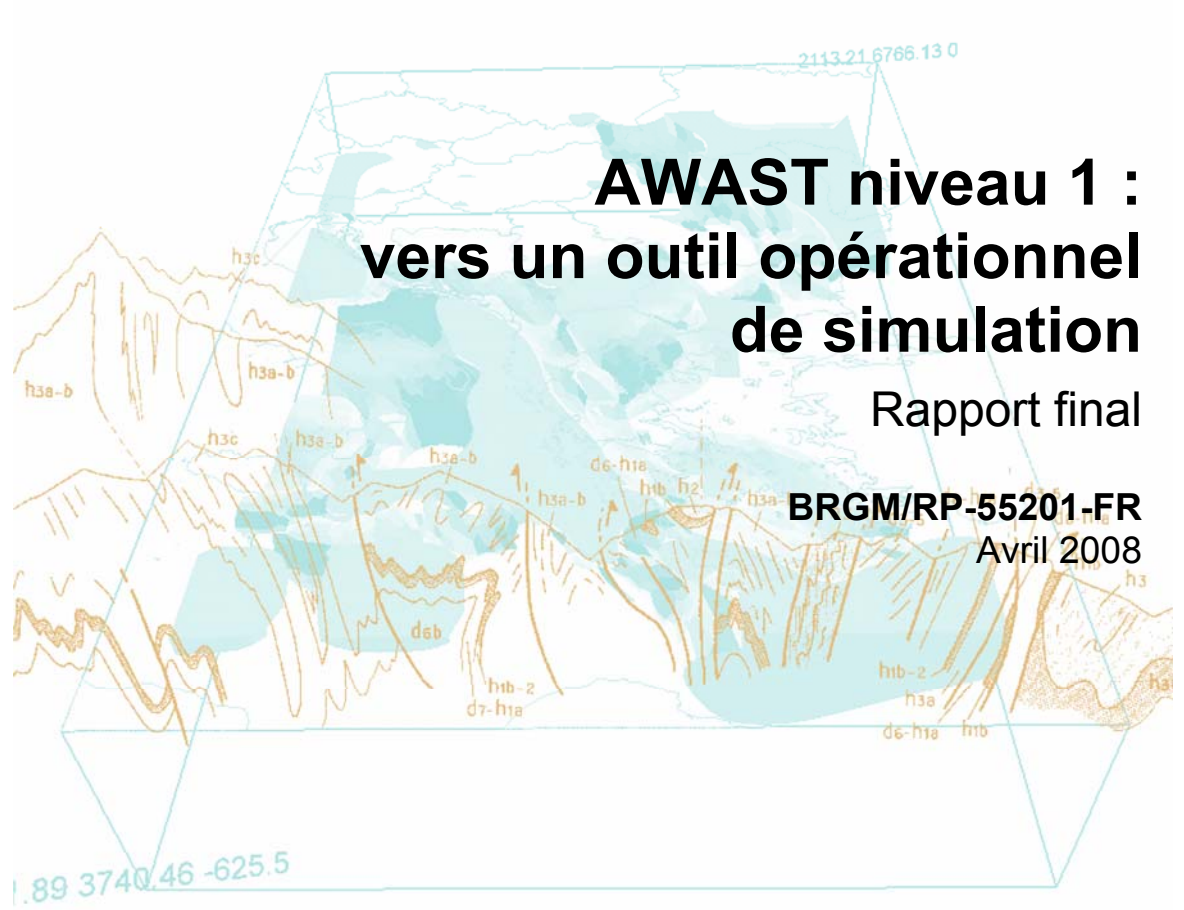




Document public



AWAST niveau 1 : vers un outil opérationnel de simulation

Rapport final

BRGM/RP-55201-FR
Avril 2008

AWAST niveau 1 : vers un outil opérationnel de simulation

Rapport final

BRGM/RP-55201-FR
Avril 2008

P. Michel, Y. Menard

Vérificateur :

Nom : Ph. WAVRER

Date : 03/04/2008

Signature :



Approbateur :

Nom : H. GABORIAU

Date : 03/04/08

Signature :



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.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Mots clés : Déchets ménagers, simulation, modélisation, AWAST, USIMPAC

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

P. Michel, Y. Menard - AWAST niveau 1 : vers un outil opérationnel de simulation,
BRGM/RP-55201-FR, Avril 2008.

Synthèse

Dans le cadre du projet de recherche européen AWAST (<http://awast.brgm.fr/>), le BRGM a élaboré un outil permettant de prédire les flux de matière, le bilan énergétique et les coûts d'un système de gestion des déchets ménagers.

La confrontation de l'outil aux attentes des clients et des utilisateurs a fait apparaître des lacunes au niveau des modèles de certaines opérations de traitement des déchets. Notamment, la lourdeur d'utilisation de certains modèles (en particulier les modèles de collecte et de centre de stockage) est pénalisante pour envisager sereinement de s'adapter aux données disponibles souvent peu nombreuses. Notons qu'aucune lacune ne touche à la structure même du logiciel de simulation. Par contre, la confrontation d'AWAST aux besoins des clients et des utilisateurs de l'outil a permis de discerner des voies d'amélioration possibles.

Le projet AWAST niveau 1 vise à améliorer les capacités de l'outil AWAST à répondre à des besoins concrets d'expertise dans la gestion des déchets. Concrètement, ce projet a permis d'engager quatre types d'actions pour faire d'AWAST un outil de plus en plus opérationnel :

- un travail sur les modèles pour qu'ils permettent de reproduire plus facilement le fonctionnement des installations de traitement des déchets (simplification des modèles et création de modèles de niveau 1),
- l'élaboration d'une base de données d'installations de traitement de déchets déjà modélisées dans le cadre d'études de cas déjà réalisées avec l'outil AWAST,
- l'élaboration d'un outil d'exploitation des résultats pour une exploitation systématique et plus rapide des résultats de simulation,
- la rédaction de documents d'aide à l'utilisation de l'outil pour que les utilisateurs des modèles soient plus autonomes vis-à-vis des programmeurs et concepteurs des modèles.

Les développements et modifications apportées au simulateur AWAST ont déjà été utilisés pour le projet HOLIWAST (6^{ème} PCRD). On a pu constater que des progrès incontestables ont été réalisés notamment grâce à l'outil d'exploitation des résultats qui permet un gain de temps non négligeable.

Des améliorations de l'outil pourraient encore être envisagées. Cela concerne notamment le modèle d'incinération qui reste complexe et les fonctionnalités de l'outil d'exploitation des résultats qui pourraient encore être étendues avec, par exemple, le calcul intégré de l'effet de serre, l'acidification de l'air en lien direct avec les quantités de CO₂, CH₄ émis... A terme, il pourrait également être envisagé d'intégrer au simulateur AWAST des modules spécifiques de calculs de ces indicateurs.

Sommaire

1. Outil AWAST, conception et retours d'expérience	7
2. Projet AWAST niveau 1	13
2.1. ELABORATION DE MODELES DE NIVEAU 1	13
2.2. ETABLISSEMENT D'UNE BASE DE DONNEES D'INSTALLATIONS DE TRAITEMENT	15
2.3. ELABORATION D'UN OUTIL D'EXPLOITATION AUTOMATIQUE DES RESULTATS BRUTS DE SIMULATION.....	16
2.4. REDACTION DE DOCUMENTS D'AIDE A L'UTILISATION DE L'OUTIL AWAST	17
3. Développement de nouveaux modèles dits de niveau 1 et amélioration de la fonctionnalités des modèles existants	19
3.1. AMELIORATION DE LA FONCTIONNALITES DES MODELES EXISTANTS..	19
3.2. ELABORATION DE NOUVEAUX MODELES DITS DE NIVEAU 1	21
3.2.1. Modèle de collecte.....	21
3.2.2. Modèle de décharge niveau 1	23
3.2.3. Modèle d'émissions	25
4. Outil d'exploitation des résultats de simulation	27
4.1. METHODE D'EXPLOITATION DES RESULTATS DU SIMULATEUR AWAST, ETAT INITIAL	27
4.2. DEVELOPPEMENTS REALISES POUR AMELIORER L'EXPLOITATION DES RESULTATS DE SIMULATION.....	29
5. Conclusion	33

Liste des illustrations

Illustration 1 - « Flowsheet » de l'installation de tri-compostage du SMIRGEOMES.....	8
Illustration 2 - Evaluation du temps passé sur les différentes études réalisées avec l'outil AWAST pour répondre aux objectifs donnés.	10
Illustration 3 - Evaluation de la facilité d'utilisation des modèles existants et de leur performance.....	11
Illustration 4 - Descriptions des installations de traitement des déchets calibrées de la « base de données ».	16
Illustration 5 - Analyse de l'évaluation économique des installations de traitement, état initial.....	20
Illustration 6 - Représentation graphique dans AWAST de la collecte des déchets (« Icône » associée au modèle de collecte).	21
Illustration 7 - Parcours suivie par une véhicule de collecte.....	22
Illustration 8 - Interface utilisateur du modèle de collecte dans l'outil AWAST.	23
Illustration 9 - Gestion du biogaz généré dans les centres de stockage des déchets.	23
Illustration 10 - Interface utilisateur du modèle de centre de stockage niveau 1 dans l'outil AWAST.....	25
Illustration 11 - Interface utilisateur du modèle d'émission dans l'outil AWAST.....	26
Illustration 12 - Fichiers de résultats générés par AWAST, état initial.	27
Illustration 13 - Fichiers de résultats générés par AWAST, nouvelle version.	29
Illustration 14 - Outil d'exploitation des résultats.	30
Illustration 15 - Utilisation et fonctionnalité du fichier d'exploitation des résultats.....	31
Illustration 16 - Typologie des flux de matière.	31
Illustration 17 - Typologie des installations de traitement des déchets.	32

Liste des annexes

Annexe 1 Modèles de coûts du simulateur AWAST.....	35
Annexe 2 Paramètres du modèle de collecte.....	61
Annexe 3 Description du modèle de décharge niveau 1 (fiche modèle simplifiée).....	65
Annexe 4 Typologie des flux de matière	75
Annexe 5 Protocole d'utilisation de l'outil d'exploitation automatique des résultats du simulateur AWAST	81

1. Outil AWAST, conception et retours d'expérience

La plateforme de simulation USIMPAC et l'outil AWAST

Dans le cadre du projet de recherche européen AWAST (<http://awast.brgm.fr/>), le BRGM a élaboré un outil permettant de prédire les flux de matière, le bilan énergétique et les coûts d'un système de gestion des déchets ménagers.

Techniquement, l'outil AWAST a été développé à partir du logiciel de simulation BRGM USIMPAC. Ce logiciel est une plateforme de simulation qui permet de construire des simulateurs dédiés, spécifiques à une problématique donnée : le traitement des déchets dans une ville donnée de la collecte à l'enfouissement, une usine de compostage, etc.

Classiquement, tout simulateur est constitué de trois éléments :

- une représentation graphique de l'installation ou système de traitement étudié appelée « flowsheet » (voir Illustration 1 suivante) :

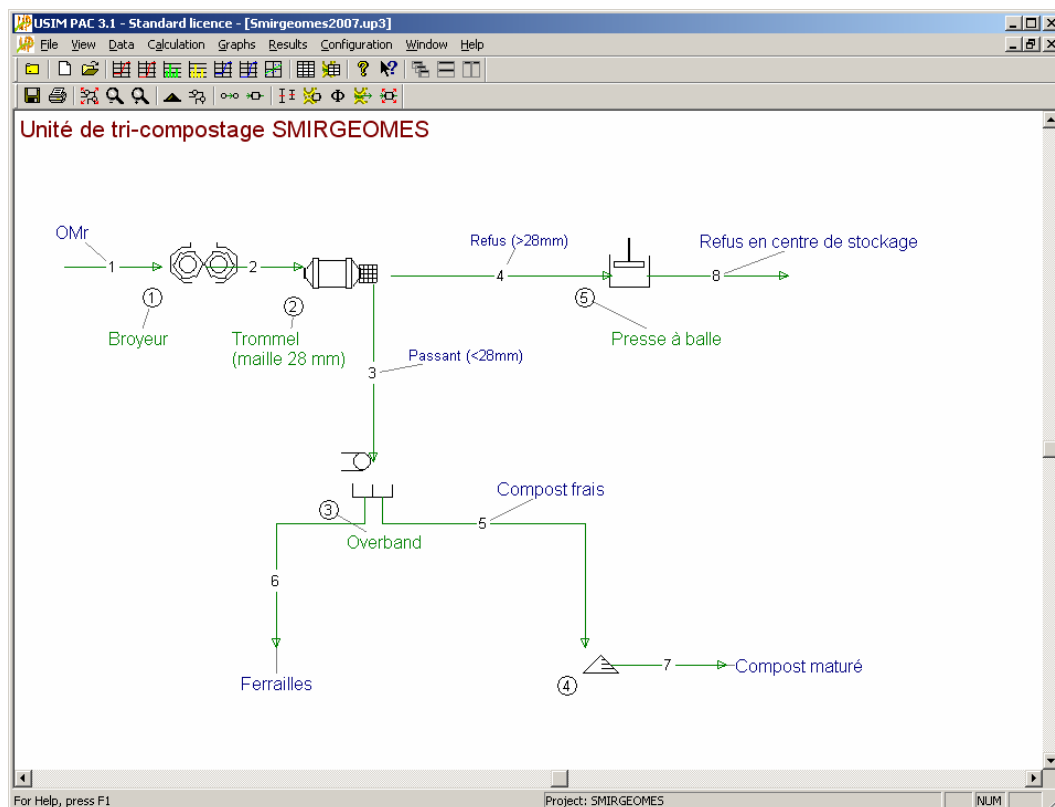


Illustration 1 - « Flowsheet » de l'installation de tri-compostage du SMIRGEOMES.

- une description de la matière en termes de débits, compositions, éléments chimiques (description des ordures ménagères, proportion de papier, teneur en plomb...),
- des modèles mathématiques qui sont utilisés pour reproduire le fonctionnement des installations de traitement (broyeur, trommel...).

Au cours du projet européen AWAST, des modèles spécifiques à la thématique de la gestion des déchets ménagers ont été développés. L'outil AWAST utilise la plateforme de simulation USIMPAC et les modèles spécifiques au traitement des déchets développés initialement dans le cadre du projet européen AWAST pour représenter au mieux le fonctionnement des systèmes de traitement des déchets ménagers.

Les modèles AWAST dédiés au traitement des déchets ménagers

Chaque opération de traitement des déchets est représentée par un ou plusieurs modèles. Les modèles AWAST sont répartis selon une classification en 4 « niveaux » qui tiennent compte de leur pouvoir prédictif, ainsi que du nombre et du type de données nécessaires à leur mise en œuvre.

Le niveau 0 correspond ainsi au modèle le moins prédictif, mais utilisable avec peu de données, tandis que le niveau 3 correspond au niveau le plus prédictif, mais nécessitant des données de caractérisation de la matière traitée, des données de performances mesurées sur l'installation et des données technologiques sur l'installation elle-même. De manière générale, les modèles de niveau 1 offrent le meilleur compromis entre la « qualité » des résultats et le « coût » de leur utilisation. La plupart des modèles d'AWAST sont de niveau 3 (incinération, compostage, méthanisation, centre de stockage), les autres se répartissant entre niveau 0 et niveau 1 (transport, centre de transfert, centre de tri, déchetterie, séparations physiques des déchets).

Après le terme du projet AWAST (fin 2003), le BRGM a validé ce simulateur de filières de traitement de déchets ménagers par une série d'opérations de démonstration à l'échelle de grandes collectivités locales et a amélioré ses capacités pour répondre au mieux aux attentes des collectivités locales :

- Etude « SYCTOM » : ce projet de recherche en partenariat entre le SYCTOM et le BRGM a consisté en une analyse de la gestion globale des déchets sur le bassin de collecte du Sud Est Parisien. La nécessité de moderniser l'incinérateur d'Ivry sur Seine a conduit le SYCTOM à entreprendre une réflexion sur la gestion des déchets. Sur la base de scénarios établis par le SYCTOM, l'utilisation d'AWAST a permis d'évaluer différentes options stratégiques concernant le bassin de collecte d'Ivry.
- Etude « CG13 » : dans le cadre de la révision du plan départemental d'élimination des déchets ménagers et assimilé des Bouches du Rhône, le BRGM s'est vu confier une étude visant entre autres, à l'aide de l'outil AWAST, à :
 - établir le bilan des émissions atmosphériques de la gestion actuelle des déchets,
 - simuler un scénario de traitement des déchets par digestion anaérobie sur l'ensemble du département incluant, en particulier, une modification importante dans l'organisation du transport et du transfert des déchets.
- Etude « GHB » : Cette étude d'optimisation d'une installation de compostage sur ordures ménagères s'est appuyée sur des simulations de différentes technologies envisageables, l'objectif étant de comparer leurs performances respectives, tant techniques qu'économiques.

Ces trois études ont permis de tester l'outil sur les trois aspects suivants :

- aspect opérationnel : les données nécessaires au bon fonctionnement des modèles sont-elles facilement accessibles (données « de terrain ») ?
- aspect technique : les résultats fournis répondent-ils aux objectifs et attentes des « clients » ?
- aspect communication : les résultats de simulation sont-ils compréhensibles par des non spécialistes ?

La confrontation de l'outil aux attentes des clients et utilisateurs a fait apparaître des lacunes au niveau des modèles de certaines opérations. Notons qu'aucune lacune ne touche à la structure même du logiciel de simulation.

Hormis l'aspect collecte, les modèles existants sont satisfaisants. Ils permettent de répondre aux questions très précises qui nous ont été posées (SYCTOM, GHB), au prix d'un effort important toutefois (modèles de niveau 3).

