou éliminées, après passage dans une ou plusieurs filières de traitement, en pourcentage du gisement de déchets intégrés dans l'étude.

Afin d'estimer les tonnages associés au recyclage matière, au recyclage organique, à la valorisation énergétique (incinération avec valorisation d'énergie), à l'utilisation des mâchefers et à l'élimination de déchets (enfouissement), les déchets traités et les produits de traitement de ces déchets sont répartis de la manière suivante :

Indicateurs	Méthodes de calcul
<p>Recyclage matière (en tonnes)</p>	<p>Sortie des centres de tri + Déchets des collectes séparatives monoflux envoyés directement aux repreneurs + Recyclage déchetteries (déchets collectés en déchetterie repris directement par les repreneurs) + Métaux extraits en traitements thermiques...</p>
<p>Recyclage organique (en tonnes)</p>	<p>Entrée Compostage - Refus de compostage - Recyclables envoyés aux repreneurs</p>
<p>Valorisation énergétique (en tonnes)</p>	<p>Entrée des traitements thermiques avec récupération d'énergie (OM, refus de tri, refus de compostage...) - REFIOM - Mâchefers - Métaux récupérés (ferrailles incinérées)</p>
<p>Utilisation des mâchefers (en tonnes)</p>	<p>Mâchefers utilisés (mâchefers déferrillés valorisables après maturation si besoin)</p>
<p>Elimination (en tonnes)</p>	<p>Gisement - Valorisation globale (recyclage matière et organique + valorisation énergétique + utilisation des mâchefers) = déchets enfouis en centre de stockage</p>

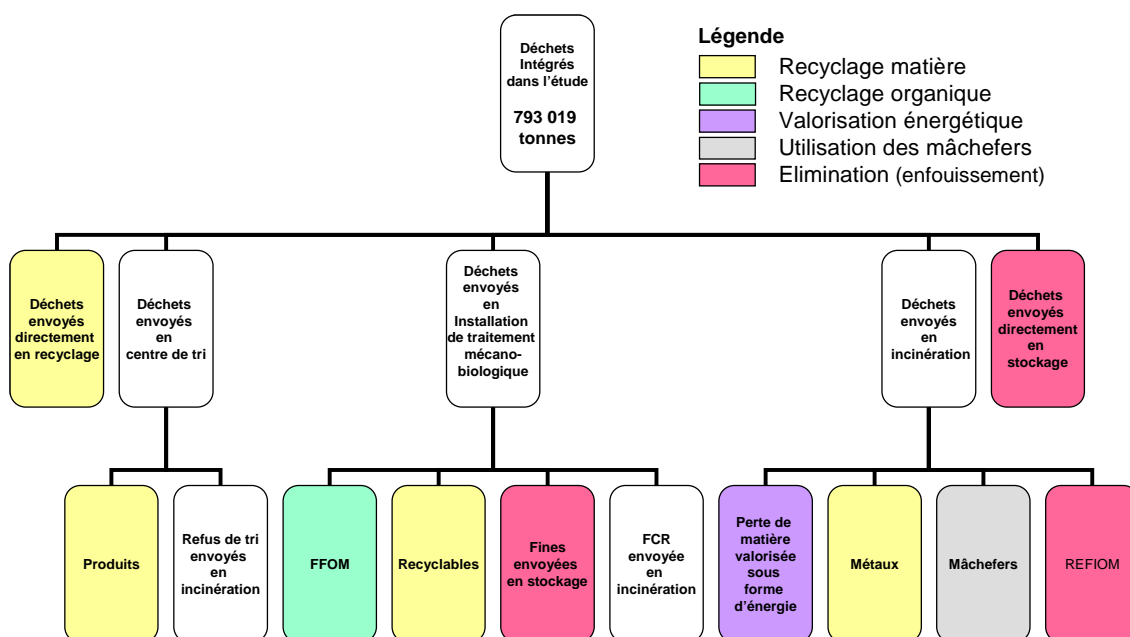


Illustration 11 - Méthodologie d'évaluation du bilan du recyclage et de la valorisation.

Le pourcentage associé au recyclage matière par exemple correspond à la somme des tonnages associés à la couleur jaune (cf. Illustration 11) rapportée au gisement de déchets intégrés dans l'étude (793 019 tonnes) et ainsi de suite.

En référence au guide de révision des plans départementaux d'élimination des déchets ménagers et assimilés de l'ADEME¹⁶, les commentaires suivants peuvent être mis en exergue :

- le recyclage matière est celui après tri et affectation des métaux extraits des mâchefers d'incinération ;
- le recyclage organique résulte de la différence entre le tonnage entrant en compostage et le tonnage de refus générés à reprendre par d'autres modes ;
- la même logique doit être appliquée à la valorisation énergétique en lui imputant ce qui est réellement incinéré, à savoir la différence entre tonnage incinéré avec récupération d'énergie et tonnage de refus valorisés ou non en sortie. Il y a alors bien comparaison entre valorisation énergétique et élimination, plutôt qu'entre incinération avec récupération d'énergie et décharge ;
- les tonnages envoyés en incinération avec valorisation thermique sont diminués des mâchefers, métaux et résidus de fumée subsistant après le traitement, de manière à ne compter chaque tonne de déchet entrant qu'une fois et une seule (Les autres éliminations sont l'incinération sans valorisation et le stockage temporaire).

¹⁶ ADEME (1999) - Guide de révision des plans départementaux d'élimination des déchets ménagers et assimilés, Fascicule 1, Méthodologie de révision des Plans, ANNEXE 9 plans départementaux d'élimination des déchets ménagers et assimilés : flux de gestion des déchets et taux de recyclage et de valorisation, 21 p.

Ces taux ne sont donc pas comparables aux taux classiques de valorisation, calculés à partir de l'entrée dans le premier traitement.

Représentation graphique des indicateurs de résultats pour l'analyse des scénarios

- **Indicateurs de performance :**

Afin de comparer les scénarios les uns avec les autres, les indicateurs sont exprimés en pourcentage selon les modes de calcul décrits ci-dessous :

- pour l'indicateur production nette d'énergie, la valeur 100 % correspond à la valeur associée au scénario le plus favorable parmi les neuf scénarios, du scénario Sc1.1 au scénario Sc3.3 ;
- pour les taux de recyclage et de valorisation, les valeurs associées à ces indicateurs correspondent aux valeurs réelles des taux.

Les trois indicateurs de performance sont représentés de la manière suivante :

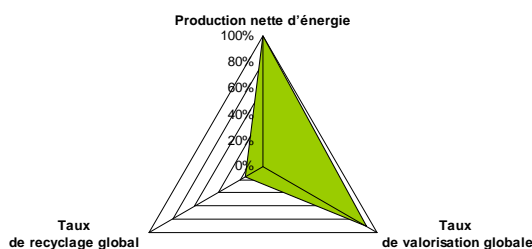


Illustration 12 - Représentation graphique des indicateurs de performance.

Il faut noter que plus l'aire des « indicateurs de performance » (aire verte) est grande plus le scénario est performant

- **Indicateurs d'impacts**

Afin de comparer les scénarios les uns avec les autres, les indicateurs sont exprimés en pourcentage en variation relative ; la valeur 100 % correspondant à la valeur associée au scénario le plus défavorable parmi les neuf scénarios (impact le plus important), du scénario Sc1.1 au scénario Sc3.3.

Hors, pour chaque scénario, les impacts directs « effet de serre » ou « acidification de l'air » liés aux émissions gazeuses (valeur positive) peuvent être atténués par des impacts évités (valeur négative). Au final, l'impact « effet de serre » ou « acidification de l'air » peut avoir une valeur positive ou négative selon l'intensité de l'impact évité. Pour aider à interpréter les impacts des scénarios les uns par rapport aux autres à partir d'une représentation graphique, les valeurs d'impact (direct + évité) ont été

comparées sur la base de leur valeur réelle corrigée¹⁷. Cette correction a été faite de la même manière sur l'ensemble des scénarios pour les indicateurs effet de serre et acidification de l'air. Ainsi, en ce qui concerne par exemple l'impact effet de serre, les scénarios s'échelonnent sur une plage allant de 0 % (correspondant à la valeur d'impact associée à -44 355 t eq. CO₂) à 100 % (valeur d'impact associée à 282 652 t eq. CO₂).

L'illustration ci-dessous est un exemple des modes de représentation des indicateurs d'impact avec :

- dans le premier cas, seuls les impacts directs pour les impacts effet de serre et acidification sont pris en considération (cas de l'étude réalisée en 2004) ;
- dans le deuxième cas, les impacts directs et évités sont pris en compte pour les impacts précités. Il faut bien noter que dans ce cas, une valeur nulle associée à l'impact effet de serre ne signifie pas un impact nul mais que l'impact effet de serre du scénario étudié a abouti à l'impact le plus faible parmi l'ensemble des neuf scénarios.

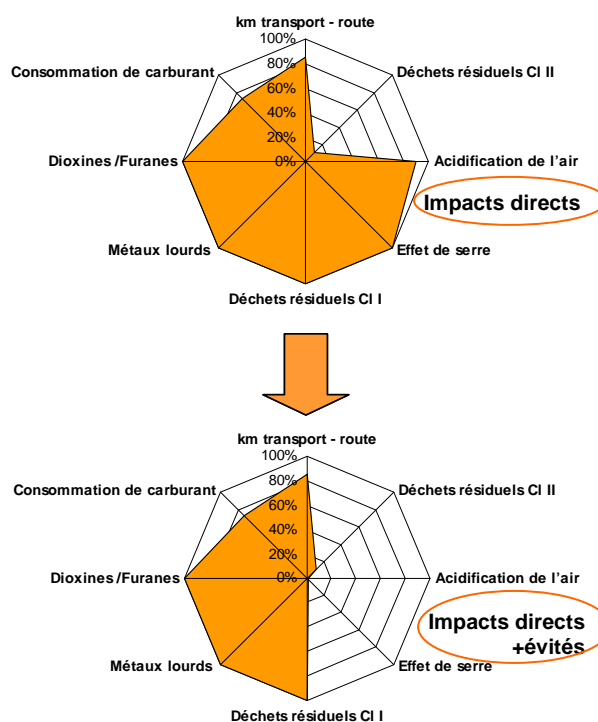


Illustration 13 - Représentation graphique des indicateurs d'impacts.

¹⁷ Augmentation de l'ensemble des valeurs d'impacts des scénarios de la valeur absolue de l'impact minimum parmi l'ensemble des 9 scénarios, soit une augmentation de +44 355 t eq. CO₂ pour l'impact « effet de serre » et de +24 159 kg eq. H⁺ pour l'impact « acidification de l'air ».

Pour analyser la pertinence d'un scénario de gestion des déchets sur la base des illustrations précédentes, il faut noter que plus l'aire des « indicateurs d'impacts » (aire orange) est petite et moins le scénario génère d'impacts.

Normalisation des indicateurs

Certains indicateurs peuvent être aussi normalisés et exprimés en termes d'équivalents habitants, comme le propose l'ADEME. L'échelle dite nationale (cf. Illustration 14) est fondée sur les données annuelles de consommations ou d'émissions nationales divisées par le nombre moyen d'habitants en France. Cette échelle permet de mieux appréhender les impacts environnementaux de la gestion des déchets d'emballages ménagers au regard d'autres problématiques nationales.

	Échelle nationale pour la France
Consommation d'énergie	166 GJ/hab./an
Augmentation de l'effet de serre ¹⁸	8,7 teqCO ₂ /hab
Acidification de l'air	1,9 kg eq. H ⁺ /hab./an

Illustration 14 - Échelle nationale pour la France des indicateurs environnementaux.

¹⁸ Seul le CO₂ formé à partir de carbone fossile est pris en compte

2. Résultats de simulation

2.1. OBJECTIFS

L'objectif de l'étude est de pouvoir comparer différents scénarios de gestion des déchets générés sur le secteur sud-est parisien. Cette comparaison repose sur l'évaluation de deux séries d'indicateurs. La première série regroupe des indicateurs dits de performance (production nette d'énergie, taux de recyclage global et taux de valorisation globale), la seconde regroupe des indicateurs d'impact (km parcourus sur route par les camions de transport des déchets et produits de traitements, émissions de gaz à effet de serre, acidifications de l'air, etc.). Ces deux séries d'indicateurs ne permettent pas de fournir une note globale à un système de gestion de déchets mais fournissent une base scientifique et objective sur laquelle les parties prenantes impliquées dans les choix stratégiques de gestion des déchets peuvent se reposer pour faire les meilleurs choix en fonction des réalités locales (production énergétique) et des enjeux globaux (impacts sanitaires, réchauffement climatiques).

Les résultats de simulation sont ainsi utilisés pour comparer, du point de vue de leurs performances et de leurs impacts environnementaux :

- trois scénarios de traitement des ordures ménagères résiduelles à Ivry (Sc1.1 incinération, Sc1.2 tri-valorisation organique-incinération de la FCR¹⁹ et Sc1.3 tri-valorisation organique-enfouissement de la FCR) ;
- trois scénarios de localisation géographique des unités de traitement : Sc1.x maintient à Ivry Paris XIII, Sc2.x relocalisation à 12 km et Sc3.x, relocalisation à 75 km.

Les indicateurs d'impacts calculés sont représentés sous la forme de diagrammes de type « radar » offrant une lecture immédiate d'un ensemble de grandeurs caractéristiques d'un scénario de traitement donné.

2.2. IMPACTS DES OPTIONS DE TRAITEMENT RETENUES

Cette partie s'attache à comparer les trois scénarios de traitement des OMr. Ces scénarios sont notés Sc1.x.

2.2.1. Bilans matières globaux

Sur la base du gisement global de déchets pris en compte dans l'étude (683 019 tonnes d'OM et 110 000 tonnes de FCR apportée) et des performances des unités de traitement, le simulateur développé par le BRGM calcule l'ensemble des flux

¹⁹ FCR : Fraction Combustible Résiduelle.

de matière associé à chaque scénario. Les diagrammes correspondants font l'objet des illustrations suivantes : Illustration 15, Illustration 16 et Illustration 17.

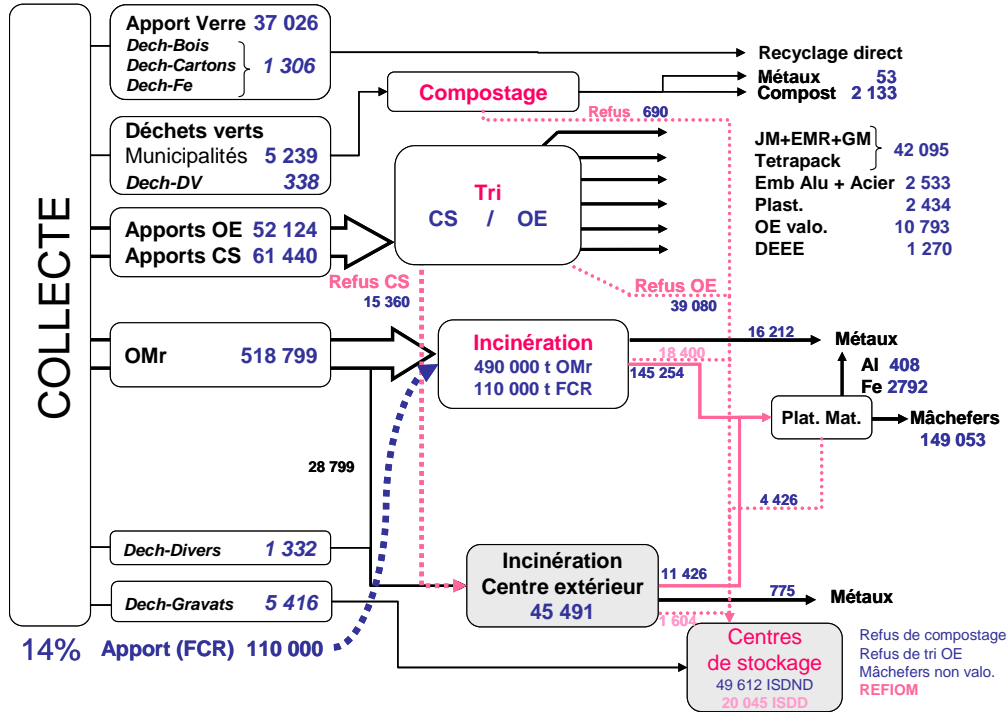


Illustration 15 - Schéma des flux de matière correspondant au scénario de gestion Sc1.1 (incinération des OMr).

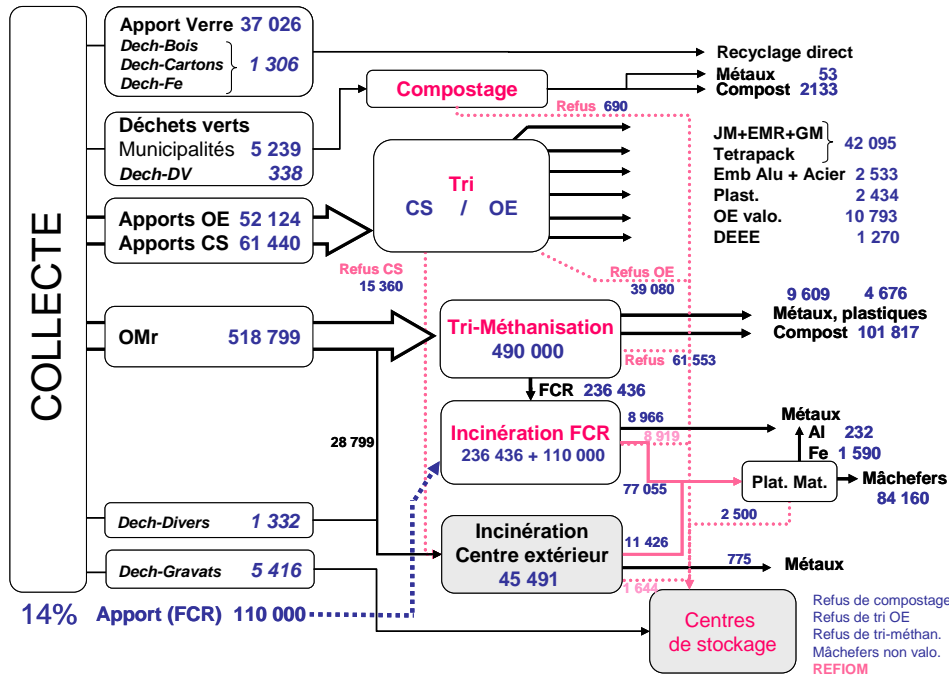


Illustration 16 - Schéma des flux de matière correspondant au scénario de gestion Sc1.2 (tri-valorisation organique des OMr-incinération de la FCR).

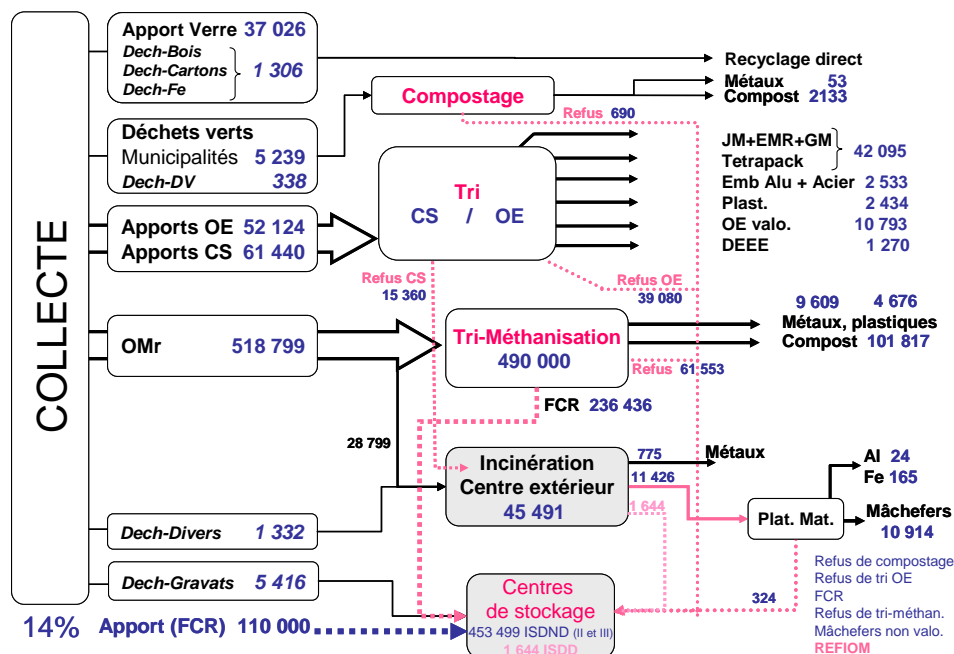


Illustration 17 - Schéma des flux de matière correspondant au scénario de gestion Sc1.3 (tri-valorisation organique des OMr-enfouissement de la FCR).

