



Coopération
République d'Haïti - Région Wallonne de Belgique



En collaboration avec:

Le Ministère de l'Environnement Haïtien
L'université d'Etat d'Haïti: Faculté des Sciences
Le Centre Wallon de Biologie Industrielle Ulg - FUSAGx

Un SEMINAIRE est organisé sur le thème:

Sensibilisation à la gestion des déchets ménagers dans les villes de la République d'Haïti

Cahier Technique

Dates: le 1^{er} Juillet 2002

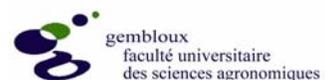
Lieu: Hôtel Christopher, Port-au-Prince, République d'Haïti



 **Centre Wallon de Biologie Industrielle**



Université de Liège



gembloux
faculté universitaire
des sciences agronomiques

TABLE DES MATIÈRES

<i>PROGRAMME DE LA JOURNEE</i>	<i>1</i>
<i>ALLOCUTION DU MINISTRE DE L'ENVIRONNEMENT, DR. WEBSTER PIERRE</i>	<i>3</i>
<i>INTERVENTION DE MR. LIONEL PARISIEN, INGÉNIEUR SANITAIRE, DIRECTEUR TECHNIQUE DU MDE</i>	<i>5</i>
<i>LA PROBLÉMATIQUE DE LA GESTION DES DÉCHETS MÉNAGERS EN RÉPUBLIQUE D'HAÏTI (PROF P. THONART)</i>	<i>11</i>
<i>POINT DE VUE ANALYTIQUE : COLLABORATIONS AVEC LE PROGRAMME DE LA COOPERATION UNIVERSITAIRE AU DÉVELOPPEMENT (BELGIQUE) (PROF. A. COPIN)</i>	<i>48</i>
<i>CRITÈRES DE CHOIX DES SITES DE DÉCHARGES ET DES TECHNOLOGIES DE GESTION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DANS LES PAYS À CLIMAT CHAUD (M. S. HILIGSMANN ET AL.)</i>	<i>63</i>
<i>LES EXPÉRIENCES DE COMPOSTAGE EN HAÏTI : BILAN ET RECOMMANDATIONS (M. F. BENOIT)</i>	<i>75</i>
<i>COLLECTE ET GESTION DES DÉCHETS DANS L'AIRE MÉTROPOLITAINE DE PORT AU PRINCE - HAÏTI, ENQUÊTE AUPRÈS DE 5000 MÉNAGES (M. S. GOLET)</i>	<i>83</i>
<i>ACTES DU SÉMINAIRE</i>	<i>97</i>
<i>CONCLUSIONS DU SÉMINAIRE</i>	<i>104</i>
<i>LISTE DES INVITÉS</i>	<i>111</i>

Séminaire de sensibilisation à la gestion des déchets ménagers dans les villes de la République de Haïti

1^{er} Juillet 2002-Hotel Christopher

Cadre

Le séminaire est organisé dans le cadre des accords de coopération entre la République d'Haïti et la Région Wallonne de Belgique, sous l'action conjointe du Ministère de l'Environnement Haïtien, l'Université d'Etat d'Haïti (Faculté des Sciences), le Centre Wallon de Biologie Industrielle (ULg – FSAGx) et avec le soutien financier de la Région Wallonne (Direction Générale des Relations Extérieures-Division des Relations Internationales)

Objectifs du séminaire

La problématique de la gestion des ordures ménagères en Haïti constitue une des toutes premières préoccupations pour l'ensemble de la population et projette une image négative de l'environnement haïtien à l'étranger.

Qui n'a pas été frappé par ces amoncellements de déchets sur les cotés des routes, même en plein centre ville?

La population locale, le touriste, l'homme d'affaires, tous sont concernés par le devenir de cette gestion.

Un séminaire de sensibilisation à l'adresse des responsables politiques et techniques des mairies, des autorités en charge de la gestion des déchets et des ONG actives dans le secteur de l'environnement est donc opportun afin d'ouvrir des pistes de gestion efficace des déchets.

Nous ferons le point sur la situation avec des spécialistes de la question. Un tel débat ne peut pas se limiter aux échanges entre scientifiques, mais doit tenir compte de l'aspect socio-politico-économique qui prend une part importante sur les décisions à envisager.

REMERCIEMENTS

Le séminaire de sensibilisation à la gestion des déchets ménagers dans les villes de la République d'Haïti n'aurait pu être organisé sans le concours des Autorités Haïtiennes et de la Région Wallonne de Belgique ainsi que sans l'aide précieuse de la Faculté des Sciences de l'Université d'Etat d'Haïti.

Nous tenons également tout particulièrement à remercier pour l'aide, les conseils ou les informations reçues :

Le Ministère de l'Environnement de Haïti, et en particulier
Monsieur le Ministre Pierre WEBSTER
Monsieur le Directeur Technique Lionel PARISIEN

Le Ministère de l'intérieur de Haïti, et en particulier
Monsieur le Directeur des Collectivités Territoriales Paul Harry VOLTAIRE
Monsieur le coordinateur de l'Unité de Planification Jean R. DOSSAINT

La Direction Générale des Relations Extérieures de la Région Wallonne, et en particulier
Monsieur le Directeur Général Philippe SUINEN
Madame FAVART
Madame Jeannine FALLY

L'Ambassade d'Haïti en Belgique, et plus particulièrement
Madame l'ambassadrice Yolette AZOR-CHARLES

L'Agence de Coopération Universitaire au Développement (CUD) de la Communauté Française de Belgique et en particulier
Madame GOYENS

Ainsi que le Comité de pilotage du projet Haïti dont la présidence est assurée par le Professeur Philippe HENNART

Le Coordinateur de l'APEFE à Haïti
Stéphane PETIAUX

L'Université d'Etat d'Haïti et en particulier
Monsieur le Recteur Pierre PAQUIOT

La Faculté des Sciences et tout spécialement les Membres du Conseil de Direction
Madame Yolaine H. LHERISSON
Monsieur Dominique BOISSON
Monsieur Jacques GABRIEL

Monsieur le Secrétaire Général Edmond LEFRANC
Monsieur Jean-Fritz CHAMBLIN

La Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire de l'Université d'Etat d'Haïti, et en particulier

Monsieur le Doyen Jean Vernet HENRY

La Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux

Monsieur le Professeur Alfred COPIN

Les Mairies des villes visitées, les orateurs et participants au séminaire

Que toutes ces personnes soient remerciées pour leur précieuse collaboration.

PROGRAMME DE LA JOURNEE

- 9.00 Allocution de bienvenue par un représentant des Autorités Haïtiennes
Monsieur le Ministre de l'Environnement Pierre WEBSTER ;
- 9.15 Introduction générale par un représentant de la Région Wallonne et M.
Dominique Boisson, Conseil de Direction de la Faculté des Sciences de
l'Université d'Etat d'Haïti
- 9.25 Politique du Ministère en termes de gestion des déchets dans les principales
villes de Haïti
Monsieur Lionel PARISIEN, Directeur Technique, Ministère de
l'Environnement
- 9.50 Présentation de situations concrètes relatives à la gestion des déchets dans les
villes d'Haïti : interventions de 3 représentants de mairies
- 10.15 Pause : café-boissons
- 10.30 Théorie de la gestion biologique des décharges et présentation du CD-Rom sur
l'atlas des décharges de Haïti
Monsieur Philippe THONART, Professeur et Directeur du CWBI. FUSAGx –
Ulg.
- 11.00 Le point de vue analytique : collaborations avec le programme CUD
M. Alfred COPIN. Professeur de chimie analytique FUSAGx
- 11.30 Activités de l'URE / FDS de l'Université d'Etat d'Haïti dans le domaine de
l'environnement et de la gestion des déchets. Services offerts à la collectivité
Monsieur CHAMBLIN, Professeur à la Faculté des Sciences. Responsable de
l'URE ;
- 12.00 Discussions
- 12.30 Repas de midi ;
- 14.15 Critères de choix des sites de décharges et des technologies de recyclage de la
matière organique Monsieur Serge HILIGSMANN. Ingénieur de recherches
CWBI.
- 14.45 Les expériences de compostage en Haïti : bilan et recommandations
Monsieur Frantz BENOIT. ONG CHF. Port au Prince
- 15.15 Discussions
- 15.30 Pause : café – boissons
- 15.45 Présentation d'une étude sur la collecte et la gestion des déchets dans l'aire
métropolitaine de Port-au-Prince – Enquête auprès de 5000 ménages

M. Sébastien Grolet. Chargé de mission APEFE (Belgique), coresponsable de l'URE/FDS

16.00 Problématique sur le financement et la tarification des services de gestion des déchets solides en Haïti.

Monsieur Franz VERELA. FDS/UEH

16.30 Discussions et conclusions.

ALLOCUTION DU MINISTRE DE L'ENVIRONNEMENT, DR. WEBSTER PIERRE

Honorables invités,
Mesdames, Mesdemoiselles et messieurs,

Si des circonstances indépendantes de ma volonté m'ont appelé ailleurs justement au jour et à l'heure d'ouverture de ce séminaire de sensibilisation sur les déchets, je ne saurais que déplorer ce contretemps. Mais mon message n'en sera pas moins clair et moins encourageant! Sensibiliser le public sur la gestion des déchets a été mon LEITMOTIV; comme en témoignent mes interventions personnelles à la radio, la télévision et dans la presse écrite, mes efforts pour déployer un réseau d'abris-poubelles dans la région métropolitaine et plus récemment les opérations d'enlèvement de carcasses de voitures sur les trottoirs après des séances de sensibilisation audiovisuelle de la population.

Dans un secteur aussi transversal que l'Environnement, les efforts doivent être interministériels. Nous l'avons bien compris! Aussi nous avons entrepris des actions conjuguées avec d'autres ministères, comme les TPTC, le Ministère de l'Agriculture et le Ministère de la Justice.

Nous avons entrepris un LOBBYING intensif auprès du Parlement, pour le sensibiliser au drame environnemental du pays et à la nécessité de voter les lois de base comme la Loi organique du Ministère et le Code de l'Environnement, sans oublier le vote d'un budget plus ou moins adéquat!

Certes, le Directeur Technique du MdE, l'Ing. Parisien, devra présenter ici les grandes lignes de la politique du MdE en matière de gestion des déchets sans crainte d'empiéter sur sa présentation, nous pouvons souligner que la philosophie sous-jacente de cette politique est le couple Formation-Action que, depuis plus d'un ans, nous avons instauré au Ministère et qui est devenu la pierre angulaire de la mise en oeuvre du Plan d'Action National pour l'Environnement.

Ce que nous devons préciser ici, dans le domaine du renforcement institutionnel en fait de Gestion des Déchets c'est le développement d'Agents Environnementaux dans toutes les communes et de coordonnateurs d'Arrondissements dans tous les chefs-lieux d'Arrondissements: ce sont deux projets qui nous ont tenu à cœur depuis notre installation comme Ministre de l'Environnement.

Permettez-moi de profiter de l'occasion pour ouvrir certaines perspectives intéressantes:

- d'abord l'installation au MdE d'un Centre d'Alphabétisation appelé "Sant Alpha Anviwònman", où la sensibilisation écologique est couplée avec l'alphabétisation fonctionnelle.
- Ensuite il y a le fait que beaucoup de Conventions sur l'Environnement sont considérées pour être signées ou ratifiées.
- Par ailleurs, un Système d'Informations Environnementales va être mis sur pied pour l'établissement d'une base de données appropriées à ce domaine.
- De plus, un questionnaire régional sur les Déchets Solides est en train d'être rempli, pour être disponible sur Internet d'ici décembre 2002.
- Par surcroît, des sites Internet fonctionnent à plusieurs niveaux!

Ainsi, sur le plan national beaucoup d'efforts de sensibilisation doivent être entrepris pour que la population puisse aborder 2004 dans un nouvel esprit écologique ou dans un nouvel état d'âme environnemental.

Puisse ce genre de séminaire de sensibilisation par son suivi-imprimer un momentum important dans le domaine de la protection de l'Environnement, en général. Le Ministère de l'Environnement ne saurait que vous souhaiter à tous bonne besogne pour apporter une note harmonieuse dans la grande symphonie d'une Haïti Alphabétisée, Alphanétisée et Propre!

Dr Webster PIERRE, Ministre

INTERVENTION DE MR. LIONEL PARISIEN, INGENIEUR SANITAIRE, DIRECTEUR TECHNIQUE DU MDE

Mesdames, mesdemoiselles et messieurs,

Il nous échet l'honneur de présenter ici la politique du MDE en matière de gestion des déchets ménagers.

En guise d'introduction, permettez-nous de faire des considérations

- concernant le type de Déchets qui peuvent être : Industriels, Commerciaux, Ménagers. Ce sont ces derniers qui nous préoccupent ici.
- par rapport aux implications sur le genre de vie : aspect insalubre, saletés des rues, source d'épidémie potentielles...;
- en relation avec les effets sur les bassins-versants comme la dégradation de la faune et de la flore naturelles.
- en ce qui a trait aux conséquences sur les Zones Côtières du fait tout aboutit sur la plage et de là aux eaux internationales, atteignant ainsi la Jamaïque et Cuba

Il est évident que le MDE ne saurait se dérober à sa mission de catalyseur des mesures de protection de l'Environnement.

Pour parler de politique du Ministère dans le domaine précis des déchets ménagers, nous aborderons les sept (7) Aspects suivants, comme plan de présentation:

- A) Établissement de Normes
- B) Préparation d'indicateur du développement durable
- C) Education environnementale
- D) La planification officielle : Le Plan d'Action Environnementale (PAE)
 - Le Programme sept (7) du PAE
 - L'Appui à la mise en œuvre du PAE
- E) Sensibilisation du Grand public
- F) Aspect institutionnel
- G) Aspect légal

A. Etablissement de normes sur la gestion des déchets

Si la priorité a été accordée aux normes sur l'Eau de boisson, les normes sur la gestion des déchets solides n'ont pas été négligées, pour couvrir les préoccupations suivantes :

- Comment éliminer les déchets ?

- Quand collecter les déchets ?
- Où éliminer les déchets ?

Le MDE a préparé la liste de Normes à établir, en ce qui concerne les déchets solides, cette liste inclut :

- Normes sur les marchés publics
- Normes sur les débris de construction
- Normes sur la collecte et le transport des déchets
- Normes sur les sites de décharges

B. Préparation d'indicateurs du développement durable

Ceci représente une exigence du Chapitre 21 de l'AGENDA 21 "Gestion Ecologiquement Rationnelle des Déchets Solides et des Eaux Usées"

Le développement d'indicateurs environnementaux sert à donner une idée du degré de développement relatif d'un pays. Le développement durable des années 90 a donné lieu à la production de plus d'une centaine d'indicateurs classés dans une structure générale à trois (3) volets.

- Les indicateurs des éléments moteurs rendent compte des activités et processus humains ayant une incidence sur le développement durable.
- Les indicateurs de situation font le point des facteurs de durabilité dans le processus de développement.
- Les indicateurs d'action reflètent les orientations et actions décidées face à l'évolution du développement.
 1. Déchets Ménagers produits par habitant : kg/hab/jr. (moteur)
 2. Production de Déchets Industriels et Urbains Solides, en Tonne/hab./jour (moteur)
 3. Dépenses de gestion des Déchets, en \$ U.S/ Unité PIB (Action)
 4. Recyclage et Réutilisation des Déchets en pourcentage (%) de Déchets (Action)
 5. Elimination des Déchets Urbains, en tonne / PIB (Action)

Il faut noter que la finalisation de ces Indicateurs sera réalisée en coopération avec les autres secteurs concernés.