L'étude avec le CG13 nous a montré les limites pratiques de notre approche basée sur une modélisation fine des procédés. Nous avons été contraints, faute de solutions alternatives, d'utiliser des modèles complexes, lourds d'utilisation, avec peu ou pas de données. Cette étude a cependant montré que pour certains aspects, la précision des résultats faisait plus que répondre aux demandes globales de nos clients (bilan matière) alors que pour d'autres aspects, cette précision est requise (bilan environnement). Ceci est cependant lié au contexte local (gros problèmes sur les centres de stockage).

Etudes	Champs des études	Nombre d'installations principales de traitement	Objectifs des études	Temps passé pour la simulation (travail avec l'outil AWAST)
« SYCTOM »	Gisement de déchets de 1 301 517 habitants	4	Modélisation fine à l'échelle du procédé	60 j
« CG13 »	Département des Bouches du Rhône Gisement de déchets de 1 857 792 habitants	36	Etude à l'échelle du département	110 j
« GHB »	Communauté d'agglomération Gisement de déchets de 115 309 habitants	4	Modélisation fine à l'échelle du procédé	25j

Illustration 2 - Evaluation du temps passé sur les différentes études réalisées avec l'outil AWAST pour répondre aux objectifs donnés.

Les modèles utilisés actuellement peuvent être évalués de la manière suivante :

	Nombre de paramètres des modèles	Utilisation du modèle Facilité d'utilisation et utilisation de données facilement accessibles	Performance du modèle
Collecte	36 par flux de déchets collectés +18	-	≈
Transport	19	≈	≈
Centre de transfert	8	+	≈
Déchetterie	6	+	≈
Centres de tri	24	+	+
Digesteur de tri-méthanisation	36	+	+
Pré tri des ordures ménagères avant méthanisation	2 par unités	≈	≈
Compostage	10	+	+
Incinération	73	≈	+
Centres de stockage	90	≈	+

Illustration 3 - Evaluation de la facilité d'utilisation des modèles existants et de leur performance.

A noter que, contrairement aux autres modèles, le modèle de collecte existant a été développé sous Excel et n'est pas inclus dans le simulateur AWAST.

La lourdeur d'utilisation de certains modèles (notamment les modèles de collecte, d'incinération et de centre de stockage) est pénalisante pour envisager sereinement de s'adapter aux données disponibles souvent peu nombreuses et de mauvaise qualité par rapport aux besoins. Par contre, la confrontation d'AWAST aux besoins des clients permet de discerner des voies d'amélioration possibles. Sans remettre en cause les fondements phénoménologiques des modèles, il y a moyen de les formuler différemment pour les rendre plus efficaces et moins gourmands.

Sur l'aspect « communication », nous avons été confrontés à deux types de problèmes :

- production rapide d'une synthèse des résultats : les résultats du simulateur sont très nombreux et certaines opérations de synthèse (somme de flux en particulier) pourraient être systématisées,
- expression des résultats sous la forme d'indicateurs adaptés : nous fournissons aujourd'hui les indicateurs sous une forme inspirée à la fois du « synoptique ADEME » (extrait du guide de révision des plans départementaux de l'ADEME) et de la méthodologie « Ecobilan » (indicateurs estimés par les méthodes d'analyse de cycle de vie déchets). Là aussi, ces indicateurs sont calculés au cas par cas, de manière non systématique, au risque d'en oublier certains.

2. Projet AWAST niveau 1

Partant des constats précédemment présentés, le projet AWAST niveau 1 vise à améliorer les capacités de l'outil AWAST à répondre à des besoins concrets d'expertise dans la gestion des déchets :

- en simplifiant les modèles (création de modèles de niveau 1),
- en regroupant et synthétisant toutes les informations nécessaires à la mise en œuvre de l'outil AWAST (capitalisation des données, méthodes et études de cas déjà réalisées),
- et en cherchant à automatiser un certain nombre de tâches pour l'exploitation des résultats.

Concrètement, le projet AWAST niveau 1 a permis d'engager quatre types d'actions pour faire d'AWAST un outil de plus en plus opérationnel :

1. un travail sur les modèles pour qu'ils permettent de reproduire le fonctionnement des installations de traitement des déchets (simplification des modèles et création de modèles de niveau 1),
2. l'élaboration d'une base de données d'installations de traitement de déchets déjà modélisées dans le cadre d'études de cas déjà réalisées avec l'outil AWAST,
3. l'élaboration d'un outil d'exploitation des résultats pour une exploitation systématique et plus rapide des résultats de simulation,
4. la rédaction de documents d'aide à l'utilisation de l'outil pour que les utilisateurs des modèles soient plus autonomes vis-à-vis des programmeurs et concepteurs des modèles.

2.1. ELABORATION DE MODELES DE NIVEAU 1

Le projet « AWAST niveau 1 » a comme objectif premier, l'élaboration de modèles dit de niveau 1. Les projets déjà réalisés avec le simulateur AWAST nous ont permis de tester l'outil dans sa version actuelle et de nous rendre compte de la nécessité de mettre au point des modèles « phénoménologiques » ne nécessitant que peu de données en privilégiant des données facilement accessibles tout en gardant un caractère fortement prédictif : des modèles dits de niveau 1. Ils permettent de répondre plus rapidement aux questions posées que des modèles plus compliqués de niveau 2 ou 3.

Paradoxalement, ces modèles sont les plus compliqués à élaborer. A partir de l'étude des modèles existants, les codes de calculs sont simplifiés pour permettre, tout en conservant au maximum la précision des résultats, une plus grande souplesse d'utilisation en réduisant le nombre de paramètres nécessaires à leur mise en œuvre.

Les études réalisées avec l'outil AWAST nous ont permis de :

- tester les modèles existants,
- d'identifier les modèles pour lesquels l'élaboration d'une version dite de niveau 1 était primordiale (collecte, incinération, centre de stockage),
- d'identifier, en partie, pour ces modèles ciblés les paramètres clefs dans la modélisation des systèmes de traitement de déchets,
- de capitaliser un certain nombre de données de référence.

Concrètement, les différentes étapes de conception de ces modèles sont les suivantes. Il faut :

- lister pour chaque modèle l'ensemble des résultats qu'on peut en attendre sur la base des différentes demandes formulées dans le cadre des études déjà réalisées,
- identifier les paramètres clefs dans la modélisation des systèmes de traitement de déchets et l'ensemble minimal de paramètres nécessaires pour fournir ces résultats,
- écrire les équations mathématiques permettant de reproduire le fonctionnement des installations de traitement et développer le code associé en fortran,
- veiller à ce que ces nouveaux modèles soient cohérents et homogènes avec les autres en termes d'interface, de structure....

Trois modèles de niveau 1 ont ainsi été développés :

- modèle permettant de simuler la collecte des déchets,
- modèle de centre de stockage,
- modèle d'émissions gazeuses issues de la combustion de déchets ou de biogaz.

Ces modèles sont décrits dans le paragraphe 3.2.

Certains modèles existants ont également dû être modifiés pour plusieurs raisons (cf. paragraphe 3.1). Ces modifications ont été dictées par le fait que, d'une part, de sévères difficultés de mise en œuvre ont été détectées à l'usage et d'autre part, un certain nombre de modifications ont été nécessaires pour rendre possible l'automatisation de l'exploitation des résultats de simulation : les résultats de simulations (agrégation des résultats calculés par l'ensemble des modèles) doivent être présentés et mis en forme de manière cohérente et homogène pour que l'exploitation automatique des résultats soient réalisable.

2.2. ETABLISSEMENT D'UNE BASE DE DONNEES D'INSTALLATIONS DE TRAITEMENT

La deuxième action engagée dans le cadre du projet AWAST niveau 1 concerne l'élaboration d'une bibliothèque d'installations de traitement déjà calibrées (modèles ajustés pour qu'ils reproduisent le plus fidèlement possible le fonctionnement réel des installations).

Ce recueil d'installations de traitement a été élaboré à partir de toutes les études réalisées avec le simulateur AWAST de 2000 à 2006 dans le cadre des projets suivants :

- LANTIC & Mont de marsan (projets de recherche cofinancés par l'ADEME sur la modélisation des installations de compostage),
- AWAST (élaboration d'un outil d'aide à la décision pour la gestion globale des déchets ménagers, projet 5^{ème} PCRD),
- SYCTOM (analyse des performances énergétiques et environnementales du système de gestion des déchets de l'Agglomération Parisienne, simulation de scénarios d'évolution future afin d'alimenter un processus d'aide à la décision, projet de recherche en partenariat avec le SYCTOM de l'agglomération parisienne),
- GHB (aide à l'optimisation de la gestion des déchets de GHB, projet de service public),
- CG13 (aide à l'élaboration du PDEDMA des Bouches du Rhône, projet de recherche BRGM/ADEME/CG13),
- HOLIWAST (comparaison pluridisciplinaire de technologies de traitement des déchets, analyse multicritère des techniques les plus appropriées à mettre en œuvre dans un système intégré de gestion des déchets suivant les contextes socio-économique, projet 6^{ème} PCRD).

Toutes ces études de cas ont été exploitées au maximum. A partir des fichiers globaux utilisés pour la simulation des différentes études de cas qui peuvent regrouper toutes les opérations de traitement des déchets sur un secteur géographique donné (collecte, incinération, compostage...) des fichiers spécifiques, dédiés à une installation de traitement, ont été générés.

Au cours de ces études de cas, les installations de traitement de déchets ont été calibrées à l'aide de données de terrain : les modèles ont été ajustés pour qu'ils reproduisent le plus fidèlement possible le fonctionnement réel des installations. Ces installations dites « calibrées » peuvent être utilisées par défaut dans d'autres contextes en l'absence de données spécifiques de fonctionnement de l'installation étudiée. Pour simuler des installations de traitement pour lesquelles aucune information ni aucune donnée ne sont disponibles, il suffira alors de rechercher dans la base de données, d'importer à partir des simulateurs des installations calibrées toutes les informations nécessaires à la simulation de cette installation.

Type d'installations	Nb d'installations dans la base de données	
	Simulateurs d'installations calibrées	Simulateurs mis au point d'après des installations calibrées
Centre de tri	3	
Incinération	3	+1
MBT	2	
Compostage	7	+2
Méthanisation	1	
Tout type d'installation	16	+3

Illustration 4 - Descriptions des installations de traitement des déchets calibrées de la « base de données ».

Tous ces simulateurs d'installations calibrées sont stockés et organisés dans un répertoire partagé, accessible à tous. Un document regroupant un descriptif ainsi qu'un guide d'utilisation de cette base de données a également été élaboré et mis à disposition des utilisateurs d'AWAST.

2.3. ELABORATION D'UN OUTIL D'EXPLOITATION AUTOMATIQUE DES RESULTATS BRUTS DE SIMULATION

Les résultats bruts de simulations de l'outil AWAST qui s'expriment en tonnes, euros et kWh sont valorisés sous la forme d'indicateurs : indicateurs de valorisation matière, impacts environnementaux, etc. Les scénarios simulés grâce à l'outil AWAST sont comparés sur la base de ces indicateurs. Jusqu'à présent, ces indicateurs étaient estimés à partir des résultats bruts de simulation à l'aide de calculs dans Excel et de macros Excel développées spécifiquement pour chaque étude pour répondre aux demandes de nos clients. Cette méthode d'élaboration des indicateurs de résultats est fastidieuse, délicate et inappropriée à une utilisation systématique.

Les fichiers regroupant les résultats bruts du simulateur AWAST ne permettaient pas d'automatiser l'exploitation des résultats. Il a donc fallu dans un premier temps, créer de nouveaux fichiers de synthèse regroupant tous les résultats bruts de simulation pour rendre réalisable une exploitation automatique et systématique de ces résultats. Ces fichiers doivent centraliser les résultats de calculs (quantité et qualité des flux de matière en jeu - déchets traités, résidus de traitement, émissions atmosphérique - énergie consommée et produite, coûts engendrés) pour l'ensemble des installations utilisées pour le traitement de déchets (compostage, méthanisation, incinération, centre de stockage et le volet collecte en porte à porte et apport volontaire, collecte en déchetteries et transport).

Dans un deuxième temps, un outil d'exploitation des résultats a été créé pour améliorer la rapidité de la mise en œuvre du simulateur AWAST (l'outil et la méthode à suivre pour l'exploitation automatique des résultats sont décrits au paragraphe 4).

2.4. REDACTION DE DOCUMENTS D'AIDE A L'UTILISATION DE L'OUTIL AWAST

La quatrième action engagée dans le cadre du projet AWAST niveau 1 concerne la rédaction de documents d'aide à l'utilisation du simulateur AWAST :

« *Fiches modèle coût* »

Chaque modèle de coût a fait l'objet d'une fiche descriptive nommée « Fiche modèle coût » (description des modèles de coût en Annexe 1). Celle-ci permet rapidement, sans avoir à consulter le code fortran des modèles, de savoir exactement ce qui a été comptabilisé et pris en compte dans les modèles de coûts : par exemple, prise en compte des frais financiers liés aux emprunts bancaires, et/ou des coûts fonciers liés à l'achat du terrain, etc.). Ces informations sont indispensables pour toute discussion concernant l'évaluation économique réalisée à l'aide du simulateur.

De plus, ces fiches renseignent les utilisateurs du simulateur AWAST sur la localisation des paramètres des modèles de coût. En effet, ces paramètres utilisés pour le calcul des coûts de production peuvent être stockés dans plusieurs fichiers : soit dans un fichier texte nommé Message.txt, soit directement dans le fichier associé au simulateur (fichier avec une extension .up3) comme paramètres des modèles. Les ajustements des facteurs de coût pour les études de cas sont ainsi facilités puisque l'utilisateur peut connaître rapidement la localisation exacte des paramètres à modifier sans avoir à consulter le code fortran des modèles.

« *Fiches modèles* » des nouveaux modèles de niveau 1

De la même manière que pour les « fiches modèles coût » dédiées à l'évaluation économique des installations de traitement des déchets ménagers, les « fiches modèles » expliquent le fonctionnement des modèles pour les aspects modélisation de la transformation de la matière et de la production/consommation de l'énergie associée. Pour les nouveaux modèles de niveau 1 développés dans le cadre du projet AWAST niveau 1 (collecte, centre de stockage et émission), les « fiches modèles » ont été rédigées : elles explicitent le fonctionnement des modèles avec la liste des paramètres, leur pouvoir prédictif avec une description des résultats de calculs, la méthodologie de mise en œuvre de ces modèles, les hypothèses de calcul et fondements théoriques.

Autres documents

D'autres documents d'aide à l'utilisation d'AWAST ont été également rédigés et mis à disposition des utilisateurs d'AWAST. Il s'agit de :

- la description des modes de calcul des indicateurs à partir des résultats bruts de simulation,
- la description de la base de données d'installations calibrées et de son mode d'utilisation.

3. Développement de nouveaux modèles dits de niveau 1 et amélioration de la fonctionnalités des modèles existants

3.1. AMELIORATION DE LA FONCTIONNALITES DES MODELES EXISTANTS

Les modèles permettant de reproduire le fonctionnement des installations de traitement des déchets sont développés en fortran. Le développement de ces modèles est réalisé par l'équipe « filière » du brgm. Tous ces modèles sont regroupés dans une librairie appelée LIBWASTE. Cette librairie est intégrée à l'outil de simulation USIMPAC. A noter que les développements d'USIMPAC sont réalisés par CASPEO.

Aspect matière

Les modèles de traitement des déchets estiment la quantité et la qualité des résidus de traitement, les émissions gazeuses, etc. Les modèles de **méthanisation**, **d'incinération** et de **centre de stockage** ont dû être modifiés en raison de difficultés de mise en œuvre des modèles qui sont apparus lors des études précédentes réalisées avec l'outil AWAST. Leur fonctionnalité a été ainsi améliorée.

La modélisation de l'incinération a été en partie simplifiée. Deux modèles étaient nécessaires pour modéliser la combustion (séchage et four). De ce fait, les résultats de simulation devaient être modifiés à la main. Cela nécessitait du temps et était source d'erreurs d'interprétation. Ces deux modèles ont été regroupés en un seul. La fiche modèle « Incinération » a été mise à jour.

De plus, les données de consommations de carburant, d'émissions gazeuses issues du transport ont été mises à jour.

Aspect économique

Les modèles AWAST estiment également les coûts opératoires et les coûts d'investissement des installations de traitement des déchets. En vue du développement des nouveaux fichiers de synthèse des résultats nécessaires au fonctionnement de l'outil d'exploitation des résultats, il a été également nécessaire d'homogénéiser les rendus des calculs économiques des modèles.

Uniformité des modèles	Prise en compte des frais liés à l'achat de terrain (coûts fonciers)	Estimation des recettes (vente de produits, d'électricité ou de chaleur)	Dissociation des recettes et du coût de production ?	Hors Fiscalité (taxe, subvention, ...)	Estimation des frais financier	Prise en compte des frais généraux et/ou bénéfiques
Collecte	Non			Non	Oui	Non
Déchetterie	Pas d'information			Pas d'information	Non	Non
Transport				Non	Non	Non
Centre de transfert	Non			Pas d'information	Non	Non
Centre de tri	Non	Non		Non	Non	Non
Incinération	Non	Oui pour électricité Non pour chaleur	Oui	Non	Non	Non
Compostage	Non	Oui		Non	Non	Oui
Méthanisation	Non	Non		Non	Non	Non
Centre de stockage	Oui	Oui	Non	TGAP inclus	Non	Non

Illustration 5 - Analyse de l'évaluation économique des installations de traitement, état initial.