Les bilans matière associés aux scénarios Sc1.1, Sc1.2 et Sc1.3 sont identiques pour ce qui concerne le compostage et le centre de tri des objets encombrants et des collectes sélectives. Les distinctions portent sur le traitement des OMr. Dans le scénario Sc1.1, elles sont incinérées au même titre que les apports de FCR provenant du centre de Romainville/Bobigny (80 000 t) et du centre de Blanc-Mesnil/Aulnay sous Bois (30 000 t). Dans les scénarios Sc1.2 et Sc1.3, elles alimentent un centre de tri-méthanisation. Dans le scénario 1.2, la FCR apportée (110 000 t) est incinérée en mélange avec la FCR (236 436 t) extraite des OMr générées sur le secteur étudié. Dans le scénario 1.3, la FCR (110 000 t d'apports + 236 436 t de FCR extraite des OMr) est envoyée en ISDND.

Sur la base d'un tonnage de 490 000 t en entrée de centre, le bilan de fonctionnement de l'unité de tri mécanique/méthanisation basé sur l'étude de faisabilité commandé par le SYCTOM fait apparaître :

- qu'il est possible de recycler environ 3 % d'OMr par extraction des plastiques et des métaux ;
- que 38,6 % de la FFOM²⁰ est transférée dans les digesteurs ;

²⁰ FFOM : Fraction Fermentescible des Ordures Ménagères.

- qu'il est possible d'extraire 48,2 % de FCR valorisée thermiquement par combustion ;
- et que la production de fines envoyées en ISDND²¹ s'élève à 12,6 % du tonnage total d'OMr traitées.

La mise en place d'une installation de tri-méthanisation avant incinération permet de réduire significativement la quantité totale de mâchefers récupérés à l'issue du traitement thermique. Le tonnage de mâchefers passe ainsi de 149 050 t dans le Sc1.1 à 101 800 t dans le Sc1.2. Rapportée à la tonne de déchets traités, la quantité de mâchefers récupérés diminue de 7 % pour le scénario 1.2 par rapport au scénario 1.1. La plus faible proportion des fines et d'incombustibles divers dans la FCR par rapport aux OMr explique cette évolution.

Enfin, on note une évolution opposée des déchets envoyés en centre de stockage selon qu'il s'agit de déchets non dangereux ou de déchets dangereux. La quantité de déchets non dangereux envoyés en ISDND augmente de 120 dans le scénario 1.2 (109 200 t) par rapport au scénario 1.1 (49 600 t). Cette évolution est liée à l'extraction de matériaux non combustibles de densité élevée (catégorie verres, cailloux, calcaires) lors du tri des OMr qui sont enfouis en ISDND. Par contre, les volumes de REFIOM générés en incinération sont proportionnels aux volumes de déchets brûlés. Ainsi, il est nécessaire d'enfouir 2 fois plus de résidus de traitement des fumées dans le Sc1.1 (20 000 t) par rapport au Sc1.2 (10 600 t) en ISDD²².

2.2.2. Déchets et destinations

Les caractéristiques d'un système de traitement des déchets peuvent être appréhendées du point de vue des destinations (recyclage matière, tri, traitement biologique, incinération et stockage) des déchets collectés. L'illustration 18 fait la synthèse de la répartition des tonnages de déchets considérés dans l'étude en fonction de leurs destinations premières et pour les trois scénarios de traitement. Cette présentation intègre pour le volet recyclage les apports volontaires en déchetterie de matériaux recyclables et le verre collecté sélectivement envoyés directement chez les repreneurs industriels. Le tri concerne les collectes multi-matériaux et les collectes d'objets encombrants. Dans les scénarios 1.1 et 1.2, la destination stockage ne concerne que les gravats enfouis en ISDI²³ (anciennement centre de stockage de classe III). Dans le scénario 1.3, s'ajoutent à ces tonnages de gravats, les 110 000 tonnes de FCR envoyées en ISDND.

²¹ ISDND : Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux.

²² ISDD : Installation de Stockage des Déchets Dangereux.

²³ ISDI : Installation de Stockage des Déchets Inertes.

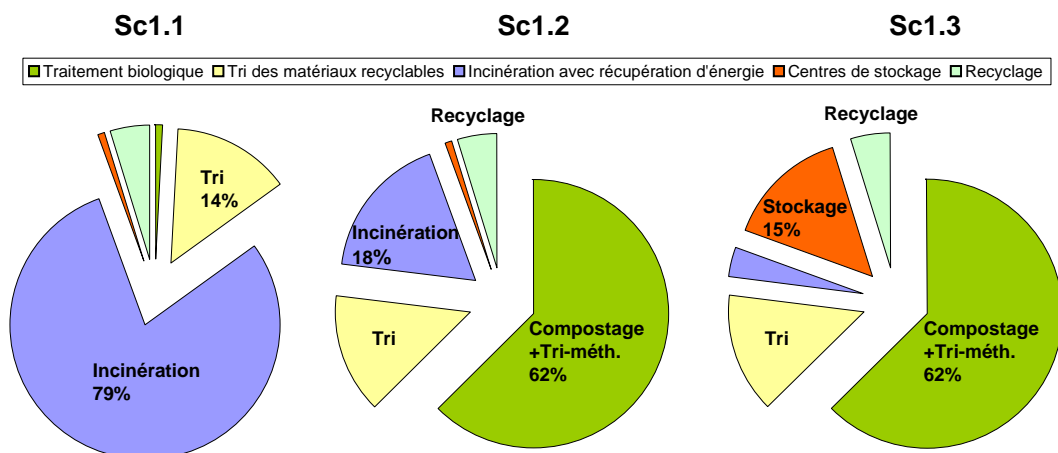


Illustration 18 - Répartition des déchets intégrés dans l'étude (793 019 tonnes au total) selon leurs destinations.

Cette illustration fait apparaître la contribution majeure de l'incinération dans le scénario 1.1 (79 %) contrairement aux deux autres scénarios. Le traitement biologique y est représenté de façon anecdotique (correspondant au seul compostage des déchets verts des collectivités) contrairement aux scénarios 1.2 et 1.3. Le tri tient la même position quel que soit le scénario (14 %). Le stockage des déchets occupe une part plus importante (15 %) dans le scénario 1.3 du fait de l'enfouissement de la FCR en provenance du centre de Romainville/Bobigny et du centre de Blanc-Mesnil/Aulnay sous Bois.

Il faut garder à l'esprit que ce mode de représentation ne considère pas le devenir des déchets secondaires (déchets récupérés à l'issue des traitements primaires). Ainsi, par exemple, l'incinération occupe une place plus importante que celle qui apparaît sur le graphique du scénario 1.2 si l'on considère non plus les déchets et leurs destinations mais les installations et les tonnages qui y sont traités. Dans le scénario 1.2, la FCR issue du tri mécanique est un déchet secondaire du tri-méthanisation, ensuite valorisé énergétiquement en incinération. De la même façon, les volumes de déchets inertes issus du traitement mécano-biologique sont envoyés en ISDND mais n'apparaissent pas en tant que tels dans la catégorie « stockage » de la répartition des déchets par destination. Ceci constitue la différence entre une présentation des résultats sur la base des tonnages de déchets traités et sur la base des déchets répartis selon leurs destinations premières.

2.2.3. Bilan du recyclage et de la valorisation

Le bilan du recyclage et de la valorisation fait apparaître un taux de recyclage global à l'avantage du Sc1.2 (38,6 %) grâce à un fort taux de recyclage organique (méthanisation de la FFOM extraite des OMr).

Le taux de valorisation globale est le plus important pour le Sc1.1 (91,2 %) du fait d'une place importante consacrée à l'incinération et donc, à la valorisation énergétique. Le taux de valorisation globale du Sc1.2 (84,9 %) est légèrement en retrait de celui du

Sc1.1 (différence de 6,3 points). Les 84,9 % de valorisation globale du Sc1.2 sont obtenus grâce à un fort taux de recyclage global et à la valorisation énergétique de la FCR extraite lors du tri mécanique des OMr.

Le taux de valorisation globale du Sc1.3 (42,6 %) est en net retrait par rapport aux deux premiers scénarios. Ce scénario est lourdement pénalisé par un fort taux d'élimination (57,4 %).

Bilan du recyclage et de la valorisation	Sc1.1	Sc1.2	Sc1.3
(1) Recyclage matière	14,8%	15,6%	14,2%
(2) Recyclage organique	0,6%	23,0%	23,0%
(3) Valorisation énergétique (Incinération)	57,0%	35,7%	4,0%
(4) Utilisation des mâchefers	18,8%	10,6%	1,4%
(5) Elimination (Enfouissement)	8,8%	15,1%	57,4%
Total	100,0%	100,0%	100,0%

Taux de recyclage global (1+2)	15,5%	38,6%	37,2%
Taux de valorisation globale (1+2+3+4)	91,2%	84,9%	42,6%

Illustration 19 - Bilan du recyclage et de la valorisation (indicateurs ADEME).

2.2.4. Impacts de la collecte et du transport

Les kilomètres parcourus pour transporter les OM, les déchets de la collecte sélective multi-matériaux, le verre et les encombrants sont affectés au poste « collecte » alors que les kilomètres parcourus pour le transport des déchets des déchetteries, des déchets verts des collectivités, le transport des apports de FCR du centre de Romainville/Bobigny ou du centre de Blanc-Mesnil/Aulnay sous Bois vers les installations de traitement et pour le transport des produits de traitement sont affectés au poste « transport ».

En ce qui concerne les distances parcourues spécifiquement pour les activités de transport, tous modes confondus, il apparaît que le scénario 1.1 nécessite de parcourir une distance totale plus importante que pour les autres scénarios (cf. Illustration 20). Ce résultat est lié essentiellement au poste incinération avec le transport des produits secondaires récupérés à l'issue de la combustion à savoir les mâchefers (transport en camion jusqu'au quai de chargement puis transport par péniche jusqu'à la plateforme de maturation puis transport par camion jusqu'au centre d'enfouissement (Claye Souilly) pour les mâchefers non recyclés ou à une destination située à 20 km pour les mâchefers recyclés (activités BTP)) et les REFIOM, vers les exutoires finaux.

Il est à noter que l'implantation d'un centre de tri-méthanisation dans le scénario 1.2 permet, grâce à la valorisation organique de près de 40 % du flux d'OMr traitée, de réduire la quantité de déchets envoyée en incinération. En conséquence, les kilomètres totaux parcourus associés au transport des mâchefers et des REFIOM sont réduits. En outre, la FCR issue du tri mécanique, est directement incinérée sur le site et ne nécessite donc pas d'être transportée.

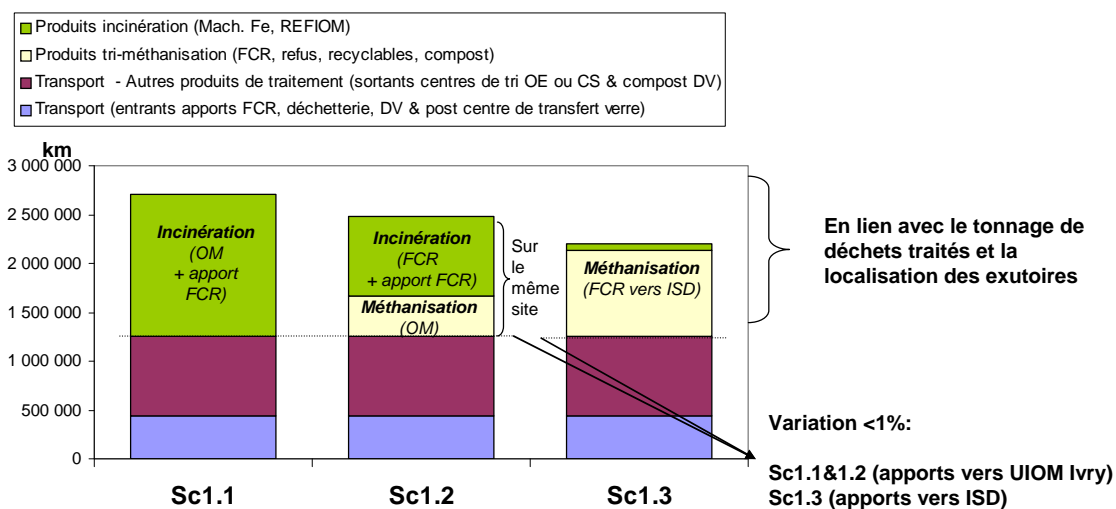


Illustration 20 - Distance totale parcourue pour le transport des déchets, tous modes de transport confondus (route, rail et fluvial).

La distance totale parcourue pour le transport des déchets dans le scénario 1.3 est inférieure de 10 % à celle parcourue dans le scénario 1.2 puisque le transport de la FCR du centre d'Ivry au centre de stockage nécessite de parcourir moins de kilomètres que ne l'impose la gestion des produits de combustion lorsque la FCR est incinérée (Sc1.2).

L'illustration 21 compare les trois scénarios proposés sur la base des performances (tonnages transportés), du bilan énergétique (consommation de carburant) et des impacts (km parcourus) associés à la collecte et au transport des déchets. Cette comparaison est détaillée par mode de transport (routier, ferroviaire, fluvial).

Selon les scénarios, les kilomètres parcourus pour la collecte représente entre 65 et 70 % des kilomètres totaux parcourus, tous modes de transport confondus (route, train et fluvial). Il apparaît que le scénario 1.1 est le plus défavorable, la consommation d'énergie ainsi que les kilomètres totaux parcourus y sont les plus importants. Les différences observables entre les scénarios 1.1 et 1.2 sont dues au transport des résidus et produits de l'incinération (gestion des REFIOM et des mâchefers comme vu précédemment pour le transport des déchets secondaires vers les exutoires finaux).

Sur les aspects « transport », l'indicateur retenu pour la comparaison des scénarios correspond aux kilomètres totaux parcourus pour la collecte et le transport des déchets sur route hors transport par voie alternative (voie ferroviaire ou fluviale).

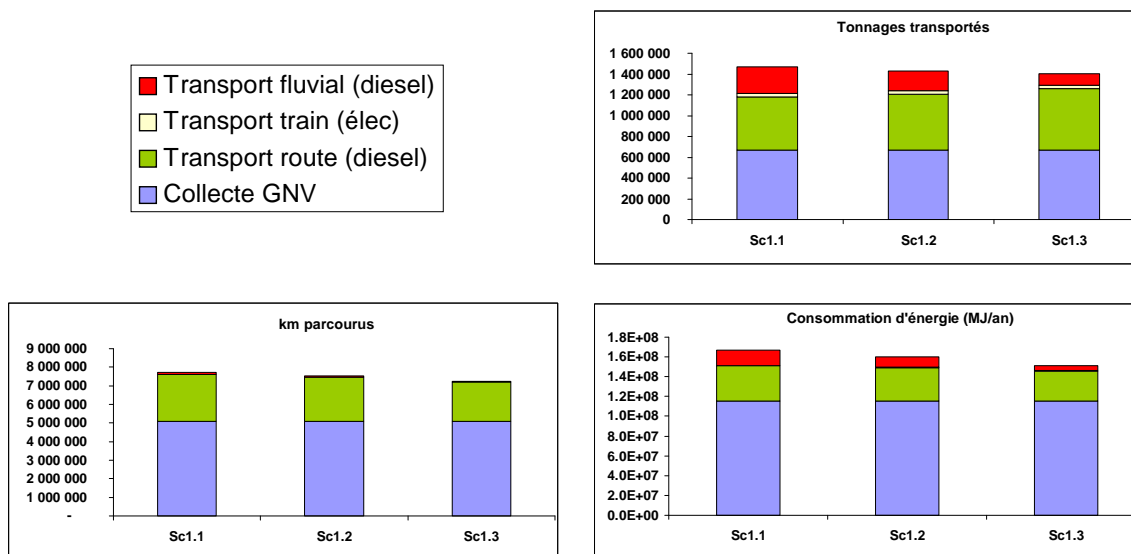


Illustration 21 - Bilan des activités « collecte et transport » des déchets, par mode de transport.

2.2.5. Bilan énergie

Sur la base des hypothèses de performance énergétique de l'installation de valorisation énergétique et des performances de tri mécanique (étude de pré-faisabilité SYCTOM) et des paramètres par défaut utilisés par les modèles mathématiques, le simulateur permet de calculer les consommations et les productions énergétiques des systèmes de gestion de déchets associés aux trois scénarios étudiés. Les bilans « électricité » et « vapeur produite » visibles dans l'illustration 22 mettent en évidence que les dépenses énergétiques sont largement couvertes par les productions et ce, pour les trois scénarios. Les consommations énergétiques des scénarios 1.1 et 1.2 représentent moins de 5 % des productions. Le bilan énergétique du Sc1.3 est le moins favorable. Il apparaît nettement en retrait derrière le Sc1.2 et surtout le Sc1.1.

Bilan « électricité » et « chaleur »	Sc1.1	Sc1.2	Sc1.3
Production nette d'électricité * (MWh)	67 093	48 359	18 325
Production nette de chaleur ** (MWh)	1 338 300	1 100 785	138 793
Equivalent logements chauffés	183 840	149 624	21 714

* Production d'électricité en incinération, méthanisation et ISD le cas échéant
 – consommation (autoconsommation et consommation électrique dans les centres de tri)
 ** Production de vapeur - autoconsommation

Bilan global	Sc1.1	Sc1.2	Sc1.3
Consommation de carburant (MWh)	51 394	62 516	61 504

Illustration 22 - Productions (électriques et thermiques) et consommations énergétiques (carburant).