C. Education environnementale en matière de gestion des déchets

Cette Éducation se matérialise dans la participation au programme du MENJS intitulé Éducation à la Vie Famille, Santé de la Reproduction en matière de Population la coopération internationale prend les formes suivantes :

1. Contribution importante dans le curriculum des élèves de la 4^e à la 9^e Année Fondamentale.
- avec l'Elaboration d'un chapitre spécial sur l'Assainissement

- en particulier les problèmes de gestion rationnelle des déchets,
 - dans deux types de bouquins : Cahier de l'Élève et Guide de l'Enseignant
2. Interventions du MDE au niveau de la Formation des Formateurs, sensibilisation au niveau des dix (10) districts scolaires.
- La mise en œuvre d'une politique dynamique Education / Action s'est concrétisé par exemple au niveau de plusieurs établissements scolaires où une sensibilisation environnementale est faite par le ministre lui-même, un envoi de poubelle est réalisé dans chaque école visitée.
3. Préparation de documentation appropriée :
 - Biographie sur la gestion des déchets
 - Dépliants
 - Guide du Compostage
 4. Sensibilisation du grand public
- Programme télévisé dont une émission a porté sur la gestion des déchets solides.

D. La planification environnementale :

1. La préparation du Plan d'Action Environnemental devant définir une politique environnementale, qui, une fois appliquée, doit être suivie et contrôlée.
Plan finalisé en décembre 1999
Plan prévu pour une période de quinze (15) ans
Son contenu opérationnel prévoit dix (10) programmes portant alphabétiquement sur l'Assainissement, Bassins-Versants, Catastrophes Naturelles, Diversité Biologique, Energies Renouvelables, Education Environnementale, Mines et Carrières, Population, Renforcement Institutionnel, Zones Côtières et Marines.
2. La Mise en œuvre du Plan d'Action en matière de Gestion des Déchets a été une priorité des années 2000.
Une priorité est introduite au sein des programmes, avec par ordre :
 - EDUCATION ENVIRONNEMENTALE
 - ASSAINISSEMENT
 - ENERGIES RENOUVELABLES
 - RENFORCEMENT INSTITUTIONNEL

E. Sensibilisation de public à la problématique des déchets :

Elle revêt deux formes distinctes :

I- Une forme de participation interministérielle

1. Avec MENJS

- pour une éducation écologique sous les angles formels et non-formels
2. Avec MICT
 - Pour aider les mairies
 - Pour encourager l'application de Normes de Collecte
 - Pour normaliser les dépotoirs
 3. Avec TPTC
Pour la protection des sources contre l'intrusion des déchets ménagers.
 4. Avec le MARNDR
Pour une politique saine de gestion des bassins versants freinant le rejet des déchets solides dans ces dépotoirs artificiels que semblent constituer les trente-trois (33) bassins-versants du pays.

II- Une Forme de Vulgarisation à partir d'Activités propres du MDE:

Formation et sélection de plus de mille agents environnementaux ayant comme tâches de :

- Veiller à l'application des mornes, des lois régissant la bonne conduite relative comme la gestion des déchets.
- Travailler de concert avec les membres des Collectivités Territoriales (Maires-Casecs, etc..) et la Police en vue d'assurer l'exécution et la suivi sur le terrain des décisions réglementaires.[sur la gestion des déchets]
- Rechercher et constater de concert avec les membres de la Collectivité Territoriale et la Police les infractions relatives à l'environnement et soumettre le rapport aux instances concernées.
- Sensibiliser les citoyens en les encourageant à maintenir l'attitude et le comportement respectueux vis-à-vis de l'environnement. [surtout en matière de disposition des déchets ménagers].
- Intégrer les communautés locales dans la recherche scientifique et technique de l'environnement. [comme par exemple une utilisation du Recyclage]
- Intégrer les communautés locales (groupes et Association des citoyens et d'élus locaux) dans des mesures appropriées pour le sauvegarde et la protection de l'environnement [surtout dans le domaine le plus évident de pollution par les déchets].
- Organiser des activités à caractère particulier dans les communautés locales (groupes et Associations de Citoyens et d'élus locaux) pour élargir des connaissances sur l'environnement. [sensibiliser sur les vertus du compostage, de la Réutilisation de certains déchets].
- Contribuer à l'identification et la mise en place des Projets environnementaux. [relatifs à la gestion des résidus solides, au recyclage systématique].

Formation et sélection de quatre-vingt coordinateurs d'arrondissement ayant pour tâches de :

- Coordonner les travaux des Agents Environnementaux en ce qui a trait à l'application des Normes sur les déchets;
- Informer le Bureau Central sur les problèmes environnementaux. La gestion locale des déchets rencontrés par les mairies.
- Catalyser les entrepreneurs environnementaux. Dans le domaine du recyclage des déchets.

La Vulgarisation du Concept d'Entrepreneurs Environnementaux dans les arrondissements et communes, pour une meilleure prise en charge de la Valorisation des Déchets Solides

- À travers un recyclage économiquement solide
- À travers une réutilisation écologiquement adaptée
- À travers un compostage financièrement faisable

F. Sous l'angle institutionnel la politique du MDE, en matière de gestion des déchets a consisté en plusieurs volets :

1. Coopération intensive avec le Service Métropolitain de Collecte des Résidus solides (SMCRS)
 - Pour un ramassage programmé
 - Pour une meilleure collecte de déchets
 - Pour le relèvement esthétique des sites de collecte avec l'installation de plusieurs centaines de poubelles métalliques à l'intérieur d'abris-poubelles
2. Coopération avec les mairies de la Métropole (Mairies de Port-au-Prince, de Delmas, de Carrefour et de Pétion-Ville)

G. Sous l'angle légal

Par ailleurs les aspects juridiques sont prévus dans le domaine de la gestion des déchets solides en Haïti :

- La préparation et le lobbying pour le vote d'un Code de l'Environnement, compris en tant que cadre juridico-légal de contrôle et de sanction des offenses environnementales. A son chapitre VI, en ses articles 122 à 126 ci-dessous, le texte juridique couvre la problématique de la production des déchets ménagers.
- Article 122 couvrant les trois (3) grandes catégories de Résidus solides urbains.
- Article 123 précisant les institutions devant prendre en charge le nettoyage des canaux, des ravines et du littoral.
- Article 124 interdisant tout abandon anarchique de déchets, avec son cortège d'impacts (odeurs, nuisances, propagation d'épidémies...)
- Article 125 envisageant la restauration du milieu pour le polluant.

- Article 126 donnant une idée d'une application réaliste du principe pollueur-payeur.
- Réalisant l'importance du dualisme Santé-Environnement, le MDE encourage la mise en application du Code d'Hygiène Publique développé par le Ministère de la Santé Publique.
- Le MDE veille à la mise en œuvre de Conventions Internationales touchant directement à la pollution par les déchets comme:
 1. La Convention de Lutte contre la Pollution Marine (MARPOL), contenant une réglementation sur la disposition de déchets solides des navires dans les ports d'accostage,
 2. La Convention de Bâle sur le transport transfrontalier des déchets. La gestion de nos déchets plastiques est un point important qui a fait l'objet de plusieurs réflexions avec la Société Civile et les producteurs de plastique. Haïti réalise involontairement un transfert de déchets transfrontaliers (plastiques) au niveau maritime, vers Cuba et la Jamaïque.

En conclusion, la politique du MDE, en ce qui concerne la gestion des déchets, inclut l'élaboration de normes, d'indicateurs de pollution, de principes d'éducation formelle et non-formelle, de renforcement institutionnel et juridico-légal.

De leur côté, les perspectives comportent:

- le développement des collectivités territoriales et la décentralisation,
- l'engagement des mairies dans la gestion des déchets solides,
- la participation des communautés dans l'identification des problèmes que posent les déchets solides,
- la mise sur pied d'une politique de recyclage des déchets plastiques,
- la mise en œuvre du Plan d'Action Environnemental (spécialement le programme #7 sur l'ASSAINISSEMENT),
- l'application progressive et réaliste du principe pollueur-payeur,
- l'implantation des Agents Environnementaux dans toutes les communes,
- et enfin, l'utilisation du principe "formation/action" dans les interventions de sensibilisation populaires à la gestion collective des déchets solides.

MERCI POUR VOTRE PATIENCE

LA PROBLEMATIQUE DE LA GESTION DES DECHETS MENAGERS EN REPUBLIQUE D'HAÏTI

Thonart P.^(1, 2), Lardinois M. ⁽¹⁾, Rodriguez C. ⁽¹⁾, Awono S. ⁽²⁾, Destain J. ⁽²⁾, Chamblin J.F. ⁽³⁾, Grolet S. ⁽³⁾, Noel J.M. ⁽³⁾, Boisson D. ⁽³⁾, Copin A. ⁽⁴⁾, Hiligsmann S. ⁽¹⁾

1 Centre Wallon de Biologie Industrielle, Université de Liège

2 Centre Wallon de Biologie Industrielle, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux

3 Faculté des Sciences, Université d'Etat d'Haïti

4 Service de Chimie Analytique et Phytopharmacie, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux

I. Introduction

Le Centre Wallon de Biologie Industrielle (CWBI) étudie depuis de nombreuses années les potentialités des micro-organismes, que ce soit des bactéries, des champignons ou des levures. Un pool de 55 personnes (licenciés et docteurs en sciences chimique, biologique, sanitaire et sociologique; des ingénieurs chimistes ou des industries agro-alimentaires et des techniciens de laboratoire) travaille sur des études précompétitives en microbiologie et sur des recherches de nouveaux métabolites. En sus des compétences acquises dans les domaines pharmaceutiques et agro-alimentaires, le CWBI s'est aussi forgé une solide expérience dans le domaine de la biodégradation.

Le secteur environnement

Le secteur environnement développé au CWBI suit essentiellement 2 axes de recherches:

Le premier concerne l'étude et la production de micro-organismes utilisés dans diverses applications. Les installations pilotes de fermentation (jusqu'à 2.000 L), de filtration, de centrifugation, de lyophilisation, d'atomisation, etc. dont dispose le CWBI ont déjà permis la production de plusieurs micro-organismes mésophiles pour certaines bioremédiations telles que le traitement de sols contaminés (hydrocarbures, ...), la bioconversion du gypse sous-produit industriel, le traitement des biomasses (compost, décomposition de la matière organique et des effluents d'élevages) et le traitement des eaux usées (fosses septiques, puits perdus,...).

D'autre part, des études approfondies ont été menées au CWBI sur les métabolismes de biodégradation de la matière organique dans les centre d'enfouissement technique (CET) d'ordures ménagères en Belgique et en Afrique. Des modèles d'évolution de CET ont été développés à partir d'analyses physico-chimiques de déchets solides, de lixiviats et de biogaz d'une dizaine de CET de la Région wallonne (RW). La plupart des analyses sont réalisées au CWBI. Cependant certaines analyses particulières, nécessitant un équipement spécifique sont réalisées en collaboration avec d'autres laboratoires (ex. Spectrométrie de masse, dosage des métaux lourds par ICP, analyse des BTEX adsorbés sur charbon actif). De plus, durant ces travaux, le CWBI a mis en place des bio-réacteurs à l'échelle pilote simulant l'activité biologique en conditions contrôlées.

Les programmes environnement et les pays en développement

De par son activité orientée vers la coopération au développement, le CWBI s'occupe de répertorier un maximum de décharges en Afrique, en Haïti, à Cuba, ... afin de "garder en mémoire" l'existence de telle ou telle décharge et ses caractéristiques. Cela est important pour l'avenir, c'est-à-dire pour la gestion des nuisances qui se sont déclarées ou qui se déclareront dans un futur plus ou moins proche (quelques années à quelques siècles). Ce projet est financé par l'Institut de l'Energie et de l'Environnement de la Francophonie (IEPF) et la Région Wallonne de Belgique. Il a permis de créer des liens étroits entre le CWBI et les responsables de la gestion des déchets au Mali, au Cameroun, au Sénégal, au Burkina Faso, en Tunisie, en Haïti, etc.

En plus de ce projet, nous avons pu également nous appuyer sur les structures de coopération existantes pour étudier la situation au Burkina Faso et au Sénégal. Pour ce faire, nous pouvons compter sur les coopérants APEFE installés dans ces pays, ainsi que sur des projets que nous développons en accord avec la Coopération Universitaire au Développement (CUD, Projets d'Initiatives Propres) et la Région Wallonne de Belgique. Dans la continuité de ce travail, nous procédons au suivi de quelques décharges africaines et haïtiennes et nous participons également au choix de nouveaux sites possédant toutes les conditions de mise en œuvre nécessaires à la bonne gestion des déchets.

Enfin, en Haïti, en Tunisie et à Cuba, nous avons démarré depuis 1999 des projets financés par la Région Wallonne de Belgique afin d'étudier certaines décharges et en faire le bilan en termes d'activité biologique et d'impact environnemental à court et à long terme. Des carottages ont été réalisés dans 4 décharges aux caractéristiques différentes afin de collecter des échantillons solides à différentes profondeurs et d'installer des tubes de dégazage pour permettre des prélèvements réguliers d'échantillons gazeux et liquides au sein du tumulus de déchets. Ces différents échantillons solides, liquides et gazeux ont été analysés suivant plusieurs paramètres physico-chimiques et les résultats ont été corrélés entre eux et en fonction des paramètres de profondeur, âge des déchets enfouis, saison climatique lors des prélèvements, etc.

Dans le cas d'Haïti, nous travaillons en collaboration avec l'Université d'Etat d'Haïti pour développer un système de gestion des déchets ménagers efficace. Les moyens mis en œuvre pour réaliser ce projet sont la mise au point d'un laboratoire d'analyse nécessaire au suivi des décharges (projet CUD), la formation de responsables haïtiens aux techniques d'analyse par l'organisation de stages en Belgique, et l'envoi d'un coopérant APEFE dans le but de consolider les liens établis entre la République d'Haïti et la Région Wallonne.

II. Comparaison des déchets urbains en Afrique, en Haïti et en Europe

En Région Wallonne, la production annuelle de déchets ménagers était estimée à 1 523 500 tonnes en 1995 (plan wallon des déchets, 1998). Le traitement des déchets était réparti comme suit: mise en décharge, 68.6 %, incinération, 17.1%, recyclage, 9.5% et compostage, 4.8%. Les objectifs à moyen terme sont de diminuer fortement la production de déchets ainsi que

la fraction mise en décharge. Les chiffres pour 2010 sont: production de déchets ménagers par habitant et par an: 445kg (au lieu de 526kg en 1995), élimination directe en CET: 0%, élimination en CET des déchets ultimes, 4%. Ainsi, la majeure partie des déchets devront être recyclés ou valorisés énergétiquement.

Dans les pays en développement, la presque totalité des déchets sont mis en décharges, ou dispersés dans les champs, les rues et les égouts. Les techniques d'incinération, de compostage, de biométhanisation, etc... ont parfois été utilisées sans répondre aux besoins à long terme. Etant donné la diversité des conditions climatiques et hydrogéologiques, des solutions spécifiques à ces pays doivent être recherchées au cas par cas.

Tableau 1 : Composition des déchets urbains en Afrique, en Haïti et en Europe (en %)

	Europe (95)	Région Wallonne (96)	Sénégal (Dakar) (95)	Tunisie (96)	Haïti (97)
Matière organique	50	29,8	42	66	75
Papiers, cartons	32	28,1	7	15	3
Métaux	1	4,2	3	3,4	3
Verre	3	11,7	4	1,2	2
Plastiques	8	9,9	4	5,9	7
Sables, graviers, cendres	6	9,7	36	1,2	8
Chiffons	-	2,2	4	4,6	2
Autres	-	4,4	-	2,7	-
Total des déchets urbains (T/an) M = million	120M	1,52M	343,1M	1,3M	0,6-1M
Sources	Solvay, 95	Plan wallon des déchets, 98	Sarr, 97	Younès, 96	Imel, 96

Le Tableau 1 donne une indication de la composition des déchets ménagers en Europe, en Région Wallonne, en Afrique et en Haïti. La proportion de matière organique est généralement plus élevée dans les déchets africains et haïtiens, en particulier dans les petites villes.