Les évaluations économiques réalisées par les modèles d'incinération, de compostage, de méthanisation et de centre de stockage ont été modifiées.

Chaque modèle de coût a fait l'objet d'une fiche descriptive. Cette fiche permet rapidement (sans avoir à consulter le code fortran des modèles) de savoir exactement ce qui a été comptabilisé et pris en compte dans les modèles de coûts (ces « fiches modèles coûts » sont consultables en Annexe 1).

Aspect énergie

Les modèles AWAST estiment également les diverses consommations et productions d'énergie issues des installations de traitement des déchets. Pour les mêmes raisons précédemment citées, il a été également nécessaire d'homogénéiser les rendus des bilans « énergie » des modèles.

3.2. ELABORATION DE NOUVEAUX MODELES DITS DE NIVEAU 1

3.2.1. Modèle de collecte

Un modèle de collecte développé sous Excel était déjà disponible. Cependant, ce modèle n'était pas simple d'utilisation. De plus, toute étude avec le simulateur AWAST nécessitait la mise en œuvre de ce modèle sous Excel, puis le transfert des résultats dans le simulateur AWAST.

Dans le cadre d'AWAST niveau 1, le modèle de collecte a donc été programmé en fortran et intégré à la bibliothèque de modèles dédiés aux traitements des déchets.

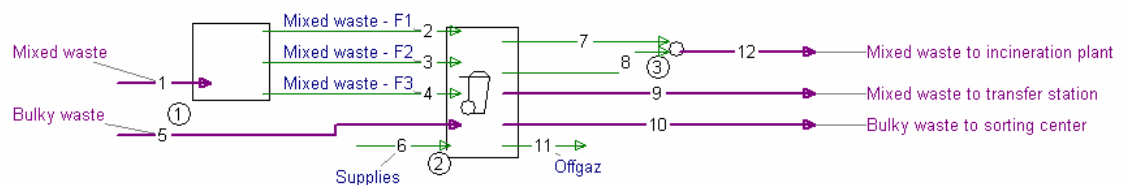


Illustration 6 - Représentation graphique dans AWAST de la collecte des déchets (« Icône » associée au modèle de collecte).

La modélisation de la collecte est basée sur les considérations suivantes :

Le nombre de véhicules de collecte requis pour la collecte d'un déchet particulier (ordures ménagères ou collecte sélective du papier par exemple) sur une zone donnée dépend du gisement de déchet (tonnage généré par an et par habitant), de la fréquence de collecte, de la capacité du véhicule (charge utile et volume de stockage) et de la densité des déchets. C'est une vision simple des moyens à mettre en œuvre pour évacuer le volume et la masse de déchets à collecter.

Par contre, d'autres facteurs sont également à considérer. Ce sont des contraintes de temps qui peuvent être à l'origine de la nécessité de mettre en œuvre des moyens supplémentaires. La collecte des déchets sur une zone doit pouvoir être réalisée dans une plage horaire adéquate déterminée par la durée du temps de travail légal des rippers ou déterminée par des horaires spécifiques définis par les collectivités pour limiter les désagréments pour les citoyens. Par exemple, des plages réservées de 3 heures pour la collecte peuvent nécessiter l'utilisation de 2 bennes de collecte collectant de manière simultanée des déchets ; ces véhicules n'effectuant chacun qu'un cycle chargement/déchargement de déchets. La collecte aurait pu être réalisée également par une seule benne réalisant deux cycles chargement de déchets / déchargement à l'installation de traitement.

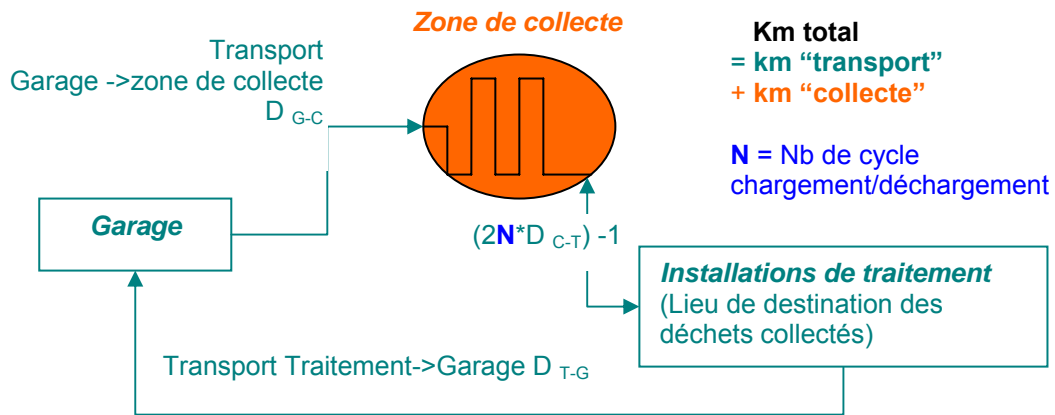
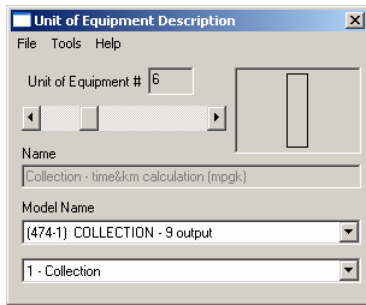


Illustration 7 - Parcours suivie par une véhicule de collecte.

Le temps nécessaire pour la collecte des déchets dépend de la vitesse des véhicules pendant les phases de collecte proprement dite (en porte à porte), des vitesses pendant le trajet vers la zone de collecte ou vers l'installation de traitement, lieu de destination de déchets et des distances à parcourir. Le paramètre clef de l'évaluation du temps nécessaire pour la collecte des déchets sur une zone est l'efficacité de la collecte exprimée en tonnes collectées par heure.

Le modèle de collecte permet d'estimer les moyens nécessaires pour la réalisation de la collecte (véhicules, conteneurs, personnels), les coûts associés, les kilomètres parcourus et les émissions gazeuses engendrées. Il permet de modéliser la collecte en porte à porte ou la collecte en apport volontaire.

La « fiche modèle » du modèle de collecte regroupe toutes les informations nécessaires à sa mise en œuvre : liste de paramètres à renseigner (consultable en Annexe 2), description des calculs effectués, valeurs par défaut...



Parameters of Equipment #6 - Collection - time&km calculation (mpgk) - COLLECTION - 9 output	
Parameters	Values
Definition of each output	Edit
Area description per input waste flows	Edit
Available technical means - Vehicles	Edit
Labour forces (full-time equivalent)	Edit
Waste collection per waste flows	Edit
Containers supplied per waste flows	Edit
Mean speed during the waste collection in itself (km/h)	10
Mean speed during transport (km/h)	30
Financial cost calculation	Edit
Adjustment parameters	Edit
Waste flow collected within the same vehicles	Edit

Illustration 8 - Interface utilisateur du modèle de collecte dans l'outil AWAST.

3.2.2. Modèle de décharge niveau 1

Ce modèle permet de modéliser le fonctionnement d'un centre de stockage et d'estimer la production de biogaz et les émissions gazeuses liées à la gestion de ce biogaz, la quantité de lixiviat collecté, les coûts engendrés et le bilan énergie (énergie produite grâce à la combustion du biogaz, le cas échéant, énergie consommée) et l'emprise au sol.

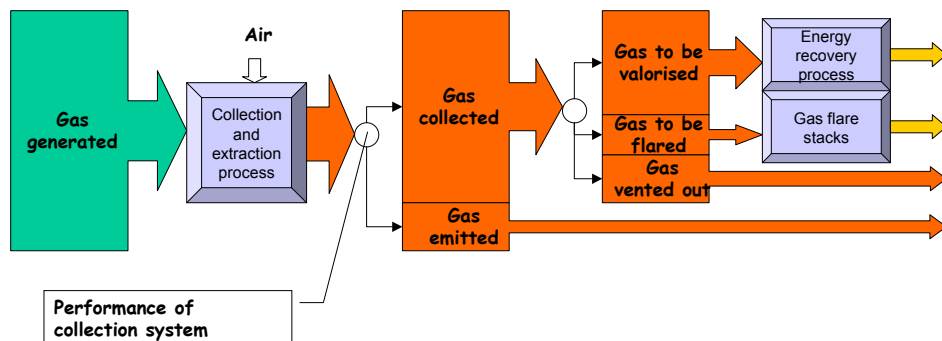


Illustration 9 - Gestion du biogaz généré dans les centres de stockage des déchets.

Ce modèle est simple d'utilisation puisque seules les informations suivantes sont nécessaires :

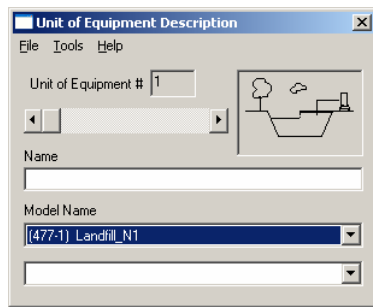
- quantité et composition des déchets enfouis,
- pluviométrie,
- dimensions du centre de stockage,
- types de couverture (choix dans une liste pré-définie),
- le cas échéant, type de valorisation du biogaz (moteur...).

Tous les autres paramètres sont renseignés par des valeurs par défaut. Toutefois si des informations sont disponibles, elles peuvent être utilisées pour affiner la modélisation et se rapprocher du fonctionnement réel du centre de stockage.

La modélisation se base principalement sur les travaux du GIEC (recommandations pour les inventaires nationaux)¹ pour les aspects biogaz et les travaux de Dominique Guyonnet publiés dans TSM² pour les aspects lixiviats. La fiche modèle du modèle de décharge niveau 1 décrit les paramètres, hypothèses et modes de calcul (voir Annexe 3).

¹ Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual, Volume 3, Chap.6 Waste.

² Interprétation des volumes d'effluents liquides collectés sur deux sites de stockage de déchets ménagers et assimilés, Dominique Guyonnet and al, TSM numéro 12, décembre 1996.



Parameters of Equipment #1 - - Landfill_N1	
Parameters	Values
Biogas generation	Edit
Methane collection efficiency	Edit
Biogas collected and recovered	Edit
Size and pluviometry information	Edit
Leachate collection	Edit
Energy	Edit
Costs	Edit
Land use	Edit
Hidden parameters	Edit

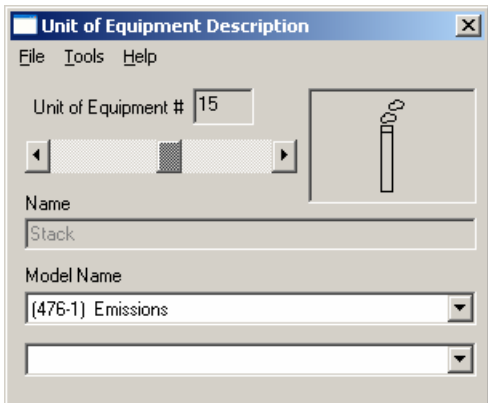
Illustration 10 - Interface utilisateur du modèle de centre de stockage niveau 1 dans l'outil AWAST.

3.2.3. Modèle d'émissions

Ce modèle permet de modéliser le fonctionnement des filtres qui limitent les émissions gazeuses de « polluants » (CO, NO_x, SO_x, poussière...) pour garantir le respect des normes d'émission.

Ce modèle estime la quantité de polluants contenues dans les fumées d'incinération, dans les fumées issues de la combustion du biogaz généré dans les centres de stockage ou généré dans les réacteurs de méthanisation, en se basant sur des normes d'émission définies en termes de concentration en mg/Nm³ à X% d'O₂ généralement sur gaz sec :

- Si le modèle d'émissions détecte que les quantités de polluants sont déjà estimées alors ce modèle teste si les valeurs limites d'émissions sont respectées. Si ce n'est pas le cas, le débit de polluants est abattu de la même façon que le ferait tout système de filtration.
- Si les quantités de polluants ne sont pas estimées alors le modèle estime les débits correspondants aux concentrations maximales fixées par les normes d'émission.



Parameters of Equipment #15 - Stack - Emissions	
Parameters	Values
Sets of limits	Edit
Reference conditions for limit values	Edit

Illustration 11 - Interface utilisateur du modèle d'émission dans l'outil AWAST.

4. Outil d'exploitation des résultats de simulation

4.1. METHODE D'EXPLOITATION DES RESULTATS DU SIMULATEUR AWAST, ETAT INITIAL

Fichiers de résultats générés par le simulateur AWAST, état initial

Initialement, quatre fichiers de résultats étaient générés par le simulateur AWAST :

- Le fichier *Etude_de_cas.glo* est un tableau de valeurs facilement exploitable dans Excel ; par contre les flux de matière ne sont identifiés que par un numéro et un nom. Aucune information ne permet de connaître l'origine de ces flux ni leurs destinations.
- Le fichier de résultat *Cost.inf* est un fichier texte qui regroupe des informations sur les coûts de production des installations. Ces installations sont identifiées par un numéro et un nom. Ce fichier n'est pas exploitable facilement sous Excel (les données ne sont pas sous forme de tableau).
- Le fichier *Power.inf* est un fichier texte qui regroupe des informations sur les consommations et productions d'énergie sous toute forme. Ce fichier n'est pas exploitable facilement sous Excel (les données ne sont pas sous forme de tableau).
- Le fichier *Conv.inf* est un fichier texte qui regroupe des informations supplémentaires sur les aspects matière, coûts et énergie. Ce fichier n'est pas exploitable facilement sous Excel (les données ne sont pas sous forme de tableau).

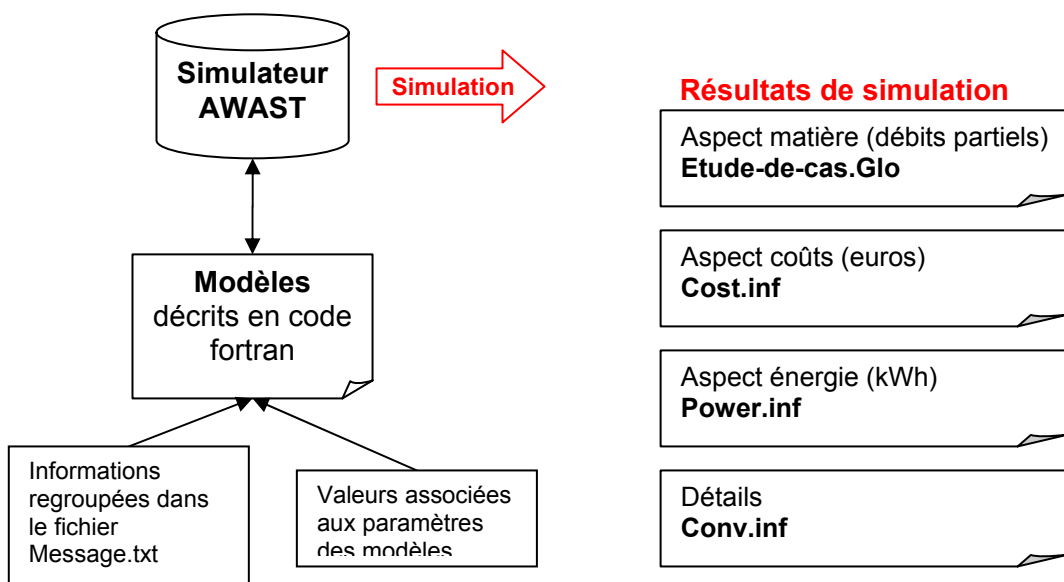


Illustration 12 - Fichiers de résultats générés par AWAST, état initial.

Exploitation des résultats, état initial

L'exploitation des résultats de simulation se faisait initialement sous Excel, aucune automatisation de l'exploitation des résultats n'était possible ce qui rendait ce travail long et fastidieux.

Pour répondre aux demandes des clients, les résultats de l'outil AWAST doivent être mis sous la forme d'indicateurs. Pour l'étude SYCTOM, par exemple, les indicateurs suivants ont été utilisés :

- Consommation d'énergie totale (en GJ),
- Taux de valorisation globale (%),
- Taux de recyclage global (%),
- Effet de serre (t eq.CO₂),
- Acidification de l'air (kg eq. H⁺),
- Déchets résiduels CI I (en t),
- Déchets résiduels CI II (en t),
- Métaux lourds (Hg + Cd) (g),
- Dioxines /Furanes (g),
- Kms transport par route (km).

Le calcul de ces indicateurs est basé sur des sommes qui regroupent selon les cas :

- des données sur les flux selon l'origine de ces flux ou leurs destinations,
- des données sur les installations selon leur type.

Le développement de nouvelles fonctionnalités du logiciel de simulation USIMPAC réalisé par CASPEO, avec notamment la possibilité d'utiliser des types de flux et des types d'installations de traitement, a permis de mettre au point une méthode et un outil d'exploitation des résultats permettant d'automatiser un certain nombre de tâches. Cet outil et cette méthode ne sont pas dédiés à un cas particulier.

4.2. DEVELOPPEMENTS REALISES POUR AMELIORER L'EXPLOITATION DES RESULTATS DE SIMULATION

Trois éléments ont été mis au point pour améliorer l'exploitation des résultats du simulateur :

- Une typologie des flux et des installations a été définie.
- Tous les codes fortran des modèles ont été modifiés pour que le simulateur AWAST génère automatiquement, en plus des fichiers de résultats existants, deux fichiers de synthèse de résultats, fichiers sous forme de tableaux donc facilement exploitables sous excel, qui synthétisent les aspects « coûts » (*Costsynthesis.aw*) et « énergie » (*Costsynthesis.aw*).
- Un fichier Excel nommé *AWAST_Results_UP3.xls* qui permet d'exploiter automatiquement les résultats de simulations sous réserve du respect des typologies pré-définies (typologie des flux et des installations).