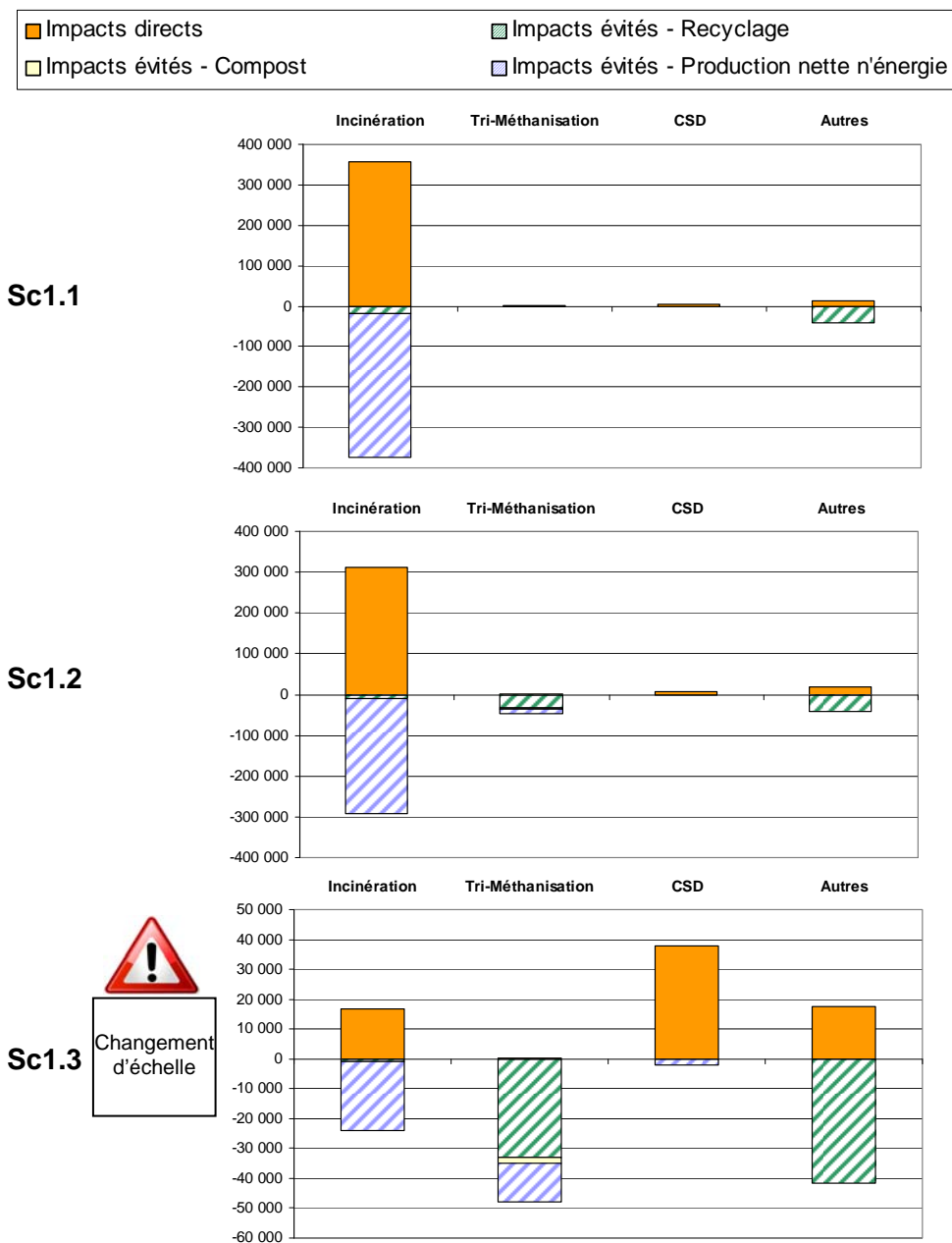
2.2.6. Impacts « effet de serre »

L'illustration 23 présente les impacts directs et évités par scénarios, associés à chaque type de traitement (incinération, tri-méthanisation, stockage, « autres »). La catégorie « autres » couvre la collecte et le transport, la manutention des déchets, le fonctionnement des centres de transfert et de tri, le compostage des déchets verts.

Les résultats mettent en évidence la dualité de l'incinération qui présente l'impact direct le plus important du fait de l'émission de CO₂ résultant des réactions de combustion, mais aussi l'impact évité le plus important du fait d'un excellent rendement de récupération de l'énergie dégagée par la combustion. La substitution des déchets à une autre ressource carbonée afin de produire de l'énergie permet d'ailleurs d'éviter d'avantage d'émissions de gaz contributeurs à l'effet de serre que les émissions directes liées à la combustion des déchets.

Contrairement aux scénarios 1.1 ou 1.2 pour lesquels l'essentiel des impacts directs et évités sont liés à la présence d'une usine d'incinération, le scénario 1.3 voit une répartition plus équilibrée des impacts directs et des impacts évités entre les différentes unités de traitement. On observe que l'impact direct lié au fonctionnement de l'usine de méthanisation est nul. Ceci tient en partie à l'hypothèse d'une étanchéité parfaite des réacteurs de digestion anaérobie et de l'absence de fuite de méthane. L'impact direct le plus important est attribué à l'ISDND. Il est essentiellement lié à la part de biogaz non collecté qui s'échappe du centre de stockage vers l'atmosphère.

Les impacts évités sont liés à la production d'énergie (incinération des OMr dans le sc1.1, incinération de FCR dans le 1.2 et pour les trois scénarios, incinération dans un centre extérieur des OMr excédent 490 000 tonnes et autres déchets et combustion du biogaz issu de la méthanisation de la FFOM et issu des centres d'enfouissement) et à la valorisation des produits recyclables.



	Sc1.1	Sc1.2	Sc1.3
Impacts directs	375 146	336 397	72 513
Impacts évités	-417 286	-380 752	-115 421
Impacts directs+évités	-42 139	-44 355	-42 908

Illustration 23 - Bilans « effet de serre » incluant les impacts directs et les impacts évités associés à l'utilisation du compost, au recyclage et à la production d'énergie.

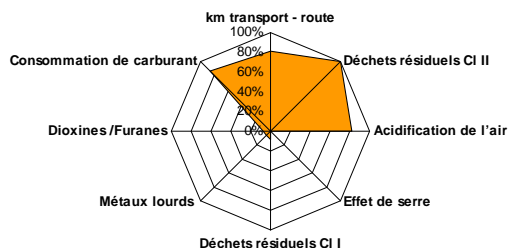
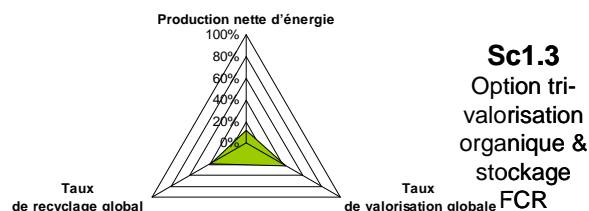
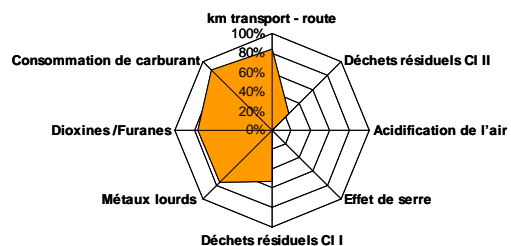
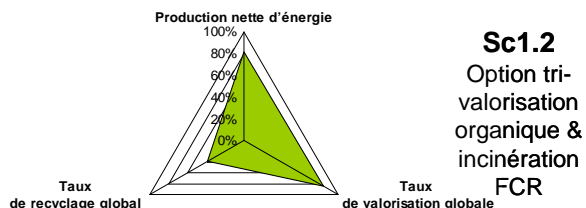
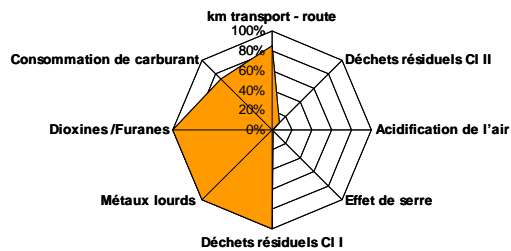
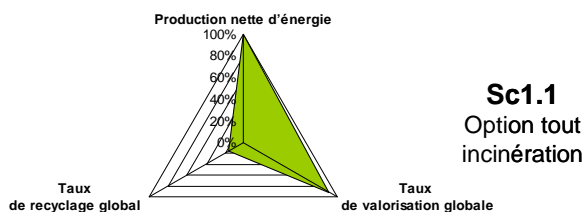
2.2.7. Bilan des performances et des impacts associés aux trois scénarios de traitement

Unité scientifique	Sc1.1	Sc1.2	Sc1.3	
« Indicateurs de performance » <i>(plus la valeur de ces indicateurs est importante, meilleur est le scénario du point de vue de sa performance)</i>				
Production nette d'énergie (éq. logements)	183 841	149 624	21 713	
Taux de valorisation globale (%)	91,2 %	84,9 %	42,6 %	
Taux de recyclage global (%)	15,5%	38,6 %	37,2 %	
« Indicateurs d'impact » <i>(plus la valeur de ces indicateurs est importante, plus l'impact sur l'environnement est important)</i>				
Effet de serre (t eq.CO ₂)	Impacts directs	375 146	336 397	72 513
	Impacts évités	-417 286	-380 752	-115 421
	Impacts directs+évités	-42 139	-44 355	-42 908
Acidification (kg eq. H ⁺)	Impacts directs	6 015	6 321	5 822
	Impacts évités	-30 049	-30 479	-14 022
	Impacts directs+évités	-24 034	-24 159	-8 200
Déchets résiduels CI I (en t)	20 045	10 563	1 644	
Déchets résiduels CI II (en t)	49 612	109 238	453 499	
Métaux lourds (émissions) (Hg+Cd) (g)	303 980	233 337	20 749	
Dioxines /Furanes (émissions) (g)	0,152	0,117	0,012	
Km transport – Route	7 683 851	7 503 819	7 251 181	
Consommation de carburant (GJ)	185 017	225 058	221 413	

Illustration 24 - Performances et impacts des scénarios Sc1.1, Sc1.2 et Sc1.3.

Rappels :

- la production nette d'énergie constitue un des trois indicateurs de performances. Elle correspond à la différence entre les productions et les consommations énergétiques ;
- les indicateurs d'impacts « Effet de serre » et « Acidification de l'air » intègrent les impacts directs et les impacts évités liés à la production d'énergie et au recyclage matière et les impacts évités « Effet de serre » liés à l'utilisation du compost ;
- pour analyser la pertinence d'un scénario de gestion des déchets sur la base des illustrations précédentes, il faut noter que plus l'aire des « indicateurs de performance » (**aire verte**) est grande plus le scénario est performant. *A contrario*, plus l'aire des « indicateurs d'impact » (**aire orange**) est petite et moins le scénario génère d'impacts.



Indicateurs de performance :

- . Pour l'indicateur production nette d'énergie : indicateur à 100% = valeur associée au scénario le plus favorable parmi les 9 scénarios
- . Pour les taux de recyclage et de valorisation : Indicateur = valeurs réelles des taux

Indicateurs d'impacts :

- . Indicateur à 100% = valeur associée au scénario le plus défavorable parmi les 9 scénarios
- . Sauf pour les impacts effets de serre et acidification de l'air : indicateurs basés sur leurs valeurs réelles augmentées de la valeur absolue de l'impact minimum parmi l'ensemble des 9 scénarios

Illustration 25 - Représentation graphique des performances et des impacts de Sc1.1, Sc1.2 et Sc1.3.

Pour mémoire, il faut bien noter qu'une valeur nulle associée à l'impact effet de serre ou acidification de l'air ne signifie pas un impact nul mais que l'impact effet de serre du scénario étudié (impacts directs + évités) a abouti à l'impact le plus faible parmi l'ensemble des neuf scénarios

L'étude met en évidence (cf. Illustration 25) que par rapport à une solution « tout incinération » (Sc1.1), la performance énergétique du scénario tri-valorisation organique – incinération de la FCR (Sc1.2) est légèrement en retrait mais que le taux de recyclage global est meilleur d'un facteur 2 et que le bilan net des impacts environnementaux est plus favorable.

Les caractéristiques principales du scénario tri-valorisation organique – incinération de la FCR (Sc1.2) sont les suivantes :

- il présente une moindre performance énergétique, du fait d'une réduction de 39 % des tonnages incinérés (taux de valorisation énergétique de 35,7 % versus 57 %, soit 21,3 points d'écart) ;
- son taux d'élimination est dégradé (15,1 % vs 8,8 %), les tonnages envoyés en centres de stockage étant doublés (109 000 tonnes au lieu de 50 000 tonnes). En revanche, il présente le meilleur taux de recyclage global (38,6 % versus 15,5 %, soit + 23 points), du fait du recyclage organique (taux de recyclage organique de 23 % versus 0,6 %). Son taux de valorisation globale est donc légèrement inférieur (84,9% versus 91,2 %, soit 6,3 points d'écart). Ce scénario est donc conforme à la hiérarchie des modes de traitement fixée par la Directive cadre européenne relative aux déchets (directive 2008/98/CE), qui donne la priorité au recyclage par rapport à la valorisation énergétique. Il diminue de 28 % les tonnages incinérés et enfouis (512 000 tonnes au lieu de 715 000 tonnes) ;
- par ailleurs, bien qu'inférieure à l'option « tout incinération » (Sc1.1), la production d'énergie de ce scénario, qui permet de fournir de l'énergie à près de 150 000 équivalent-logements, satisfait aux besoins de chauffage de la Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain (CPCU) (sur la base de 4 293 kWh électrique par logement et de 7 956 kWh thermique par logement, source PREDMA IDF) ;
- en ce qui concerne les émissions de gaz à effet de serre (GES) et l'acidification de l'air (cf. Illustration 26), les impacts sont comparables (- 5 098 eq. habitant (Sc1.2) versus - 4 844 eq. ; habitant pour le scénario « tout incinération » (Sc1.1) ou bien - 44 000 t eq. CO₂ (Sc1.2) versus - 42 000 t eq. CO₂ (Sc1.1)) :
 - pour l'impact effet de serre, en effet, si l'incinération émet beaucoup de GES, sa production d'énergie et l'impact évité associé à cette production compense largement ses impacts directs,
 - pour l'impact acidification de l'air, les impacts directs liés aux émissions de gaz sont comparables entre les Sc1.1 et Sc1.2. L'impact évité lié à la production d'énergie est moindre pour le scénario tri-valorisation organique et incinération de la FCR (Sc1.2) (moins d'énergie produite que dans le scénario tout incinération). Par contre, le pré-tri des OMr et la valorisation organique envisagés dans le scénario 1.2 permettent d'extraire des OMr des produits recyclables supplémentaires et d'améliorer la valorisation organique des déchets (production de compost) par rapport au scénario tout incinération. L'impact évité lié au recyclage matière et à l'utilisation du compost produit est donc favorable au scénario 1.2, il compense la diminution de l'impact évité lié à la moindre production d'énergie pour le scénario tri-valorisation organique et incinération de la FCR (Sc1.2) par rapport au scénario tout incinération (Sc1.1).

Impact « Effet de serre » en éq. habitant

Impact « Acidification » en éq. habitant

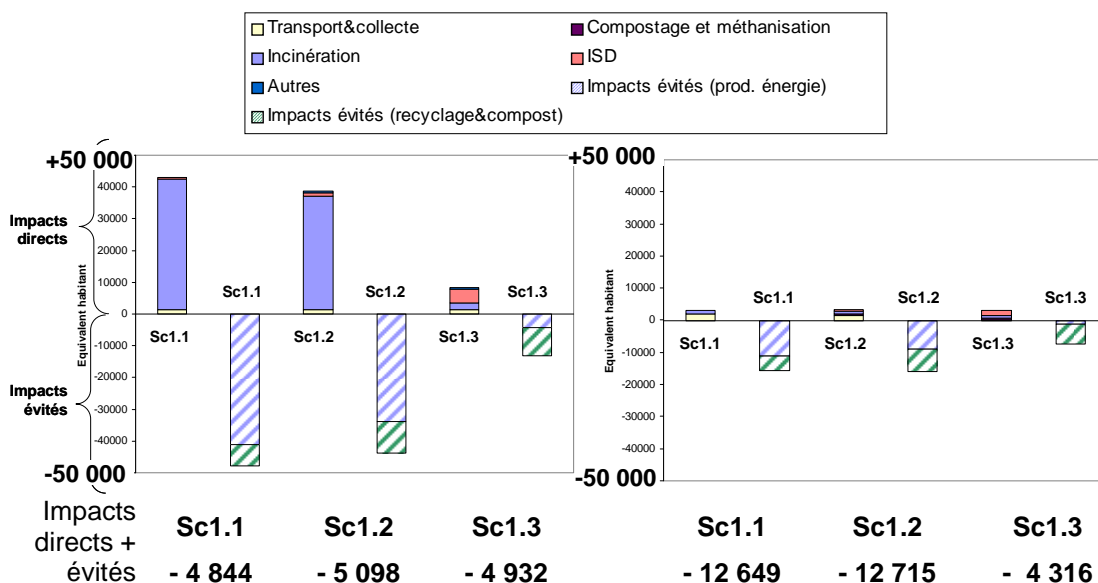


Illustration 26 - Impacts effet de serre et acidification des scénarios Sc1.1, Sc1.2, Sc1.3.

Le scénario tri-valorisation organique-stockage de la FCR (Sc1.3) ne soutient pas la comparaison avec les deux autres scénarios du point de vue de sa performance :

- son taux de valorisation globale (42,6 % versus 84,9 % pour le scénario tri-valorisation organique-incinération de la FCR (Sc1.2)) est lourdement pénalisé par le taux d'élimination (57,4 % versus 15,1 %). Sa très faible production d'énergie (taux de valorisation énergétique de 4,0 % versus 35,7 %) contribue aussi à dégrader son indicateur de performance ;
- son impact sur les émissions de gaz à effet de serre est comparable mais son impact acidification est défavorable au scénario 1.3. Par contre, ce scénario se montre un peu plus avantageux du point de vue des kilomètres parcourus (-3% à -6%), le centre de stockage étant localisé à 30 km alors que le centre de valorisation des mâchefers est situé à 50 km. De plus, l'estimation des émissions de dioxines et furanes basée sur les connaissances scientifiques actuelles montre que le scénario tri-valorisation organique-stockage de la FCR est le plus favorable de ce point de vue.

À noter que si l'on considère les valeurs suivantes pour l'estimation des impacts évités liés à la valorisation d'énergie (vapeur : -0,335 kg eq. CO₂/kWh - facteur d'émission CPCU sans SYCTOM ; électricité : -0,54144 kg eq. CO₂ /kWh - Ecoinvent 1996 pour l'union européenne), l'impact effet de serre peut être évalué à -146 000 t eq. CO₂ pour l'option tri-valorisation organique et incinération de la FCR (Sc1.2) et à -169 500 pour l'option tout incinération (Sc1.1).

Au final, l'étude montre qu'entre les trois scénarios de traitement, celui qui couple tri, valorisation organique et incinération de la FCR (Sc1.2) présente le meilleur équilibre entre maximisation des performances et minimisation des impacts environnementaux.

2.3. IMPACTS D'UNE RELOCALISATION

Les scénarios Sc2.x et Sc3.x supposent une relocalisation des installations de traitement des OMr à 12 ou 75 kms respectivement. Au-delà des aspects inhérents au transport (consommation de carburant, distances parcourues, nombre de camions nécessaires. *etc.*) dont on peut aisément imaginer qu'ils sont impactés, cette relocalisation s'accompagne d'une modification du type d'énergie délivrée par l'incinération et/ou la méthanisation. En effet, dans les scénarios 1.1 et 1.2, les installations de traitement situées à proximité du réseau de chauffage urbain de la CPCU, pouvaient profiter de cette opportunité locale et produire majoritairement de la vapeur d'eau utilisée pour chauffer des logements. La relocalisation ne permet plus d'envisager ce genre de valorisation. Le SYCTOM a donc fait l'hypothèse que pour ces scénarios 2.x et 3.x, l'énergie produite par les installations de combustion (déchets et/ou biogaz) serait uniquement de l'électricité. L'abandon de la cogénération entraîne logiquement une diminution importante du rendement énergétique global de ces installations de traitement thermique.

2.3.1. Impact d'une relocalisation à 12 km

Aspect collecte et transport

La comparaison des scénarios 2.x aux scénarios 1.x indiquent que la relocalisation entraîne une augmentation moyenne de 17 % des kilomètres parcourus pour les opérations de collecte et de transport confondues (Illustration 27 et Illustration 28).