En Haïti, la production de déchets ménagers atteint environ 3.500 m³ par jour à Port-au-Prince et de l'ordre de 600 m³ par jour sur l'ensemble des huit autres grandes agglomérations du pays (Cap Haïtien, Gonaïves, Les Cayes, St Marc, Venettes, Jérémie, Port-de-Paix, Limbé). Le taux de ramassage des déchets dans ces villes, en porte à porte ou après centralisation en points de collecte, se situe aux alentours de 50%. Les facteurs limitants sont en général d'ordre technique, économique ou socio-culturel. En effet, certaines quartiers bidonvilles ne sont pas aisément accessibles. Les moyens auparavant alloués par l'Etat pour l'assainissement et la gestion des déchets dans les villes ont été réduits voire supprimés depuis environ trois ans. Les villes ne prélèvent pas d'impôts à cet effet et n'ont pas suffisamment de main-d'oeuvre. En outre, certaines pratiques telles que le déversement des déchets d'arbrisseaux, des déchets ménagers ou des marchés dans des petits dépotoirs de quartier sont encore très fréquentes. Lors des violentes averses qui s'abattent régulièrement pendant la saison des pluies, ces déchets sont emportés vers des goulets d'étranglements où ils intensifient les effets dévastateurs des eaux : soulèvement de chaussées, inondations des berges, etc...

Les ordures des villes haïtiennes sont très riches en matières organiques d'origine agricole hautement putrescibles. Cette fraction continue de représenter, même à la capitale et dans les

villes disposant d'un port ouvert au commerce extérieur, plus de 50% de la masse totale des résidus en poids.

III. Comparaison des techniques principales de traitement des déchets solides

Diverses techniques de gestion des déchets ménagers ont été développés en permettant soit l'élimination soit la récupération (figure 1).

Tableau 2 : Comparaison des techniques principales de traitement des déchets solides.

Avantages	Inconvénients
COMPOSTAGE	
<ul style="list-style-type: none"> - simple - aérobie - peu coûteux, peu d'équipements - main d'œuvre non spécialisée - amendement pour l'agriculture - restructurant des sols à long terme - intéressant pour les déchets solides à taux d'humidité de max. 50% 	<ul style="list-style-type: none"> - utiliser des déchets biodégradables - exige une certaine surface d'entreposage et de grandes quantités d'eau (non salines) - doit être protégé des intempéries - odeurs parfois désagréables - peut contenir des métaux lourds transférables aux plantes vivrières, d'où nécessité d'un triage ou une sélection des déchets biodégradables - une fermentation mal menée ne détruit pas certains organismes pathogènes
METHANISATION	
<ul style="list-style-type: none"> - production d'énergie (gaz récupérable) - minéralisation des matières organiques et utilisation des boues résiduelles dans l'agriculture - destruction des pathogènes - traitement de déchets plus humides, entre 55 et 75% d'eau 	<ul style="list-style-type: none"> - anaérobie d'où un équipement plus coûteux - exige de grandes quantités d'eau (non salines) - odeurs désagréables en cas de mauvais confinement - pour éviter les métaux lourds et les sulfates, triage des déchets biodégradables - fermentation complexe demandant du personnel qualifié - procédé très sensible aux variations de composition du substrat, au pH (supérieur à 8), à la Température (55°C) - contrôle du stockage du gaz ou utilisation d'une torchère
INCINERATION	
<ul style="list-style-type: none"> - destruction des déchets solides de toute nature - sécurité d'élimination des déchets contaminants biologiques (hôpitaux, etc...) - utilisation des mâchefers en travaux publics après stabilisation 	<ul style="list-style-type: none"> - coûteux - personnel qualifié - traitement des fumées exigé avant rejet dans l'atmosphère - stabilisation des mâchefers avant mise en décharge ou utilisation en travaux publics, car les métaux lourds peuvent être solubilisés
MISE EN DECHARGE	
<ul style="list-style-type: none"> - simple et peu coûteux - pas de personnel qualifié - site réutilisable à certaines conditions après recouvrement - concerne les déchets solides 	<ul style="list-style-type: none"> - doit être contrôlée quant au type de déchets déposés (attention aux contaminants : sulfates, métaux lourds et toxiques pour la population et l'environnement) - son évolution (lente: 30-50 ans) doit être contrôlée comme un bioréacteur (présence de lixiviats, de gaz...) - installation de torchère s'il y a du biogaz ou éventuellement valorisation énergétique - étanchéité de couverture et de fond pour limiter l'infiltration des eaux de surface vers les déchets et vers la nappe - à installer sur site approprié pour éviter une pollution du sol et des eaux

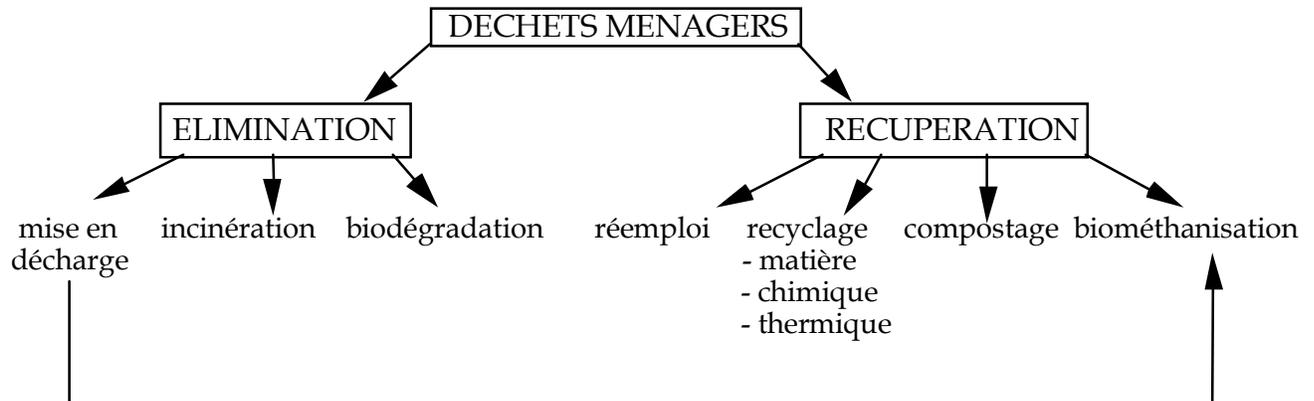


Figure 1 : Les techniques de gestion des déchets ménagers.

Le tableau 2. donne une brève comparaison des techniques principales de traitement des déchets solides, en fonction du type de déchets et de leur taux d'humidité ainsi que de la complexité et du coût du traitement.

La mise en décharge

En Europe, la mise en décharge n'est maintenant autorisée qu'après s'être assuré que l'impact sur l'environnement sera minimisé. Ainsi, la conformité des lixiviats provenant des déchets en question doit être assurée. Les nouvelles décharges doivent répondre à des critères précis d'installation après étude du site de dépôt. Elles n'acceptent plus n'importe quel déchet.

Ce qui était par le passé une décharge plus ou moins contrôlée doit être transformée en Centre d'Enfouissement Technique (CET), contrôlé du début à la fin de sa vie par les autorités (au niveau des pollutions potentielles des eaux et de l'air). On utilise des techniques qui n'étaient pas en vigueur il y a 10 ans, entres autres l'étanchéification artificielle en surface et en sous-sol.

Les pays en développement présentent en majorité des décharges sauvages, où l'absence de contrôle rend la gestion difficile par manque de données sur le type de déchets, leur humidité, leur évolution. En effet, la gestion d'une décharge peut être menée comme un bioréacteur, qui réagit au milieu environnant. Pour gérer ce bioréacteur, il faut connaître l'interaction micro-organisme/déchet et milieu environnant (pluviométrie, équilibre hydrique, évapotranspiration, caractéristique du sol).

Cette interaction dépend non seulement de la qualité des déchets (obtention d'un sous-produit valable en fin de filière) mais également des paramètres du milieu environnant. Ces paramètres externes vont faire évoluer la décharge de manière rapide ou très lente, voire même la fossiliser. Seule une décharge stabilisée (sans évolution ultérieure) peut être définie comme ne présentant pas de nuisance pour l'environnement. Un état stabilisé correspond donc à l'arrêt de la production de biogaz, à un tassement qui n'évolue plus et à une production de lixiviats sans danger pour l'environnement.

L'incinération

L'incinération permet de réduire fortement le volume et le poids des déchets ménagers en les transformant en gaz, en chaleur et en cendres et mâchefers. Les réductions en volume et en poids peuvent respectivement atteindre 90% et 60% du volume et du poids initial des ordures. Les gaz formés contiennent essentiellement l'air en excès, de la vapeur d'eau, du dioxyde de carbone (CO₂), des oxydes d'azote (NO_x), des cendres volantes et, en faible quantités, des produits divers issus de la combustion : monoxyde de carbone (CO), matières organiques (imbrûlés, dioxines,...), dioxyde de soufre (SO₂), acide chlorhydrique (HCl), etc...

L'incinération est une technique coûteuse qui demande de lourds investissements, une main d'œuvre qualifiée et un entretien constant. De plus, pour assurer une pollution minimum de l'atmosphère, les conditions d'incinération doivent être strictement contrôlées. C'est ainsi qu'une température minimale de 1200°C doit être respectée à tout moment afin d'éviter la formation d'imbrûlés. Cela veut dire que si les déchets ne suffisent pas à maintenir cette température, un combustible d'appoint (gaz, pétrole) doit être apporté, ce qui augmente considérablement le coût d'utilisation de cette technique. C'est pourquoi cette dernière ne semble pas envisageable pour résoudre les problèmes de déchets ménagers dans les pays en développement.

La méthanisation

Par méthanisation, il faut comprendre la production de biogaz à partir des déchets en utilisant des réacteurs anaérobies. Ce procédé s'apparente à une usine de production biotechnologique et nécessite l'acquisition d'un matériel de production lourd, utilisé par une main d'œuvre qualifiée, ce qui demande des investissements conséquents. De plus, pour que la production de biogaz soit conséquente, il est nécessaire de fournir une grande quantité d'eau au procédé. Ce facteur pourrait être limitant dans les pays où l'eau est une denrée rare à préserver.

Le compostage

Le compostage est l'ensemble des opérations mécaniques et biologiques conduisant à l'obtention du compost, c'est un système de traitement permettant de récupérer, à partir des déchets, de la matière organique et certains oligo-éléments en vue de leur utilisation agricole. Les déchets ménagers contiennent des quantités non négligeables de matières organiques. Ils constituent donc une matière première pour la fabrication du compost. Tous les constituants de ces ordures ne peuvent toutefois être compostés:

- matières minérales : verre, métaux, pierres, terre, poussières, cendres,...
- matières organiques difficilement dégradables : matières plastiques, textiles, cuirs, caoutchouc,...

Seuls les constituants fermentescibles (déchets alimentaires et végétaux) ou aisément dégradables (papier – carton) pourront être transformés en compost. Ce procédé implique donc l'existence de refus importants (30 à 50%) qu'il faudra traiter dans une installation annexe.

En Europe, l'utilisation des déchets ménagers est souvent limitée par la difficulté de trier les fragments de verre et de plastiques et par la présence de métaux lourds. Cette contamination

est affectée par le type de traitement utilisé, entre autre broyage et mélange. Le transfert des métaux lourds de la fraction NON fermentescible vers la fraction organique s'effectue par contamination directe et par solubilisation (ou relarguage). Ces métaux lourds, contenus dans le compost final, seront transférés dans le sol et dans les plantes, d'où le danger de l'utilisation des composts non contrôlés en culture vivrière.

Le Tableau 3 montre l'accumulation de métaux lourds tel le zinc, le cadmium et le plomb dans les plantes réputées accumulatrices tel que la laitue (Bauduin, 1986).

Tableau 3 : Influence de différentes doses de compost Idelux (t/ha) sur la qualité d'une culture de laitue (Gembloux, 1983). (Résultats exprimés en ppm sur matière sèche).

Doses de compost Eléments	Culture en bacs de végétation					Culture en parcelles			
	0	12,5	25	50	125	0	12,5	25	50
Zn	90	82	85	88	137	210	270	263	250
Cu	14	14	17	17	25	-	25,8	-	28,5
Ni	9,2	9,1	9,0	9,5	14,3	10,4	11,8	10,6	14,4
Cr	4,0	3,6	4,4	4,0	5,0	6,5	6,7	7,7	7,6
Pb	2,9	3,1	5,2	2,7	5,9	5,2	6,5	7,8	7,7
Cd	2,2	2,5	2,2	2,8	3,3	2,8	3,7	4,1	4,6

Les normes wallonnes exigent une teneur en matière sèche d'au moins 55% dans le compost. La teneur en matières organiques doit être de 16% minimum. Le rapport N nitrique/N ammoniacal doit être supérieur à 1. Les teneurs suivantes en métaux lourds ne doivent pas être dépassées: (exprimées en mg/kg de matière sèche).

Cadmium: 1,5 - Chrome: 70 - Cuivre: 90 - Mercure: 1 - Plomb: 120 - Nickel: 20 - Zinc: 300.

Les niveaux de contamination métallique des végétaux dépendent de plusieurs facteurs: (Bauduin, 1986):

- le pH du sol et l'espèce végétale cultivée,
- la nature du contaminant,
- la teneur en matière organique du sol,
- la concentration, dans le compost, du contaminant.

Le pH du sol: les transferts sont plus importants en sols acides.

L'espèce végétale concernée: les cultures maraîchères concentrent dans leurs tissus le zinc et le cadmium. Par contre, en grande culture, les dangers sont réduits.

L'élément métallique considéré: le zinc et le cadmium sont mobiles et ont un comportement similaire. Ils sont rapidement assimilés et même "bioconcentrés" par les plantes maraîchères foliacées. Le cuivre est peu mobile et rarement assimilé. Le plomb, peu mobile, devient disponible grâce à la minéralisation du compost. Le nickel et le chrome présentent des risques réduits de contamination, même s'ils sont transférés par les plantes.

Teneur en matière organique du sol: elle limite la disponibilité des éléments métalliques. Des apports successifs de compost ont le même effet.

La concentration en élément: ce sont surtout celles en zinc et cadmium qui déterminent la contamination des plantes par ces éléments.

La présence de métaux lourds dans le compost final peut être minimisée par l'introduction d'une collecte séparée: végétaux, fruits et déchets de jardin sont stockés et collectés séparément de la fraction non fermentescible.

En Afrique, les déchets urbains contiennent moins d'emballages et donc une proportion plus importante de matière organique, ils se prêteraient donc mieux au compostage, a priori. Aucune donnée n'existe sur la proportion de piles dans les déchets ménagers, piles qui sont une source importante de métaux lourds. Le problème des piles a suscité la création de collectes organisées dans plusieurs pays d'Europe où les particuliers vont déposer les piles usagées dans les grands magasins, chez les photographes, dans les écoles, etc... La collecte et le stockage s'organise donc, tout en notant que les techniques de recyclage des piles sont encore coûteuses et en cours d'amélioration.

Outre les piles, la présence de journaux ou de publicités imprimés en couleur apporte également une certaine proportion de métaux lourds. Ainsi, certains incinérateurs ont supprimé l'étape de broyage des ordures ménagères qui mettent en contact ces imprimés avec de la matière organique humide et favorise le relargage des métaux lourds contenus dans les encres.

De plus, les nouvelles normes européennes, de part leurs exigences en matière de limitation des métaux lourds dans les composts, ne permettent plus de faire du compostage d'ordures ménagères, d'où l'arrêt de certaines unités qui étaient couplées à un incinérateur. Pour rentabiliser les aires de compostage existantes, une nouvelle filière a dû être créée: la collecte sélective des déchets verts, en vue de produire un compost purement organique répondant aux normes sur les métaux lourds.