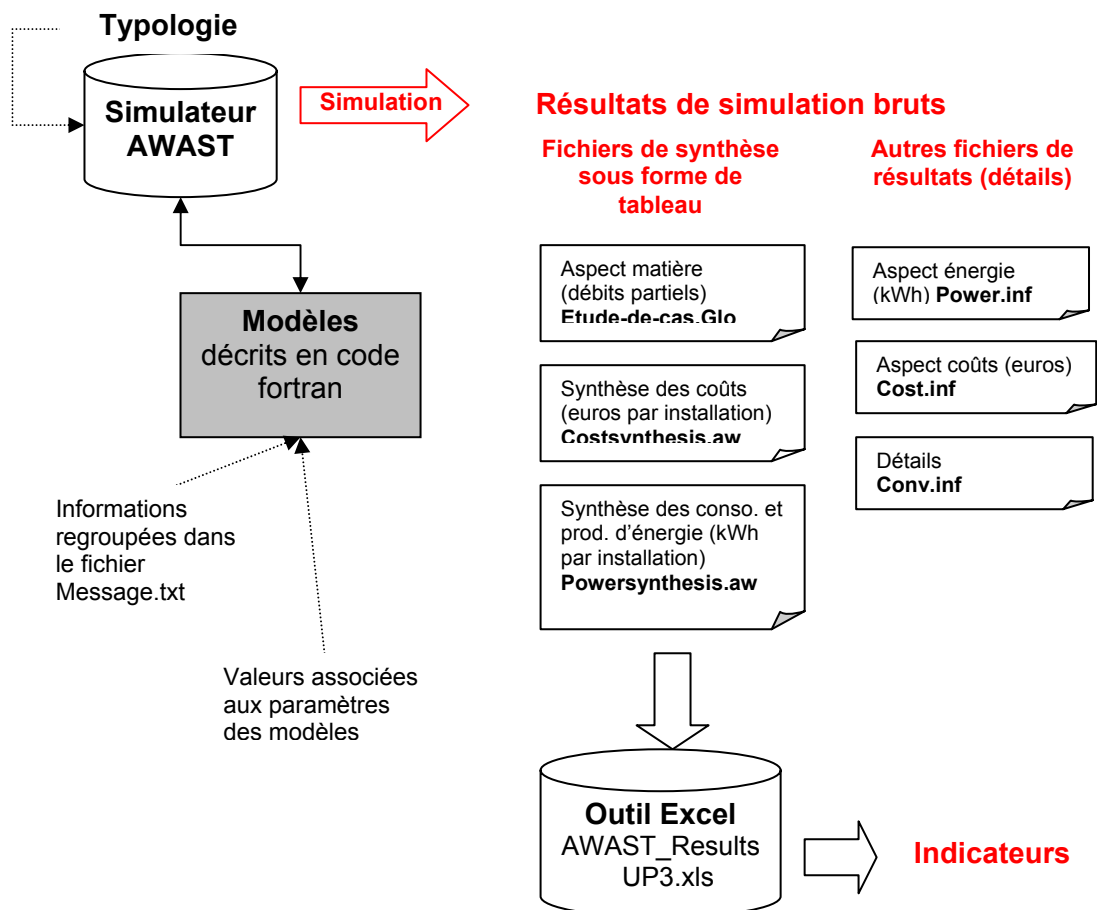


Illustration 13 - Fichiers de résultats générés par AWAST, nouvelle version.

L'outil Excel nommé « AWAST_Results_UP3.xls » (cf. Illustration 14) utilise des tableaux croisés dynamiques qui peuvent être mis à jour pour exploiter automatiquement les résultats de simulations. Cet outil permet de faire une première synthèse des résultats et notamment de faire automatiquement le bilan du recyclage et de la valorisation (les fonctionnalités de cet outil sont décrites dans Illustration 15 ci-dessous).

Matter balance
Bilan du recyclage et de la valorisation : Destination finale des déchets ménagers et assimilés après l'ensemble des traitements, en % des déchets primaires
Basé sur la quantité de déchets primaires traités (déchets du bassin versant + import - export)

Legend

5	Nom du flux (Stream definition)
6	n°flux (#)
7	Equipment type
8	Stream type

Methods

- refresh table
- verify the respect of the following criteria

Input equipment table
waste of type > 4 (4 inclus) hors import (type 34 à 61)
to equipment : treatment plant (MBT, incineration, recycling... hors civic amenity site, transfer station) (equipment of type 5,6,7,8,3,10,11)

Output equipment table
waste of type 4 or 5 or 90 or 92
to equipment : treatment plant (MBT, incineration, recycling... hors civic amenity site, transfer station) (equipment of type 5,6,7,8,3,10,11)

3. check if H16-H17, if not check undefined stream

Input equipment
Tableau (Données : Qwaste(t/year), Lignes : To equipment type, Colonnes : Stream type)

Q phase Waste AWAST (t/y)	Recyclable	Refuse	Mixed waste	Garden waste	Compost	Bottom ashes	Blowaste	Total
Stream type	4	5	6	27	90	92	7	
To equipment type								
Incineration plant	5		2216					2216
Landfill	10	848	325					1172
Recycling	11	1305			285	493		2083
Composting plant	6			905			449	1354
Total	1305	848	2541	905	285	493	449	6826

Results Info: sans maturation des mâchefers

Bilan du recyclage et de la valorisation

Recyclage matière	2 083	285	493	1 305	25.7%
Recyclage organique		554		554	10.9%
Valorisation énergétique	1 558			1 558	30.7%
Utilisation des mâchefers	493			493	9.7%
Elimination	1 172			1 172	23.1%
somme	5 083			5 083	100%

Taux de recyclage, de valorisation et d'élimination
Recyclage global 36.6% (Recyclage matière et organique)
Valorisation globale 76.9% (Recyclage global, valorisation énergétique et utilisation des mâchefers)
Elimination 23.1% (Gisement - valorisation globale)

verif : Gisement (déchets primaires traités) en tonnes

Illustration 14 - Outil d'exploitation des résultats.

Feuille du fichier Excel	Utilisation et fonctionnalité
« undefined stream »	Liste des flux non définis en termes de type
« waste generated »	Estimation des déchets générés par type de déchets
« déchets secondaires »	Estimation de la quantité de déchets secondaires générés par type de déchets
« InputOutput equipement »	Bilan matière (bilan du recyclage et de la valorisation selon l'ADEME)
« offgas »	Emissions gazeuses en tonnes par type d'installations (impact de la collecte, du transport, des installations d'incinération...)
...	...

Illustration 15 - Utilisation et fonctionnalité du fichier d'exploitation des résultats.

Cet outil permettant l'exploitation automatique des résultats du simulateur AWAST doit être utilisé selon un protocole déterminé et impose aux utilisateurs du simulateur AWAST d'utiliser une typologie des flux (description partielle dans l'illustration 16 et liste exhaustive consultable en Annexe 4) et une typologie des installations de traitement (cf. Illustration 17) spécialement établi à cet effet.

N° Type	Type de flux de matière
1	Off-gas
2	Air
3	Supplies
4	Recyclable
5	Refuse
6	Mixed waste
7	Biowaste
8	Paper
...	...
34	Imported Mixed waste
...	...
62	Exported Mixed waste
...	...
90	Compost
91	Leachate
92	Bottom ashes

Illustration 16 - Typologie des flux de matière.

N°	Type	Type des installations de traitement des déchets
1		Collection
2		Civic amenity site
3		Transport
4		Transfer station
5		Incineration plant
6		Composting plant
7		Mechanical biological treatment plant
8		Anaerobic digestion plant
9		Sorting plant
10		Landfill
11		Recycling
12		No use

Illustration 17 - Typologie des installations de traitement des déchets.

La méthode d'exploitation des résultats est décrite en annexe (Annexe 5).

5. Conclusion

Les développements et modifications apportées au simulateur AWAST ont déjà été utilisés pour le projet HOLIWAST (6^{ème} PCRD). On a pu constater notamment que l'outil d'exploitation des résultats permettait un gain de temps important. Les modèles de niveau 1, hormis le modèle de collecte, n'ont pas encore été utilisés puisque pour ce projet une modélisation fine était nécessaire. Par contre, la base de données d'installations calibrées a été largement utilisée pour pallier aux manques de données de terrain nécessaires à la mise en œuvre des modèles. Quant aux documents d'aide à l'utilisation d'AWAST, ils ont permis de diffuser le savoir faire des programmeurs des modèles aux utilisateurs d'AWAST. Des progrès incontestables ont été réalisés.

Par contre, des améliorations de l'outil pourraient encore être envisagées. Cela concerne :

- le modèle d'incinération,
- les fonctionnalités de l'outil d'exploitation des résultats qui pourraient encore être étendues avec, par exemple, le calcul intégré de l'effet de serre, l'acidification de l'air en lien direct avec les quantités de CO₂, CH₄ émis... répertoriées et synthétisées dans ce fichier de résultats.

A terme, il pourrait également être envisagé d'intégrer au simulateur AWAST des modules spécifiques de calculs de ces indicateurs.

Annexe 1

Modèles de coûts du simulateur AWAST

Les modèles des différentes installations de traitement des déchets développés dans le simulateur AWAST contiennent des « modèles de coûts » qui fournissent une estimation des **coûts d'investissement** (liés à la capacité) et des **coûts opératoires** (liés aux tonnages traités). Ces modèles de coûts ont été élaborés à partir de données bibliographiques et de l'analyse détaillée de réponses à des questionnaires. L'ensemble des paramètres de ces modèles a été obtenu par calcul statistique. Ces paramètres peuvent bien entendu être ajustés au fur et à mesure de l'acquisition de nouvelles données, mais également pour représenter au plus près un cas particulier. A chaque fois, le modèle permet l'estimation des coûts de production bruts, des coûts d'investissement et des coûts opératoires (coûts hors taxes, hors subventions, aides ou soutiens financiers).

La typologie prise en compte est la suivante :

Amortissement	Coûts d'investissement divisés par la durée de vie de l'installation
Coûts de production bruts	Amortissement et coûts opératoires
Coûts de production nets	Coûts de production bruts – recettes Recettes de valorisation des sous-produits ou recettes énergétiques (vente d'électricité et/ou chaleur pour le chauffage urbain)
Coûts techniques hors frais financiers	Coûts de production nets + coûts de gestion des résidus

On trouvera dans ce document les paramètres pris en compte dans les modèles de coûts pour chaque opération de traitement, à savoir :

1. Centres de tri
2. Installations de compostage
3. Centres de transfert
4. Déchetteries
5. Centres de Stockage
6. Collectes
7. Installation de méthanisation

1. CENTRES DE TRI

1.1. Champs d'application du modèle

Résultats du modèle	Inclus	Exclus
Coûts d'investissement <i>Liés à la capacité</i> (Hors taxes)	Matériels d'équipement de tri Autres coûts directs : bâtiments, voirie, canalisation, équipement électrique, etc. Coûts indirects : Ingénierie, etc.	
Coûts opératoires <i>Liés aux tonnages traités</i> (Hors taxes)	Coûts directs : Coûts de l'électricité et des autres utilités, fournitures et coûts des ressources humaines, salaires des employés, des managers et dirigeants et charges patronales). Gros Entretien Renouvellement : Entretien préventif et curatif et remplacement à l'identique des équipements en mauvais état Coûts indirects : Assurance et les autres charges engendrées par l'activité économique.	
Frais financiers liés aux emprunts bancaires		Frais financiers liés aux emprunts bancaires
Autres		Coûts fonciers Achat du terrain

1.2. Description du modèle de coûts « Centres de tri »

La méthodologie de calcul des coûts de production des centres de tri repose sur une classification basée sur la capacité nominale (CN), le nombre de lignes de tri et le degré de mécanisation du centre. Elle utilise des observations issues de données de l'ADEME et du CEMAGREF. La classification suivante est utilisée, la capacité de traitement représentant classiquement le critère principal.

Type	Capacité nominale du centre (t/an)	Niveau de mécanisation ³	Nombre de chaînes de tri
1	< 3000	1	1
2	3000 < CN < 10 000	2, 3 ou 4	1 ou 2
3	10 000 < CN < 23 000	2, 3	1 ou 2

³ Le niveau 1 correspond à un tri exclusivement manuel, le niveau 2 à un procédé avec un overband (seul équipement de tri), le niveau 3 à un procédé comprenant un overband et un autre équipement pour le pré tri des déchets au moins, le niveau 4 au niveau le plus élevé de mécanisation (un ou plusieurs équipement de tri mécanisé)

Type	Capacité nominale du centre (t/an)	Niveau de mécanisation ³	Nombre de chaînes de tri
3	23 000 < CN < 60 000	2, 3	1 ou 2
4	23 000 < CN < 60 000	4	2
4	> 60 000	1, 2, 3 ou 4	1 chaîne ou plus

a) Coûts d'investissement CI

Sur la base de cette classification, le coût d'investissement (CI) est calculé en supposant qu'il est proportionnel à l'investissement en matériels d'équipement de tri (IEC). Si celui-ci n'est pas connu, il est évalué en fonction de la capacité du centre. Ainsi, on obtient :

$$CI = k.IEC.CN$$

Avec

Type	k	IEC (euros/t)
1	1.7	175
2	3.4	105
3	1.8	120
4	2.1	65

b) Coûts opératoires Co

Les coûts opératoires (Co) se décomposent de la façon suivante :

$$Co = \text{Coûts Directs} + \text{Gros Entretien Renouvellement} + \text{Coût Indirects}$$

Coûts directs (DC) : ils représentent les dépenses directement liées au processus de fabrication. Ce poste est donc fonction du taux de production. Il inclut les coûts de l'électricité et des autres utilités, les fournitures et le coût des ressources humaines (salaires des employés, des managers et dirigeants et les charges patronales). Le coût des ressources humaines est la variable qui sera estimée directement.

Gros Entretien Renouvellement (GER) : en général, les équipements doivent permettre un fonctionnement en continu. Le maintien de cette capacité est le résultat i) d'un entretien préventif et curatif ii) du remplacement à l'identique des équipements en mauvais état.

Coûts indirects (IC) : ce poste inclut l'assurance et les autres charges engendrées par l'activité économique. Le montant de ce coût dépend du volume des autres dépenses. Il peut être exprimé comme un pourcentage du coût direct et du GER.

Dans le modèle de centre de tri, deux méthodes sont utilisées pour calculer les coûts opératoires. Le choix de l'une ou l'autre des méthodes dépend des informations dont l'utilisateur dispose.

Méthode 1

$$Co = DC + GER + IC$$

Les coûts indirects peuvent être considérés comme proportionnels à la somme des coûts direct et du GER. Selon Eco-Emballages, IC représente entre 10 et 20% des coûts d'exploitation. Ainsi,

$$Co = \lambda.(DC + GER)$$

Les coûts directs sont largement déterminés par le coût en ressources humaines. On suppose donc que DC est proportionnel au coût en ressources humaines, noté H, incluant les salaires de tous les employés de production, les administratifs, les charges salariales et les autres frais de gestion du personnel.

$$DC = a.H$$

Le facteur de proportionnalité « a » intègre les autres coûts directs : électricité, fournitures, etc.

Le GER est calculé comme un pourcentage de l'investissement en équipements de procédé (IEC) et de génie civil ($I_{\text{génie}}$). Pour ce calcul, trois équations peuvent être utilisées, en fonction des éléments connus :

- Lorsqu'on connaît précisément les montants d'investissement en équipements de procédé et en génie civil :

$$GER = b_1.I_{\text{génie}} + b_2.IEC$$

- Dans le cas où seul l'investissement en équipements de procédé est connu :

$$GER = b_3.IEC$$

- Enfin, si seul le montant de l'investissement en capital fixe est connu :

$$GER = b_4.CI$$

Méthode 2

Une méthode plus simple consiste à ne conserver que le coût en ressources humaines comme déterminant du coût d'exploitation global. On suppose donc un rapport de proportionnalité entre le coût en ressources humaines H et le coût d'exploitation Co .

$$Co = h.H$$

Le tableau suivant regroupe l'ensemble des valeurs des coefficients λ , a, h, b_1 , b_2 , b_3 et b_4 . Ces valeurs moyennes « par défaut », peuvent être modifiées afin d'être adaptées à un centre de tri donné.

Type	λ	a	h	b_1	b_2	b_3	b_4
1	1,4	1,2	1,7	2 %	3,2 %	4,4 %	2,6 %
2	1,1	1,1	1,2	3 %	5 %	8 %	3,2 %
3	1,2	1,2	1,4	2 %	4 %	4,9 %	2,7 %
4	1,5	1,4	2	2,5 %	5,3 %	7,8 %	3,7 %

Le coût en ressources humaines H est directement liés aux nombres d'employés (estimés par le modèle si le nombre d'employés est inconnu).

Si le nombre d'employés est inconnu, le modèle utilise les données suivantes (nombre d'employés selon le type de centre et par type d'emploi) :

Nombre d'employés selon le type de centre et par type d'emploi						
Type de centre	Trieurs S (nb. /1000t.an)	Conducteur d'engin D (nb.)	Agent de maintenance M (nb.)	Chef d'équipe F (nb.)	Administratif A (nb.)	Directeur E (nb.)
1	10	1	0	0	1	1
2	5	2	0	0	1	1
3	2	3	1	1	1	1
4	1	6	2	3	2	1

On attribue ensuite un salaire à chacun de ces emplois sur la base d'une grille à 5 niveaux (cf. tableau suivant). Cette grille des salaires entièrement modifiable est adaptable au cas étudié.