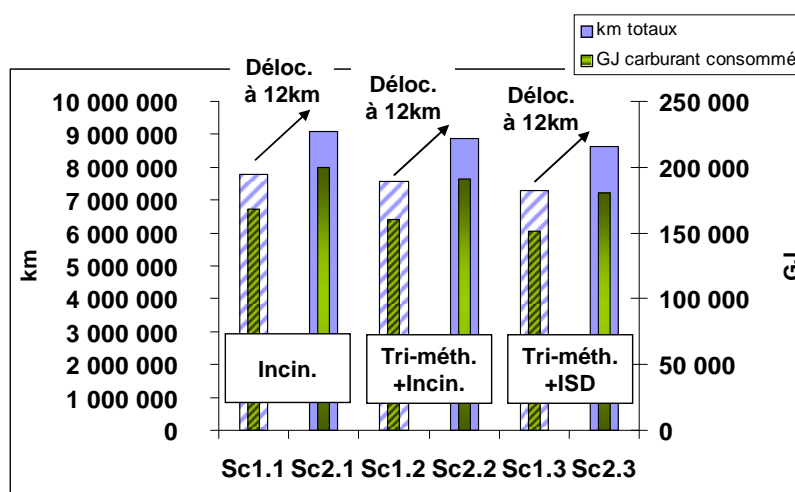


Illustration 27 - Impact d'une relocalisation à 12 km sur les distances totales parcourues pour les opérations de collecte et de transport des déchets.

L'augmentation des distances s'accompagne logiquement d'une augmentation de 19 % en moyenne des consommations en carburant. Ces résultats sont liés à une augmentation du nombre de camions (+11,4 % soit 35 camions supplémentaires) nécessaires et du temps passé sur la route (+10,1 %) en lien avec la collecte des OMr

et le transport des apports de FCR à Ivry + 12 km ainsi qu'au transport des résidus de traitement des OMr et de la FCR au départ d'installation situées à Ivry + 12 km. Ces résultats sont donc dépendants de la localisation géographique des exutoires finaux par rapport à la situation géographique des installations relocalisées. L'étude montre également que la hiérarchie entre scénarios de relocalisation demeure inchangée par rapport à celle des scénarios localisés à Ivry.

L'étude de l'effet de la relocalisation à 12 km sur les distances parcourues met en évidence une augmentation importante (+24,2 %) des distances parcourues pour les opérations de collecte et une augmentation faible (+2,6 %) des distances parcourues pour les opérations de transport (transport des résidus de traitement et des recyclables).

Moyenne des variations entre les scénarios 2 et les scénarios 1 (Sc2.1/Sc1.1, Sc2.2/Sc1.2, Sc2.3/Sc1.3)	
km parcourus totaux	+17,3%
km parcourus sur route Transport & Collecte	+17,3%
<i>km parcourus sur route Transport</i>	+2,6% (<i>< Etude 2004 : apport transport ferroviaire ou fluvial</i>)
<i>km parcourus sur route Collecte</i>	+24,2%
Consommation de carburant MJ liée Transport & Collecte	+19,0%
Nombre de camions nécessaires pour la collecte	+11,4% Soit 35 camions suppl.
Temps d'utilisation des véhicules (h/an)	+10,1% Soit 41 600h suppl. Soit 26 ETP suppl. (à raison de 1600h/an par ETP)
<i>Temps d'utilisation des véhicules pour la collecte (h /an)</i>	+11,1%

Illustration 28 - Impact d'une relocalisation à 12 km sur les aspects transport et engorgement du trafic.

Bilan énergie

Comme souligné en introduction, la relocalisation s'accompagne d'une modification du type d'énergie produite par les installations de valorisation énergétique. En l'absence d'un réseau de chaleur de grande dimension permettant d'absorber l'énergie produite sous forme de chaleur, l'électricité constitue la forme énergétique la plus facilement transportable sur de longues distances pour une perte énergétique limitée. Cette hypothèse impacte fortement sur les bilans énergétiques des scénarios de relocalisation et conduit aux résultats présentés dans l'illustration 29. Les résultats montrent que les productions d'électricité sont en nette augmentation (+177 % pour le Sc2.1 et +220 % pour le Sc2.2). Cependant la production énergétique globale des installations de valorisation énergétique est en baisse du fait de l'abandon de la

cogénération (-71 % pour le Sc2.1 et -69 % pour le Sc2.2 comparé aux scénarios sans relocalisation correspondants *i.e.* Sc1.1 et Sc1.2 respectivement). Pour mémoire les productions énergétiques fournies sont exprimées en équivalents logements. Ces équivalents logements sont calculés sur la base des valeurs moyennes suivantes (source PREDMA IdF) :

- 4 293 kWh électriques/logement ;
- 7 956 kWh thermiques/logement.

Bilan =	Production - consommation					
	("incinération"+"méthanisation"+"ISD") ("incinération"+"méthanisation"+"ISD"+"centre de tri")					
	Sc1.1	Sc2.1	Sc1.2	Sc2.2	Sc1.3	Sc2.3
Production nette de vapeur (eq. logements)	168 213	-93,5%	138 359	-92,2%	17 445	-37,8%
Production nette d'électricité (eq. logements)	15 628	+177%	11 265	+220%	4 269	+104%
Global (eq. logements)	183 840	- 71%	149 624	-69%	21 714	-10%
Type d'énergie privilégiée pour le poste « Méthanisation »	-	Elec.	Vapeur	Elec.	Vapeur	Elec.
Type d'énergie privilégiée pour le poste « Incinération »	Vapeur	Elec.	Vapeur	Elec.	-	-
Quantité de vapeur disponible à la vente	SC1.1	SC2.1	SC1.2	SC2.2	SC1.3	SC2.3
ktonnes/an - 230°C, 20 bars (vapeur disponible à la vente)	1 530	-	1 224	-	41	-

Illustration 29 - Bilan énergétique des scénarios « relocalisation à 12 km ».

Évaluation des indicateurs de performances et des indicateurs d'impacts

L'illustration 30 propose une synthèse graphique des performances et des impacts des scénarios de relocalisation à 12 km (Sc2.x) par rapport aux scénarios sans relocalisation (Sc1.x). Les principales conclusions qui peuvent être formulées quant à la relocalisation des installations de traitement sont les suivantes :

- la hiérarchie entre les scénarios demeure inchangée. Des trois scénarios de relocalisation à 12 km, le scénario 2.2 présente le meilleur équilibre entre maximisation des performances et minimisation des impacts environnementaux ;
- les bilans énergie et environnementaux sont dégradés en lien i) avec l'augmentation des distances à parcourir pour rejoindre les installations de traitement et ii) avec le changement du type d'énergie produite et le passage d'un fonctionnement de type cogénération et à fonctionnement où l'électricité est le principale type d'énergie produite.

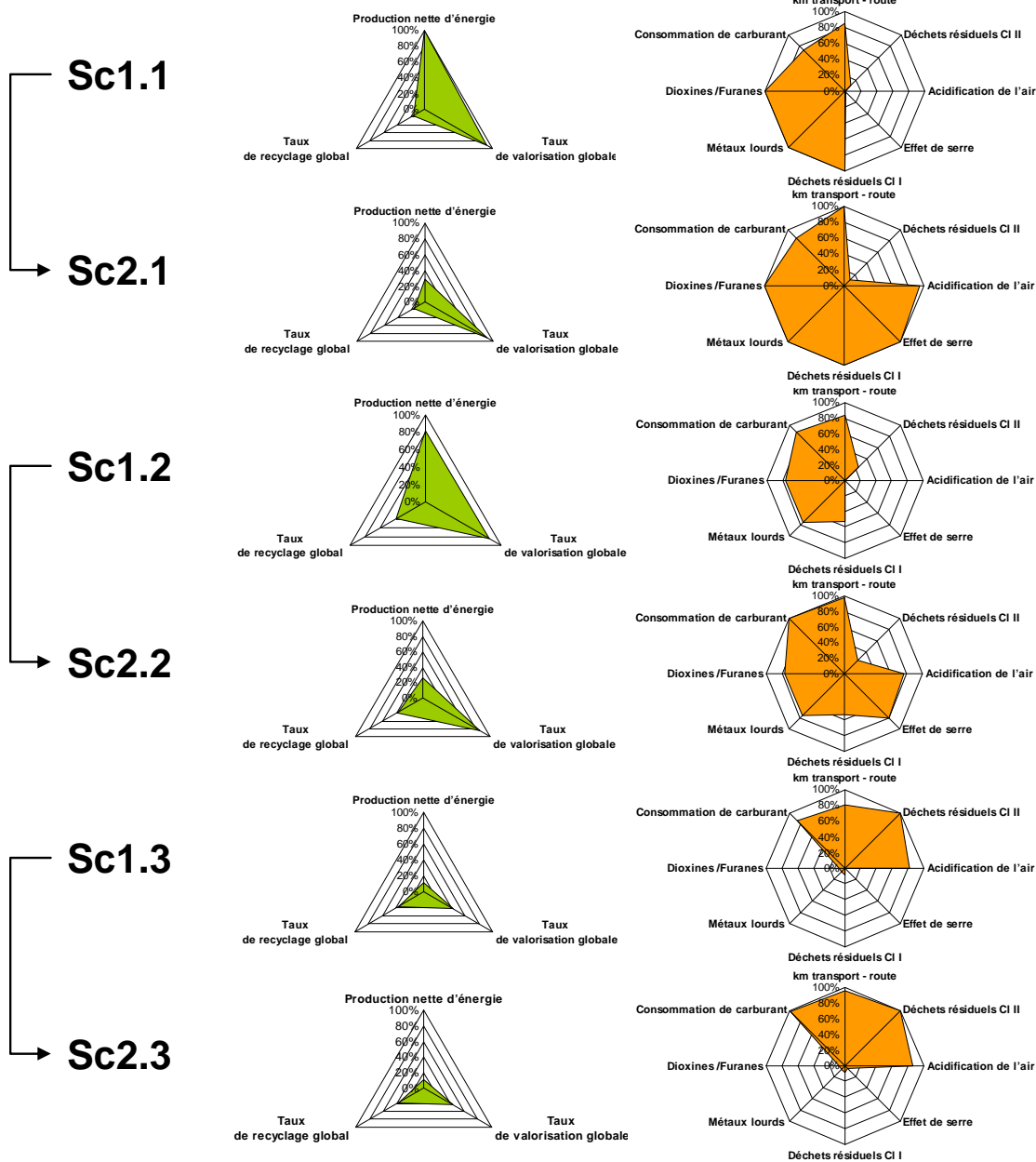


Illustration 30 - Comparaison des indicateurs de performances et d'impacts des scénarios de relocalisation à 12 km aux scénarios pour lesquels les installations sont basées à « Ivry ».

2.3.2. Impact d'une relocalisation à 75 km

Il est rappelé que la relocalisation à 75 km suppose la construction d'un centre de transfert des déchets situé à Ivry ; les OMr regroupées dans ce centre localisé à Ivry sont ensuite transportées par voie fluviale vers les installations de traitement. Elle entraîne, à l'instar des scénarios 2.x, la modification du type d'énergie produite dans les centres de valorisation énergétique et le passage d'un fonctionnement en

cogénération à un fonctionnement où seule de l'électricité est produite. Par rapport aux autres scénarios de gestion des déchets, la FCR apportée du centre de Romainville/Bobigny (80 000 t) et du centre de Blanc-Mesnil/Aulnay sous Bois (30 000 t) est stockée en ISDND, quel que soit le sous-scénario 3.x. Comparés aux scénarios 1.x, les scénarios 3.x mettent donc en évidence d'une part l'effet d'une relocalisation et, d'autre part, l'effet d'un traitement différent des apports (cf. Illustration 31).

Tonnages traités	Sc1.1	Sc1.2	Sc1.3	Sc2.1	Sc2.2	Sc2.3	Sc3.1	Sc3.2	Sc3.3
Incinération	600 000	346 436		Idem scénario 1			490 000	236 436	
Incinération ext.	45 491	45 491	45 491				45 491	45 491	45 491
Tri-Méthanisation		490 000	490 000					490 000	490 000
ISD	69 657	119 801	455 143				177 294	227 438	455 143
Apports FCR	Incinération		ISD				ISD		

Illustration 31 - Récapitulatif des options de traitement des déchets par scénario.

Impacts sur les opérations de collecte et de transport

La relocalisation à 75 km induit une surconsommation de carburant de 8 % en moyenne sur les opérations de transport, comparée à la consommation en carburant des scénarios 1.x (cf. Illustration 32). La distance totale parcourue, tous modes de collecte et transport confondus, est en augmentation de +7 % (plus de 500 000 km supplémentaires). L'augmentation des kilomètres parcourus sur route est limitée à 4 % du fait du transport par voie fluviale des OMr en aval du centre de transfert ; le nombre de trajet à effectuer en camion diminue de 5 %. Les quantités de déchets secondaires à transporter dans les scénarios 3.X sont moins importantes que dans les scénarios à Ivry (apports de FCR envoyés directement en ISDND). Par contre, les résidus de traitement sont transportés sur de plus grandes distances.

Moyenne (Sc3.1/Sc1.1, Sc3.2/Sc1.2, Sc3.3/Sc1.3)	Transport
Carburant consommé - Collecte & Transport (route, ferroviaire, fluvial) (kWh)	+8%
km totaux Collecte & Transport (route, ferroviaire, fluvial) km totaux supplémentaires parcourus par an Augmentation des km totaux	Env. 500 000 km +7%
km transport - route Augmentation des km « transport » - route Variation du nb de trajets effectués en camion	+4% -5%

Illustration 32 - Impacts d'une relocalisation à 75 km sur les opérations de collecte et de transport.

Ainsi, quel que soit le scénario de relocalisation à 75 km, un impact négatif est relevé sur la consommation de carburant et les kilomètres parcourus, en particulier sur route. Les effets induits par cet engorgement du trafic sont un ralentissement du trafic routier,

une surconsommation de carburant et des temps de trajet allongés pour l'ensemble des usagers de la route.

À noter cependant que l'hypothèse d'un transport par voie fluviale des OMr en aval du centre de transfert permet d'alléger l'impact des scénarios 3.x du point de vue des distances parcourues sur route. Les résultats de simulation indiquent en effet que la distance parcourue sur route la plus grande est attribuable au scénario 2.1 et que la consommation de carburant la plus importante est associée au scénario 2.2 (cf. Illustration 34), scénarios pour lesquels l'unité de traitement des OMr est localisée à Ivry + 12 km.

2.3.3. Bilan des effets d'une relocalisation (à 12 km ou 75 km)

Unité scientifique	Sc1.2	Sc2.2 +12km	Sc3.2 +75km
« Indicateurs de performance » <i>(plus la valeur de ces indicateurs est importante, meilleur est le scénario du point de vue de sa performance)</i>			
Production nette d'énergie (éq. logements)	149 624	47 015	35 214
Taux de valorisation globale (%)	84,9 %	84,9%	71,3%
Taux de recyclage global (%)	38,6 %	38,6%	38,0%
« Indicateurs d'impact » <i>(plus la valeur de ces indicateurs est importante, plus l'impact sur l'environnement est important)</i>			
Effet de serre (t eq.CO ₂)	Impacts directs	336 397	219 621
	Impacts évités	-380 752	-112 594
	Impacts directs+évités	-44 355	107 027
Acidification (kg eq. H ⁺)	Impacts directs	6 321	6 504
	Impacts évités	-30 479	-14 925
	Impacts directs+évités	-24 159	-8 421
Déchets résiduels CI I (en t)	10 563	10 563	8 744
Déchets résiduels CI II (en t)	109 238	109 238	218 700
Métaux lourds (émissions) (Hg+Cd) (g)	233 337	233 337	154 193
Dioxines /Furanes (émissions) (g)	0,12	0,12	0,08
Km transport – Route	7 503 819	8 782 164	7 548 849
Consommation de carburant (GJ)	225 058	255 585	244 052

Illustration 33 - Performances et impacts du scénario tri-valorisation organique-incinération de la FCR à 12 km et 75 km.

Que la relocalisation des activités s'effectue à 12 km ou à 75 km, le bilan énergie est fortement dégradé. Sans réseau de chaleur urbain de grande échelle à proximité, le SYCTOM a fait l'hypothèse que l'installation ne ferait pas de cogénération (plus de commercialisation de la vapeur). Ainsi, la chaleur produite par la combustion serait intégralement transformée en électricité, entraînant une diminution importante du rendement énergétique global de l'installation. À traitement identique (tri-valorisation organique-incinération de la FCR), le nombre de logements desservis diminuerait de

69 %. Avec cette dégradation du rendement énergétique, les installations d'incinération des scénarios à 12 ou 75 km relèveraient davantage de l'élimination que de la valorisation énergétique, au sens de la Directive cadre européenne relative aux déchets (directive 2008/98/CE) selon le mode de calcul de la directive (cf. Annexe II, opérations de valorisation).

La relocalisation dégrade également le bilan des impacts sur l'environnement, du fait de l'augmentation des transports qu'elle induit, et de la moindre performance énergétique des installations (moins d'impact évité). Elle se traduit aussi par une augmentation des coûts de gestion liés au transport.

Une relocalisation du traitement des OMr à 12 km augmente les kilomètres parcourus pour la collecte de 24 %, la consommation de carburant de 19 %, le nombre de camions nécessaires à la collecte de 11 % avec pour effets induits l'engorgement du trafic routier et les nuisances qui lui sont liées (ralentissement de la circulation, surconsommation de carburant, augmentation des temps de trajet des autres usagers de la route). Les coûts de transport²⁴ seraient renchérissés, à raison de 150 €/1 000 t.km (ADEME-AMF, 1998). Les coûts externes du transport routier (évaluation économique de ses effets sur les pollutions, les accidents, le bruit, la nature et les paysages, hors congestion routière) sont par ailleurs estimés à 88 €/1 000 t/km (ADEME-VNF, 2001).

Une relocalisation à 75 km nécessiterait la mise en place d'un centre de transfert avec à la clef une augmentation du coût du traitement, estimée de 3 € à 7 € la tonne hors transport (ADEME, 2000²⁵). Les OMr sont supposées être acheminées par voie fluviale à partir du centre de transfert vers leurs installations de traitement à 75 km, cela permet de limiter l'impact de la relocalisation à 75 km des installations de traitement. Les kilomètres parcourus totaux, tout mode confondu, augmentent de 7 %. Pour ceux sur route, l'augmentation est limitée à 4 %. Par contre, les coûts de transport seraient renchérissés à raison de 22,9 à 38,1 €/1 000 t/km (péniche Freycinet - source ADEME-VNF, 2001) pour le transport des OMr à 75 km par voie fluviale. Dans ce scénario, la FCR des unités de valorisation organique de Seine-Saint-Denis serait transportée dans un centre de stockage plus proche.

Ainsi, l'étude montre que la relocalisation du traitement des OMr, quel que soit le scénario de traitement retenu, dégrade les performances environnementales et augmente les impacts environnementaux (cf. Illustration 34). Selon ces critères, le maintien d'activités de traitement des OMr sur le site d'Ivry Paris XIII apparaît comme une solution plus favorable.