Conclusions

Considérant le problème posé par la collecte ainsi que celui des décharges, la gestion des résidus métropolitains passe avant tout par une réduction des quantités générées à la source. Promouvoir le compostage individuel ou dans de petites collectivités en est un bon moyen. A plus grande échelle, cette technique a déjà montré ses limites à plusieurs reprises en Haïti comme ailleurs dans le monde. Il en est également de même pour les autres techniques de valorisation de la matière organique telles que la biométhanisation.

En fin de compte, dans des situations socio-économiques telles que celle de Haïti, la mise en décharge reste la technique la plus simple à première vue et la moins onéreuse pour l'élimination des ordures ménagères après retrait éventuel des matériaux recyclables (plastiques, verres, métaux, etc...) à condition qu'elles soient exemptes de produits toxiques (produits pharmaceutiques, hydrocarbures, encres, batteries, piles ou autres déchets renfermant des métaux lourds et des concentrations élevées en produits chimiques). Il existe toutefois plusieurs critères à respecter tant au niveau du choix des sites que de l'exploitation proprement dite.

IV. La gestion biologique des décharges

Caractérisation des décharges

Une décharge est caractérisée par un flux entrant, un flux sortant ainsi que par une population microbienne (Figure 2).

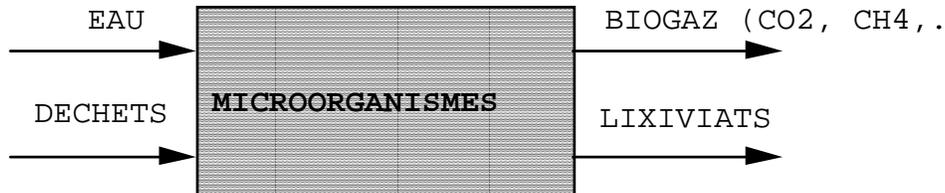


Figure 2 : Le bioréacteur "décharge"

Le flux entrant correspond à l'entrée d'eau dans la décharge ainsi qu'à l'apport de déchets durant le remplissage. L'eau est issue du ruissellement de la décharge, des précipitations ainsi que de l'eau constitutive des déchets.

Le flux sortant correspond aux lixiviats, c'est-à-dire aux eaux de percolation de la décharge, et au biogaz produit.

En ce qui concerne les échanges gazeux, il s'agit de l'apport en oxygène et de la production de biogaz. Cependant, l'apport en oxygène est limité, pour une bonne part, à la courte période séparant l'apport des déchets et leur compactage.

Tout comme un bioréacteur, la décharge est le siège d'une activité microbologique et peut donc être caractérisée de la même manière (Tableau 4). Elle dépend de divers paramètres physico-chimiques (pH, température, humidité,...) et consiste en une dégradation de certains déchets ménagers en présence d'eau.

Tableau 4: Comparaison bioréacteur - décharge classique

Critères	Bioréacteur	Décharge
Matières premières	- substrat établi comme optimum par rapport au micro-organisme donné	- substrat très variable
Micro-organisme	- micro-organisme choisi en fonction de la production - le milieu est déterminé en fonction du micro-organisme	- population microbienne complexe déterminée par la nature du milieu
Paramètres (pH, t°, aération)	- régulés	- évolution naturelle rem : pas d'aération ni d'agitation
Produits finaux	- biomasse + milieu + produit	- biomasse + lixiviats + biogaz

Fraction biodégradable des déchets ménagers.

Répertoriés habituellement en fonction de leur nature (Tableau 5), les déchets ménagers peuvent être classés en trois fractions :

- 1) biodégradable : 50 à 70%, elle comprend les matériaux dégradés par l'action de micro-organismes en un laps de temps déterminé (végétaux, déchets alimentaires, fruits, produits cellulosiques et les plastiques biodégradables),
- 2) inerte : 25 à 30%, elle comprend les matériaux non dégradés par l'action de micro-organismes en un laps de temps déterminé (verre, pierres, céramiques, plastiques non biodégradables, textiles synthétiques, caoutchouc,...), cette fraction apporte plus de nuisance que de pollution chimique,
- 3) contaminants : 2 à 5%, ce sont des matériaux qui relâchent des contaminants chimiques (ex : des métaux lourds) dans le milieu et qui ne sont pas biodégradables (batteries, boîtes métalliques, solvants, peintures, huiles,...)

Tableau 5 : Composition moyenne des déchets ménagers en Europe (1990). (Van Belle, 1992)

Matériaux	Proportion (% en poids)
Papiers/cartons	25-35
Plastiques	7-10
Métaux ferreux	3-5
Métaux non ferreux	0,5-2
Verres	5-10
Céramiques	1-2
Matières putrescibles	25-35
Déchets de jardin	10-15
Divers	10

Processus biochimiques et évolution biologique de la décharge

Dans une décharge les micro-organismes sont responsables de la production de biogaz. Celui-ci est de nature différente selon qu'il est produit par des micro-organismes aérobies (travaillant en présence d'oxygène) ou anaérobie (travaillant en l'absence d'oxygène).

Dans le premier cas il est composé essentiellement de gaz carbonique et d'eau. Toutefois ce type de biogaz n'est produit qu'en faible quantité car, étant donné le comblement progressif et la compaction des déchets, la phase aérobie est brève et ne concerne que le début de l'accumulation sur le site et ultérieurement la couche supérieure des déchets.

La phase anaérobie quant à elle, très complexe et dépendante de nombreux paramètres, présente globalement quatre étapes (Figure 3).

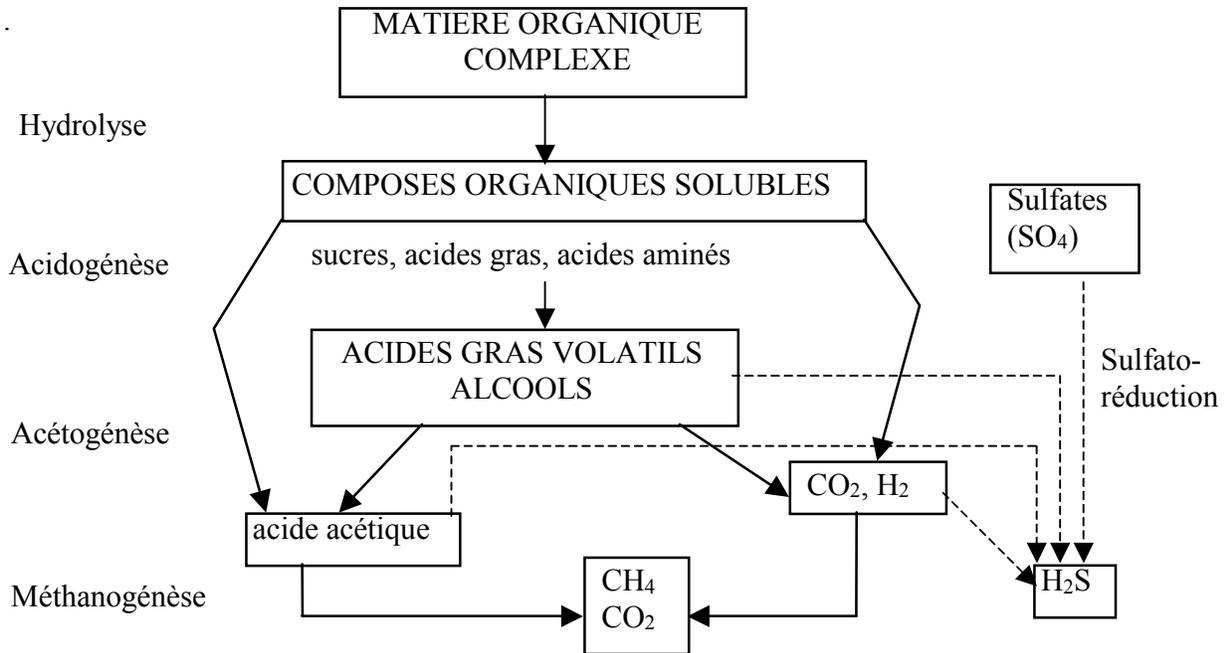


Figure 3 : Processus biochimiques se déroulant dans une décharge

La première étape est en relation avec des micro-organismes producteurs d'enzymes extracellulaires. Ces enzymes sont responsables de l'hydrolyse de macromolécules (hydrates de carbone, protéines, matières grasses) en molécules plus petites et solubles (sucres, acides aminés, acides gras). Cette étape peut se dérouler en aérobiose partielle. (Thonart *et al.*, 1988)

Au cours de l'étape d'acidogénèse, les produits de l'hydrolyse sont bioconvertis par des bactéries acidifiantes notamment en alcools et acides gras de petites tailles (jusqu'à cinq carbones) aussi appelés acides gras volatils (AGV).

Le groupe des bactéries acétogènes est très hétérogène et produit de l'acide acétique, de l'hydrogène et du dioxyde de carbone (CO₂) à partir des AGV.

Quant aux bactéries méthanogènes, elles sont anaérobies strictes. Un premier groupe consomme l'hydrogène et le dioxyde de carbone pour donner du méthane (CH₄), un second transforme l'acide acétique en méthane et en dioxyde de carbone. Globalement, la consommation des AGV provoque une remontée du pH qui, elle, stimule l'activité méthanogène.

A noter également qu'une sulfato-réduction peut apparaître notamment en présence d'une concentration élevée en sulfates (SO₄). Ces derniers sont présents dans plusieurs types de déchets de construction ou dans le sous-sol de certaines décharges, à proximité des mers ou des lacs salés, par exemple. Les bactéries sulfato-réductrices anaérobies strictes, utilisent l'hydrogène, l'acide acétique, les alcools et les AGV pour former du CO₂ et du sulfure d'hydrogène (H₂S).

La stabilisation de la matière organique et la chute de la production de gaz correspondent à la phase terminale d'évolution de la décharge.

La Figure 4 représente le profil de concentration de différents composés du biogaz en fonction du temps. La phase I correspond à la phase aérobie. Les phases II et III correspondent à la transition entre la phase aérobie et la phase anaérobie méthanogène. La durée de ces trois phases est de 0.25 à 1.5 ans. La phase IV est la phase méthanogène. La production de méthane y est constante. Elle peut durer jusqu'à 50 ans et plus. La phase V correspond à la fin de l'activité de la décharge.

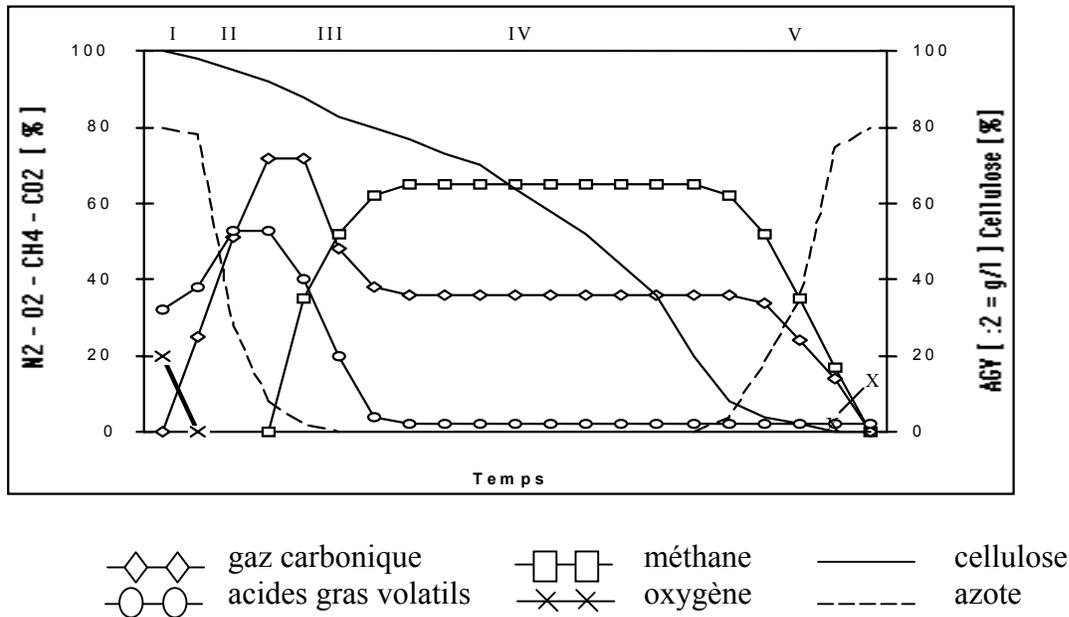


Figure 4 : Evolution de la composition du Biogaz en fonction du temps - modifié de Farquhar and Rovers (1973)

Les paramètres physico-chimiques intervenant dans la gestion biologique

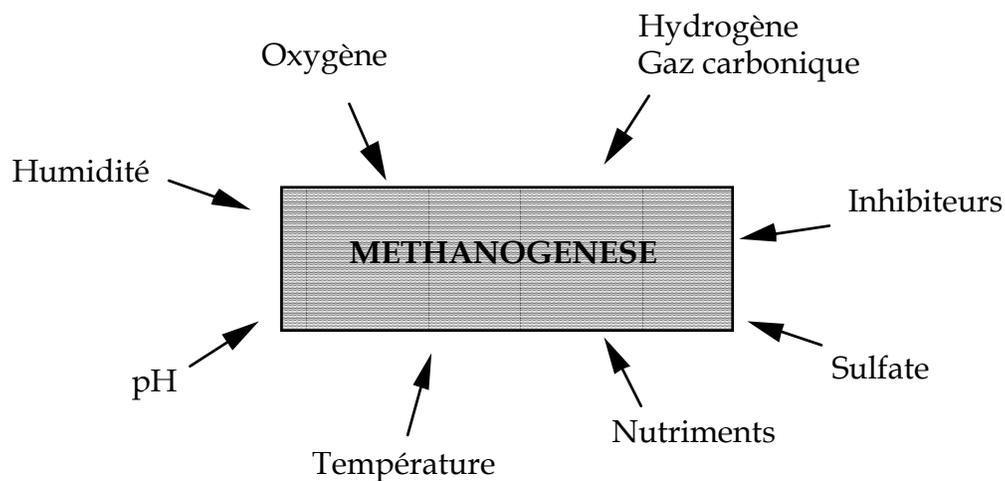


Figure 5 : Paramètres importants liés à la méthanogenèse

La Figure 5 montre les paramètres important intervenant dans le processus de méthanogénèse. Ainsi, nous savons que des conditions d'anaérobiose, d'humidité optimale (55-80%, Senior 1990) et de pH compris entre 6,8 et 8 sont essentielles au bon déroulement de la méthanogénèse. Un pH plus acide et une concentration en sulfates élevée sont, par contre, des conditions favorisant une sulfato-réduction. Le sulfure d'hydrogène alors produit par les bactéries sulfato-réductrices a un impact négatif sur l'environnement. Une limitation de cette bioconversion s'impose donc doublement. Il apparaît également bien démontré qu'un régime semi-solide (20 - 30% M.S.) et un régime thermophile (55°C) sont des conditions particulièrement favorables à la méthanogénèse (Schlitz *et al.*, 1992).

Ces paramètres renseignent également sur l'état physiologique de la décharge. De plus, Il permettent de caractériser l'évolution de la décharge par des lois décrivant leur évolution en fonction du temps, c'est-à-dire de réaliser une modélisation. L'intérêt de cette modélisation réside principalement dans l'évaluation de la durée de vie de la décharge sur base d'un échantillonnage restreint.

Nous avons pu définir des paramètres de contrôle de la décharge au niveau du biogaz, des déchets et des lixiviats, ainsi que des paramètres d'évolution (tassement des déchets, teneur en cellulose,...) et des indicateurs de performance. Des facteurs limitant le potentiel d'évolution biologique de la décharge ont également été déterminés tels que la teneur en eau des déchets et l'hydrolyse de la cellulose.