	Trieurs S	Conducteur d'engin D	Agent de maintenance M	Chef d'équipe F	Administratif A	Directeur E
Salaire (€/an)	18 800	18 800	18 800	26 870	20 000	49 400

c) Coûts de production Cp

Les coûts de production bruts ($C_{p\text{bruts}}$) représentant la somme « amortissement + coûts opératoires » sont calculés de la manière suivante :

$$C_{p\text{bruts}} = C/d + C_o$$

La durée de vie (d) d'une installation de tri est estimée à 15 ans.

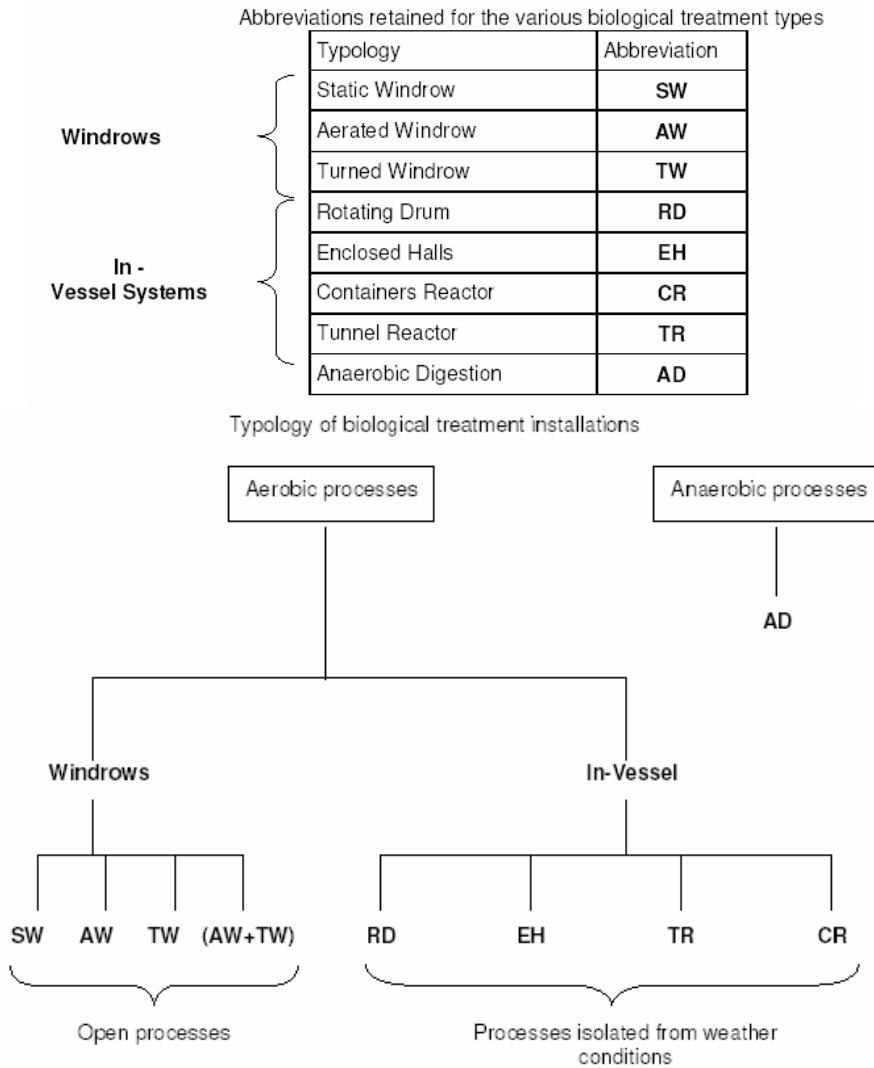
2. INSTALLATIONS DE COMPOSTAGE

2.1. Champs d'application du modèle

Résultats du modèle	Inclus	Exclus
Coûts d'investissement <i>Liés à la capacité</i> (Hors taxes)		
Coûts opératoires <i>Liés aux tonnages traités</i> (Hors taxes)	Coûts directs Masse salariale, consommation d'électricité, fuel et eau Maintenance et remplacement de matériels usagés Coûts indirects Contrôles et analyses, assurances, abonnement (électricité, eau...), consommables divers, frais d'habillement, entretien des bâtiments, outils, fournitures, téléphone.	
Recettes	Recettes liées à la vente de compost	
Frais financiers liés aux emprunts bancaires		Frais financiers liés aux emprunts bancaires

2.2. Description du modèle de coûts « Unités de compostage »

La typologie des installations utilisée dans le modèle de coûts est la suivante :



a) Coûts d'investissement CI

L'investissement est évalué comme suit :

$$CI = k \cdot IEC$$

Type d'installation	k	IEC
TW	2.5	IEC = 33,25 . CN + 191971
RD	1.8	IEC = 195,51 . CN ^{0,9053}
EH	2.2	IEC = 94,013 . CN + 2000000

Avec (rappels) :

IEC : l'investissement en matériels,

CN : la capacité nominale de l'installation.

b) Coûts opératoires Co

Selon le type d'installation, les postes de coûts ont le poids suivant :

Types	% Labour	% Energy	% Maintenance	% Others
SW	55	28	10	34
TW	43	21	24	12
RD	33	17	45	5
EH	43	20	27	10
TR	37	16	47	16

Les coûts opératoires se répartissent de la manière suivante :

- les **coûts directs (DC)** liés à la consommation d'électricité, de fuel et d'eau et à la masse salariale,
- les **frais liés à la maintenance** et au remplacement à l'identique de pièces usagées (M),
- les **coûts indirects (IC)**, liés aux assurances et autres charges générées par l'activité.

$$Co = \lambda \cdot [DC + M + IC] \text{ Avec : } DC = L + \beta E$$

- L : masse salariale,
 E : quantité d'électricité et de fuel consommée,
 β : facteur de coût intégrant la consommation d'eau,
 λ : les bénéfices et frais généraux,

Les frais fixes sont représentés par $L + IC$; les frais proportionnels par βE .

Masse salariale (L) :

$$L = Q/10000 [N_{\text{tec}} W_{\text{tech}} + N_{\text{ad}} \cdot W_{\text{ad}}]$$

- Q : quantité de déchets traitée en tonnes par an,
 N_{tec} : nombre d'employés « techniques » pour 10 000 tonnes de déchets traités,
 N_{ad} : nombre d'employés « administratifs » pour 10 000 tonnes de déchets traités,
 W_{tech} : salaires annuels, taxes incluses,
 W_{ad} : salaires annuels, taxes incluses.

Les valeurs de référence pour ces paramètres sont :

Type d'installation	N_{tec}	N_{ad}	W_{tech} (€/an)	W_{ad} (€/an)
TW	2.6	0.5	30 000	35 000
RD	2.2	0.3		
EH	4.1	1		

Consommation énergétique (βE) :

L'électricité et le fuel (carburant des équipements mobiles) constituent la plus grosse partie des dépenses énergétiques des installations de compostage. La consommation d'eau est le troisième poste de coût.

$$\beta E = \beta \cdot (e_{elec} \cdot B_{elec} + e_f \cdot B_f) \cdot Q$$

- e_{elec} : prix d'achat du kWh électrique (0,056 euros/kWh)
- B_{elec} : consommation d'électricité (en kWh par tonne de déchets traités),
- e_f : prix d'achat du fuel (0,60 €/l),
- B_f : consommation de fuel (l par tonne de déchets traités),

Type d'installation	B_{elec} (kWh/t)	B_f (l/t)	β
TW	4.0	3.4	1.10
RD	20.0	1.2	1.06
EH	41.0	1.9	1.33

Frais de maintenance et de remplacement (M) :

La maintenance affecte essentiellement les équipements et le génie civil (bâtiment...). En pratique, la maintenance est calculée en pourcentage de l'investissement en équipement (IEC) et en génie civil ($I_{génie}$) :

$$M = b_1 \cdot I_{génie} + b_2 \cdot IEC \text{ Et } I_{génie} = (k-1) \cdot IEC$$

$$\text{d'où, } M = [b_1 \cdot (k-1) + b_2] \cdot IEC$$

Type d'installation	b_1 (%)	b_2 (%)
TW	2	5
RD	1	3
EH	1	5

Coûts indirects (IC) :

Les coûts indirects incluent les frais liés aux contrôles et analyses, assurances, abonnement (électricité, eau...), consommables divers, frais d'habillement, entretien des bâtiments, outils, fournitures, téléphone. Ils peuvent s'exprimer en pourcentage du coût d'investissement :

$$IC = N_u \cdot CI$$

Type d'installation	N_u (%)
TW	1.5
RD	1.0
EH	1.0

Bénéfices et frais généraux (λ) :

La valeur de λ varie en fonction du mode de gestion de l'installation adopté par la collectivité locale :

- Soit la collectivité locale prend en charge les coûts d'investissement nécessaires à la construction de l'installation et son exploitation. Les bénéfices et les frais généraux sont alors égaux à zéro : $\lambda = 1$
- Soit la collectivité locale prend en charge uniquement les coûts d'investissement et laisse l'exploitation à une compagnie privée. λ est seulement appliqué aux coûts opératoires : $\lambda = 1,20$
- Soit la collectivité locale laisse la construction et l'exploitation de l'installation à une compagnie privée. Le coefficient λ est appliqué aux coûts de production de l'installation de compostage : $\lambda = 1,20$

Recettes (Sr) :

La déduction des recettes permet de calculer les coûts d'exploitation nets.

$$Sr = Q_{\text{compost}} \cdot C_{\text{compost}}$$

C_{compost} : prix de vente du compost (€ / t) (valeur de référence : 15€/t)
 Q_{compost} : quantité de compost produit (t/an) calculée par le simulateur

c) Coûts de production Cp

Les coûts de production bruts sont obtenus en divisant l'investissement sur la durée de vie de l'installation (d) et en y ajoutant les coûts opératoires bruts.

$$Cp_{\text{bruts}} = CI/d + Co$$

Les coûts de production nets sont obtenus en divisant l'investissement sur la durée de vie de l'installation (d) et en y ajoutant les coûts opératoires nets (coûts opératoires bruts - recettes)

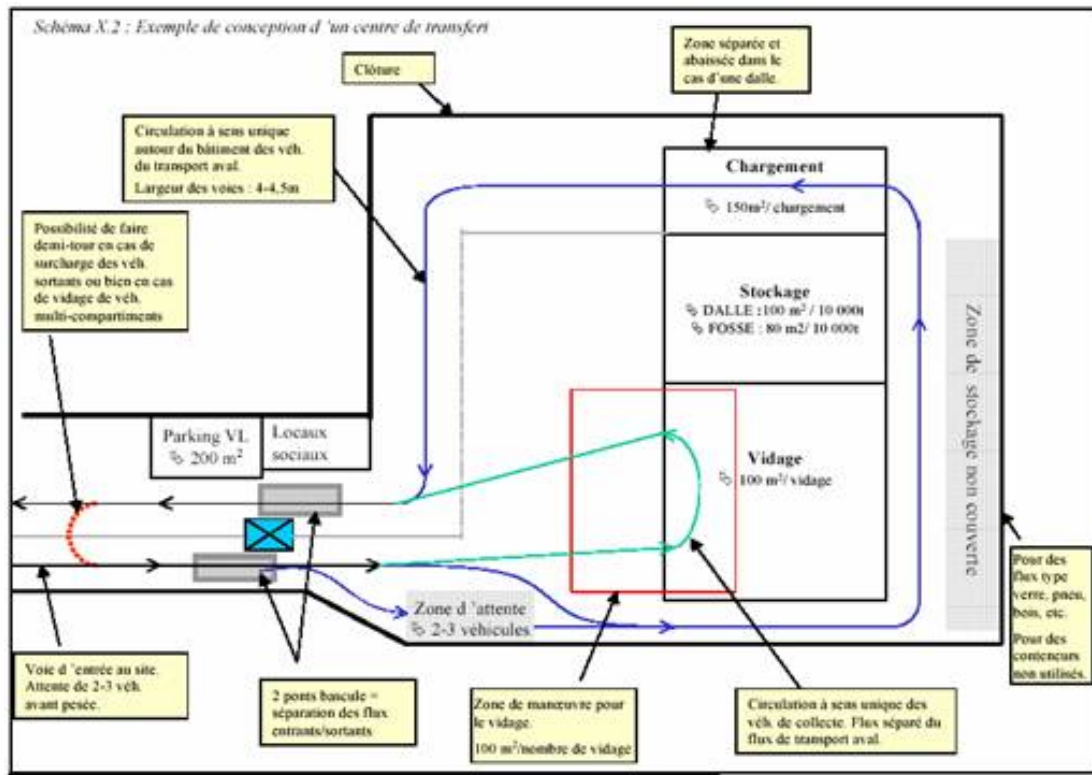
$$Cp_{\text{nets}} = CI/d + Co - Sr$$

La durée de vie d d'une installation est estimée à 20 ans.

3. CENTRES DE TRANSFERT**3.1. Champs d'application du modèle**

Résultats du modèle	Inclus	Exclus
Coûts d'investissement <i>Liés à la capacité</i> (Hors taxes)	2 ponts à bascule, Zone de stationnement/attente/débâchage, Zone couverte pour le vidage, stockage, chargement, Zone de circulation, Locaux sociaux	
Coûts opératoires <i>Liés aux tonnages traités</i> (Hors taxes)	Maintenance et remplacement d'équipements usagés Masse salariale ⁴ Frais d'exploitation (électricité ...), frais de gestion du site, taxe et charges	Les coûts de transport amont et aval ne sont pas pris en compte.
Coûts fonciers (achat du terrain)		Exclus
Frais financiers liés aux emprunts bancaires		Exclus

⁴ la masse salariale (1 personne+1 personne administrative à mi-temps pour une capacité de 20 000 t) est supposée varier par paliers avec le tonnage



Exemple de conception d'un centre de transfert (source : ADEME)

3.2. Méthode d'élaboration du modèle de coûts « Centres de transfert »

L'Ademe a estimé les coûts associés à un centre de transfert de 20 000 t/an et extrapolé ces données pour des centres allant de 10 000 à 100 000 t. Ces coûts correspondent à des coûts moyens quel que soit le type de centre considéré. Ce sont ces données qui ont été utilisées pour élaborer un modèle par régression.

NB : Une typologie des centres de transfert peut être définie de la manière suivante :

- transfert sans reprise - déversement gravitaire
- transfert avec reprise - transfert par déversement sur une dalle
- transfert avec reprise - transfert par déversement dans une fosse

En moyenne, un centre de transfert reçoit 20 000 t de déchets par an, mais plus de la moitié des sites reçoivent des tonnages annuels inférieurs à 10 000 t/an.

3.3. Description du modèle de coûts « Centres de transfert »

La partie des frais fixes (voiries, locaux sociaux ...) représente environ 20% des coûts d'investissement. Les frais d'amortissement représentent 1/3 des coûts environ.

a) Coûts d'investissement CI

L'investissement est évalué à partir de la relation suivante :

$$CI = 1000.[\alpha IC.CN + \beta IC]$$

CN : capacité nominale de l'installation (t/an).
 αIC : 0.0105
 βIC : 944.670

b) Coûts opératoires Co

$$Co = 1000.Q.[\alpha OC.Q^{(\beta OC)}]$$

αOC : 9409.295
 βOC : 0.632
 Q : quantité de déchets traités par an (t/an)

c) Coût de production Cp

Les coûts de production bruts sont obtenus en divisant l'investissement sur la durée de vie de l'installation (d) et en y ajoutant les coûts opératoires bruts.

$$Cp_{bruts} = CI/d + Co$$

La durée de vie (d) d'une installation est estimée à 15 ans.

4. DECHETTERIES

4.1. Champs d'application du modèle

Résultats du modèle	Inclus	Exclus
Coûts d'investissement liés à la capacité (Hors taxes)	Inclus	
Coûts opératoires liés aux tonnages traités (Hors taxes)	Coût d'enlèvement des déchets (transport et rotation des bennes) Coût moyens de traitement et stockage Frais de personnel Frais divers (consommables, assurance, taxe professionnelle) Frais liés à la communication	
Frais financiers liés aux emprunts bancaires		Exclus

4.2. Description du modèle de coûts « Déchetteries »

a) Coûts d'investissement CI

L'investissement est évalué à partir de la relation suivante :

$$CI = A_{mortalissement} \cdot NB_{HAB} \cdot d$$

$A_{mortalissement}$: Amortissement en € par habitant par an
 NB_{HAB} : Population de référence à 10 min de la déchetterie
 d : Durée de vie de l'installation (valeur de référence : 15 ans)

Population « 10 minutes »	$A_{\text{mortissement}}$ (€/hab/an)
< 10000 hab.	3.45
de 10 à 40 000 hab.	1.55
> 40 000 hab.	0.65

b) Coûts opératoires C_o

$$C_o = O_{\text{opérateur}} \cdot NB_{\text{HAB}}$$

$O_{\text{opérateur}}$: Coût opératoire en € par habitant par an

Population « 10 minutes »	$O_{\text{opérateur}}$ (€/hab/an)
< 10000 hab.	12.15
de 10 à 40 000 hab.	8.40
> 40 000 hab.	5.00

c) Coûts de production C_p

Les coûts de production bruts sont obtenus en divisant l'investissement sur la durée de vie de l'installation (d) et en y ajoutant les coûts opératoires bruts.

$$C_{p\text{bruts}} = CI/d + C_o$$

La durée de vie (d) d'une installation est estimée à 15 ans.