²⁴ Coûts d'investissement et de fonctionnement du véhicule

²⁵ ADEME (2000) Guide de révisions des plans départementaux, Vol. 2 les techniques de gestion des déchets ménagers

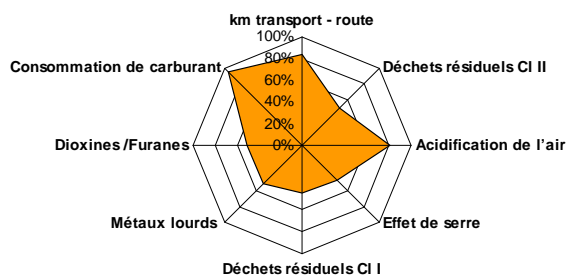
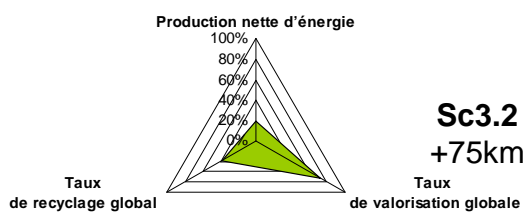
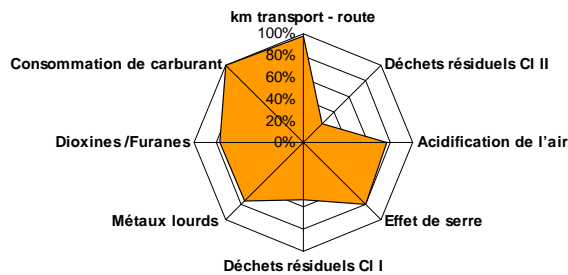
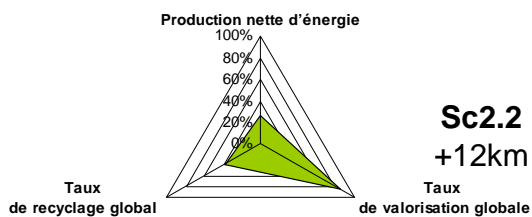
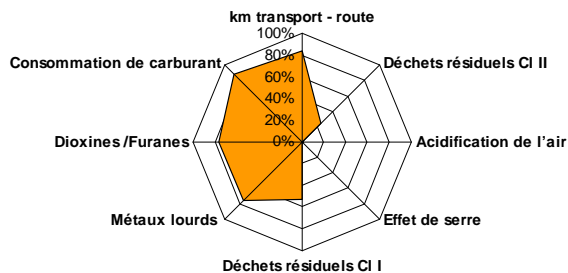
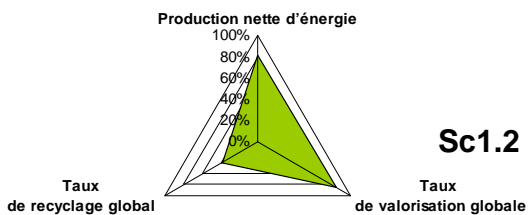


Illustration 34 - Représentation graphique des performances et des impacts du scénario tri-valorisation organique-incinération de la FCR à 12 km et 75 km.

3. Résultats complémentaires

3.1. SIMULATION DU SCÉNARIO TOUT ENFOUISSEMENT

Contexte, objectif et définition du scénario

Il a été demandé au BRGM de simuler un dixième scénario (Avenant au marché de service n° 0991023 – Tâche 1). Pour ce scénario supplémentaire nommé « Sc1.4 », les résultats de simulation seront valorisés sous la forme d'indicateurs identiques à ceux retenus dans le cadre du marché de service précédemment cité.

Ce scénario Sc1.4 autrement appelé scénario « tout enfouissement » est défini de la manière suivante :

- le gisement de déchets considéré est le même que pour les neuf autres scénarios ;
- les options de traitement retenues spécifiques au scénario 1.4 sont les suivantes :
 - pour le traitement des OMr, 490 000 tonnes d'OMr sont regroupées au centre de transfert localisé à Ivry puis sont transportées vers une installation de stockage par voie fluviale,
 - comme pour les neuf autres scénarios, les OMr générées excédant 490 000 tonnes sont orientées vers un incinérateur extérieur,
 - les apports de FCR sont également enfouis dans une installation de stockage.

Les autres hypothèses prises pour évaluer ce scénario sont identiques à celles prises pour les neuf scénarios du marché de service.

À noter les hypothèses prises en compte pour la simulation de l'installation de stockage :

- taux de collecte du biogaz : 82 % (déclaration exploitant extrait du PREDMA de l'Île-de-France) ;
- combustion de 90 % du biogaz capté permettant la transformation du méthane en CO₂ d'origine organique (60 % brûlé pour la prod. électricité et 30% brûlé en torchères)²⁶.

L'installation de stockage simulée est très performante. L'impact direct « effet de serre » lié aux émissions issues du stockage des déchets du Sc1.4 (dépendant de la composition des déchets enfouis et des performances de l'installation au niveau de la gestion du biogaz) est estimé à 91 kg eq. CO₂/t stockée. L'ADEME et le ministère de

²⁶ Source : AEA Technology Environment (2001) Waste Management Options and Climate Change, Final Report ED21158R4.1, report to the European Commission, DG Environment, July 2001.

l'environnement (ADEME et MEDD, 2006) cite les valeurs suivantes : de 100 à 1000 kg eq. CO₂/t stockée selon la nature des déchets et les performances de captage du biogaz.

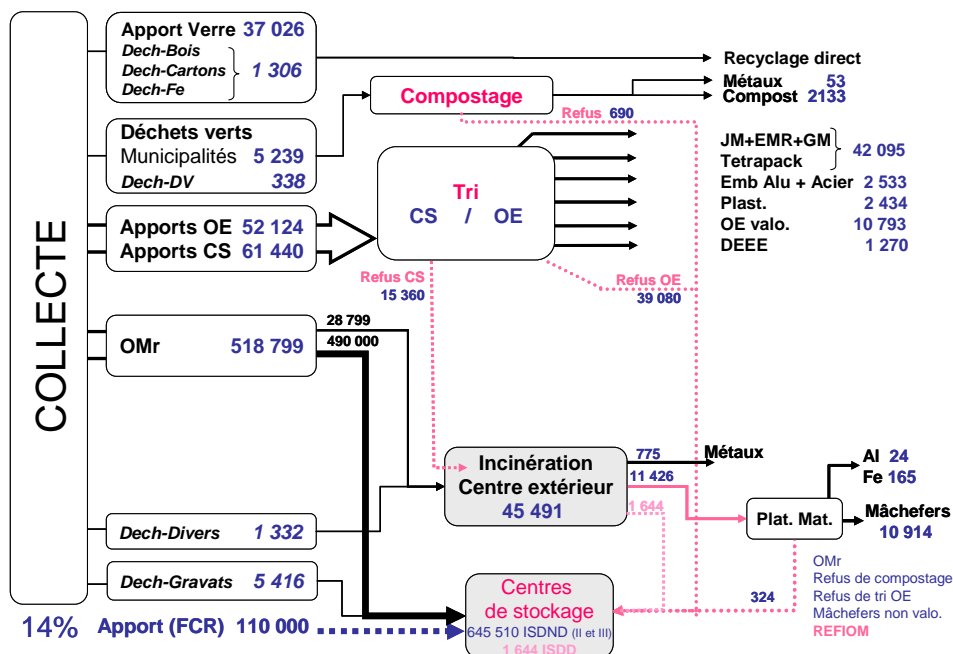


Illustration 35 - Schéma des flux de matière correspondant au scénario de gestion Sc1.4 (enfouissement des OMr et de la FCR).

Performances du scénario 1.4

Au final, pour le scénario « tout enfouissement », 76 % des déchets générés sur le secteur sud-est du SYCTOM sont envoyés en installation de stockage.

Le scénario Sc1.4 permet d'atteindre seulement un taux de recyclage de 13,0 % et un taux de valorisation de 18,4 % (selon le bilan du recyclage et de la valorisation défini par l'ADEME). Comparé au scénario 1.2 (cf. Illustration 36), les taux de recyclage et de valorisation obtenus sont en défaveur du Sc1.4 ; le Sc1.4 étant logiquement lourdement pénalisé par un fort taux d'élimination (> 81,6 %).

Bilan du recyclage et de la valorisation	Sc1.2	Sc1.4
(1) Recyclage matière	15,6 %	12,4 %
(2) Recyclage organique	23,0 %	0,6 %
(3) Valorisation énergétique (Incinération)	35,7 %	4,0 %
(4) Utilisation des mâchefers	10,6 %	1,4 %
(5) Elimination (Enfouissement)	15,1 %	81,6 %
Total	100,0 %	100,0 %
Taux de recyclage global (1+2)	38,6 %	13,0 %
Taux de valorisation globale (1+2+3+4)	84,9 %	18,4 %

Illustration 36 - Bilan du recyclage et de la valorisation (Sc1.4 comparé au Sc1.2).

Bilan « électricité » et « chaleur »	Sc1.2	Sc1.4
Production nette d'électricité ²⁷ (MWh)	48 359	25 688
Production nette de chaleur ^{** 28} (MWh)	1 100 785	86 296

Illustration 37 - Bilan « électricité » et « chaleur » (Sc1.4 comparé au Sc1.2).

La production nette d'électricité du Sc1.4 est liée à l'incinération des tonnages OMr excédentaires à 490 000 t et à la valorisation du biogaz du centre de stockage contrairement à la production nette de chaleur qui est seulement liée à l'incinération des tonnages excédentaires.

L'illustration suivante permet de comparer les performances des scénarios 1.4 et 1.2 ; plus l'aire verte est importante, meilleur est le scénario du point de vu de sa performance :



Illustration 38 - Représentation graphique de la performance des scénarios Sc1.4 (option tout enfouissement) et Sc1.2 (option tri-méthanisation et incinération de la FCR).

Les performances du scénario 1.4 sont très en retrait par rapport au scénario 1.2.

17 000 logements pourraient être alimentés en énergie grâce au traitement des déchets mis en œuvre dans le Sc1.4 contre 150 000 logements dans le cas du Sc1.2 soit quasiment 9 fois moins de logements. Le taux de recyclage associé au scénario 1.4 est 3 fois plus faible que celui obtenu grâce au traitement des OMr par tri-méthanisation avec une incinération de la FCR (Sc1.2) quant au taux de valorisation il est 4,6 fois plus faible. Au final, le Sc1.4 permet une valorisation globale des déchets (cf. Illustration 36) seulement à hauteur de 18,4 %.

Impacts associés au scénario 1.4

La performance de l'installation de stockage du point de la gestion du biogaz (taux de captage élevé) permet d'en limiter l'impact sur l'effet de serre puisque la contribution imputable à ce type d'installation est l'émission de méthane (présent dans le biogaz

²⁷ Production d'électricité en incinération, méthanisation et ISD le cas échéant – consommation (autoconsommation et consommation électriques dans les centres de tri).

²⁸ Production de vapeur – autoconsommation.

non capté). Les émissions de CO₂ (fuites ou dans les gaz de combustion) d'origine organique ne sont pas comptabilisées dans le bilan effet de serre. Ainsi, ramenée à la tonne de déchets stockés, l'impact du stockage reste limité : 91 kg eq. CO₂/t stockée. Le stockage n'en demeure pas moins le principal contributeur à l'effet de serre du scénario 1.4 (cf. Illustration 39).

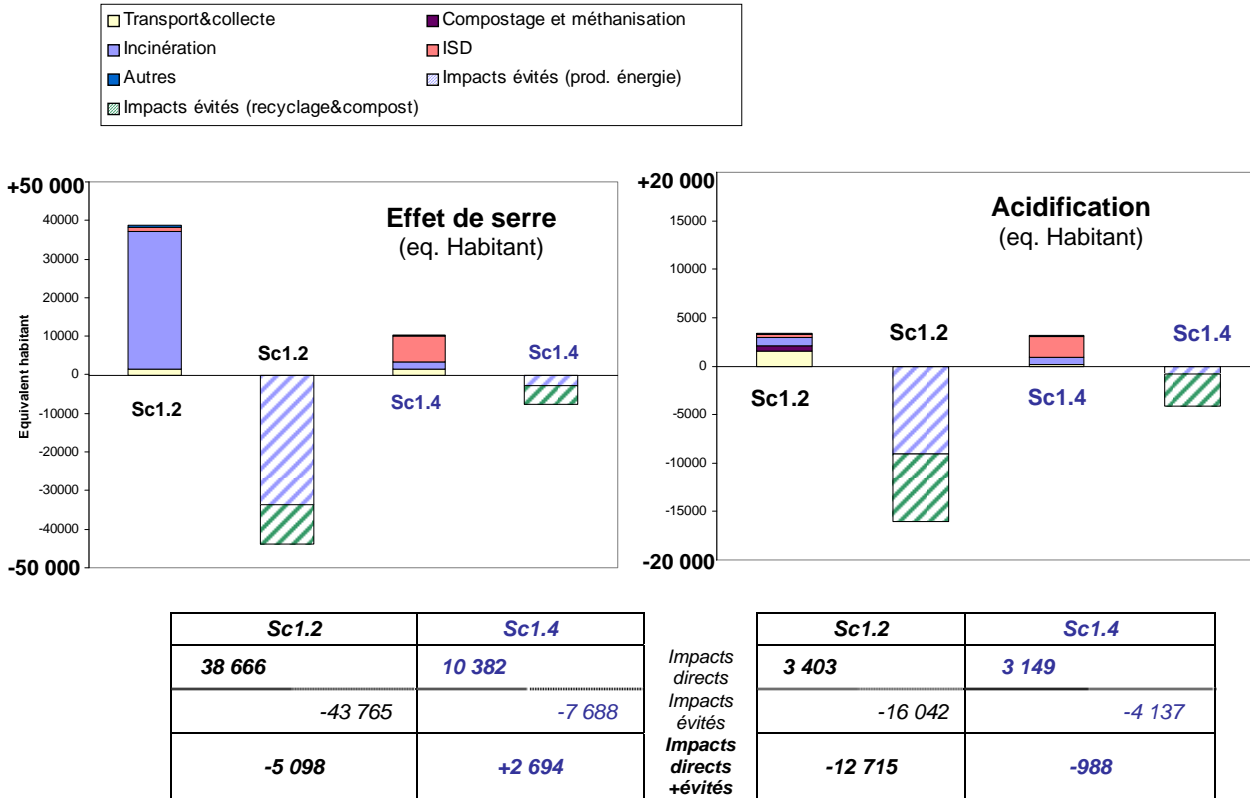


Illustration 39 - Impacts effet de serre et acidification des scénarios Sc1.4 (option tout enfouissement) et Sc1.2 (option tri-méthanisation et incinération de la FCR).

La combustion du biogaz produit de l'énergie et permet ainsi d'éviter les impacts liés à la combustion d'énergies fossiles.

Par contre, l'impact acidification de l'air associé au stockage des déchets est à mettre en relation directe avec la quantité de biogaz brûlé, puisque les émissions de gaz acides sont liées au fonctionnement des unités de valorisation du biogaz (normes d'émissions en annexe).

Le tableau suivant fait le bilan des impacts liés au scénario 1.4 (par rapport au scénario 1.2) :

	Référence 100 % = valeur absolue maximale entre le Sc1.2 et Sc1.4		En faveur du scénario	Commentaires (facteurs influençant les résultats)
	Sc1.2	Sc1.4		
Effet de serre	-100 %	53 %	Sc1.2	Sc1.4 : moins d'énergie produite ou de produits envoyés en recyclage donc des impacts évités limités
Acidification de l'air	-100 %	-8 %	Sc1.2	
Déchets résiduels CI II	17 %	100 %	Sc1.2	Sc1.4 : ISD mode de traitement principal des déchets du scénario
km transport - route	100 %	85 %	Sc1.4	Sc1.4 : Moins de déchets à transporter (moins de résidus de traitements) et transport des OMr en aval du centre de transfert vers ISD en péniche
Déchets résiduels CI I	100 %	16 %	Sc1.4	Sc1.4 : moins de déchets en incinération générateur de déchets résiduels à envoyer en ISDD
Métaux lourds dans l'air	100 %	9 %	Sc1.4	Moins de combustion (Sc1.4 : combustion biogaz de ISD / Sc1.2 : combustion biogaz de méthanisation & ISD + incinération FCR)
Dioxines /Furanes	100 %	11 %	Sc1.4	Moins de combustion (RQ : estimation des émissions basées sur les connaissances scientifiques actuelles)
Consommation de carburant	100 %	82 %	Sc1.4	Moins de km parcourus et moins d'installations de traitement (donc moins de consommations de carburant pour la manutention des déchets)

Illustration 40 - Bilan des impacts liés au scénario 1.4 (par rapport au scénario 1.2).

Bilan du scénario tout enfouissement (Sc1.4) par rapport à l'option tri-méthanisation et incinération de la FCR (Sc1.2)

Six indicateurs sont en défaveur du scénario tout enfouissement (Sc1.4) dont les trois indicateurs de performance retenus et les indicateurs d'impacts concernant l'effet de serre, l'acidification, la quantité de déchets résiduels en ISDND (Classe II).

A contrario, cinq indicateurs sont en faveur du Sc1.4 : la quantité de déchets résiduels en ISDD (Classe I), les émissions de métaux lourds, dioxines et furanes dans l'air. Pour les deux autres indicateurs concernés (km parcourus pour le transport sur route et les consommations de carburant) les variations entre les deux scénarios sont plus faibles : variation de 15 à 18 % entre Sc1.4 et 1.2 ; pour les autres indicateurs, les variations s'échelonnent de 66 % à 491%.

Au vu des taux de recyclage et de valorisation obtenus, la gestion des déchets envisagée dans le Sc1.4 n'est pas en cohérence avec la stratégie européenne en

matière de gestion des déchets²⁹. Il faut noter également que par construction, le scénario Sc1.4 est en contradiction avec la politique nationale. En effet, un objectif de 15 % de réduction des déchets partants en incinération ou en stockage en 2012 a été fixé (objectif fixé par la loi dite Grenelle 1 votée par l'Assemblée le 21 octobre 2008).

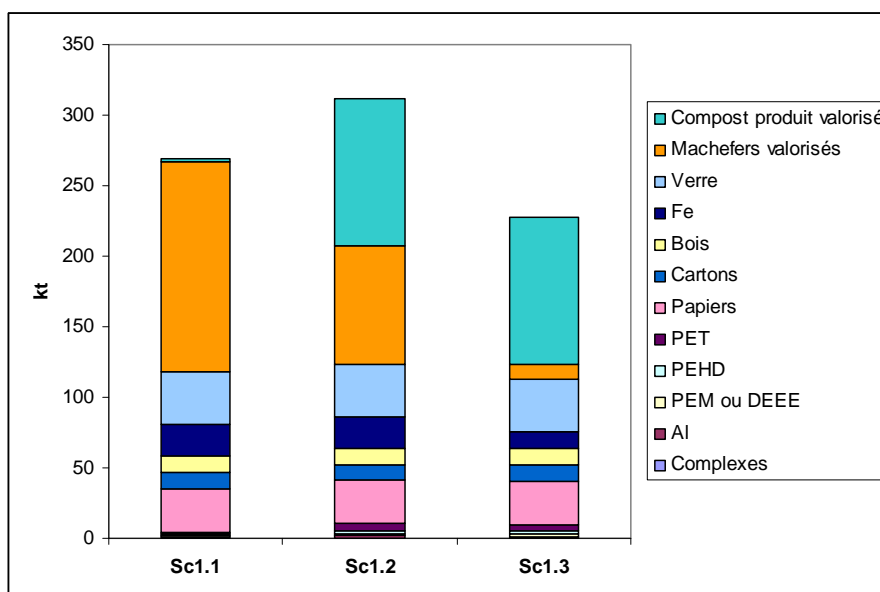
3.2. ESTIMATION DES CONSOMMATIONS ÉVITÉES DE RESSOURCES NATURELLES

3.2.1. Contexte, objectif et méthodologie suivie

Cette étude est réalisée dans le cadre de l'avenant au marché de service n° 0991023 – Tâche 2 « Estimation des consommations en ressources naturelles évitées du fait des produits envoyés en recyclage à l'issue des traitements des déchets du secteur sud-est ».

L'évaluation réalisée concerne les trois scénarios déclinant les trois options de traitement envisagées à Ivry :

- Sc1.1 - option tout incinération ;
- Sc1.2 - tri-méthanisation et incinération de la FCR ;
- Sc1.3 - tri-méthanisation et enfouissement de la FCR.



²⁹ Directive cadre européenne relative aux déchets (directive 2008/98/CE)

Quantités de produits en kt	Sc1.1	Sc1.2	Sc1.3
Produits envoyés en recyclage			
Papiers	31,0	31,0	31,0
Cartons	10,7	10,7	10,7
Al	0,5	1,3	1,1
Fe	22,6	22,7	12,4
PET	1,6	4,8	4,8
PEHD	0,8	2,3	2,3
Verre	37,0	37,0	37,0
Bois	11,7	11,7	11,7
Complexes	0,4	0,4	0,4
PEM ou DEEE	1,3	1,3	1,3
Autres produits valorisés			
Mâchefers valorisés	149,1	84,2	10,9
Compost produit valorisé	2,1	103,9	103,9
	269	311	228

Illustration 41 - Quantités de produits envoyés en recyclage ou valorisés en kilotonnes.