Une évaluation du temps de vie de la décharge est indispensable :

- au contrôle de la toxicité des effluents gazeux et liquides
- à la mise en place des unités de traitement des lixiviats
- aux projets de récupération et de valorisation du biogaz
- à l'aménagement et à la réhabilitation du site.

Modèles basés sur le biogaz de la décharge

L'évolution du biogaz des décharges d'ordures ménagères est celle de la Figure 4 (cf paragraphe précédent). La composition du gaz permet donc de classer la décharge dans une des 5 phases. La méthanogénèse débute à la phase III. La phase IV est caractérisée par une stabilisation de la concentration et du rapport CH₄/CO₂. L'évaluation de l'âge de la décharge, en phase IV, nécessite donc la détermination de paramètres supplémentaires.

Modèles basés sur l'analyse des déchets solides

Teneur en cellulose

La cellulose est le polymère de sucre retrouvé en majorité dans les sites d'enfouissement de classe II. Durant les quatre premières phases de l'évolution de la décharge (selon le graphique de Farquhar et Rovers, Figure 4), sa dégradation est considérée comme linéaire en fonction du temps. Sa demi-vie est estimée à 15 ans. D'autre part, la cellulose serait encore quasi la seule source carbonée utilisée par les microorganismes durant la phase IV. Sa dégradation incomplète, serait de 71 à 77%, contribuant à 90% du méthane total produit dans la décharge (Gendebien et al, 1992). D'autre part, la biodégradabilité de la cellulose est fonction de son traitement antérieur

et est fortement influencée par la teneur en eau des déchets. La cellulose est un facteur limitant de la durée de vie de la décharge.

Teneur en eau

La mesure de la teneur moyenne en eau permet d'évaluer, du moins entre 20 et 70% d'humidité des déchets, la productivité en biogaz (Figure 6) et indirectement, de déterminer le temps requis jusqu'à la stabilisation biologique de la décharge.

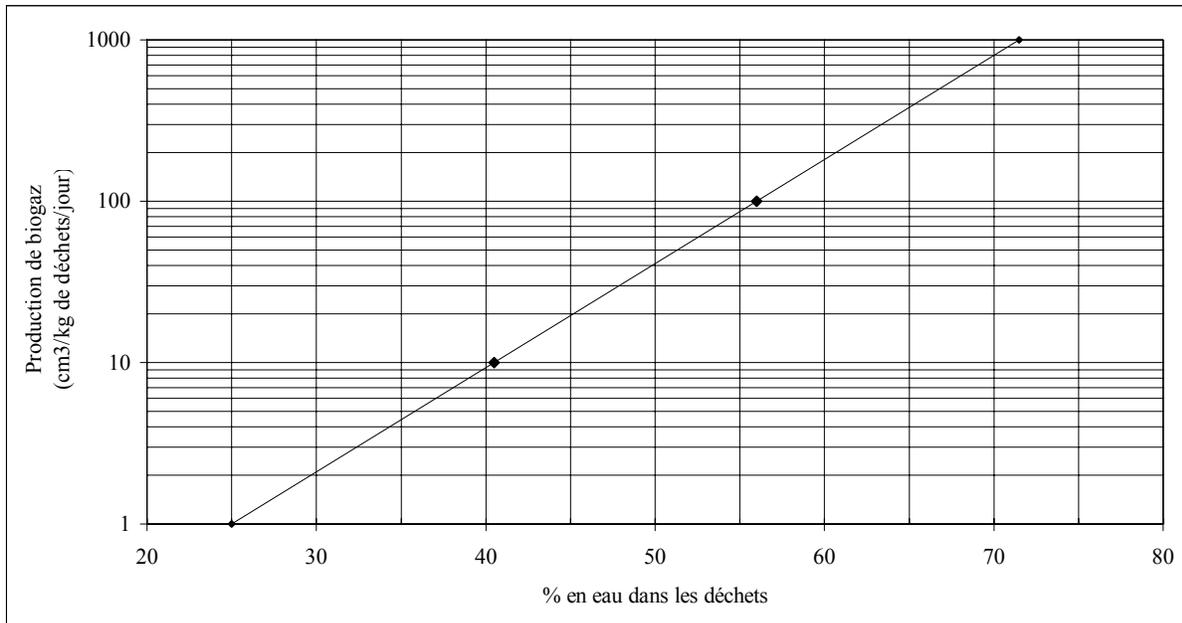


Figure 6 : Effet de la teneur en eau sur la productivité de biogaz

Activité d'eau (A_w)¹

Elle détermine la disponibilité de l'eau pour les réactions chimiques et biochimiques. Elle est un indicateur direct des potentialités de dégradation microbienne en fonction des seuils d' A_w minimum requis. Selon un modèle adapté de Labuza (1972), une bonne activité microbienne s'inscrit dans un intervalle d' A_w de 0,85 à 0,95 en fonction du type de microorganisme.

Des résultats complémentaires explorant la zone des A_w entre 0,94 et 1 pourraient permettre d'utiliser cette propriété comme un indicateur de performance.

Tassement de la décharge

Le tassement est un indicateur direct de la vitesse de dégradation. Le tassement prévisible, en fonction de la hauteur du lit de déchets, est donnée par des courbes théoriques. Elles permettent de diagnostiquer le temps requis jusqu'à la stabilisation biologique de la décharge. Un

¹ $\frac{\text{pression de vapeur saturante à l'équilibre au dessus du produit}}{\text{pression de vapeur saturante de l'eau pour une température donnée}}$

tassement complet théorique total de 40% est probable dans des conditions de méthanogénèse optimale (Emberton et Barker, cités par Gendebien, 1992). En pratique, un tassement moyen de 30 à 35% est observé en décharge (Figure 7).

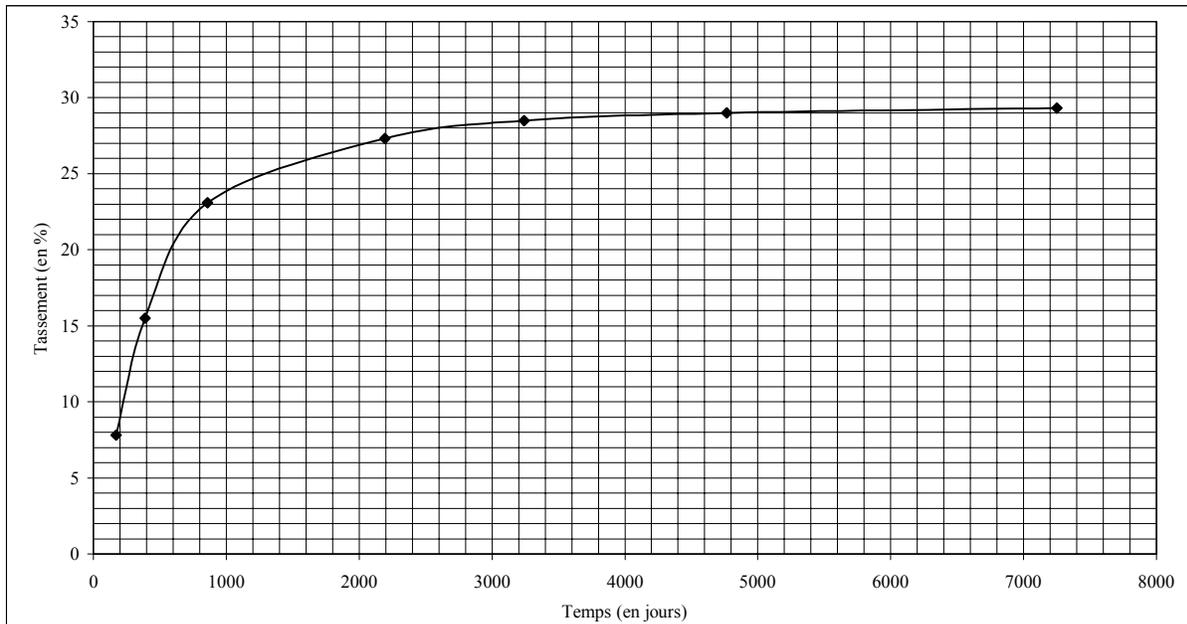


Figure 7 : Evolution du tassement du lit de déchets au cours du temps (Thonart et al, 1995)

Modèles basés sur l'analyse du lixiviat

Le lixiviat renseigne sur le métabolisme interne de la décharge. L'utilisation de modèles basés sur l'évolution du lixiviat est surtout intéressante durant les dix premières années de vie de la décharge, période majeure de dégradation intense.

Evolution du pH

Son évolution est une fonction linéaire du temps pour une courte période de vie de la décharge, essentiellement durant l'utilisation des acides gras volatils (AGV) (Tableau 6).

Tableau 6 : Evolution du pH des lixiviats en fonction du temps

Age de la décharge	pH des lixiviats
0 à 2 ans	acidification importante et variable
2 à 6 ans	$\text{pH} = 4,5 + 0,71.t$
après 6 ans	Stabilisation du pH à 8-8,5

Rapport DBO₅/DCO

Ce rapport suit une évolution linéaire au cours du temps. Toutefois, une bonne estimation de l'âge de la décharge n'est valable que sur de courtes périodes (10 ans).

Pour rappel, la demande chimique en oxygène, DCO, quantifie l'état d'oxydation des substances présentes dans les lixiviats. Elle est mesurée par une oxydation à chaud d'un échantillon avec du KMnO_4 . Elle est exprimée en mg de O_2 consommé par litre de lixiviats.

La demande biologique en oxygène à 5 jours, DBO_5 , quant à elle, quantifie la biodégradabilité des lixiviats. Elle est déterminée en fonction de la quantité d'oxygène consommé par les micro-organismes présents dans les lixiviats. Elle est exprimée en mg de O_2 consommé par litre de lixiviats.

Le rapport DBO_5/DCO représente la biodégradabilité des lixiviats. Plus le rapport est élevé, plus les lixiviats sont biodégradables. (<0.1 : non biodégradable, >0.8 : totalement biodégradable)

Teneur en ions sulfates

L'évolution de la concentration en sulfates dans les lixiviats est, selon la littérature, linéaire du moins entre la deuxième et la sixième année.

Teneur en acides humiques et fulviques

Ces molécules sont absentes du lixiviat de décharge jeune. Les acides fulviques de poids moléculaires proche de 500 augmentent pour un lixiviat d'âge moyen. Un lixiviat stabilisé présente une forte proportion d'acide humique de poids moyen supérieur à 5000.

Le CWBI a abordé le dosage quantitatif de ces molécules, peu étudié jusqu'à présent. Un modèle fiable de caractérisation de décharge âgée devrait pouvoir être proposé sur cette base.

Conclusions

Les paramètres tels que la teneur en cellulose, la teneur en eau et le tassement des déchets permettent une bonne évaluation de la durée de vie de la décharge.

Par contre, des paramètres basés sur l'analyse du lixiviat (pH, DBO_5/DCO , contenu en SO_4^{--}) permettent d'évaluer l'âge de la décharge. L'utilisation de tels paramètres est toutefois limitée aux 8 à 10 premières années de la décharge.

Des modèles de quantification sont également attendus dans l'avenir sur base des débits gazeux et, pour la décharge âgée, sur base des teneurs en acides humiques du lixiviat.

Impact sur l'environnement des décharges

Le Tableau 7 reprend les nuisances qui sont créées par une décharge. Nous allons ci-après détailler les deux plus importantes, à savoir les lixiviats et le biogaz.

Les lixiviats : origine et composition.

Les lixiviats ou eau de percolation de la décharge sont chargés bactériologiquement et surtout chimiquement de substances tant minérales qu'organiques. Ils peuvent se mélanger aux eaux de surface comme aux eaux souterraines et donc constituer un élément polluant tant par leur aspect quantitatif que qualitatif (éléments écotoxicologiques).

La source principale en eaux d'une décharge vient des précipitations. Il faut toutefois tenir compte de l'humidité des déchets et, parfois, du niveau de la nappe phréatique qui peut remonter jusqu'à la base d'une décharge (en temps de crue).

L'eau traversant la couche de déchets va se charger en substances polluantes telles que la matière organique soluble résultant de l'activité biologique de la décharge, des constituants inorganiques comme les métaux lourds (provenant des piles), et des germes qui peuvent être dangereux pour la santé et l'environnement (Figure 8).

Tableau 7 : Nuisances créées par une décharge.

LIXIVIATS	BIOGAZ	ANIMAUX ERRANTS	DECHETS SOLIDES	ASPECT VISUEL, CHARROI, ...
CONSEQUENCES DIRECTES				
Contamination: - du sol - de la nappe phréatique - des cours d'eau - des mers	- odeurs - explosions - incendies - pollution atmosphérique	- parasites de la décharge - destruction de la faune et de la flore	- éboulements - déchets volants - blessures sur objets coupants - tassement	- sécurité dans les villages - paysages modifiés
CONSEQUENCES INDIRECTES				
- intoxications par l'eau de consommation - épidémies - destruction de la faune et de la flore	- intoxications - asphyxie - effet de serre - maladies type cancers	- vecteurs de maladies - épidémies - infections dues: au morsures au griffes	- infections	- sur le tourisme - opposition de citoyens

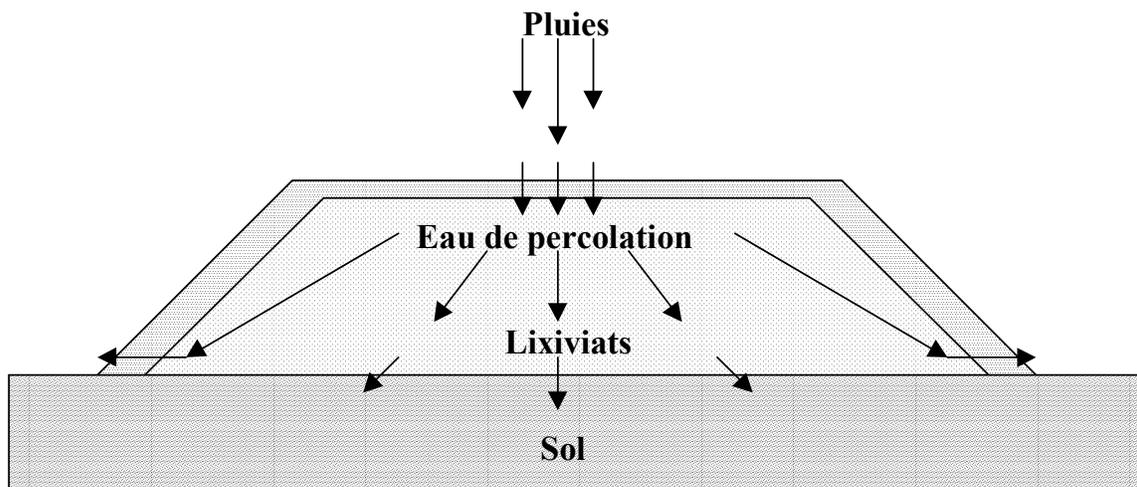


Figure 8 : Les lixiviats

Il est difficile de prévoir la composition des lixiviats car elle dépend de la nature des déchets, du volume des précipitations, ainsi que du stade de dégradation atteint. Le Tableau 8 reprend les domaines de concentration des substances et paramètres les plus souvent utilisés pour caractériser les lixiviats de décharges jeunes ou âgées. On y retrouve aussi les normes de rejets pour les décharges wallonnes ainsi que les concentrations maximales admises pour l'eau de boisson (eau du robinet) en Wallonie.