5. CENTRES DE STOCKAGE

5.1. Champs d'application du modèle

Résultats du modèle	Inclus	Exclus
Coûts d'investissement liés à la capacité (Hors taxes)	Centre de stockage : Ingénierie, achat du terrain, équipement, routes, génie civil, Lixiviats : installations de traitement, Biogaz : installations de traitement	Équipement de prétraitement avant enfouissement (exemple : mise en balles)
Coûts opératoires liés aux tonnages traités (Hors taxes)	Centre de stockage : Aménagement du site (aménagement des casiers et couverture en fin d'exploitation), gestion du site, masse salariale, monitoring, Lixiviats : Système de collecte, fonctionnement, maintenance et analyses, Biogaz : Système de collecte, fonctionnement, maintenance et analyses, TGAP	
Coûts de fermeture et de suivi du centre de stockage	Centre de stockage : Revégétalisation, stabilité des pentes, Lixiviats : Maintenance et monitoring, analyses, Biogaz : Maintenance et monitoring, analyses	
Recettes	Recettes liées à l'électricité produite	
Frais financiers		Frais financiers liés aux emprunts bancaires
Autres		Coûts externes (Acceptabilité sociale, irréversibilité, etc)

5.2. Description du modèle de coûts « Centres de stockage »

La surface totale du site St est décomposée de la manière suivante :

- So surface utile occupée par les casiers (estimée à partir du nombre de casiers calculé par le modèle, la largeur d'un casier (valeur de référence : 25 m), la longueur d'un casier⁵ et de la hauteur de stockage (valeur de référence : 7 m)
- Sr surface des routes : $Sr \approx 0,1 \cdot So$
- Sa surface occupée par les bâtiments et équipements annexes⁶ $Sa \approx 0,05 So$
- Si surface occupée par les installations de traitement des lixiviats $Si \approx 0,015 So$
- Sb zone non constructible (200 m autour du centre de stockage)

$$Sb = 0,82 So + 34,6$$

La surface totale peut être évaluée de la manière suivante :

$$St = So + Sr + Sa + Si + Sb \text{ où } St = 1,985 So + 34,6$$

La longueur des routes Lr est estimée de la manière suivante :

$$Lr = Sr / \text{largeur des routes (valeur de référence : 8 m)}$$

5.3. Coûts liés au centre de stockage et à sa gestion (hors traitement des lixiviats et biogaz)

a) Coûts d'investissement Cc

	Symbole	Unité	Valeur	Se réfère à	Coûts totaux
Achat du terrain	Pt	€/ha	12 500	St	Pt * St
Préparation du site	Pa	€/ha	10 000	So	Pa * So
Constructions & installations	Kb	€	Pour plus de 100kt de déchets enfouis par an 1 500 000 Pour moins de 100kt de déchets enfouis par an 14 000 Q + 33 000		Kb + Ke
Equipements	Ke				
Routes	Pr	€/m	250	Lr	Pr * Lr
Coûts administratifs	Fca		8 %	Cc	Fca * Cc
Ingénierie	Fi		10 %	Cc	Fi * Cc
Divers	Fd		15 %	Cc	Fd * Cc
Total	€				Σ

Au final, on obtient la formule suivante :

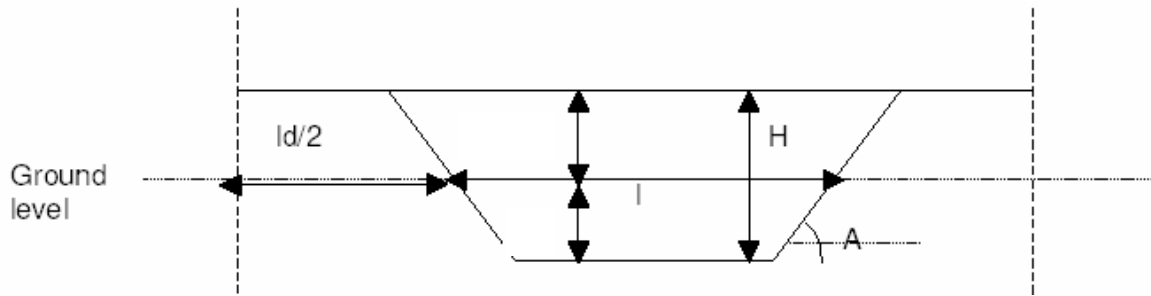
⁵ Estimé à partir de la largeur d'un casier (valeur de référence : 25m) et de la surface moyenne des casiers au niveau de la couverture

⁶ Plateforme de pesée, portique de contrôle de la radioactivité, bâtiments, installations de traitement du biogaz, garages...

$$C_c = (P_t S_t + P_a S_o + P_r L_r + K_b + K_e) / [(1 - (F_{ca} + F_i + F_d))]$$

b) Coûts d'exploitation

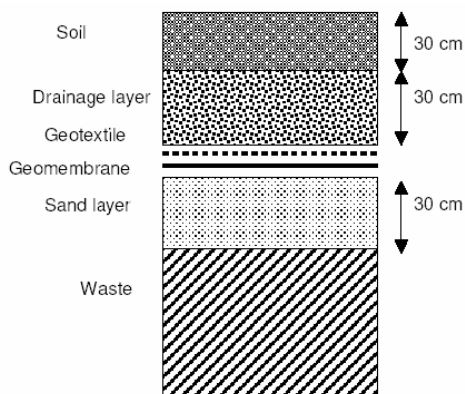
Les dimensions d'un casier sont définies ou calculées de la manière suivante :



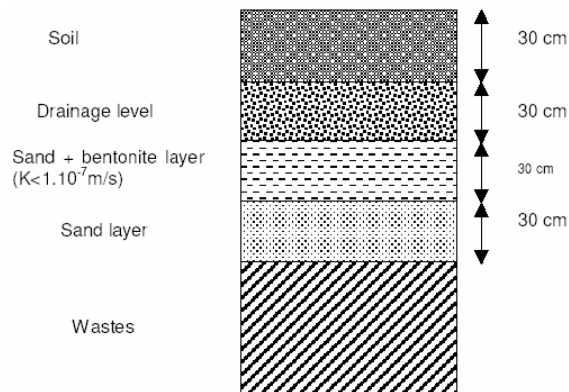
Coupe transversale d'un casier

Paramètres	Symbole	Valeurs /Formules	Unité
Largeur d'un casier	l	Valeur de référence : 25m	m
Hauteur d'un casier	H	Données renseignées par l'utilisateur	m
% hauteur du casier en dessous du niveau du sol	H ₂ H	Valeur de référence : 40%	
Longueur d'un casier	L	Estimé à partir de la largeur d'un casier l et de la surface moyenne des casiers au niveau de la couverture (données renseignées par l'utilisateur du modèle)	m
Hauteur du casier au dessus du niveau du sol	H ₁	H - H ₂	m
Hauteur du casier en dessous du niveau du sol	H ₂	H ₂ H H	m

Deux types de couverture sont définis pour le calcul des coûts opératoires, les couvertures imperméables et les couvertures semi-imperméables :



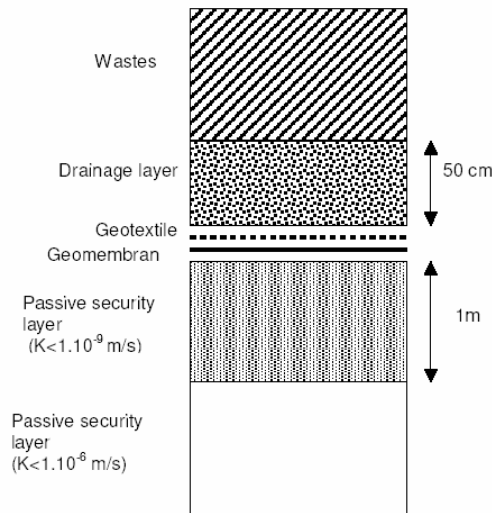
Coupe d'une couverture « imperméable »



Coupe d'une couverture « semi imperméable »

NB : toutes les couches constitutives des couvertures sont supposées avoir une épaisseur identique (30 cm). On notera Vcc le volume d'une de ces couches, Hc sa hauteur (valeur de référence 30cm).

Au niveau du fond du casier et sur les cotés du casier, le dispositif d'étanchéité (barrière passive/active) pris en compte pour le calcul des coûts est le suivant :



Coupe du dispositif d'étanchéité et de drainage

La couche de sécurité passive ($K < 10^{-6}$ m/s) est supposé être assuré par la couche géologique sans avoir recours à des traitements spécifiques. Par contre, on suppose que pour la couche de sécurité passive de perméabilité $K < 10^{-9}$ m/s un traitement à la bentonite est nécessaire.

Le calcul des coûts d'exploitation nécessite l'estimation des volumes et surfaces suivants :

	Symbole	Formule	Unité
Volume de sol excavé	Vsoil	$H_2 l L - H_2^2 \tan(\pi/2-A) L - H_2^2 \tan(\pi/2-A) l$	m ³
Fond de casier : dispositif d'étanchéité et de drainage			
Volume d'une couche constitutive du dispositif d'étanchéité et de drainage	Vcb	$H_c (l - 2H_2 \tan(\pi/2-A)) (L - 2H_2 \tan(\pi/2-A)) + 2H H_c (L + l)$ Avec Hc : Hauteur d'une couche constitutive	m ³
Volume de la barrière passive ($K < 10^{-9}$ m/s)	Vsp	Vcb (valeur de référence pour Hc : 1 m)	m ³
Volume de la couche drainante	Vd	Vcb (valeur de référence pour Hc : 50 cm)	m ³
Surface de la barrière	Smb	$(l - 2 H_2 \tan(\pi/2-A)) (L - 2H_2 \tan(\pi/2-A)) + 2H (L+l)$	m ²
Couverture			
Volume d'une couche constitutive de la couverture	Vcc	$H_c (l + 2H_1 \tan(\pi/2-A)) (L + 2H_1 \tan(\pi/2-A))$ Avec Hc : Hauteur d'une couche constitutive de la couverture	m ³

Couche de sable	Vs	Vcc (valeur de référence pour Hc : 30 cm)	m ³
Volume de la couche drainante	Vd	Vcc (valeur de référence pour Hc : 30 cm)	m ³
Sable + bentonite	Vsb	Vcc (valeur de référence pour Hc : 30 cm)	m ³
Surface de la couverture	Smc	(L + 2H ₁ tan(pi/2-A)) (L + 2H ₁ tan(pi/2-A))	m ²

On suppose pour l'estimation des coûts d'exploitation qu'un casier est mis en service par an. Ces coûts sont estimés de la manière suivante :

	Symbole	Unité	Valeur	Se réfère à	Coûts total
Excavation (pour 1 casier)	Pe	€/m ³	3.5	Vsoil	Pe Vsoil
Géotextile (pour 1 casier)	Pgt	€/m ²	2.2	Couv. Imperm. : Smb+Smc Couv. semi-perm. : Smb	Couv. Imperm. : Pgt (Smb+Smc) Couv. semi-perm. : Pgt Smb
Géomembrane (pour 1 casier)	Pgm	€/m ²	7	Couv. Imperm. : Smb+Smc Couv. semi-perm. : Smb	Couv. Imperm. : Pgm (Smb+Smc) Couv. semi-perm. : Pgm Smb
Traitement à la bentonite (pour 1 casier)	Pb	€/m ³	17.5	Vsp	Pb Vsp
Collecte du biogaz et des lixiviats	Pc	€/ha	40 000	So	Pc So
Sable, gravier (Pour 1 casier)	Pm	€/m ³	17.5	Couv. Imperm. : Vd+Vs Couv. semi-perm. : Vd+Vs+Vsb	Couv. Imperm. : Pm (Vd+Vs) Couv. semi-perm. : Pm (Vd+Vs+Vsb)
Employés	Fp		7 %		Fp Co
Equipements	Fe		5 %		Fe Co
Monitoring env.	Fm		2 %		Fm Co
Coûts administratifs	Fca		3 %		Fca Co
Taxes TGAP (par an)	Ptgap	€/t		Q déchets enfouis (t par an)	Ptgap Q
Divers	Fd		12 %		Fd Co
Total Co		€/an			Σ

Pour une couverture imperméable :

$$Co = [Pe Vsoil + (Pgt + Pgm) (Smb + Smc) + Pb Vsp + Pc So + Pm (Vd + Vs) + Ptgap Q] / [1 - (Fp + Fe + Fm + Fca + Fd)]$$

Pour une couverture semi perméable

$$Co = [Pe Vsoil + (Pgt + Pgm) Smb + Pb Vsp + Pc So + Pm (Vd + Vs + Vsb) + Ptgap Q] / [1 - (Fp + Fe + Fm + Fca + Fd)]$$

Avec Q le débit de déchets traités par an (en tonnes)

c) Coûts de fermeture et de suivi du centre de stockage (30ans)

Pour pouvoir supporter ces coûts liés à la fermeture du site et à la période de suivie de 30 ans un fond de garantie doit être constitué. Le calcul est basé sur la formule décrite dans la circulaire du 23 avril 1999. Après simplification des calculs, on obtient la formule suivante :

$$Cpc \text{ (euros/an)} = 0.1243 [Q \cdot 10^{-3} (120 - Q / 10) + 1.5] 10^6 / \text{Durée d'exploitation}$$

5.4. Coûts liés à l'installation de traitement des lixiviats

a) Coûts d'investissement

Investissement (€)	Symbole	Unité	Valeur	Se réfère à	Coûts total
Installations	Kil	€/an	6 250	d	Kil d

On suppose également que la durée de vie (d) de l'installation de traitement est de 20 ans :

$$\text{Coûts d'investissement} = \text{Kil} \cdot d = 125\,000 \text{ € selon CEMAGREF.}$$

b) Coûts d'exploitation

	Symbole	Unité	Valeur	Se réfère à	Coûts total
Traitement	Ptl	€/m ³	6	So , VI	Ptl So VI
Maintenance	Kml	€/an	15 000		Kml
Contrôle	Kcl	€/an	10 000		Kcl

Où, VI : volume de lixiviat collecté (m³/ha/an)

On suppose qu'en moyenne le volume de lixiviats (VI) collecté est de 1500 m³/ha/an⁷.

Le coût total (amortissement et coûts opératoires) lié à l'installation de traitement des lixiviats est calculé de la manière suivante :

$$CI = \text{Kil} + \text{VI So Ptl} + \text{Kml} + \text{Kcl}$$

5.5. Coûts liés à l'installation de traitement du biogaz

L'estimation est basée sur :

- un débit de biogaz valorisé moyen Vbv de 100 m³/t de déchets
- une quantité moyenne d'électricité produite par m³ de biogaz en entrée d'installation de valorisation du biogaz Ebv de 20 kWh/m³

a) Coûts d'investissement

Investissement (€)	Symbole	Unité	Valeur	Se réfère à	Coûts total
Installations (torchères)	Pib	€/kt.an	250	Q (débit de déchets enfouis)	Pib Q d
Installations (valorisation du biogaz)	Piv	€/kWh	0.04	∑ kWh produit / d	Piv ∑ kWh produit / d

⁷ Chiffre dans le code fortran

On suppose que la durée de vie (d) des torchères est de 20 ans :

Coût d'investissement (torchères) = $P_{ib} d = 5\,000 \text{ €/kt}$ selon CEMAGREF.

Coût d'investissement (valorisation du biogaz) = $P_{iv} [\sum \text{kWh produit}]$

b) Coûts d'exploitation

	Symbole	Unité	Valeur	Se réfère à	Coûts total
Torchères					
Fonctionnement et maintenance	Pfb	€/an	37 500		Pfb
Analyse	Pab	€/an	10 000		Pab
Valorisation du biogaz					
Fonctionnement et maintenance	Pfv	€/kWh	0.015	$\sum \text{kWh produit} / d$	$Pfv \sum \text{kWh produit} / d$
Recette liée à l'électricité produite	Pev	€/kWh	0.08	$\sum \text{kWh produit} / d$	$Pev \sum \text{kWh produit} / d$

On suppose que la durée d'exploitation des torchères est de 20 ans.

Le coût total (amortissement et coût opératoire) pour brûler le biogaz (torchère) est le suivant :

$$C_{bt} = (P_{ib} Q) + (P_{fb} + P_{ab})$$

Le coût total (amortissement et coût opératoire) pour valoriser le biogaz (installations de valorisation du biogaz et torchères en complément) est le suivant :

$$C_{bv} = (P_{ib} Q) + (P_{fb} + P_{ab}) + [P_{iv} [\sum \text{kWh produit}] / d + P_{fv} [\sum \text{kWh produit}] / d$$

$$\text{Recettes} = - P_{ev} [\sum \text{kWh produit}] / d$$

d : durée d'exploitation de la décharge

La somme des kWh produit ($\sum \text{kWh produit}$) est estimée par le simulateur.

6. COLLECTES

6.1. Champs d'application du modèle

Estimation des coûts de production bruts, coûts d'investissement et coûts opératoires (coûts hors taxes, hors subventions, aides ou soutiens financiers). On distingue les coûts dits de « pré-collecte » liés aux conteneurs et les coûts dits de « collecte » liés aux véhicules et aux employés.

Résultats du modèle	Inclus	Exclu
Coûts d'investissement liés à la capacité (Hors taxes)	« Pré-collecte » Achat des conteneurs « Collecte » Achat des véhicules de collecte	
Coûts opératoires liés aux tonnages traités	« Pré-collecte » Maintenance et réparation des conteneurs « Collecte »	

Résultats du modèle	Inclus	Exclu
(Hors taxes)	Coûts fixes <ul style="list-style-type: none"> • Salaires, taxes sociales, primes, employés pour remplacement de personnel, habillement • Assurance des véhicules Coûts directs <ul style="list-style-type: none"> • Consommation de fuel • Consommation d'huile de graisses, batteries, pneus, lubrifiant Maintenance <ul style="list-style-type: none"> • maintenance et réparation des véhicules 	
Coûts indirects	Frais liés au management et au suivi administratif Frais financiers liés aux emprunts bancaires	

6.2. Description du modèle de coûts « Collectes »

Les coûts peuvent être exprimés :

- par flux de déchets collectés,
- ou par prestataire de collecte qui peut être en charge de plusieurs flux de déchets à collecter.