L'ensemble des résultats de simulation estimés dans le cadre du marché de service précédemment nommé (décrits dans la présentation envoyée le 25 juin 2009 au SYCTOM) sont retenus comme base de travail pour l'évaluation à réaliser dans le cadre de cette tâche.

L'estimation des consommations évitées de ressources naturelles repose sur l'hypothèse suivante : on suppose que la production d'une tonne de produits recyclés permet d'éviter la production d'une tonne de produits à partir de matières premières et donc d'éviter les consommations de ressources naturelles associées à cette production. Il faut noter que les résultats dépendent de la substitution envisagée (produits recyclés en remplacement de produits neufs) et que plusieurs choix peuvent être possibles.

La première étape du calcul concerne l'estimation de la quantité de produits recyclés (en sortie du process de recyclage) à partir de la quantité de produits envoyés en recyclage (en entrée du process de recyclage). Celle-ci est basée sur des taux de substitution, variables suivants les produits. Par exemple, 1,08 tonne de verre envoyée en recyclage permet de produire une tonne de verre recyclé, soit un taux de substitution de 93 % (1/1,08). Les taux de substitution considérés sont extraits des bases de données Ecoinvent ou Wisard. Ils sont recensés dans le tableau ci-dessous (cf. Illustration 42).

Il s'agit ensuite d'estimer les consommations de ressources naturelles associées à la production de produits à partir de matière vierge, comme la quantité de sable extraite par tonne de verre produit. Ces données ont été générées grâce au logiciel Simapro.

Deux options ont été définies correspondant à deux niveaux de confiance associés aux calculs :

- l'option dite de base intégrant le recyclage de produits pour lesquels la fiabilité des connaissances ACV est reconnue d'après l'ADEME³⁰, c'est-à-dire le recyclage des papiers, cartons, métaux et plastiques ;
- l'option dite majorante incluant en plus le recyclage du bois, des DEEE, complexes et l'utilisation du compost et des mâchefers.

Les tableaux ci-dessous recensent les substitutions envisagées par produits, les taux de substitution considérés et les hypothèses associées.

Il faut noter que le gaz naturel identifié comme consommation de ressources potentiellement évitées associée au recyclage du plastique par exemple correspond au gaz naturel qui rentre dans le procédé de fabrication des plastiques et non pas au gaz naturel qui pourrait être utilisé comme combustible pour fournir de l'énergie au processus de fabrication.

	Substitution envisagée (produits recyclés en remplacement de produits neufs)	Taux de substitution (Source : <i>Ecoinvent ou Wisard</i>)	Consommation de ressources potentiellement évitées
Papiers	Papiers	0,91	Bois Argile Calcaire Amidon
Cartons	Cartons	0,91	Bois Argile Soude : Chlorure de sodium Calcaire
Al	Aluminium	0,81 (aluminium primaire)	Bauxite Calcaire Soude : Chlorure de sodium
Fe	Fer / Acier	0,90 (Acier non allié)	Minerai de fer Calcaire
Verre	Verre	0.93	Sable Calcaire Soude : Chlorure de sodium Dolomite Graves
Plastiques - PET	Granulé de PET	0,81 (Wisard)	Pétrole Gaz naturel Charbon
Plastiques - PEHD	Résine PEHD	1 (Wisard)	Pétrole Gaz naturel Charbon

³⁰ ADEME (2002) Bilan environnemental sur les filières de recyclage : l'état des connaissances ACV, Mai 2002

Produits	Substitution envisagée, taux de substitution associés et hypothèses	Composition	Consommation de ressources potentiellement évitées	Commentaires
Bois	Panneau de particules			Hypothèse : Taux de substitution égal à 100 %
Complexes	Basée sur une décomposition des complexes en sous-produits Seul le recyclage du carton est envisagé (taux de substitution : 91 %)	73,0 % Carton 20,5 % PE 6,5 % Aluminium (source : Tetrapack)	Bois Argile Soude Calcaire	Aujourd'hui, c'est principalement le carton des briques qui se recycle (source : Eco Emballage)
PEM ou DEEE	Basée sur une décomposition des DEEE puis une substitution sous-produit par sous-produit (Exemple : DEEE = 45 % acier et l'acier extrait des DEEE permet d'éviter l'extraction de minerai de fer...)	45 % acier 20 % plastiques 20 % autres métaux (Al) 15 % non recyclable (source : projet FORWAST en cours, BRGM)	Minerai de fer Calcaire Bauxite Pétrole Gaz naturel Charbon Minerai de cuivre	Hypothèses : . 100 % de l'acier contenu dans les DEEE est envoyé en recyclage (taux de récupération de l'acier dans les DEEE = 100 %) . Idem pour les plastiques et autres métaux contenus dans les DEEE . Plastiques : 50 % PET / 50 % PEHD
Mâchefers valorisés	Graves Taux de substitution supposé être égal à 1		Graves (extraction)	Problème d'acceptabilité de la filière liée aux impacts à long terme potentiels de l'utilisation des mâchefers (cf. RQ1)
Compost produit valorisé	Engrais Basée sur la composition du compost en N, P et K	0,77 % N 0,17 % P 0,48 % K (source : ADEME (2005) Impacts environnementaux de la gestion biologique des déchets - bilan des connaissances	Gaz naturel Phosphore (Apatite) Fluorine Sylvite	Une veille scientifique est à mettre en œuvre. (cf. RQ2)

RQ1 : A noter le problème d'acceptabilité de la filière liée aux impacts à long terme potentiels de l'utilisation des mâchefers (tests en cours pour évaluer les impacts à long terme liés à l'utilisation des mâchefers en substitution de graves utilisées en sous-couche routière ou en remblai). Une veille scientifique est à envisager sur le sujet.

RQ2 : Une veille scientifique est à mettre en œuvre pour surveiller l'acquisition de connaissance sur les impacts potentiels à long terme liés à l'utilisation du compost.

Illustration 42 - Substitutions envisagées par produits, les taux de substitution considérés et les hypothèses prises.

3.2.2. Résultats, les consommations de ressources naturelles évitées associées aux scénarios Sc1.1, Sc1.2 et Sc1.3

Résultats bruts : consommation de ressources naturelles évitées, option de base

Rappel : l'option de base intègre le recyclage de produits pour lesquels la fiabilité des connaissances ACV est reconnue : recyclage des papiers, cartons, métaux, plastiques.

L'illustration 43 présente les consommations de ressources naturelles potentiellement évitées en kilotonnes liées au recyclage des papiers, cartons, métaux et plastiques extraits des déchets des ménages pour les trois options de traitement (Sc1.1, Sc1.2 et Sc1.3) :

- Sc1.1 - option tout incinération ;
- Sc1.2 - tri-méthanisation et incinération de la FCR ;
- Sc1.3 - tri-méthanisation et enfouissement de la FCR.

Option de base	Consommation de ressources potentiellement évitées en kt		
	Sc1.1	Sc1.2	Sc1.3
Biomasse			
Bois	58.7 kt	58.7 kt	58.7 kt
Mais grain (amidon)	0.60 kt	0.60 kt	0.60 kt
Minéraux			
Calcaire	8.42 kt	8.55 kt	6.90 kt
Argile	1.43 kt	1.43 kt	1.43 kt
Chlorure de sodium	0.08 kt	0.15 kt	0.13 kt
Sable	22.39 kt	22.39 kt	22.39 kt
Sylvite	0.00 kt	0.00 kt	0.00 kt
Dolomie	2.37 kt	2.37 kt	2.37 kt
Graves	3.11 kt	3.11 kt	3.11 kt
Phosphore (Apatite)	0.00 kt	0.00 kt	0.00 kt
Fluorine	0.00 kt	0.00 kt	0.00 kt
Minerais			
Bauxite	1.65 kt	4.39 kt	3.69 kt
Minerai de fer	44.22 kt	44.55 kt	24.20 kt
Combustibles fossiles			
Pétrole	1.68 kt	4.91 kt	4.91 kt
Gaz naturel	0.92 kt	2.69 kt	2.69 kt
Charbon	0.14 kt	0.41 kt	0.41 kt
Total	145.7 kt	154.2 kt	131.5 kt

Illustration 43 - Consommations de ressources naturelles potentiellement évitées en kt (Sc1.1, Sc1.2 et Sc1.3) pour « l'option de base ».

À noter que les kilotonnes de graves sont à mettre en relation avec le recyclage du verre.

Résultats bruts : consommation de ressources naturelles évitées, option majorante

Rappel : l'option majorante intègre en plus du recyclage des papiers, cartons, métaux et des plastiques, le recyclage du bois, des DEEE des complexes et l'utilisation du compost et des mâchefers.

Option majorante	Consommation de ressources potentiellement évitées en kt		
	Sc1.1	Sc1.2	Sc1.3
Biomasse			
Bois	70.8 kt	70.8 kt	70.8 kt
Mais grain (amidon)	0.60 kt	0.60 kt	0.60 kt
Minéraux			
Calcaire	8.56 kt	8.69 kt	7.04 kt
Argile	1.44 kt	1.44 kt	1.44 kt
Chlorure de sodium	0.10 kt	0.17 kt	0.15 kt
Sable	22.39 kt	22.39 kt	22.39 kt
Sylvite	0.00 kt	0.00 kt	0.00 kt
Dolomie	2.37 kt	2.37 kt	2.37 kt
Graves	152.17 kt	87.27 kt	14.03 kt
Phosphore (Apatite)	0.00 kt	0.00 kt	0.00 kt
Fluorine	0.00 kt	0.00 kt	0.00 kt
Minerais			
Bauxite	1.65 kt	4.39 kt	3.69 kt
Minerai de fer	45.34 kt	45.67 kt	25.32 kt
Combustibles fossiles			
Pétrole	1.87 kt	5.09 kt	5.09 kt
Gaz naturel	1.03 kt	3.24 kt	3.24 kt
Charbon	0.16 kt	0.43 kt	0.43 kt
Total	308.5 kt	252.6 kt	156.6 kt

Illustration 44 - Consommation de ressources naturelles potentiellement évitées en kt (Sc1.1, Sc1.2 et Sc1.3) pour « l'option majorante ».

À noter que les kilotonnes de graves sont à mettre en relation avec le recyclage du verre et à l'utilisation des mâchefers.

Analyse des ressources naturelles économisées (hors biomasse)

En ce qui concerne l'option majorante (cf. Illustration 45), on remarque que le Sc1.1 permet un évitement plus important de consommation de ressources naturelles à hauteur de 237 kt pour 269 kt de produits envoyés en recyclage ou utilisés (compost et mâchefers). Les graves (liées à l'utilisation des mâchefers) représentent 63% des ressources naturelles économisées. Viennent ensuite le Sc1.2 et le Sc1.3.

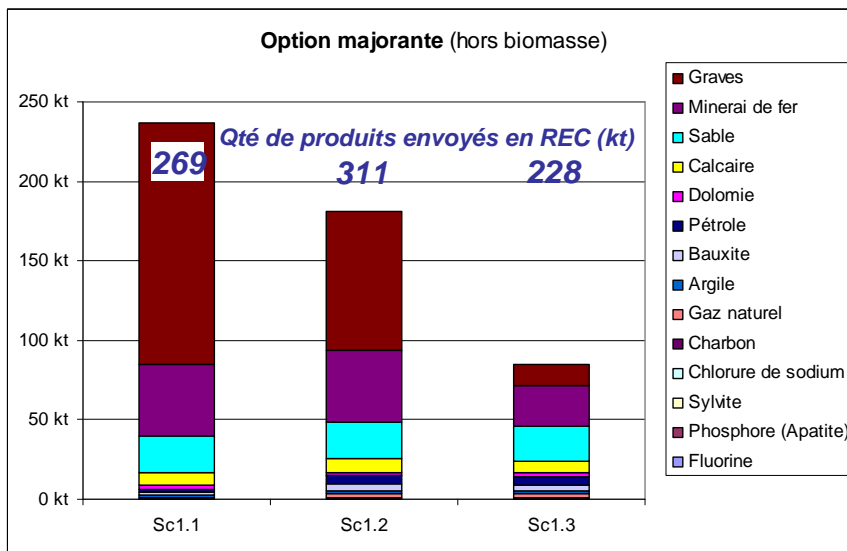


Illustration 45 - Ressources naturelles économisées (hors biomasse), option majorante.

En ce qui concerne l’option de base (cf. Illustration 46), on note que le Sc1.2 permet un évitement plus important de consommation de ressources naturelles que le Sc1.1. La même remarque peut être faite en ce qui concerne le Sc1.1 par rapport au Sc1.3. Les contributions majoritaires sont :

- le minerai de fer (lié au recyclage du Fe) ;
- puis sable (lié au recyclage du verre).

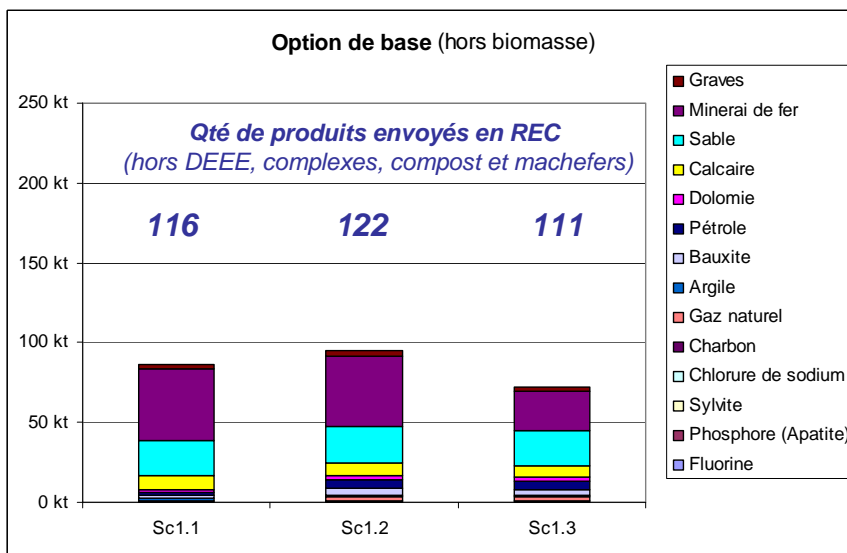


Illustration 46 - Ressources naturelles économisées (hors biomasse), option de base.

Analyse des consommations évitées de combustibles fossiles

Les combustibles fossiles concernés sont le charbon, le pétrole et le gaz naturel. Les résultats obtenus (cf. Illustration 47) sont à mettre en relation avec la quantité de plastiques envoyée en recyclage (le gaz naturel est utilisé pour la synthèse du xylène et de l'éthylène glycol). Ceci explique que le Sc1.2 et 1.3 soient plus avantageux de ce point de vue que le scénario Sc1.1 puisque le tri-optique des OMr lors du pré-tri avant méthanisation permet d'extraire des plastiques supplémentaires à ceux envoyés au recyclage en sortie de centre de tri. La même conclusion peut être formulée que l'on considère l'option de base ou l'option majorante.

Consommations évitées de combustibles fossiles

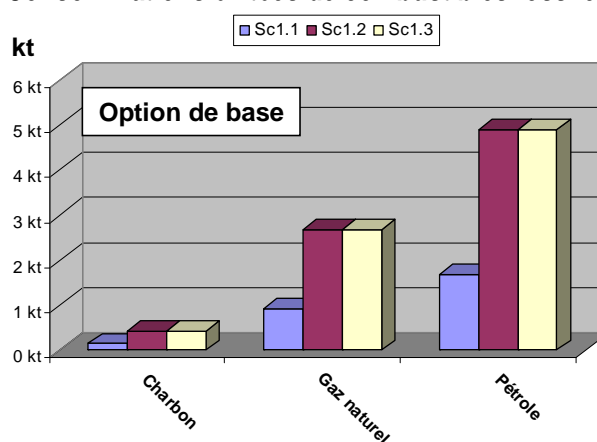


Illustration 47 - Consommations évitées de combustibles fossiles (kt).

Conclusions

Le recyclage de produits extraits des déchets des ménages permet d'éviter les consommations de ressources naturelles associées à la fabrication de nouveaux produits. Deux options correspondantes à deux niveaux de confiance associés aux calculs ont été définies.

On retiendra qu'en ce qui concerne les ressources naturelles économisées (hors biomasse) :

- pour l'option de base (intégrant le recyclage de produits pour lesquels la fiabilité des connaissances ACV est reconnue) :
 - le Sc1.2 semble plus favorable que le Sc1.1 et le Sc1.1 plus favorable que le Sc1.3,
 - les contributions majoritaires aux consommations de ressources naturelles évitées scénario par scénario sont les économies de minerai de fer (lié au recyclage du Fe) puis de sable (lié au recyclage du verre) ;
- pour l'option majorante (incluant en plus le recyclage du bois, des DEEE, des complexes et l'utilisation du compost et des mâchefers) :

- le Sc1.1 permet d'éviter le plus de consommation de ressources naturelles, viennent ensuite le Sc1.2 et le Sc1.3,
- à noter que ces résultats sont très dépendants de l'impact lié à l'utilisation des mâchefers (économie de grave).

4. Conclusions

À la demande du SYCTOM, le BRGM a réalisé un bilan environnemental de neuf scénarios de gestion de l'ensemble des déchets ménagers produits sur le bassin versant du centre Ivry Paris XIII à l'horizon 2020 dans le cadre du marché de service n° 0991023. Présentée en juin 2009, cette étude actualise les données de celle remise en 2005, qui faisait une simulation à l'horizon 2015.

L'étude compare du point de vue de leurs performances et de leurs impacts environnementaux :

- trois scénarios de traitement des ordures ménagères résiduelles à Ivry Paris XIII (incinération, tri-valorisation organique-incinération de la fraction combustible résiduelle (FCR) , tri-valorisation organique-stockage de la FCR) ;
- le maintien à Ivry Paris XIII d'une unité de traitement des OMr, sa relocalisation à 12 et sa relocalisation à 75 km.

Plusieurs constats peuvent être mentionnés. Concernant les aspects liés à une relocalisation de l'unité de traitement des OMr, les résultats de simulation indiquent une dégradation de la performance énergétique du système de gestion des déchets et une augmentation des impacts environnementaux pour les scénarios de relocalisation (en lien avec le changement du type d'énergie produite).

D'après ces constats, le maintien d'une unité de traitement des OMr sur le site d'Ivry Paris XIII apparaît comme une solution plus favorable sur la base des hypothèses retenues.

Concernant les résultats relatifs aux 3 scénarios de traitement, il n'existe pas de scénario présentant les résultats les meilleurs sur chacun des indicateurs évalués (performances et impacts environnementaux). Le choix du scénario le plus pertinent est une « affaire de compromis », dépendant des spécificités et contraintes locales. Le scénario 1.2 (traitement des OMr par tri-méthanisation et incinération de la FCR à Ivry) apparaît dans le cadre du remplacement des installations de traitement d'Ivry à l'horizon 2020, comme un bon compromis entre minimisation des impacts et maximisation des performances du système de traitement des déchets (recyclage et valorisation d'énergie).

5. Bibliographie

ADEME (2006) - Transports combinés rail-route, fleuve-route et mer-route, Tableau de bord national 2006, Octobre 2006.

ADEME - MEDD (2006) - Évaluation environnementale des plans départementaux de gestion des déchets, Août 2006.

ADEME (2005) - Facteurs d'émission de dioxyde de carbone pour les combustibles, Les chiffres ADEME à utiliser, Note de l'ADEME, 8 avril 2005.

ADEME (2002) - Enquête sur les installations de traitements des déchets ménagers et assimilés en 2002, ITOM 2002.

ADEME Ecorail (2001) - Transport de déchets, la solution ferroviaire.

ADEME VNF (2001) - Transport de déchets, la solution fluviale.

ADEME - Eco Emballage (2001) - Déchets ménagers : leviers d'améliorations des impacts environnementaux, Octobre 2001, n° 3989.