Tableau 8: Domaines de concentration de divers composés et normes concernant les lixiviats de décharges. (Gendebien, 92; Ehrig, 89; D.P.E., 98 ; DGRNE, 98, SWDE 98)

PARAMETRES	Domaine acidogénèse	Moyenne acidogénèse	Domaine méthanogénèse	Moyenne méthanogénèse	normes de sortie	eau de boisson
DCO <i>mg O2 cons/l</i>	1 000-60 000	22 000	500-4 500	3 000	300	5
DBO5 <i>mg O2 cons/l</i>	1 000-40 000	13 000	20-550	180	100	
COT <i>mg C/l</i>	700-10 000					Si augmentation
Mat. En suspension <i>mg/l</i>	3 000-50 000		3 000-50 000		60	
DBO5/DCO -	0,6-0,8	0,58		0,06		
DCO/COT -	1-4		1-4			
Azote Kjeldahl <i>mg N/l</i>	10-5 000	1 250	10-5 000	1250		1
Ammonium <i>mg N/l</i>	0-3 000	750	0-3 000	750	100	0,03
Azote organique <i>mg N/l</i>	10-4 000	600	10-4 000	600		
Nitrates <i>mg N/l</i>	0,1-10	3	0,1-10	3		0,8
Phosphates totaux <i>mg P/l</i>	0.5-50	6	0.5-50	6		
Sulfates <i>mg SO₄⁻/l</i>	70-1 750	500	10-420	80		250
pH -	4,5-7,5	6,1	7,5-9	8	6,5-10,5	6,5-9,2
conductivité <i>μS/cm</i>	2 000-80 000					2100 (20°C)
Ca ⁺⁺ <i>mg/l</i>	10-7 200	1 200	20-600	60		270
Mg ⁺⁺ <i>mg/l</i>	30-15 600	470	40-350	180		50
Na ⁺ <i>mg/l</i>	0-7 700	1 350				150
K ⁺ <i>mg/l</i>	10-2 500	1 100	10-2 500	1 100		12
Cl ⁻ <i>mg/l</i>	100-5 000	2 100	100-5 000	2 100		200
Fe <i>mg/l</i>	20-2 000	780	3-280	15		0.2
Zn <i>mg/l</i>	0.1-120	5	0.03-4	0.6	7000	5
Hg <i>μg/l</i>	0.2-50	10	0.2-50	10	150	1
Cr total <i>μg/l</i>	20-1 600	300	20-1 600	300	2000	50
Cd <i>μg/l</i>	0-140	6	0-140	6	600	5
Cu <i>μg/l</i>	4-1 400	80	4-1 400	80	4000	1 000
Pb <i>μg/l</i>	8-1 000	90	8-1 000	90	1000	50
Ni <i>μg/l</i>	20-2 000	200	20-2 000	200		50
Germes Totaux <i>UFC/ml (37°C)</i>			Plusieurs millions			
Coliformes fécaux <i>UFC/100 ml</i>			Plusieurs centaines			Absence dans 100 mL

Tableau 9 : Normes et recommandations pour les concentrations respirables dans l'air (NIOSH, 1998 ; Gendebien, 1992)

SUBSTANCE	Exposition continue TWA				exposition à court terme		CONCENTRATION DANS LE GAZ		CONVERSION 1 ppm = ? mg/m ³
	Belgique ppm	ACGIH- TLV ppm	OSHA-PEL ppm	NIOSH ppm	NIOSH ppm	ACGIH- OSHA ppm	moyenne (ppm)	maximum (ppm)	
CH ₄							6E5 (60%)	850000	
CO ₂	5000	5000	5000	5000	40000	30000	4E5 (40%)	880000	1,8
CO	50	25	50	35	1200	200-400	10	30000	1,15
H ₂ S		10	10		100	10-20	10	70	1,4
Benzène	10	10	10	0,1	500	1		35	3,19
Toluène	100	50	200	100	500	150-300	+ composés en trace	125	3,77
Xylènes	100	100	100	100	900	150	10000-20000 (1%-2%)	110	4,34
Chloroéthylène H ₂	5	5	5		lowest			100	2,56
O ₂	si <10% : dégâts au cerveau ; si <16% : respiration augmente ; idéal : >18% à P atmosphérique							3,1E5 (31%)	Si infiltration d'air frais dans la décharge.
N ₂	asphyxiant							8,25E5 (82,5%)	

ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists

NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health

OSHA: Occupational Safety and Health Administration

IDLH: Immediately Dangerous to Life or Health concentration value

STEL: Short -Term Exposure Limit

PEL: Permissible Exposure Limit

TWA: Time -Weighted Average

TLV: Threshold Limit Value

mg/m³: milligramme par mètre cube d'air

ppm: parts par million de parts d'air (en volume)

Nous pouvons remarquer que, en ce qui concerne les décharges que nous avons pris en exemple, les normes de rejets sont respectées sauf pour la DCO, la DBO₅, les matières en suspension et les ions ammonium. Par contre, bien que cela semble évident, il est important d'insister sur le fait qu'il ne faut pas utiliser les lixiviats comme eau de consommation pour la boire, se laver, nettoyer des aliments ou d'autres choses.

Les lixiviats : risques environnementaux et sanitaires.

Les lixiviats représentent une grande part de la pollution liée à une décharge. Contrairement au biogaz, qui aisément dispersé dans l'atmosphère, les lixiviats, de part leur nature liquide, sont une source concentrée de polluants.

Le plus grand risque lié à la production de lixiviats est la contamination de la nappe phréatique. Cela aurait pour conséquence de polluer les puits d'eau de consommation et donc de priver la population d'un élément vital à sa survie. Dans le même ordre d'idée, il est nécessaire de ne pas utiliser les lixiviats comme eau de consommation.

En cas de consommation d'eau polluée par les lixiviats, les risques encourus sont des intoxications qui peuvent avoir des conséquences fatales si un suivi médical n'est pas assuré. Signalons également que la pollution des réserves d'eau potable par des micro-organismes pathogènes est susceptible de provoquer des épidémies.

Au-delà de ces considérations, les lixiviats doivent être traité comme des substances dangereuses. Il est nécessaire d'en organiser la collecte et le traitement afin de limiter au maximum les conséquences sur l'environnement et la santé.

Le biogaz : origine et composition.

La majorité du biogaz produit vient du processus anaérobie qui est très complexe et qui dépend de nombreux paramètres. Notons que 90% de la production de méthane d'une décharge se fait au départ de la cellulose contenue dans les papiers, cartons, bois, etc. La dégradation est toutefois incomplète et limitée à environ 75%. (Gendebien, 1992). Il faut également tenir compte des odeurs provenant des déchets frais.

Tableau 10 : concentration (%) dans le biogaz (SPAQUE, 1991 & D.P.E. 1998; Gendebien, 1992)

	Modena (I)	Eberstadt (A)	Anton (B)	Mont St Guibert (B)	maximum
CH ₄	51	53,6	60	54	85
CO ₂	38	38,8	30	24	88
CO	0,5	0,034			3
N ₂	5	6,2			82,5
O ₂	1	1,4			31
H ₂ S	0,005	0,023		0.001	0,007

La composition du biogaz est très variable et dépend notamment de :

- l'âge de la décharge
- les conditions de mise en décharge (compactage)
- la composition des déchets

Le Tableau 10 reprend les principaux constituants du biogaz produit dans une décharge et donne les concentrations mesurées dans différents sites européens ainsi que les valeurs extrêmes rencontrées.

Outre ces composants majeurs il existe une multitude de substances organiques à l'état de traces (Tableau 9). La nature de ces produits est très variée : aldéhydes, cétones, alcools, composés aromatiques, composés halogénés et composés organo-sulfurés.

Les origines de ces substances sont les dégradations biologique et chimique des déchets ainsi que le relargage de gaz provenant de la mise en décharge de déchets les contenant : frigos, solvants, aérosols, etc. Leur part dans la production de biogaz est faible et leurs proportions relatives sont très variables.

Le biogaz : risques environnementaux et sanitaires.

Les risques liés au biogaz peuvent être classés de la façon suivante :

- risques pour les humains
 - toxicité des substances
 - asphyxie
 - explosion – incendies
- risques de pollution de l'atmosphère
 - effet de serre
 - smog

Impact sur la qualité de la vie

Outre ces aspects techniques, il existe d'autres nuisances provenant des décharges ayant un impact environnemental souvent moindre que le biogaz et les lixiviats, mais dont les conséquences sur la vie socio-économique sont plus facilement discernables.

L'impact visuel des décharges d'ordures ménagères, couplé avec le problème des odeurs, sont des préoccupations qui doivent être prise en compte lors du choix des sites de décharge. De même, il faut s'assurer que l'acheminement des déchets sur le site ne va pas créer des problème de sécurité pour la population voisine.

L'activité de stockage des déchets entraîne également toute une série de parasites tels que les animaux errants, qui sont une source de nuisance pour la population et pour les travailleurs.

Influence du bilan hydrique sur les décharges

Dans les pays humides tels que la Belgique, l'évolution des décharges est, nous l'avons vu, guidée par une activité microbiologique importante. Celle-ci, comme tout processus microbiologique, est directement tributaire de la teneur en eau de la décharge.

Dans les pays ayant un climat plus sec, le taux d'humidité dans la décharge pourrait être un paramètre, si pas le paramètre déterminant, du type d'évolution de la décharge. Il serait essentiellement défini par les conditions climatiques et l'hydrogéologie locale. Par exemple, en Afrique, 6 zones climatiques sont définies notamment sur base du régime des pluies : pluviométrie et répartition des pluies sur l'année. Ceci peut amener des pays africains à être divisés globalement en deux à six parties climatiques.

Tableau 11: Zones climatiques en Afrique.

Zones climatiques	Pluviométrie ^a	Humidité des sols	Type de décharge
I MEDITERRANEENNE Tunisie	50-200 / 0 / 200-800	50 à 80% sur une courte période (2-5 mois).	INTERMEDIAIRE Evolution très lente.
II DESERTIQUE Sénégal; Egypte	0 / 0 / 50-100 (averses accidentelles)	Pas d'humidité au sol; pas de réserve d'eau.	SECHE FOSSILISEE Fossilisation des déchets organiques.
III SAHELIENNE Sénégal	0 / 0 / 50-400 (averses plus fréquentes)	Idem ci-dessus	SECHE FOSSILISEE Idem ci-dessus.
IV TROPICALE A LONGUE SAISON SECHE Mali; Sénégal; Burkina-Faso	0 / 50-300 / 400-1400	Variable suivant les stations.	Généralement SECHE , parfois INTERMEDIAIRE .
V TROPICALE HUMIDE Congo	0 / 100-300 / 1400-2000	7-10 mois, favorable à une évolution biologique.	HUMIDE Une biométhanisation devrait être observée. Lixiviats présents.
VI EQUATORIALE Zaïre	10-400 / 10-400 / 1800-3200	Presque continue., favorable à une évolution biologique.	HUMIDE Idem

^a Moyennes du mois de janvier [mm] / du mois de juillet [mm] / de l'année [mm].

D'après le Tableau 11, les observations suivantes s'imposent :

Les villes situées en zone climatique désertique (II) et sahélienne (III) ne présentent ni réserves d'eau, ni humidité au sol. Quelques villes situées très au nord de la zone tropicale à longue saison sèche (IV) telles que Dakar, Ouagadougou et Segou sont quasi dans la même situation. On s'attend à n'observer aucune dégradation microbiologique de déchets de décharges ainsi situées. Le taux d'humidité apporté par les déchets et les pluies ne pouvant vraisemblablement assurer ce type d'activité. Seule une dégradation de type physico-chimique pourrait être observée. Une telle décharge, loin

d'être un bioréacteur serait plutôt un lieu de fossilisation des déchets organiques par dessiccation.

La majorité des villes localisées dans la zone climatique tropicale humide (V) et équatoriale (VI) présentent des bilans hydriques apparemment favorables à une évolution biologique des décharges. De plus, les périodes d'humidité du sol y sont habituellement longues (7 à 10 mois). Une biométhanisation devrait pouvoir y être observée.

Dans ces mêmes zones climatiques, il existe également des villes telles que Cotonou (zone VI), située en Afrique de l'Ouest, présentent une situation intermédiaire semblable à plusieurs villes de la zone tropicale à longue saison sèche (IV). Un taux d'humidité au sol de 50 à 80% y est observé sur une courte période (2 à 5 mois). Le type d'évolution de décharges soumises à ces conditions est peu prévisible. Une telle situation intermédiaire paraît également exister en zone méditerranéenne (I), comme par exemple à Tunis.

Dès lors chaque station, en zone méditerranéenne ou en zone tropicale à longue saison sèche, devra être examinée cas par cas en fonction de l'humidité du sol, des données climatologiques (telle la vitesse du vent, facteur de sécheresse), de l'humidité de départ des déchets. Il faudra tenir compte de la présence de lixiviats et de biogaz pour pouvoir classer la décharge de manière objective.

Les investigations menées sur les quatre décharges de Tunisie et Haïti (Cf. point VI) montrent que, malgré la sécheresse du sol et un bilan hydrique négatif (pluviométrie faible ou mal répartie et inférieure d'un facteur deux à cinq aux données d'évapotranspiration potentielle (ETP)), l'intérieur de la décharge reste suffisamment humide pour produire du biogaz en faible quantité et peu ou pas de lixiviats. On se trouve en face de décharges intermédiaires. Les données de pluviométrie et d'évapotranspiration potentielle (ETP) ne suffisent donc pas à classer une décharge.

Lorsque les déchets arrivent sur la décharge, avec une humidité bien déterminée, le gradient d'activité de l'eau est plus important et permet une activité des microorganismes. L'eau qui tombe sur les déchets n'est pas automatiquement évapotranspirée. De plus, cette évapotranspiration (ET) s'effectue probablement sur une période déterminée. Il semble qu'un certain temps soit nécessaire pour que l'ET soit complète. La valeur brute de l'ET est donc insuffisante et ne donne pas d'indication sur les phases d'évolution des déchets, par exemple sur une année. Il faudrait des données ponctuelles. L'équilibre hydrique de la décharge est fonction de multiples facteurs, dont l'humidité des déchets au départ et les variations positives ou négatives entre l'ETP et la pluviométrie environnante.

La Figure 9 propose une interprétation du phénomène:

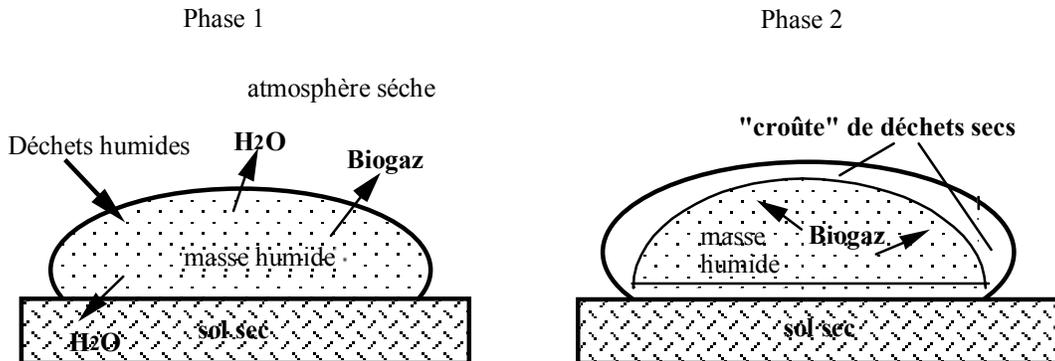


Figure 9 : Paramètres intervenant dans l'évolution d'une décharge intermédiaire. Cas d'un environnement sec.

Paramètres à l'arrivée des déchets:

- l'humidité initiale des déchets
- un sol sec composé d'un mélange de sable et de marne
- période de saison sèche;

Première phase d'évolution:

- les déchets en surface et en contact avec le sol se dessèchent
- formation d'une "croûte" sèche sur le pourtour de la masse de déchets
- pas de formation de lixiviats;

Deuxième phase, plus longue:

- la "croûte" de déchets secs empêche les échanges d'eau et d'oxygène entre l'intérieur de la décharge et l'extérieur
- l'humidité des déchets est maintenue au sein de la masse et permet une certaine méthanogénèse
- il y a production lente mais continue de biogaz.