Les calculs sont ici décrits pour un prestataire chargé de plusieurs collectes.

a) Amortissement

« Pré-collecte » :

$$C_c = \sum_T Nc[T] I_c'[T] \left(\frac{1}{d'[T]} \right)$$

T : Type de conteneurs

$Nc[T]$: Nombre de conteneurs distribués de type T

$I_c'[T]$: Coûts unitaires des conteneurs de type T (€)

$d'[T]$: Durée de vie des conteneurs de type T (années)

« Collecte » :

$$C_c = \sum_J Nv[J] Iv[J] \left(\frac{1}{d[J]} \right)$$

J : Type de véhicule

$Nv[J]$: Nombre de véhicules de type J

$Iv[J]$: Coûts unitaires des véhicules de type J (€)

$d[J]$: Durée de vie moyenne des véhicules de type J (années)

La durée de vie moyenne des véhicules est estimée en comparant l'utilisation réelle des véhicules à une utilisation maximale de la manière suivante :

$$d[J] = D \frac{T_{\max}[J]}{T_{\text{mean}}[J]} \text{ avec } T_{\text{mean}}[J] = \frac{\sum_I T[I, J]}{Nv[J]}$$

- $d[J]$: Durée de vie moyenne des véhicules de type J (années)
 D : Durée de vie d'un véhicule déterminée pour une utilisation maximale par an (années) (valeur de référence : 7 ans)
 $T_{max}[J]$: Utilisation maximale d'un véhicule par an (heures par an) (valeur de référence : 1820 heures par an)
 $T_{mean}[J]$: Utilisation moyenne d'un véhicule de type J par an (heures par an)
 $Nv[J]$: Nombre total de véhicules de type J à disposition pour la collecte des déchets
 $T[l, J]$: Temps d'utilisation des véhicules de type J utilisés pour la collecte du flux de déchets l (heures par an)

b) Coûts opératoires

« Pré-collecte » :

$$C_o = \gamma_3 [T] \sum_T Nc[T] I_c [T]$$

- T : Type de conteneurs
 $\gamma_3[T]$: Facteurs lié à la réparation et à la maintenance des conteneurs ($\gamma_3=0.0015$ ou 0.0882 pour une poubelle bi compartimentée ou 0.0852 pour un conteneur d'apport volontaire)
 $Nc[T]$: Nombre de conteneurs distribués de type T
 $I_c [T]$: Coûts unitaires d'un conteneur de type T (€)

« Collecte » :

$$C_o = FC + DC + M$$

- Frais fixe (FC) :

$$FC = (1 + \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4) L + \gamma_1 Nv Iv$$

- α_1 : Facteur lié aux taxes sociales (=0.4)
 α_2 : Facteur lié aux primes (=0.08)
 α_3 : Facteur lié aux employés en remplacement (=0.25),
 α_4 : Facteur lié à l'habillement (=0.0272)
 γ_1 : Facteur lié à l'assurance des véhicules (=0.0165)
 L : Masse salariale (€)
 Nv : Nombre de véhicules
 Iv : Coûts unitaires des véhicules (€)

- Coûts directs (DC) :

$$DC = (1 + \beta_1) e Fv$$

- β_1 : Facteur lié à la consommation d'huile de graisses, batteries, pneus, lubrifiant (=0.264)
 Fv : Consommation annuelles de carburant (l/an)
 e : Coût d'achat du carburant (€/l)

- M: Maintenance (M) :

$$M = \gamma_2 Nv Iv$$

γ_2 : Facteur lié à la réparation et à la maintenance des véhicules de collecte (=0.064)

Iv : Coûts unitaires des véhicules (€)

On a donc :

$$Co = (1 + \alpha) L + (1 + \beta) e Fv + \gamma \sum_J Nv[J] Iv[J] \quad \text{avec } L = \left(\sum_k Nw[k] W[k] \right)$$

α, β, γ : $\alpha = 0.7572, \gamma = 0.0805, \beta = 0.264$

L : Masse salariale (€)

k : Type d'emploi (conducteur / ripper)

J : Type de véhicule

$Nw[k]$: Nombre d'employé de type k

$W[k]$: Salaire annuel (€ /an)

e : Prix d'achat du carburant (€/l)

Fv : Consommation annuelles de carburant (l/an)

$Nv[J]$: Nombre de véhicules de type J

$Iv[J]$: Coûts unitaires des véhicules de type J (€)

$d[J]$: Durée de vie moyenne des véhicules de type J (années)

c) Coûts de production

On estime les coûts de production bruts en sommant amortissement et coûts opératoires.

d) Coûts indirects

Frais financiers

$$FF = A - \frac{K}{n} \quad \text{avec } A = K \frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}}$$

FF : Frais financiers (€)

K : Capital emprunté pour l'achat des conteneurs et des véhicules (€)

i : Taux d'intérêt (%)

n : Durée de l'emprunt (années)

Frais liés au management et au suivi administratif

$$FAG = (1 + \alpha_5) L \quad \text{avec } L = \left(\sum_k Nw[k] W[k] \right)$$

α_5 : Facteur de coût lié aux charges et primes (=0.48)

L : Masse salariale (€)

k : Type d'emploi (secrétaire / manager)

$Nw[k]$: Nombre d'employé de type k

$W[k]$: Salaire annuel d'un employé de type k (€ /an)

7. INSTALLATION DE METHANISATION

7.1. Champs d'application du modèle

Résultats du modèle	Inclus	Exclus
Coûts d'investissement liés à la capacité hors taxe	Inclus	
Coûts opératoires liés aux tonnages traités Hors taxe	Masse salariale Maintenance et remplacement de matériels usagés	
Recettes	Inclus	
Frais financiers liés aux emprunts bancaires		Frais financiers liés aux emprunts bancaires

7.2. Description du modèle de coûts « Installations de méthanisation »

a) Coûts d'investissement CI

L'investissement est évalué à partir de :

$$CI = \alpha_1 CN + \beta_1$$

CN : capacité nominale de l'installation (t/an).

α_1 : 165 €/an/t

β_1 : 4 500 000 €.

b) Coûts opératoires Co

Les coûts opératoires se répartissent de la manière suivante :

- coûts directs liés à la masse salariale (L) :

$$L = \alpha_2 Q + \beta_2$$

Q : quantité de déchets traités en tonnes par an

α_2 : 2.54 €/tonne

β_2 : 147367.38 €/an

- frais liés à la maintenance et au remplacement à l'identique de pièces usagées (M) :

$$M = \alpha_3 Q + \beta_3$$

α_3 : 3.05 €/tonne

β_3 : 106714.31 €/an

Les coûts opératoires sont donc estimés d'après la relation suivante :

$$Co = (\alpha_2 + \alpha_3) Q + \beta_2 + \beta_3$$

c) Recettes Sr

La déduction des recettes (vente d'électricité et de chaleur) donne accès aux coûts d'exploitation nets. Les recettes d'une installation de méthanisation sont estimées de la manière suivante :

$$Sr = Q_{\text{compost}} C_{\text{compost}} + Q_{\text{elect}} C_{\text{kWh}}$$

Q_{compost} :	quantité de compost produit (calculée par le simulateur) (t/an)
C_{compost} :	prix de vente du compost (€ / t) (valeur de référence : 15€/t)
Q_{elect} :	quantité d'électricité (calculée par le simulateur) (kWh/an)
C_{kWh} :	prix d'achat du kWh (valeur de référence : 0,056 €/kWh)

d) Coûts de production C_p

Les coûts de production bruts sont obtenus en divisant l'investissement sur la durée de vie de l'installation (d) et en y ajoutant les coûts opératoires bruts.

$$C_p \text{ bruts} = CI/d + Co$$

Les coûts de production nets sont obtenus en divisant l'investissement sur la durée de vie de l'installation et en y ajoutant les coûts opératoires nets (coûts opératoires bruts - recettes).

$$C_p \text{ nets} = CI/d + Co - Sr$$

La durée de vie (d) d'une installation de méthanisation est estimée à 15 ans.

Annexe 2

Paramètres du modèle de collecte

PARAMETERS	NOTES / DEFAULT VALUE
Definition of each output	(per input waste flows)
1. Nb input waste flows	
2. Input stream number for each output	
Area description (per input waste flows)	(per input waste flows)
3. Type (Urban/Rural/Semi-urban)	
4. Nb inhabitants	
5. Nb household	
Available technical means - Vehicles	For all waste collection (per type of vehicle)
6. Nb types of vehicles	
7. Type of fuel (Super/Diesel/CNG/GPL)	
8. Useful volume (m3) Kerbside C. Bring C.-Stationary Syst.	Currently from 14 to 18 m ³ , between 7 to 26m ³
9. Useful volume (nb containers/veh.) Bring C.-Hauled system	
10. Nb collector per vehicle added to the driver	2
11. Purchase cost of the vehicle per type (euros)	Cf. Table - Purchase cost of vehicles (year).
12. Lifetime for a max. vehicle use (years)	7 years
13. Max. time utilisation per year	Example: 6 days * 6 hours per day* 52 weeks
14. Nb vehicles (0 if calculated)	
15. If calculated, % supplementary vehicles	3
Labour forces (full-time equivalent)	For all waste collection
16. Nb collectors (0 if calculated)	
17. Wages of collectors (euros/year)	16310€ per year
18. Nb drivers (0 if calculated)	
19. Wages of drivers (euros/year)	17170 € per year
20. If calculated, % supplementary employee	Example: 20
21. Nb secretaries (0 if calculated)	
22. Wages of secretaries (euros/year)	17260 € per year
23. Nb managers (0 if calculated)	
24. Wages of managers (euros/year)	24250€ per year
25. Working hours - Full time equivalent (hours per year)	Example: 1645 hours
Waste collection per waste flow	(per input waste flows)
26. Type of collection (kerbside / bring with hauled container system / bring with stationary container system)	
27. Frequency (number of time)	
28. Unit for frequency (time per week, time per month or time per year)	
29. Nb crews per day of collection	1
30. Optimisation factor : Nb trip area	1
32. Efficiency (tons of waste collected per hour)	“from garage to garage” Cf. Table - Efficiency in tons collected per hour of vehicle use « from garage to garage ».
33. Density of waste in vehicles (kg/m ³)	
34. Type of vehicles (cf. available technical means)	Define the type of vehicles used for this collection based on the predefined vehicle (parameter 6 to15)
35. Distance G-C (km)	G = “garage”
36. Distance C-T (km)	C=“collection area”

PARAMETERS	NOTES / DEFAULT VALUE
37. Distance T-G (km)	T="treatment plant", place of emptying
38. Time G-C (min), 0 if calculated	
39. Time C-T (min), 0 if calculated	from the parameter (48) "mean speed during transport (km/h)"
40. Time T-G (min), 0 if calculated	
41. Mean duration of the emptying of vehicles (min)	10
Containers supplied per waste flows	(per input waste flows)
42. Type of containers (Bag / Port.Bin / 2WBin / 2WBiBi / 4WBin / Cont / Under / Close)	Cf. Table - Mean unit container costs according to the container characteristics (€ per m3).
43. Total Nb of containers supplied, 0 if calculated	
44. If calculated (Kerbside), mean nb households per container	1
45. If calculated (Bring), density in container (kg/m ³)	
46. If calculated, volume of containers (l)	Cf. Table - Available containers (characteristics and capacity) for kerbside collection. and Table - Available containers (characteristics and capacity) for bring collection.
51. Unit purchase cost (euros), 0 if calculated	Cf. Table - Mean unit container costs according to the container characteristics (€ per m3).
56. Container life time (years)	Cf. Table - Container duration lifetime – Default values (year).
47. Mean speed during the waste collection in itself (km/h)	10
48. Mean speed during transport (km/h)	30
Financial costs	
49. Annual interest rate (%)	6
50. Loan duration (years)	5
55. Purchase costs - containers+vehicles (euros), 0 if calculated	0
Adjustment parameters	
52. Max. vehicle life time (years)	Example: 15
31. Time available for waste collection per crew and per day (hours)	(per input waste flows) "from garage to garage" 0 to avoid taking account the parameter 53 and 54 4.85h (CEMAGREF Deliverable AWAST) to take into account the parameter 53 and 54
53. Exceeding collection time criteria - Nb vehicles	(per input waste flows) Example: 1.1 Used if parameter 31 <>0
54. Non exceeding collection time criteria - Nb trips per vehicle	(per input waste flows) Example: 0.6 Used if parameter 31 <>0
Waste flow collected within the same vehicles	
57. Nb combination of flow collected within the same divided vehicles	Example: 15
58. 1st flow collected within the same divided veh.: n°input stream	(per combination of waste flows)
59. 2nd flow collected within the same divided veh.: n°input stream	(per combination of waste flows)
60. 3rd flow collected within the same divided veh.: n°input stream	(per combination of waste flows)
61. % vehicle' vol. dedicated to the 1st waste flow	(per combination of waste flows)
62. % vehicle' vol. dedicated to the 2nd waste flow	(per combination of waste flows)
63. % vehicle' vol. dedicated to the 3rd waste flow	(per combination of waste flows)

Annexe 3

Description du modèle de décharge niveau 1 (fiche modèle simplifiée)

MODELE DE DECHARGE NIVEAU 1

1. LISTS OF PARAMETERS

Nom	Type of parameters	Used for the calculation of	Default values
	Group of parameter (biogas generation)		
	Amount of waste disposed of (t/y), if 0 then calculated		
MCF	CH4 correction factor (fraction) (Managed / Unmanaged - deep (5m waste) / Unmanaged - shallow (<5m waste) / Default value - uncategorised SWDSs)	MCF	List of choice Corresponding value in fortran code (1.0 / 0.8 / 0.4 / 0.6)
A, B, C, D	Degradable organic carbon (fraction) A = % paper and textiles / B % garden waste, park waste or other non-food organic putrescibles / C = % food waste / D = % wood or straw	DOC	
DOC_f	DOC fraction dissimilated		0.5
	Group of parameter (Energy)		
	Type of energy recovery system Engine\Engine+heat\Boiler\Boiler+TAG		List of choice
	Air excess combustion ratio (Qair/Qbiogaz)		
	Energy consumption, if 0 the calculated		
	Group of parameter (Biogas collected & recovered)		
%V	Simple parameter Percentage of collected gas vented without combustion		10%
%E	Simple parameter Percentage of collected gas used for energy		60%
%F	Simple parameter Percentage of collected gas flared		30%
	Group of parameter (Methane collection efficiency)		
V, W, X, Y, Z	Group of parameters Calcul par défaut du "Gas collection efficiency" V m² / W m² / X m² / Y m² / Z m²	%C	
	Group of parameter (Size and pluviometry information)		
St	Total surface area of the landfill (ha)		10000 (to assess according to the landfill mean height)
P	Annual pluviometry (mm/y)		800 (400 to 1200 mm/year)
	Group of parameter (leachate collection)		
S1, S2, S3, S4	Group of parameters % S1 - Percentage of the total surface area covered with a geomembrane layer (%) % S2 - Percentage of the total surface area covered with a mineral layer (bentonite, clay) (%) % S3 - Percentage of the total surface area covered with soil layer (%) % S4 - Percentage of the total surface area uncovered (%)		50 20 10 20

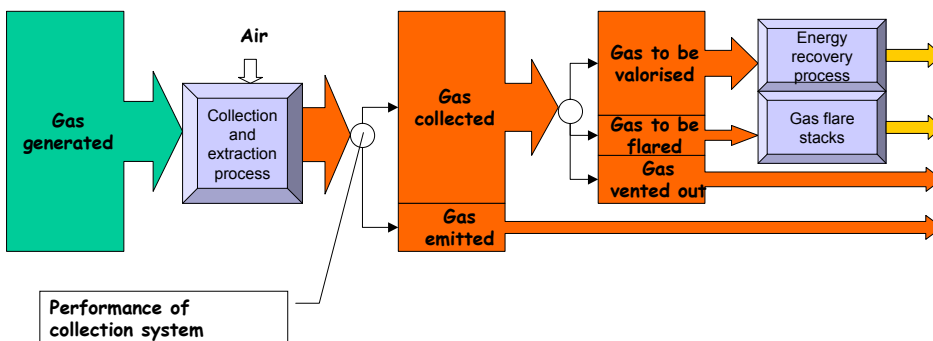
Nom	Type of parameters	Used for the calculation of	Default values
	Group of parameter (Costs)		
	Total disposal costs (euros/t), If 0 then calculated		0 / 47
	Paying off amount (euros/t)		22.5
	Operating costs (including leachate and biogas treatment costs) (euros/t)		22.5
	Receipts (Electricity and steam selling) (euros/kWh)		0.5
	Closure and post-closure costs (euros/t)		2
	Environmental fee (euros/t)		8
	Group of parameter (Land use)		
Land use	Land use (ha)		20 ha for 100 000 t/year during 20 years
Hidden parameters			
	Oxidation factor (0.1 for a well managed landfill, 0 otherwise)		0.1
	Electric efficiency of an Engine (%)		33
	Electric efficiency of a vapour turbine (%)		15
	Electric efficiency of a gas turbine (%)		25
	Electric efficiency of a boiler+TAG (%)		15
	Thermal efficiency of a boiler, steam production (%)		10
F	Fraction of CH4 in landfill gas		0.5
	Landfill operation duration (years)		20

2. RESULTS OF THE MODEL

The following consequences of the use of landfill to store waste are estimated by the model:

- Matter aspect:
 - o Gaseous emission to environment (flowrate and composition):
 - Emitted without combustion (CH4+CO2)
 - Output of flares (CO2)
 - Output of energy recovery facilities (CO2)
 - o Collected leachate (flowrate)
- Energy consumed and produced
- Costs (Euro)
- Land use (ha)

2.1. Gaseous emission



2.1.1. Biogas generated

The following method is recommended by IPCC[1] to establish national inventory (default method level 1).

$$Q_{CH_4\ generated} (ton / year) = Q(ton / year)MCF DOC DOC_f F \frac{16}{12} \text{ (Equation 1)}$$

Q (tons/year): Yearly amount of MSW disposed to solid waste disposal sites (ton/year)

MCF: methane correction factor (fraction)

DOC: degradable organic carbon (fraction)

DOC_f: fraction DOC dissimilated

F: fraction of CH₄ in landfill gas (default is 0.5) (hidden parameter)

MCF, methane correction factor (fraction):

Type of site	Methane correction factor (MCF)
Managed	1.0
Unmanaged - deep (>=5m waste)	0.8
Unmanaged - shallow (<5m waste)	0.4
Default value - uncategorised SWDSs	0.6

1. Managed solid waste disposal sites. These must have controlled placement of waste (i.e., waste directed to specific deposition areas and a degree of control of scavenging and a degree of control of fires) and will include at least one of the following: cover material; mechanical compacting; or levelling of the waste.