ADEME (1999) - Guide de révisions des plans départementaux, Fascicule 2, les techniques de gestion des déchets ménagers.

ADEME (1999) - Guide de révision des plans départementaux d'élimination des déchets ménagers et assimilés, Fascicule 1, Méthodologie de révision des Plans, ANNEXE 9 plans départementaux d'élimination des déchets ménagers et assimilés : flux de gestion des déchets et taux de recyclage et de valorisation, 21 p.

ADEME (1998) - Gestion des déchets ménagers et assimilés : transport et logistique - ADEME n° 3010 - Juillet 1998.

ADEME - AMF (1998) - Sofres Conseil, Analyse des coûts de gestion des déchets municipaux.

AEA Technology Environment (2001) - Waste Management Options and Climate Change, Final Report ED21158R4.1, report to the European Commission, DG Environment, July 2001, AEA Technology Environment.

BIO INTELLIGENCE SERVICE (2007) - Étude « Effet de Serre et Secteur des Déchets » présentée au Colloque « Gestion des déchets : Quelles actions pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? » organisé par la FNADE le 13 novembre 2007.

CITEPA (2009) - Rapport d'inventaire national des émissions atmosphérique en France, organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France, 6^{ème} édition, Février 2009.

CITEPA (2008) - Émissions dans l'air en France métropole, Substances relatives à l'acidification, l'eutrophisation et à la pollution photochimique, Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique CITEPA, mise à jour mai 2008.

EDF (2006) - Rapport annuel Développement durable EDF, 2006.

ELYO (2004) - Rapport annuel.

Environnement&Techniques (2004) - n° 235, Avril 2004.

Environnement&Techniques (2002) - n° 217, Juin 2002.

EPE (2008) - Protocole de quantification des émissions de GES liées à la gestion des déchets, Entreprises pour l'Environnement, Version 3.0 - Décembre 2008.

INERIS (2002) Caractérisation des BIOGAZ Bibliographie et mesures sur sites, Rapport final J.POULLEAU, Octobre 2002

ORDIF (2008) - Rapport sur l'observation environnementale 2006 de la gestion des déchets ménagers et assimilés en Île-de-France, ORDIF, septembre 2008, Série Études.

Michel P., Menard Y., Villeneuve J. (2005) - SYCTOM de l'Agglomération parisienne, Simulation de la gestion des déchets du Sud-Est Parisien. Phases 2 et 3 – Synthèse et comparaison des résultats de simulation des scénarios. BRGM/RC-54368-FR.

PREDMA (2009) - Plan régional d'élimination des déchets ménagers et assimilés d'Île-de-France, projet de plan, Version arrêtée par le Conseil Régional le 6 mai 2009.

Vaxelaire S., Villeneuve J. et Nowak C. avec la collaboration **d'A.S. de Kerangal et P.L. Bertagna** (CR-IDF) (2008) - Assistance à l'évaluation environnementale du PREDMA Ile-de-France – Périmètre et contenu de l'inventaire des pressions - Méthodologie de l'évaluation des impacts, BRGM/RP-56713-FR, Octobre 2008.

Villeneuve J., Michel P., Fournet D., Lafon C., Menard Y., Wavrer P., Guyonnet D. (2008) - Process-based analysis of waste management systems: a case study, *Waste Management*, Vol. 29, p. 2-11.

Annexe 1

Résultats bruts

Bilan énergie

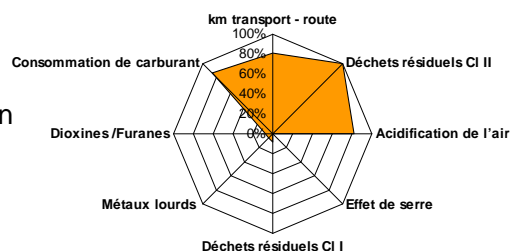
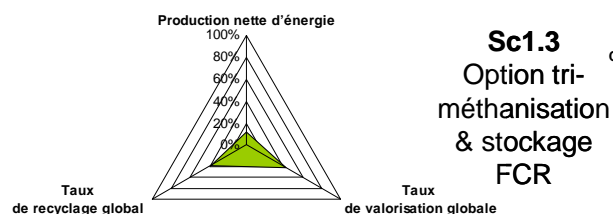
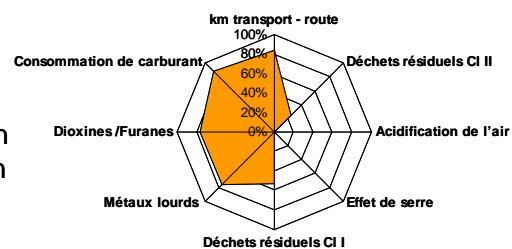
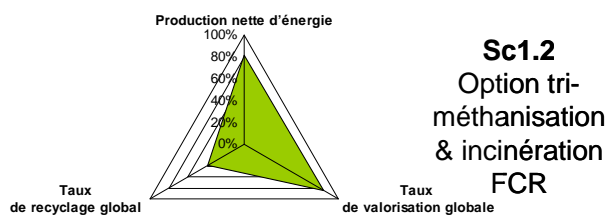
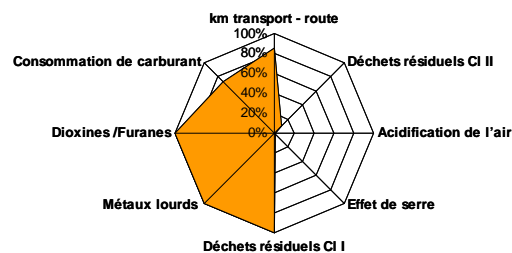
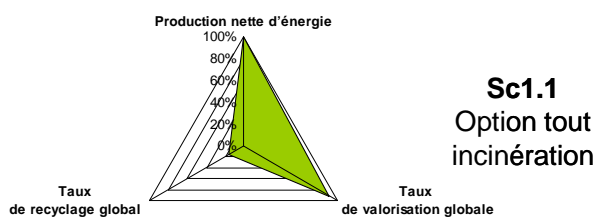
Bilan « électricité » et « chaleur »	Sc1.1	Sc1.2	Sc1.3
Production nette d'électricité * (MWh)	67 093	48 359	18 325
Production nette de chaleur ** (MWh)	1 338 300	1 100 785	138 793

Bilan « électricité » et « chaleur »	Sc2.1	Sc2.2	Sc2.3
Production nette d'électricité * (MWh)	181 455	155 269	37 371
Production nette de chaleur ** (MWh)	86 296	86 296	86 296

Bilan « électricité » et « chaleur »	Sc3.1	Sc3.2	Sc3.3
Production nette d'électricité * (MWh)	133 905	104 609	36 636
Production nette de chaleur ** (MWh)	86 296	86 296	86 296

Indicateurs pour le bilan Sc1.1, Sc1.2 et Sc1.3 (impact des options de traitement)

Unité scientifique	Sc1.1	Sc1.2	Sc1.3	
« Indicateurs de performance » <i>(plus la valeur de ces indicateurs est importante, meilleur est le scénario du point de vue de sa performance)</i>				
Production nette d'énergie (éq. logements)	183 841	149 624	21 713	
Taux de valorisation globale (%)	91,2 %	84,9 %	42,6 %	
Taux de recyclage global (%)	15,5%	38,6 %	37,2 %	
« Indicateurs d'impact » <i>(plus la valeur de ces indicateurs est importante, plus l'impact sur l'environnement est important)</i>				
Effet de serre (t eq.CO ₂)	Impacts directs	375 146	336 397	72 513
	Impacts évités	-417 286	-380 752	-115 421
	Impacts directs+évités	-42 139	-44 355	-42 908
Acidification (kg eq. H ⁺)	Impacts directs	6 015	6 321	5 822
	Impacts évités	-30 049	-30 479	-14 022
	Impacts directs+évités	-24 034	-24 159	-8 200
Déchets résiduels CI I (en t)	20 045	10 563	1 644	
Déchets résiduels CI II (en t)	49 612	109 238	453 499	
Métaux lourds (émissions) (Hg+Cd) (g)	303 980	233 337	20 749	
Dioxines /Furanes (émissions) (g)	0,152	0,117	0,012	
Km transport – Route	7 683 851	7 503 819	7 251 181	
Consommation de carburant (GJ)	185 017	225 058	221 413	



Indicateurs de performance :

. Pour l'indicateur production nette d'énergie : indicateur à 100 % = valeur associée au scénario le plus favorable parmi les 9 scénarios (du Sc1.1 au Sc3.3)

. Pour les taux de recyclage et de valorisation : Indicateur = valeurs réelles des taux

Indicateurs d'impacts :

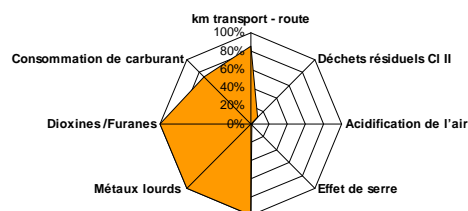
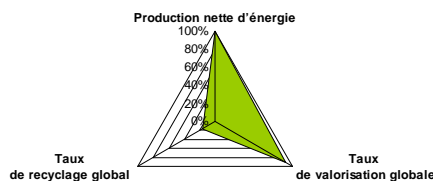
. Indicateur à 100 % = valeur associée au scénario le plus défavorable parmi les 9 scénarios

. Sauf pour les impacts effets de serre et acidification de l'air : indicateurs basés sur leurs valeurs réelles augmentées de la valeur absolue de l'impact minimum parmi l'ensemble des 9 scénarios

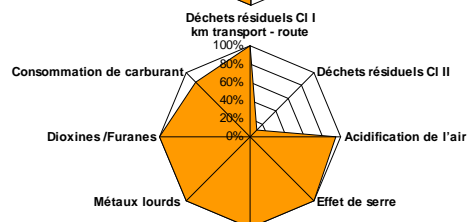
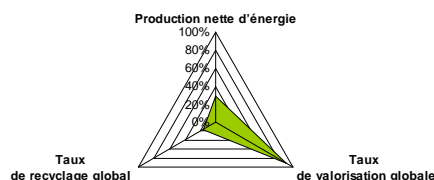
Indicateurs pour le bilan Sc2.1 / Sc2.2 / Sc2.3 (Impacts de la relocalisation des installations de traitement à 12 km d'IVRY)

Unité scientifique	Sc1.2	Sc2.1	Sc2.2	Sc2.3	
« Indicateurs de performance » <i>(plus la valeur de ces indicateurs est importante, meilleur est le scénario du point de vue de sa performance)</i>					
Production nette d'énergie (éq. logements)	149 624	53 114	47 015	19 552	
Taux de valorisation globale (%)	84,9 %	91,2%	84,9%	42,6%	
Taux de recyclage global (%)	38,6 %	15,5%	38,6%	37,2%	
« Indicateurs d'impact » <i>(plus la valeur de ces indicateurs est importante, plus l'impact sur l'environnement est important)</i>					
Effet de serre (t eq.CO ₂)	Impacts directs	336 397	376 270	337 505	73 613
	Impacts évités	-380 752	-93 618	-119 341	-102 704
	Impacts directs+évités	-44 355	282 652	218 164	-29 091
Acidification (kg eq. H ⁺)	Impacts directs	6 321	6 211	6 507	5 993
	Impacts évités	-30 479	-11 890	-15 894	-13 389
	Impacts directs+évités	-24 159	-5 679	-9 387	-7 396
Déchets résiduels CI I (en t)	10 563	20 045	10 563	1 644	
Déchets résiduels CI II (en t)	109 238	49 612	109 238	453 499	
Métaux lourds (émissions) (Hg+Cd) (g)	233 337	303 981	233 337	20 749	
Dioxines /Furanes (émissions) (g)	0,12	0,15	0,12	0,01	
Km transport – Route	7 503 819	8 959 856	8 782 164	8 575 182	
Consommation de carburant (GJ)	225 058	216 471	255 585	250 658	

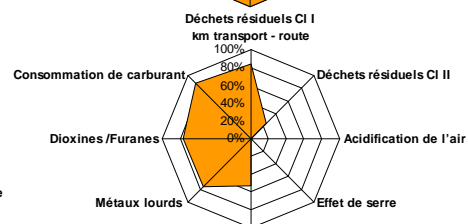
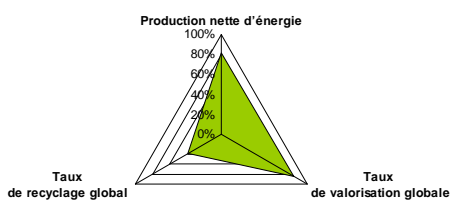
Sc1.1



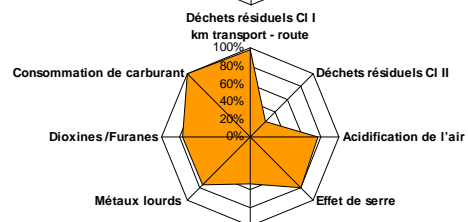
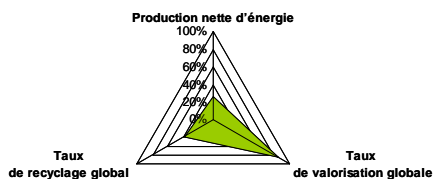
Sc2.1



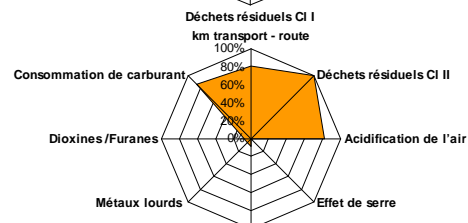
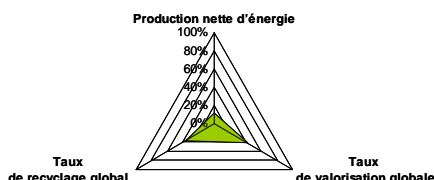
Sc1.2



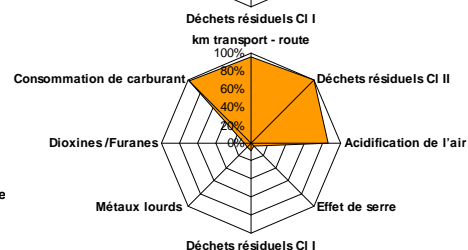
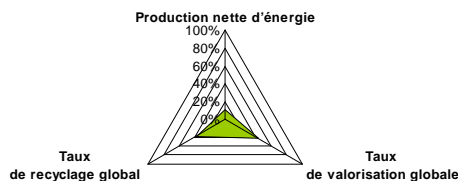
Sc2.2



Sc1.3



Sc2.3



Indicateurs de performance :

. Pour l'indicateur production nette d'énergie : indicateur à 100 % = valeur associée au scénario le plus favorable parmi les 9 scénarios (du Sc1.1 au Sc3.3)

. Pour les taux de recyclage et de valorisation : Indicateur = valeurs réelles des taux

Indicateurs d'impacts :

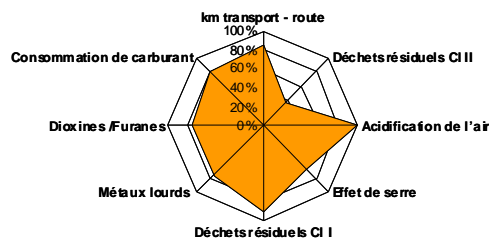
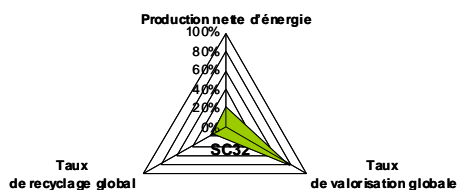
. Indicateur à 100 % = valeur associée au scénario le plus défavorable parmi les 9 scénarios

. Sauf pour les impacts effets de serre et acidification de l'air : indicateurs basés sur leurs valeurs réelles augmentées de la valeur absolue de l'impact minimum parmi l'ensemble des 9 scénarios

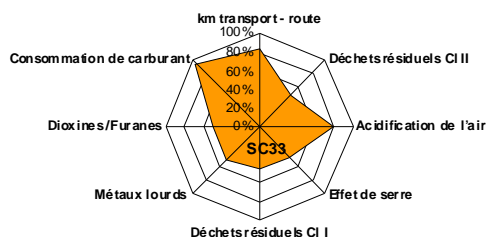
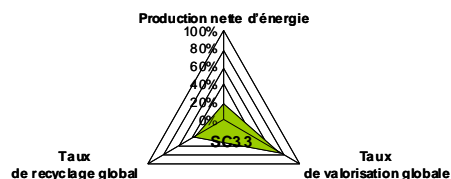
Indicateurs pour le bilan Sc3.1 / Sc3.2 / Sc3.3 (Impacts de la relocalisation des installations de traitement à 75 km d'IVRY)

Unité scientifique	Sc1.2	Sc3.1	Sc3.2	Sc3.3	
« Indicateurs de performance » <i>(plus la valeur de ces indicateurs est importante, meilleur est le scénario du point de vue de sa performance)</i>					
Production nette d'énergie (éq. logements)	149 624	42 038	35 214	19 381	
Taux de valorisation globale (%)	84,9 %	77,6%	71,3%	42,6%	
Taux de recyclage global (%)	38,6 %	14,9%	38,0%	37,2%	
« Indicateurs d'impact » <i>(plus la valeur de ces indicateurs est importante, plus l'impact sur l'environnement est important)</i>					
Effet de serre (t eq.CO ₂)	Impacts directs	336 397	258 452	219 621	74 998
	Impacts évités	-380 752	-87 057	-112 594	-102 660
	Impacts directs+évités	-44 355	171 395	107 027	-27 662
Acidification (kg eq. H ⁺)	Impacts directs	6 321	6 224	6 504	6 692
	Impacts évités	-30 479	-10 949	-14 925	-13 382
	Impacts directs+évités	-24 159	-4 725	-8 421	-6 690
Déchets résiduels CI I (en t)	10 563	18 226	8 744	1 644	
Déchets résiduels CI II (en t)	109 238	159 068	218 700	453 500	
Métaux lourds (émissions) (Hg+Cd) (g)	233 337	224 831	154 193	20 749	
Dioxines /Furanes (émissions) (g)	0,12	0,11	0,08	0,01	
Km transport – Route	7 503 819	7 710 269	7 548 849	8 058 237	
Consommation de carburant (GJ)	225 058	203 147	244 052	250 954	

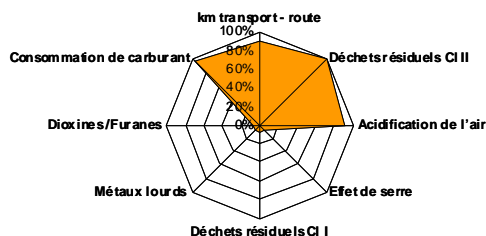
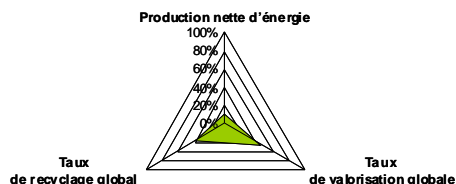
Sc3.1



Sc3.2



Sc3.3



Indicateurs de performance :