La gestion de cette décharge pose le problème du contrôle du biogaz qui doit être évacué, et l'évaluation de la durée de vie de cette décharge qui devrait lentement évoluer.

La diversité des conditions climatiques et hydrogéologiques nous fait envisager, en Afrique, plusieurs types d'évolution de décharge en fonction du taux d'humidité prévisible dans la décharge.

Nous distinguerons 3 types de décharges :

- la décharge humide (surtout en zones climatiques V et VI)
- la décharge sèche - fossilisée (surtout en zones climatiques II et III)
- la décharge intermédiaire (surtout en zone tropicale à longue saison sèche IV)

Il est évident que cette classification peut aisément s'étendre à d'autres pays que l'Afrique. C'est le cas notamment en Haïti où la plupart des décharges existantes sont soit sèches – fossilisées, soit intermédiaires, comme nous le verrons ci-après.

Insistons aussi sur le fait que le bilan hydrique, bien qu'étant le plus important, n'est pas le seul paramètre à prendre en compte pour déterminer s'il y aura méthanogénèse ou non. Ainsi nous constatons qu'à une concentration en sulfate comprise entre 10 et 30 millimolaire (concentration de l'eau de mer), la méthanogénèse est quasi inexistante. Les bactéries méthanogènes ne deviennent pleinement actives qu'à moins de 2 millimolaire de sulfate, ce qui représente 200 mg/litre. Ces constatations montrent bien pourquoi l'implantation d'une décharge à proximité de zones salées naturellement (lacs salés et mers) est une opération pour le moins hasardeuse et qui nécessitera une attention particulière pour éviter le contact direct entre la décharge et cette zone. D'autant plus que la plupart des bactéries sulfato-réductrices sont halophiles, cela veut dire que leur métabolisme sera plus efficace en présence de sel (NaCl et MgCl_2). (Hilgsmann, 97)

Aspect particulier de l'impact sur l'environnement des décharges fossilisées

Dans le cas de décharges fossilisées, la production de lixiviats et de gaz est nulle et l'impact sur l'environnement se résume à un impact visuel, ainsi qu'aux odeurs des déchets dits frais. Cependant on oublie bien souvent un phénomène secondaire qui explique une pollution des nappes ou des terrains avoisinants par une décharge fossilisée.

La pluviosité se répartit en différents types d'écoulement. Une partie est évaporée, une autre ruisselle et la 3ème s'infiltré (Figure 10).

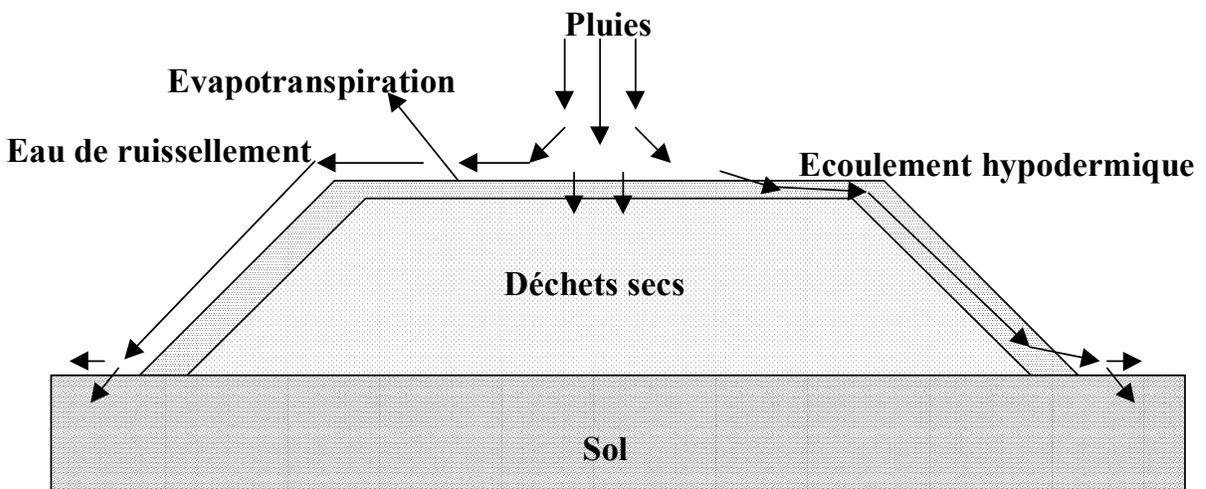


Figure 10 : Les différents types d'écoulement sur une décharge.

Dans ce type de décharge, l'eau d'infiltration est faible ou nulle, mais le ruissellement peut être très important.

En géologie, ce ruissellement peut être décomposé en trois parties (Figure 11). La première est constituée d'eau de surface qui s'écoule sur la pente, la 2ème partie est constituée par un écoulement hypodermique rapide et la troisième partie un écoulement hypodermique lent. La Figure 11 reprend ces phénomènes.

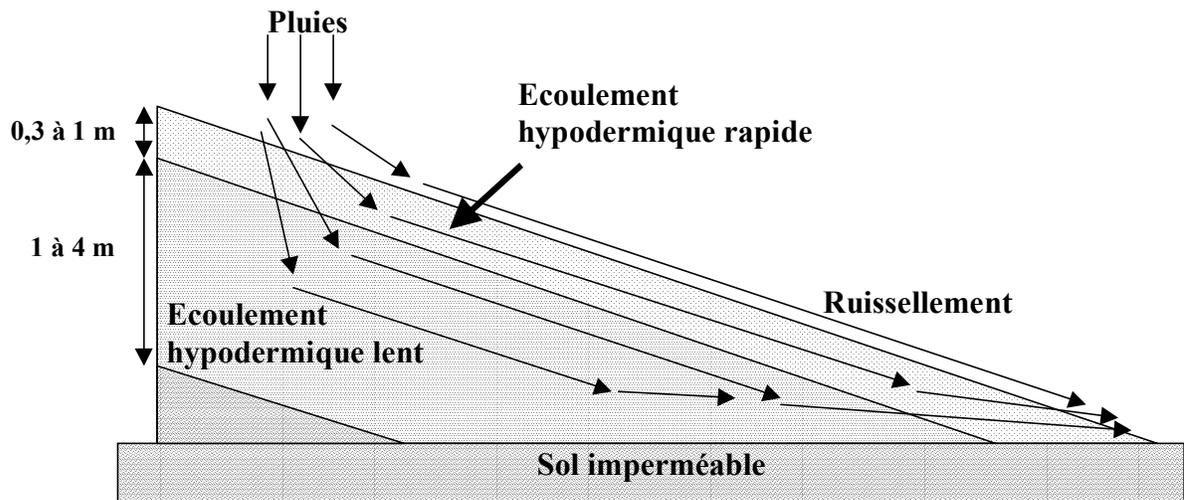


Figure 11 : Définition des écoulements hypodermiques en géologie.

Dans le cas des décharges, seules le ruissellement et l'écoulement hypodermique rapide sont observés, en fonction de la pluviosité et son intensité.

L'écoulement hypodermique rapide pénètre entre quelques centimètres (généralement 20 à 30 cm) et maximum 1 mètre dans la masse des déchets et n'est pas nécessairement visible par un observateur non averti. Il se différencie des lixiviats par le fait que, vu sa situation superficielle et son temps de séjour limité, il ne permet pas le développement d'une activité méthanogénèse conséquente. Toutefois, il entraîne avec lui de la pollution de type DCO, DBO₅ et métaux lourds, et peut ainsi contaminer la nappe phréatique et les terrains avoisinants.

Afin de lutter contre cette pollution, il est nécessaire de recouvrir la décharge soit d'une couche de terres imperméables (1 mètre), soit d'un géoplastique (relativement coûteux). Il faut également réaliser un drainage des pentes de la décharge et des fossés de récupération des eaux de ruissellements (y compris les écoulements hypodermiques) (Figure 12). Les eaux récoltées doivent ensuite être gérées correctement, soit en les envoyant vers une station d'épuration, soit en les recyclant sur la décharge. Il faut éviter de les rejeter directement dans la nature (cours d'eau, mer) sans avoir au préalable

étudier leurs impacts sur les écosystèmes environnants. Pour cela, il est impératif de déterminer le facteur de dilution des polluants afin de connaître la concentration maximum susceptible d'être rencontrée à tout moment et à tout endroit.

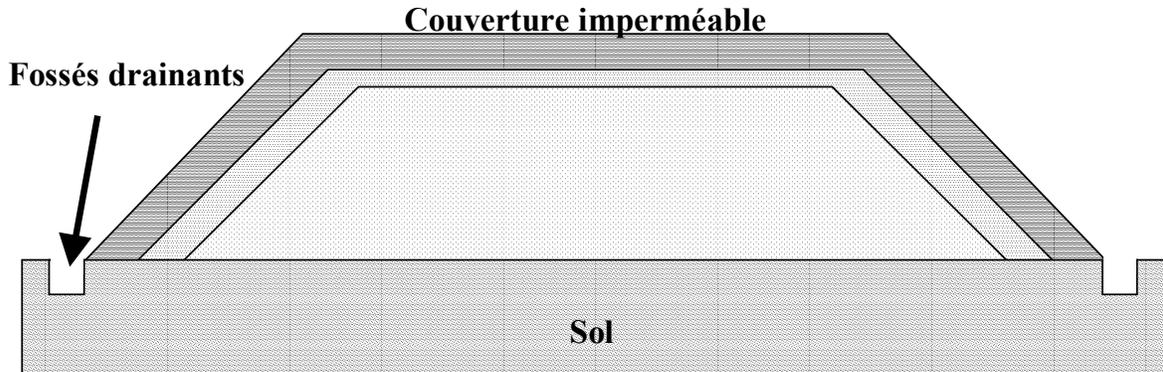


Figure 12 : Gestion des eaux de ruissellement

L'emplacement de la décharge et la forme des tas vont prendre dans ce cas énormément d'importance, notamment pour la récolte des eaux par gravité, ainsi que pour avoir des pentes latérales des tas empêchant les éboulements. Il faudra également s'assurer de la possibilité d'obtenir des terres imperméables (argile).

V. Le cas des décharge de Haïti.

Localisation et volumes des décharges

Lors des différentes missions déjà réalisées en Haïti, nous avons pu répertorier 11 décharges d'ordures ménagères, couvrant l'ensemble du territoire de ce pays. Les fiches de ces décharges ont été complétées afin de les inclure dans l'Atlas des décharges que nous développons en partenariat avec l'Institut de l'Energie et de l'Environnement de la Francophonie (IEPF).

Tableau 12 : Superficie et Volume des décharges dans les principales ville de Haïti.

Ville	Nom Décharge	Superficie (ha)	Volume (m ³)
Cap Haïtien	MADELINE	étendue	10 - 20 000 esti
Gonaïves	GONAIVES	?	?
Jacmel	JACMEL1	0,1 esti	3000 esti
Jacmel	JACMEL2	10 pot	?
Jérémie	GEBEAU	0,2 + 0,06 esti	4000 + 1200
Les Cayes	QUARTIER LABARELLE	15 pot	15000 esti
Les Cayes	BREFETTE	3 esti	150000 esti
Port au Prince	TRUITIER	205 pot	8 millions pot
Port au Prince	LA SALINE	4,5 esti	150 000 esti
Port au Prince	CITE L'ETERNEL	20 esti	300 000 esti
Saint Marc	SAINT MARC	?	?

Les valeurs sont soit estimées (esti), soit potentielle (pot). Les valeurs estimées résultent de la visite sur le terrain et de l'évaluation de la taille du site et du massif des déchets par nos experts. Les valeurs potentielles représentent l'espace qui est disponible pour accueillir des déchets mais qui n'est pas encore rempli.

La constatation la plus importante concernant les décharges de Haïti est que les déchets n'y arrivent pas. Il est donc impératif d'améliorer la filière de collecte pour éviter de disperser une grande partie des ordures ménagères produites.

Etude de l'évapotranspiration

Comme nous l'avons vu, le climat, et plus particulièrement le bilan en eau, est un paramètre important qui conditionne l'activité biologique d'une décharge et par conséquent les moyens à mettre en œuvre afin de limiter l'impact sur l'environnement. Haïti a un climat de type tropical. La température annuelle moyenne le long des côtes s'élève à 27°C, avec de légères variations entre l'hiver et l'été. Les montagnes sont nettement plus fraîches. Les saisons des pluies s'étalent d'avril à juin et d'octobre à novembre. La hauteur des précipitations annuelles à Port-au-Prince est de 1 346 mm, et seulement de 508 mm dans le Nord-Ouest. Les régions méridionales et occidentales sont assez sèches; les plaines les plus abritées, tel le Cul-de-Sac, sont de nature pratiquement désertique.

Deux catégories de décharges peuvent être représentées en fonction du bilan en eau. La zone qui s'étend de Port au Prince jusqu'au Nord-Ouest est typique de la première ; les zones du Nord – Nord-Est (Cap Haïtien) et du sud sont typiques de la seconde.

La première catégorie (Figure 13) présente un bilan en eau négatif (l'évapotranspiration est supérieure à la pluviosité). Les eaux de pluie ne peuvent pénétrer profondément. La décharge n'a donc pas assez d'eau pour développer une activité biologique optimale. Cependant, il est primordial de déterminer si lors des orages, l'eau de percolation et d'écoulement hypodermique ont le temps d'atteindre la nappe.

Dans le cas de Cap Haïtien, le bilan (Figure 14) calculé est positif et la percolation est donc possible avec une production probable de lixiviats. Celui-ci peut avoir un impact négatif sur la qualité de la nappe. Il est primordial de pouvoir analyser les cas où le bilan en eau est positif et de vérifier la production de percolats (lixiviats).

Une analyse préliminaire de l'évolution biologique permet de classer les décharges haïtiennes dans la catégorie des décharges fossilisées.

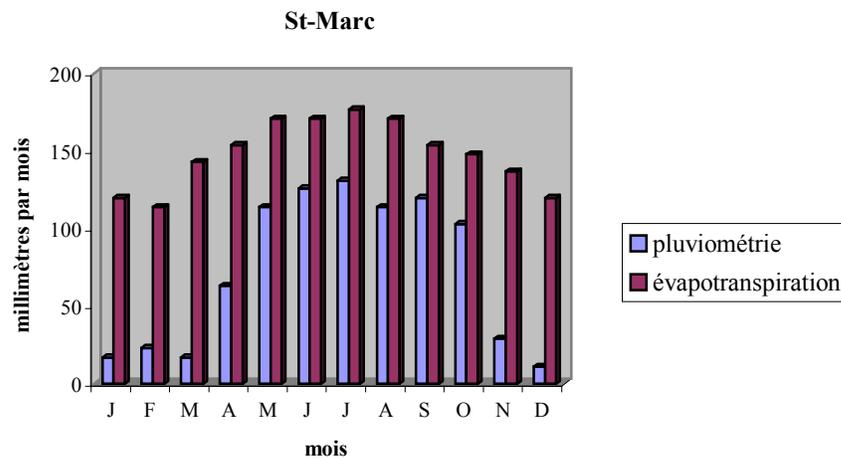


Figure 13 : Pluviométrie et évapotranspiration mensuelles moyennes sur la ville de Saint-Marc. (Source Ministère de l'Environnement d'Haïti)

Les autres sources d'eau souterraines et de surface sont également importantes à prendre en compte pour déterminer l'impact environnemental des décharges. En effet, plusieurs décharges sont implantées à proximité de la mer (Truitier, Jérémie,...) la nappe phréatique y est donc affleurante par endroits ou à certains moments de l'année. D'autres décharges sont situées à proximité de ravines (Les Cayes - Labarelle) qui, lors de la saison des pluies, sortent de leur lit et inondent la décharge. Notons que les sources d'eaux saumâtres peuvent impliquer une activité biologique de type sulfato-réductrice (gaz H_2S toxique et corrosif) très embarrassante du point de vue économique et environnemental.