2. Unmanaged-deep solid waste disposal sites. All SWDSs not meeting the criteria of managed SWDSs and which have depths of greater than or equal to 5 metres.

3. Unmanaged-shallow solid waste disposal sites. All SWDSs not meeting the criteria of managed SWDSs and which have depths of less than 5 metres.

A methane correction factor (MCF) is assigned to each of these categories. The MCF reflects the lower methane-generating potential of unmanaged sites.

DOC, degradable organic carbon (fraction):

Degradable Organic Carbon (DOC) content is based on the composition of waste, and can be calculated from a weighted average of the carbon content of various components of the waste stream. The DOC content could be calculated as shown in equation 3.

$$\text{Per cent DOC (by weight)} = 0.4 (A) + 0.17 (B) + 0.15 (C) + 0.30 (D) \text{ (Equation 3)}$$

A = per cent MSW that is paper and textiles

B = per cent MSW that is garden waste, park waste or other non-food organic putrescibles

C = per cent MSW that is food waste

D = per cent MSW that is wood or straw

Waste component	Total carbon content of waste component	Fraction of total carbon content which is degradable	DOC degradable organic carbon
Paper	33%	100%	33%
Food	15%	100%	15%
Garden waste	24%	100%	24%
Average putrescibles	19%	100%	19%
Textiles	39%	50%	20%
Miscellaneous combustible	37%	75%	28%
Fines	14%	65%	9%

Description of waste in the Waste Management Options and Climate Change report. [2]

DOC_f, fraction DOC dissimilated (default value: 0.5)

Fraction dissimilated DOC (DOCf) is the portion of DOC that is converted to landfill gas. To date, estimates of how much carbon may be dissimilated have relied on a theoretical model that varies only with the temperature in the anaerobic zone of a landfill: $0.014T + 0.28$, where T = temperature (Tabasaran, 1981). If one assumes that the temperature in the anaerobic zone of a SWDS remains constant at about 35°C, regardless of ambient temperature (Bingemer and Crutzen, 1987), this method yields a figure of 0.77 dissimilated DOC.

DOCf = 0.77 (if lignin is not included in the calculation of DOC ; DOCf = 0.5 à 0.6 otherwise) [1]
 DOCf=0.5 [2]

F, fraction of CH4 in landfill gas (default value: 0.5)

Using landfill model in USIMPAC, the following parameters should be valued in the dedicated dialog box for the assessment of the biogas generated from a landfill.

Parameters	Values
Amount of waste disposed of (t/y), if 0 then calculated	0
CH4 correction factor (fraction)	Managed site ▾
Degradable organic carbon (fraction)	Edit
DOC fraction dissimilated	0.5

2.1.2. Biogas collected and recovered (biogas captured for flaring and use)

Gas collected:

The gas collected will be shared between:

- the gas collected which will be burnt within flare stacks,
- the gas collected which will be burnt to recover energy,
- the gas collected vented out without burning.

This assessment provided in the Waste Management Options and Climate Change report [2] is based on the valuation of the following parameters:

%vol	Parameters	EU average landfill	A modern 'best practice' landfill site.	Limited collection	"French case" average
%C	Methane collection efficiency	54%	80%	20%	50%
%V	% collected gas vented without combustion	10%	10%	10%	
%E	% collected gas used for energy	60%	60%		
%F	% collected gas flared	30%	30%	90%	

Summary of estimated average landfill gas control and recovery parameters [2]

Modern, well-designed systems with gas wells installed throughout a landfill site may collect between 70 – 90% of the gas that is formed.

Methane collection efficiency (%C):

The methane collection efficiency (%C) can be estimated by the method proposed in [3]:

Type of area	sans captage ou non reliée à une unité de combustion	en exploitation reliée à une unité de combustion	avec une couverture semiperméable reliée à une unité de combustion	avec une couverture imperméable naturelle reliée à une unité de combustion	avec une couverture comprenant un géosynthétique imperméable (type géomembrane) relié à une unité de combustion
Collection rate	0%	35%	65%	85%	90%
Surface area	V m ²	W m ²	X m ²	Y m ²	Z m ²
%C	= [(0V + 0.35 W + 0.65 X + 0.85 Y + 0.90 Z) ÷ (V + W + X + Y + Z)]				

Gas recovered:

Recovered CH₄ is the amount of CH₄ that is captured for flaring or use.

Volum. Flowrate	Volum. Flowrate CH ₄
Gas generated	Qvol _{CH₄}
Gas collected	%C Qvol_{CH₄}
collected gas vented without combustion	%C %V Qvol _{CH₄}
collected gas used for energy	%C %E Qvol _{CH₄}
collected gas flared	%C %F Qvol _{CH₄}
Gas recovered	%C (1-%V) Qvol_{CH₄}

Using landfill model in USIMPAC, the following parameters should be valued in the dedicated dialog box for the assessment of the biogas generated from a landfill:

Parameters	Values
Percentage of collected gas vented without combustion	10
Percentage of collected gas used for energy recovery	60
Percentage of collected gas flared	30

	Area without collection of biogas	Area equipped with a combustion installation	Area with a semipermeable layer + combustion installation	Area with an impermeable layer + combustion installation	Area with a geosynthetic and impermeable layer + combustion installation
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0

2.1.3. Gas emitted

The CH₄ and CO₂ emitted can be assessed as follows according to IPCC [1]:

$$\text{Equation 4: } Q_{vol CH_4 emitted} = [Q_{vol CH_4 generated} - Q_{vol CH_4 recovered}] (1 - \%OX)$$

$$\text{With } Q_{vol CH_4 recovered} = \%C(1 - \%V) Q_{vol CH_4 generated}$$

$$Q_{vol\ CO_2\ emitted} = Q_{vol\ CO_2\ generated} + Q_{vol\ CH_4\ burnt\ and\ converted\ in\ CO_2} + Q_{vol\ CH_4\ oxidised\ in\ CO_2}$$

With $Q_{vol\ CH_4\ burnt\ and\ converted\ in\ CO_2} = \%C(1 - \%V)Q_{vol\ CH_4\ generated}$
 With $Q_{vol\ CH_4\ oxidised\ in\ CO_2} = \%OX(1 - \%C)Q_{vol\ CH_4\ generated}$

- %C: Methane collection efficiency
- %V : Percentage of collected gas vented without combustion
- %OX: Oxidation factor (hidden parameter) (0.1 for a well managed landfill, 0 otherwise)

The “emission” model can be implemented to assess NOx, SOx ... emission from biogas burnt for use or flaring using emission standard limits.

2.2. Leachate collected

Layer type	Leachate collected (m ³ /year) %S _i : % surface area per type of layer St : total surface area (ha) P : annual pluviometry (mm/year)
With geomembrane PEHD	0.1 (P/1000) %S_i (St/10000)
With only a mineral layer (bentonite, clay)	0.2 (P/1000) %S_i (St/10000)
With a simple soil layer	0.4 (P/1000) %S_i (St/10000)
Uncovered area	0.6 (P/1000) %S_i (St/10000)

Source: *Interprétation des volumes d'effluents liquides collectés sur deux sites de stockage de déchets ménagers et assimilés, DG and al TSM numéro 12, décembre 1996 [7]*

Using landfill model in USIMPAC, the following parameters should be valued in the dedicated dialog box for the assessment of the leachate collected from a landfill:

#1 - - Landfill_N1 - Leachate collection				
Layer type				
	Percentage of the total surface area covered with a geomembrane layer (%)	Percentage of the total surface area covered with a mineral layer (bentonite, clay) (%)	Percentage of the total surface area covered with soil layer (%)	Percentage of the total surface area uncovered (%)
1	50	20	10	20

#1 - - Landfill_N1 - Size and pluviometry information	
Parameters	Values
Total surface area of the landfill (ha)	10000
Annual pluviometry (mm/y)	800

2.3. “Energy” aspect

The assessment of the energy produced from the burning of biogas is based on the efficiency of the turbine, engine... used. The energy consumed to manage the landfill is calculated using default value or entered in the model by the user [6].

Using landfill model in USIMPAC, the following parameters should be valued in the dedicated dialog box for the assessment of energy consumed or produced:

Parameters		Values
Air excess combustion ratio (Qair / Qbiogaz)		1.5
Type of energy recovery system	Engine	
Energy consumption. If 0 then calculated (kWh/y)		0

Parameters		Values
Oxidation factor (0.1 for a well managed landfill, 0 otherwise)		0.1
Electric efficiency of an Engine (%)		33
Electric efficiency of a vapor turbine (%)		15
Electric efficiency of a gas turbine (%)		25
Electric efficiency of a boiler+TAG (%)		15
Thermal efficiency of a boiler, steam production (%)		10
Fraction of CH4 in landfill gas		0.5
Landfill operation duration [years]		20

2.4. “Costs” aspect

The following data are related to the French case [4].

Euros/ton, free of tax	Landfill for non hazardous waste	Default value
Investment	Extremely variable (80 to 150 €/t) Investment is spread over the duration of operation (around 50% of the investment has to be implemented at the beginning of the landfill operation).	
Investment divided by the duration of landfill operation	15 à 25	22.5
Operating costs (with Leachate and biogas treatment costs)	15 à 25	22.5
Receipts (electricity & steam selling)	Usually insignificant	Calculated based on electricity produced and the selling price per kWh
Closure and post-closure costs	1 to 2	2
Environmental fee	7,5 to 9,15 (TGAP)	8
SUM	50 to 65	50

Euros/ton free of tax	Landfill for hazardous waste	Landfill for inert waste
SUM	150 à 200 €/t for already stabilised waste Until 1200 €/t for waste to be processed before landfilling	Very variable Between 1 to 8 €/t

Using landfill model in USIMPAC, the following parameters should be valued in the dedicated dialog box for the cost assessment:

Parameters	Values
Total disposal costs [euros/t], if 0 then calculated	0
Paying off amount [euros/t]	22.5
Operating costs (including leachates and biogas treatment costs) [euros/t]	22.5
Receipts (Electricity and steam selling) [euros/kWh]	0.5
Closure and post-closure costs [euros/t]	2
Environmental fee [euros/t]	8

2.5. “Land use” assessment

If no site specific data is available, default value is used to assess the land use linked to the landfill operation: around 20 ha per 100 000 t/year stored during 20 years (source: [4]).

Parameters	Values
Total land use of the landfill (ha), if 0 then calculated	0

3. References

- [1] Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual, Volume 3, Chap6 Waste (Recommendations du GIEC en matière de bonnes pratiques et de gestion des incertitudes pour les inventaires nationaux)
- [2] Waste Management Options and Climate Change, Final Report ED21158R4.1, report to the European Commission, DG Environment, July 2001, AEA Technology Environment
- [3] Outil de calcul des émissions dans l'air de CH₄, CO₂, SO_x, NO_x issues des centres de stockage de déchets ménagers et assimilés, mars 2003 ADEME
- [4] Données brgm
- [5] Les cahiers du CLIP - N°5 - Juillet 1996
- [6] Valorisation du biogaz, APAVE ATEE
- [7] Interprétation des volumes d'effluents liquides collectés sur deux sites de stockage de déchets ménagers et assimilés, DG and al TSM numéro 12, décembre 1996

Annexe 4

Typologie des flux de matière

N° Type	Type de flux de matière
1	Off-gas
2	Air
3	Supplies
4	Recyclable
5	Refuse
6	Mixed waste
7	Biowaste
8	Paper
9	Glass
10	Metals
11	Plastics
12	Textiles
13	Composite packagings
14	Mixed secondary materials
15	Bulky waste
16	Batteries
17	Medecines
18	Fluorescent tubes
19	Wood
20	Oil and fat
21	Chemicals
22	WEEE
23	CFC
24	End of life vehicles
25	Hazardous waste
26	Road waste
27	Garden waste
28	Market waste
29	Cemetery waste
30	Organic waste
31	Food waste
32	Sewage sludge
33	Sewer waste
34	Imported Mixed waste
35	Imported Biowaste
36	Imported Paper
37	Imported Glass
38	Imported Metals
39	Imported Plastics
40	Imported Textiles
41	Imported Composite packagings
42	Imported Mixed secondary materials
43	Imported Bulky waste

N° Type	Type de flux de matière
44	Imported Batteries
45	Imported Medecines
46	Imported Fluorescent tubes
47	Imported Wood
48	Imported Oil and fat
49	Imported Chemicals
50	Imported WEEE
51	Imported CFC
52	Imported End of life vehicles
53	Imported Hazardous waste
54	Imported Road waste
55	Imported Garden waste
56	Imported Market waste
57	Imported Cemetery waste
58	Imported Organic waste
59	Imported Food waste
60	Imported Sewage sludge
61	Imported Sewer waste
62	Exported Mixed waste
63	Exported Biowaste
64	Exported Paper
65	Exported Glass
66	Exported Metals
67	Exported Plastics
68	Exported Textiles
69	Exported Composite packagings
70	Exported Mixed secondary materials
71	Exported Bulky waste
72	Exported Batteries
73	Exported Medecines
74	Exported Fluorescent tubes
75	Exported Wood
76	Exported Oil and fat
77	Exported Chemicals
78	Exported WEEE
79	Exported CFC
80	Exported End of life vehicles
81	Exported Hazardous waste
82	Exported Road waste
83	Exported Garden waste
84	Exported Market waste
85	Exported Cemetery waste
86	Exported Organic waste
87	Exported Food waste
88	Exported Sewage sludge

N° Type	Type de flux de matière
89	Exported Sewer waste
90	Compost
91	Leachate
92	Bottom ashes

Annexe 5

Protocole d'utilisation de l'outil d'exploitation automatique des résultats du simulateur AWAST

a) Etape 1 : dans AWAST associer un type à chaque flux de matière et à chaque installation de traitement.

Une typologie a été définie pour les flux de matière (cf. Annexe 4) et pour les installations de traitement (cf. Illustration 17). Ces typologies doivent être respectées pour le bon fonctionnement de l'outil d'exploitation automatique des résultats.

Les règles d'utilisation sont les suivantes :

- En ce qui concerne les flux de matière issuent des installations de traitement, définir les types parmi ceux décrits ci-dessous :
 - 'Compost',
 - 'Recyclable' (produits recyclés ou valorisés, hors compost et macheders),
 - 'Refuse' (refus envoyés en incinération ou décharge – ce sont les déchets dits secondaires),
 - 'Bottom ashes',
 - 'off-gas' (émission gazeuses, type 1),
 - en sortie de décharge, on doit trouver des flux de type : 'off-gas' et 'leachate'.
- En ce qui concerne les flux de matière entrant dans les installations de traitement, tous les déchets importés doivent être identifiés comme tels : type n°>34 et <61.
- Tous les flux de type '**Recyclable**' sont envoyés dans un équipement de type '**Recycling**'.
- Tous les flux de type '**Compost**' sont envoyés dans un équipement de type '**Recycling**'.
- Les modèles dans le flowsheet principal doivent être identifiés par un type (nécessaire pour l'exploitation du fichier de résultat Etude_de_Cas.glo avec le fichier excel AWAST_Results_UP3.xls).
- Les modèles dans les workshop (modèles qui estiment les coûts et les dépenses ou production d'énergie) doivent être identifiés par un type (nécessaire pour l'établissement du Costsynthesis.aw et Powersynthesis.aw).
- Attention dans les workshops, les modèles de transport utilisés pour estimer les émissions dues à la collecte des déchets doivent être définis comme de type 'collection'.

b) Etape 2 : exploiter les résultats de simulation à l'aide de l'outil AWAST_Results_UP3.xls

La méthode à suivre est la suivante :

1. Lancer une simulation.

2. Générer le fichier '.glo' (avec « From equipment type », « To equipment type », « Stream type », sans les informations internes aux workshops et sous forme de débit partiel).
3. Copier le contenu de ce fichier dans la feuille « glo » de ce fichier.
4. Ouvrir le fichier Costsynthesis.aw dans c:\ avec Excel, copier le contenu dans la feuille « Costsynthesis » de ce fichier.
5. Ouvrir le fichier Powersynthesis.aw dans c:\ avec Excel, copier le contenu dans la feuille « Powersynthesis » de ce fichier.
6. Mettre à jour les tableaux croisés dynamiques à l'aide des boutons « refresh ».



**Centre scientifique et technique
Service EPI**

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34