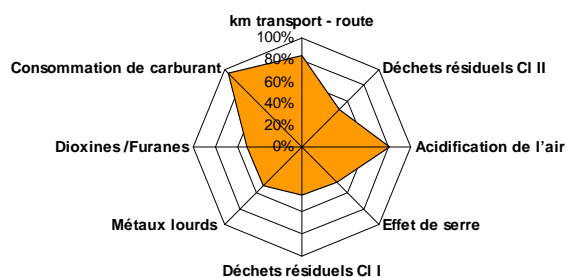
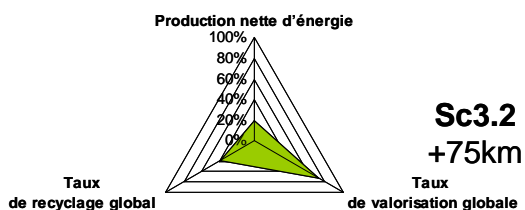
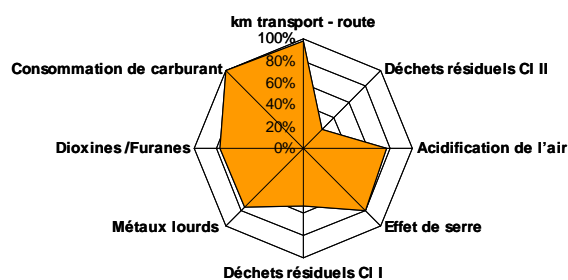
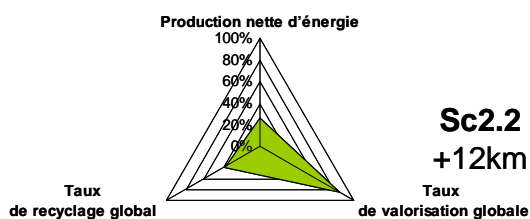
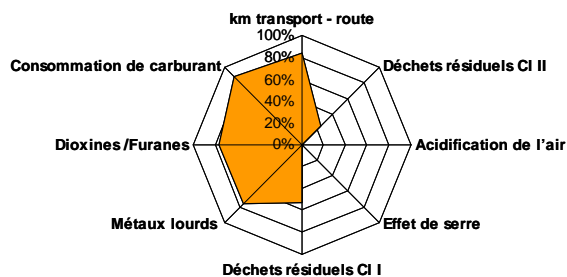
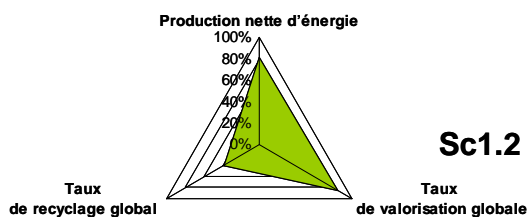
- . Pour l'indicateur production nette d'énergie : indicateur à 100 % = valeur associée au scénario le plus favorable parmi les 9 scénarios (du Sc1.1 au Sc3.3)
- . Pour les taux de recyclage et de valorisation : Indicateur = valeurs réelles des taux

Indicateurs d'impacts :

- . Indicateur à 100 % = valeur associée au scénario le plus défavorable parmi les 9 scénarios
- . Sauf pour les impacts effets de serre et acidification de l'air : indicateurs basés sur leurs valeurs réelles augmentées de la valeur absolue de l'impact minimum parmi l'ensemble des 9 scénarios

Indicateurs pour le bilan Sc1.2 / Sc2.2 / Sc3.2 (Impacts d'une relocalisation des installations de traitement à 12 ou 75 km d'IVRY)

Unité scientifique	Sc1.2	Sc2.2	Sc3.2	
« Indicateurs de performance » <i>(plus la valeur de ces indicateurs est importante, meilleur est le scénario du point de vue de sa performance)</i>				
Production nette d'énergie (éq. logements)	149 624	47 015	35 214	
Taux de valorisation globale (%)	84,9 %	84,9%	71,3%	
Taux de recyclage global (%)	38,6 %	38,6%	38,0%	
« Indicateurs d'impact » <i>(plus la valeur de ces indicateurs est importante, plus l'impact sur l'environnement est important)</i>				
Effet de serre (t eq.CO ₂)	Impacts directs	336 397	337 505	219 621
	Impacts évités	-380 752	-119 341	-112 594
	Impacts directs+évités	-44 355	218 164	107 027
Acidification (kg eq. H ⁺)	Impacts directs	6 321	6 507	6 504
	Impacts évités	-30 479	-15 894	-14 925
	Impacts directs+évités	-24 159	-9 387	-8 421
Déchets résiduels CI I (en t)	10 563	10 563	8 744	
Déchets résiduels CI II (en t)	109 238	109 238	218 700	
Métaux lourds (émissions) (Hg+Cd) (g)	233 337	233 337	154 193	
Dioxines /Furanes (émissions) (g)	0,12	0,12	0,08	
Km transport – Route	7 503 819	8 782 164	7 548 849	
Consommation de carburant (GJ)	225 058	255 585	244 052	



Indicateurs de performance :

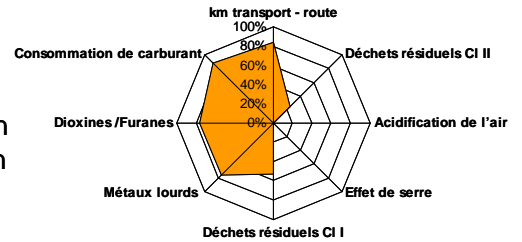
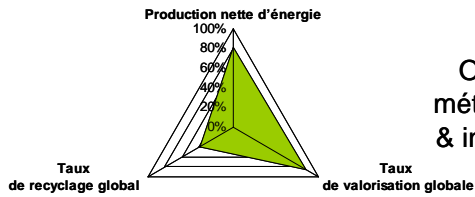
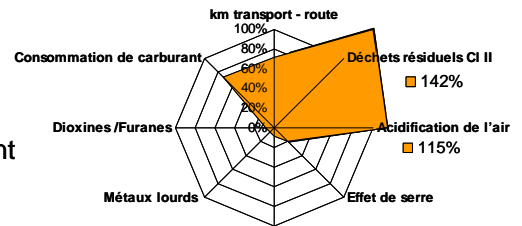
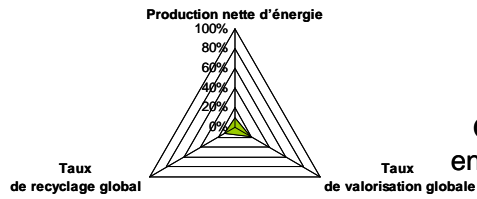
- . Pour l'indicateur production nette d'énergie : indicateur à 100 % = valeur associée au scénario le plus favorable parmi les 9 scénarios (du Sc1.1 au Sc3.3)
- . Pour les taux de recyclage et de valorisation : Indicateur = valeurs réelles des taux

Indicateurs d'impacts :

- . Indicateur à 100 % = valeur associée au scénario le plus défavorable parmi les 9 scénarios
- . Sauf pour les impacts effets de serre et acidification de l'air : indicateurs basés sur leurs valeurs réelles augmentées de la valeur absolue de l'impact minimum parmi l'ensemble des 9 scénarios

**Indicateurs pour le bilan de l'option tout enfouissement (Sc1.4),
comparaison avec le scénario Sc1.2**

Unité scientifique		Sc1.2	Sc1.4
« Indicateurs de performance » <i>(plus la valeur de ces indicateurs est importante, meilleur est le scénario du point de vue de sa performance)</i>			
Production nette d'énergie (éq. logements)		149 624	16 830
Taux de valorisation globale (%)		84,9 %	13,0%
Taux de recyclage global (%)		38,6 %	18,4%
« Indicateurs d'impact » <i>(plus la valeur de ces indicateurs est importante, plus l'impact sur l'environnement est important)</i>			
Effet de serre (t eq.CO ₂)	Impacts directs	336 397	90 323
	Impacts évités	-380 752	-66 888
	Impacts directs+évités	-44 355	23 434
Acidification (kg eq. H ⁺)	Impacts directs	6 321	5 982
	Impacts évités	-30 479	-7 860
	Impacts directs+évités	-24 159	-1 878
Déchets résiduels CI I (en t)		10 563	1 644
Déchets résiduels CI II (en t)		109 238	645 510
Métaux lourds (émissions) (Hg+Cd) (g)		233 337	20 734
Dioxines /Furanes (émissions) (g)		0,12	0,01
Km transport – Route		7 503 819	6 374 561
Consommation de carburant (GJ)		225 058	185 505



Indicateurs de performance :

. Pour l'indicateur production nette d'énergie : indicateur à 100 % = valeur associée au scénario le plus favorable parmi les 9 scénarios (du Sc1.1 au Sc3.3)

. Pour les taux de recyclage et de valorisation : Indicateur = valeurs réelles des taux

Indicateurs d'impacts :

. Indicateur à 100 % = valeur associée au scénario le plus défavorable parmi les 9 scénarios

. Sauf pour les impacts effets de serre et acidification de l'air : indicateurs basés sur leurs valeurs réelles augmentées de la valeur absolue de l'impact minimum parmi l'ensemble des 9 scénarios

Annexe 2

Données de référence utilisées et sources bibliographiques associées

Composition des OMr, des collectes sélectives et de la FCR apportée

• Flux d'OMr

Catégories	Classe granulométrique	> 350 mm	> 100 mm	> 50 mm	> 20 mm	< 8 mm	Teneur (%)	Humidité	PCI (kcal/kg) sur humide
		9.0	30.3	18.6	12.8	29.3			
Fermentescibles	%	1.7	4.1	14.4	39.1	0.0	9.1	64.8	1227
Papiers	%	4.5	33.3	12.5	3.4	0.0	13.2	19.1	2752
Cartons	%	23.7	11.6	5.0	1.5	0.0	6.7	14.5	3119
Composites	%	0.1	2.2	2.0	1.3	0.0	1.2	23.7	3619
Textiles	%	9.9	2.8	1.1	0.0	0.0	1.9	19.0	3508
Textiles san.	%	0.0	9.5	23.4	19.0	0.0	9.6	60.6	1682
Plastiques	%	21.1	21.1	21.4	7.6	0.0	13.2	27.2	5413
Combustibles	%	20.7	4.4	2.9	3.4	0.0	4.2	9.9	3734
Verres	%	0.0	6.0	5.6	14.2	0.0	4.7	2.7	0
Métaux Fe	%	9.4	3.0	5.5	1.2	0.0	2.9	7.8	591
Métaux NFe	%	0.2	0.4	1.1	0.8	0.0	0.4	7.7	591
Incombustibles	%	0.4	1.1	3.3	7.6	0.0	1.9	5.9	0
Déchets spéciaux	%	8.2	0.6	1.9	1.0	0.0	1.4	6.0	3845
Fines	%	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	29.3	40.4	1267
Moyenne								32.3	2280

• Collectes sélectives

Catégories	Teneur (%)	Humidité	PCI (kcal/kg) sur humide
Fermentescibles	1.0	64.8	1227
Papiers	62.6	19.1	2752
Cartons	18.7	14.5	0
Composites	4.4	23.7	0
Textiles	0.6	19.0	0
Textiles san.	1.1	60.6	1682
Plastiques	5.2	27.2	5413
Combustibles	0.9	9.9	0
Verres	0.7	2.7	0
Métaux Fe	1.4	7.8	591
Métaux NFe	0.1	7.7	0
Incombustibles	0.4	5.9	0
Déchets spé.	0.7	6.0	0
Fines	2.3	19.7	2900

• FCR apportée

Catégories	Teneur (%)	Humidité	PCI (kcal/kg) sur humide
Fermentescibles	10.8	64.8	1227
Papiers	12.2	19.1	2752
Cartons	0.0	0.0	0
Composites	0.0	0.0	0
Textiles	0.0	0.0	0
Textiles san.	12.6	60.6	1682
Plastiques	52.5	27.2	5413
Combustibles	0.0	0.0	0
Verres	7.4	2.7	0
Métaux Fe	4.6	7.8	591
Métaux NFe	0.0	0.0	0
Incombustibles	0.0	0.0	0
Déchets spé.	0.0	0.0	0
Fines	0.0	31.8	3540

Collecte et transport - Données unitaires de consommation de carburant

		Consommation de carburant		Source
Collecte	GNV	63	Nm³ / 100 km	Consommation moyenne GNV BOM 19 t <i>Empreinte écologique (SITA)</i>
	Produits pétroliers (routier/diesel)	75	l diesel/100 km	Consommation moyenne Diesel BOM 19 t <i>Empreinte écologique (SITA)</i>
Transport Inter-unité - Route	Diesel	0.34	Kg/km	<i>Plan régional d'élimination des déchets ménagers et assimilés d'Ile de France, projet de plan, Version arrêtée par le Conseil Régional le 6 mai 2009</i>
Transport Inter-unité - Train		10	Gep/tkm	<i>ADEME (1998) Gestion des déchets ménagers et assimilés : transport et logistique - ADEME n° 3010- Juillet 1998.</i>
Transport Inter-unité - Péniche	Fuel Oil Domestique		<i>l/km ou l/t.km (voir tableau ci-dessous)</i>	<i>ADEME (2006) Transports combinés rail-route, fleuve-route et mer-route, Tableau de bord national 2006, Octobre 2006</i>

	Transport fluvial par automoteur sur le bassin de la seine (250-400 tonnes)	Consommation de carburant (L/t.km)	Consommation de carburant (L/km)
En charge	Montant	0.0137	4.4
	Avalant	0.012	4.5
	Moyenne sur bassin de la Seine	0.01294	5.25
A vide	Montant		3.5
	Avalant		1.9
	Moyenne sur bassin de la Seine		2.77
<i>Source : ADEME (2006) Transports combinés rail-route, fleuve-route et mer-route, Tableau de bord national 2006, Octobre 2006</i>			

Collecte et transport - Données unitaires d'émissions

Emissions (g/t.km)	CO ₂	CO	HC	Particules	SOx	NOx	Source
Transport par train	2.6	0.200	0.100	0.030	0.040	0.500	ADEME Ecorail (2001) Transport de déchets, la solution ferroviaire,
Transport fluvial	30.1	0.040	0.010	0.006	0.300	0.300	ADEME VNF (2001) Transport de déchets, la solution fluviale
							Pour le CO ₂ : ADEME (2006) Transports combinés rail-route, fleuve-route et mer-route, Tableau de bord national 2006, Octobre 2006

Emissions (g/ km)	CO ₂	CO	HC	Particules	SOx	NOx	Source
Collecte en benne GNV (collecte)	2792	8.75	6.80	0.20	0.71	7.08	Données ADEME évaluation en cycle réel 2005
Collecte en benne GNV (haut le pied)	815	4.51	1.08	0.06	0.46	4.56	
Transport - Route PL1 (PTAC<16t)	576.45	7.30	0.76	0.82	0.76	7.40	Transport de marchandise (http://www.tmv.transports.equipement.gouv.fr). Origine des données : CORINAIR) - Cycle réel INRETS
Transport - Route PL2 (PTAC>16t)	904.96	4.20	2.30	1.25	1.18	13.50	

Centre de tri de collecte sélective multi matériaux - performances de tri sur les déchets triés

Matière	Taux d'extraction attendu (données SYCTOM)
JRM	85 %
Cartons	90 %
GM	90 %
Plastiques	95 %
ELA	80 %
Ferreux	95 %
Alu	80 %

Valeurs limites d'émission des installations de traitement

	en g/Nm ³ définis à x% d'O ₂	CO	HC	Particules	SOx	NOx	HCl	HF	Dioxines /Furanes	Cd	Hg	
Incinération	11% O ₂	50	0	5	10	40	3	0	5E-08	0,0500	0,0500	<i>Cf. RQ1</i>
Méthanisation	3 % O ₂	100	50	5	35	120	21	23	0	0,0012	0,0013	<i>Circulaire du 10/12/03 ou INERIS, 2002</i>
ISD - Torchère	11 % O ₂	1 280	0	1,46	47,1	150	2.7	0,4	8E-09	0,0001	0.0001	
ISD - Moteur	5 % O ₂	1 200	50	150	35	525	9.92	1,6	5E-09	0,0021	0,0026	

RQ1 : Seuils de rejet fournis par l'étude de faisabilité du SYCTOM (valeurs plus contraignantes que les valeurs limites réglementaires) ou seuils réglementaires à défaut

Annexe 3

Détails des impacts effets de serre et acidification par installation de traitement (Sc1.1, Sc1.2, Sc1.3 et Sc1.4)

Impacts en équivalent habitant

À noter que les impacts associés à la catégorie « Autres » regroupent les impacts liés à la collecte et au transport des déchets et des produits de traitement, à la manutention des déchets, aux centres de transfert, centres de tri et au compostage de déchets verts.

Effet de serre en eq. Habitant

	Sc1.1	Sc1.2	Sc1.3	Sc1.4
Impacts évités	-47 964	-43 765	-13 267	-7 688
Impacts évités (prod. énergie)	-41 073	-33 737	-4 338	-2 796
Impacts évités (recyclage&compost)	-6 891	-10 028	-8 929	-4 893
Impacts directs	43 120	38 666	8 335	10 382
Incinération	41 048	35 722	1 943	1 943
Transport&collecte	1 434	1 417	1 398	1 373
Méthanisation	0	23	23	0
ISD	486	942	4 363	6 766
Autres	153	562	608	300
impacts directs+évités	-4 844	-5 098	-4 932	2 694

Acidification en équivalent habitant

	Sc1.1	Sc1.2	Sc1.3	Sc1.4
Impacts évités	-15 815	-16 042	-7 380	-4 137
Impacts évités (prod. énergie)	-11 116	-9 111	-1 207	-818
Impacts évités (recyclage&compost)	-4 699	-6 931	-6 173	-3 318
Impacts directs	3 166	3 327	3 064	3 149
Incinération	843	809	774	781
Transport&collecte	2 022	1 549	130	130
Méthanisation	0	563	563	0
ISD	183	329	1 515	2 197
Autres	119	76	83	40
impacts directs+évités	-12 649	-12 715	-4 316	-988

Impacts en unités scientifiques

Effet de serre en t eq. CO2

	Sc1.1	Sc1.2	Sc1.3	Sc1.4
Impacts évités	-417 286	-380 752	-115 421	-66 888
Impacts évités (prod. énergie)	-357 337	-293 509	-37 741	-24 323
Impacts évités (recyclage&compost)	-59 949	-87 243	-77 680	-42 565
Impacts directs	375 146	336 397	72 513	90 323
Incinération	357 115	310 780	16 900	16 900
Transport&collecte	12 476	12 331	12 163	11 945
Méthanisation	0	203	203	0
ISD	4 228	8 193	37 959	58 865
Autres	1 328	4 890	5 288	2 613
impacts directs+évités	-42 139	-44 355	-42 908	23 434

Acidification en kq eq. H+

	Sc1.1	Sc1.2	Sc1.3	Sc1.4
Impacts évités	-30 049	-30 479	-14 022	-7 860
Impacts évités (prod. énergie)	-21 121	-17 311	-2 293	-1 555
Impacts évités (recyclage&compost)	-8 928	-13 169	-11 729	-6 305
Impacts directs	6 015	6 321	5 822	5 982
Incinération	1 601	1 538	1 471	1 485
Transport&collecte	3 841	2 943	247	247
Méthanisation	0	1 069	1 069	0
ISD	348	626	2 878	4 174
Autres	225	145	157	77
impacts directs+évités	-24 034	-24 159	-8 200	-1 878

Annexe 4

Incinération et rendement énergétique

Définitions des rendements

- Systémique :
 - $R1 = (E_p + W) / E_w$,
 - Rendement absolu ;
- Directive cadre européenne relative aux déchets (directive 2008/98/CE) :
 - $R2 = (1.1 * E_p + 2.6 * W) / (0.97 * E_w)$,
 - Rendement relatif permettant d'évaluer la performance énergétique d'une UIOM par rapport aux autres installations de production d'énergie.

Avec E_p : énergie récupérée sous forme de chaleur, W : énergie récupérée sous forme d'électricité, E_w : énergie contenue dans les déchets traités calculée sur la base du tonnage traité et du pouvoir calorifique inférieur de ces derniers.

Rendements calculés

	Systémique Rendement absolu	Directive cadre déchets (2008) Rendement relatif
Exemple : Sc1.X (cogénération)	80%	99%
Sc2.X ou Sc3.X (électricité seule)	14%	36%

Directive cadre européenne relative aux déchets (directive 2008/98/CE)

Cette directive prévoit une reclassification de l'incinération en valorisation énergétique sous condition d'un rendement énergétique minimum de 65 % pour les nouvelles installations construites à partir de 2009.



Centre scientifique et technique
Service environnement industriel et procédés innovants
3, avenue Claude-Guillemain
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34