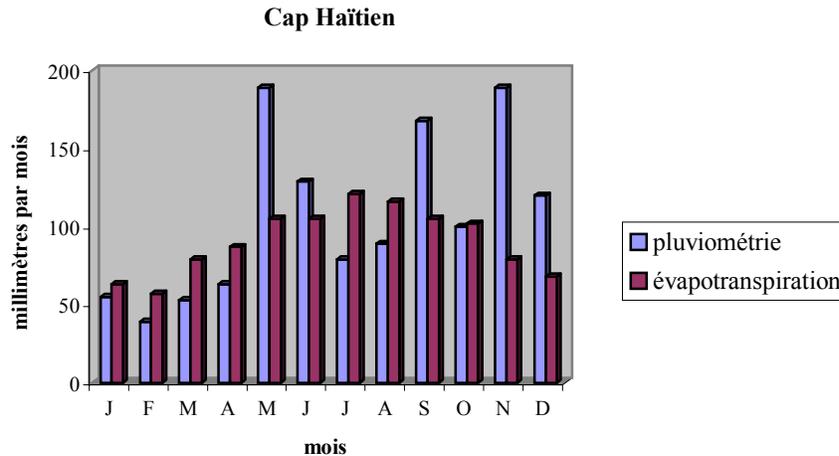


Figure 14 : Pluviométrie et évapotranspiration mensuelles moyennes sur la ville du Cap Haïtien. (Source Ministère de l'Environnement d'Haïti)

Autres initiatives

Le compostage est un peu développé pour la gestion des déchets en Haïti. Toutefois, cette technique ne peut être réalisée pour l'ensemble des déchets, malgré une grande proportion de matière organique dans ces derniers. De part notre expérience en Afrique, nous estimons que 20% à 30% du volume totale peut être traité par cette technique en assurant la rentabilité du procédé. Au delà, les contraintes techniques et les problèmes de gestion rendront le système inefficace et coûteux.

Un exemple haïtien, malheureusement abandonné depuis 1999, est l'unité de compostage de la décharge de Madeline (Cap Haïtien), qui se situe à plusieurs centaines de mètres de la décharge. Un premier tri est réalisé (plastiques, verre,...) avant la mise en andin. Après ± 3 mois, le compost est tamisé plusieurs fois et stocké à l'abri des pluies. Une mise en sac de ± 25 kilos est réalisée et vendu au prix de ± 12 dollars américains.

VI. Etude de l'activité biologique des décharges dans les

pays à climat sec

Quatre décharges de Haïti et de Tunisie, de grand volume, sous des climats relativement secs mais différents l'un de l'autre ou ayant fait l'objet de modes de gestion différents ont été étudiées de façon approfondie sur une période de plus de deux ans en

appliquant la méthodologie développée par le CWBI. La décharge de Haïti (P) est localisée au Nord de Port-au-Prince; deux des trois décharges de Tunisie sont localisées dans la banlieue de Tunis, l'une au Nord (N) et l'autre au Sud (S) et la troisième à Kairouan (K), à 160 km au sud de Tunis (Tableau 13) [Hilgsmann et al., 2001; 2002].

Tableau 13. Caractéristiques climatiques et de gestion des quatre décharges étudiées : tonnes de déchets enfouis, gamme de profondeurs, type d'implantation, dates de début et fin de remplissage (particulièrement des zones des décharges étudiées); pluviométrie et évapotranspiration potentielle (ETP) moyenne annuelle (Sources : FAO Climwat : stations de Tunis Carthage, Kairouan, Port-au-Prince-Damien)

	Tunisie			Haiti
	Tunis (N)	Tunis (S)	Kairouan (K)	Port-Prince (P)
Déchets enfouis (tonnes)	3 millions	3 millions	300 000	500 000
Profondeur (m)	5-20	7-10	4-5	2-4.5
Type d'implantation	Sur un lac salé	Sur un lac salé	Dans l'ancien lit d'une rivière déviée	A environ 2 km de la côte
Début - fin de remplissage	1984-1999	1960-1998	1993-1995	1980-2000
Pluviométrie (mm)	445	445	290	1000 - 1140 ⁽¹⁾
ETP (mm)	1160	1160	1560	1670

⁽¹⁾ Moyenne sur 30 années (données FAO) et entre 1988 et 1998 (données fournies par la station de Damien), respectivement.

Les résultats importants de l'étude (Tableau 14) montrent que l'activité biologique mise en évidence sur les quatre décharges étudiées est faible pour la plupart des décharges mais non négligeable. Elle est davantage significative dans la décharge S. L'impact environnemental des lixiviats (Tableau 15) est quant à lui à considérer avec la plus grande attention, au niveau composition mais également de débit, ce qui n'a pu être évalué dans le cadre de l'étude.

Tableau 14. Résultats importants de l'étude de l'activité biologique de trois décharges de Tunisie et une décharge de Haïti : domaines de variation des résultats d'analyse des échantillons solides, liquides et gazeux prélevés dans des puits de carottage réalisés dans le massif de déchets : matière sèche et teneur en cellulose des échantillons solides; niveau piézométrique, pH et potentiel redox des lixiviats; température (et température ambiante), débit et concentrations en CH₄ et H₂S du biogaz (NR : non réalisé).

	Tunisie			Haiti
	Tunis (N)	Tunis (S)	Kairouan (K)	Port-Prince (P)
Diamètre des puits de carottage (mm)	200	46	200	52
Echantillons solides				
Matière sèche (% pds)	>80% dans la couche sup. de 1.5 m d'épaisseur et 35-65% dans les couches inf.	NR	36-58%	72-89% par rapport à la matière totale ou 60-83% sur la matière fine et poreuse
Teneur en cellulose (% MS)	Jusqu'à 6	NR	Jusqu'à 1	Jusqu'à 5
Lixiviats				
Niveau piézométrique (m par rapport à la surface de la décharge)	2-6 (lixiviats dans tous les puits)	NR mais certains puits sont pleins et les lixiviats sont expulsés par les gaz	Pas de lixiviats	Peu de lixiviats
pH	6.6-8	7.5-8	NR	7-8
Potentiel redox (mV)	-60 à -350	-250 à -400	NR	-100 à -200
Biogaz				
Température dans les puits de carottage (différence par rapport à la température ambiante en °C)	10-15	10-15	0-10	0-5
% CH ₄	1-65	6-65	0.5-40	Jusqu'à 60% dans deux puits
H ₂ S (ppm)	Jusqu'à 3 dans certains puits et > 80 dans un puits	> 80 si CH ₄ > 50%	Jusqu'à 3 dans certains puits	Jusqu'à 4 dans certains puits
Débit (L/min)	< 0.05	Jusqu'à 8	< 0.05	Jusqu'à 0.12

Tableau 15. Résultats des analyses chimiques des lixiviats collectés dans les puits de carottage des quatre décharges de Tunisie et Haïti, et gammes mentionnées dans la littérature pour les phases acidogènes et méthanogènes (Ehrig, 83; Gendebien et al., 92) : gammes pour la concentration en NH₄, DCO, DBO₅, DBO₅/DCO et sulfates et la conductivité électrique (NR : non réalisé; NM : non mentionné).

		Tunisie		Haiti	Gammes de la littérature	
		Tunis (N)	Tunis (S)	Port-Prince (P)	acidogénèses	methanogénèse
NH ₄	mg N/L	80-7 930	2 250-5 900	200-670	0-3000	0-3 000
DCO	mg O ₂ /L	870-19 600	3 700-27 300	380-11 150	1 000-60 000	500-4 500
DBO ₅	mg O ₂ /L	25-12 200	280-12 800	65-105	1 000-40 000	20-550
DCO/DBO ₅	-	1-83	5-80	3-7	1-2	NM
Sulfates	mg/L	80-7 880	30-5 850	250-280	70-1 750	10-420
Conductivité	mS/cm	25-207	30-60	NR	2-80	NM

Par conséquent, le fait d'être implantée dans une zone à faible pluviométrie (ou caractérisée par des pluies brèves mais intenses) et forte évapotranspiration n'empêche pas une décharge d'ordures ménagères de développer une certaine activité biologique. Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude ont permis de confirmer notre modèle de la décharge "en croûte", dont le cœur est toujours assez humide pour développer une certaine activité microbienne, même durant la saison sèche. Les conséquences de ces observations sont que la réhabilitation des anciens dépôts d'ordures ménagères sous ces climats est une opération délicate qui exige des études sérieuses afin de déterminer la nécessité de déployer des moyens pour récupérer et contrôler régulièrement les émissions de gaz explosifs (CH₄) et toxiques (BTEX, H₂S). De plus, il faut également envisager le suivi régulier des émissions liquides, ainsi que le tassement de la décharge, et ce particulièrement s'il est envisagé d'implanter de l'infrastructure sur cette dernière.

VII. Recommandations de l'étude Région Wallonne de Belgique **- Université d'Etat d'Haïti - CWBI.**

Les premières conclusions que nous pouvons tirer des travaux déjà réalisés dans le cadre du projet "Etude de faisabilité de gestion biologique des décharges en Haïti" sont qu'il est impératif de réaliser une étude de la filière collecte des déchets ménagers afin d'en améliorer l'efficacité.

Dans le même temps, le choix de sites de stockage des déchets devra être mené en respectant certains critères strictes. Il sera dès lors possible d'entreposer les déchets avec un minimum d'incidence sur l'environnement naturel et humain.

Comme nous l'avons vu, la mise en décharge reste la meilleure technique de gestion des déchets pour les pays en développement. Toutefois, une réduction de la production et un tri à la source devraient permettre de diminuer les quantités stockées et

de favoriser l'utilisation de techniques alternatives telles que le compostage. Cependant, une approche prudente devra être menée car seules des petites installations pourront être techniquement réalisables et économiquement rentables.

Les décharges rencontrées en Haïti sont principalement du type fossilisée. On ne s'attend donc pas à observer une grande production de lixiviats et de biogaz, mais il est nécessaire d'en assurer le suivi afin de prévoir les aménagements utiles au contrôle de ces polluants ainsi qu'à leur traitement si nécessaire.

Afin d'assurer une gestion correcte des décharges, une organisation planifiée devra être mise en place. Les déchets devront être déversés dans des casiers aménagés avec un fond imperméable, ainsi qu'avec des drains de récupération des lixiviats et des eaux de ruissellements. Une fois le casier rempli, les déchets devront être recouvert d'une couverture imperméable et les déchets seront entreposés dans un casier voisin. Cette gestion des décharges en casiers permet de compacter plus facilement les déchets en évitant de les disperser sur une trop grande surface.

VIII. Références bibliographiques.

Depelsenaire, G. (1997), Le procédé d'épuration des fumées NEUTREC, Solvay, Bruxelles.

DGRNE , (1998¹) Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement, Division de l'Eau, Arrêté royal du 3 août 1976 portant le règlement général relatif aux déversements des eaux usées dans les eaux de surface ordinaires, dans les égouts publics et dans les voies artificielles d'écoulement des eaux pluviales, site internet : <http://mrw.wallonie.be/dgrne/>.

DGRNE , (1998²) Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement, Division de l'Eau, Arrêté de l'Exécutif régional wallon du 20 juillet 1989 relatif à la qualité de l'eau distribuée par réseau, modifié par l'arrêté de l'Exécutif régional wallon du 21 février 1991, site internet : <http://mrw.wallonie.be/dgrne/>.

D.P.E., (1998) Division de la Police de l'Environnement, Réseau de Contrôle des Centres d'Enfouissement Technique, site internet : <http://mrw.wallonie.be/dgrne/data/dechets/cet/>.

Farquhar G.J. and Rovers F.A. (1973), Water, Air and Soil Pollutions, 2, 483-495.

Gendebien A, Pauwels M., Constant M., Ledrut-Damanet M-J, Nyns E.J., Willumsen H-C, Butson J., Fabry R. and Ferrero G-L (1992) Landfill gas. From environment to energy. Published by Commission of the European Communities.

Hiligsmann, S. and Thonart, P. (1997), Microflore anaérobie des décharges, Proc. La problématique des déchets solides dans les villes africaines, Ouagadougou,

Inel Joseph Jean, 23 février 1996, "La problématique des déchets à Port-au-Prince", Ministère des Travaux Publics, Transports et Communications, Port-au-Prince. D'après Cooperative Housing Foundation

NIOSH, (1998) National Institute for Occupational Safety and Health, databases, site internet : <http://www.cdc.gov/niosh/database.html>.

Plan Wallon des Déchets, Horizon 2010, 15 janvier 1998, Gouvernement Wallon.

Sarr, P. B. (1997), La décharge de M'Beubeuss Dakar (Sénégal), Proc. La problématique des déchets solides dans les villes africaines, Ouagadougou,

Schiltz M., (1992), Méthanisation des déchets ménagers, Colloque ORCA, Les déchets organiques ménagers, 26 novembre 1992, Namur.

SPAQUE SA , (1994) Réhabilitation de la décharge d'Anton, Présentation au comité scientifique du 7 février 1994.

THONART Ph., GODEFROID J., RIKIR R., DESTAIN J. et SANDRON P. (1988) Apport des cultures de microorganismes en agriculture. Annales de Gembloux, 94, 289-304.

THONART Ph., STEYER E., DRION R., HILIGSMANN S., (1997) La gestion biologique d'une décharge, Tribune de l'Eau, n° 950/951, novembre/décembre 1997 – janvier/février 1998.

Van Belle (1992) Colloque ORCA, Namur, 11,92.

Younès, E. (1996), Programme National de gestion des déchets solides (PRONAGDES), Tunisie, Proc. La problématique des déchets solides dans les villes africaines d'importance moyenne, Gembloux (Belgium), 219-230.

Encyclopédie Encarta 1997, Microsoft.

POINT DE VUE ANALYTIQUE : COLLABORATIONS AVEC LE PROGRAMME DE LA COOPERATION UNIVERSITAIRE AU DÉVELOPPEMENT (Belgique)

A. COPIN⁽¹⁾, E. DELCARTE^(1,2) et J.P. BARTHÉLEMY⁽¹⁾

(1) Chimie analytique et Phytopharmacie, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux

(2) Bureau Environnement et Analyses de Gembloux, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux

1. Introduction

Depuis 1997, un accord de partenariat a été conclu entre d'une part la Coopération Universitaire au Développement (CUD) de la Communauté de langue française de Belgique et d'autre part, l'Université d'Etat de Haïti. Cet accord prévoit un renforcement de l'enseignement dans le domaine des Sciences de base (physique, mathématique, chimie), des Sciences humaines, ...

En plus de l'appui à l'enseignement, il soutient la création de laboratoires à la FAMV mais aussi à la Faculté des Sciences. Dans ce cas précis, une synergie s'est établie entre le programme développé par la CUD et le projet bilatéral d'aide technique et de transfert technologique de la Région Wallonne de Belgique qui est plus particulièrement axé sur la gestion des déchets ménagers en République de Haïti. Cette problématique exige la mise en place d'équipes pluridisciplinaires dans laquelle le chimiste analytique apporte par son expertise des éléments indispensables aux prises de décision que les autorités politiques arrêtent sous forme de règlements, décrets ou textes de lois.

2. Conception et organisation d'un laboratoire dédié à l'analyse des déchets ménagers

La conception comme l'organisation d'un laboratoire dédié à l'analyse de déchets s'inspire de la figure 1. Il retrace toutes les étapes d'une analyse de déchets ménagers depuis son prélèvement initial jusqu'à l'envoi du rapport final.

2.1. Échantillonnage

Ce problème est vaste et fondamental. Sans vouloir être exhaustif, la constitution d'un échantillon non biaisé de déchets ménagers doit prendre en compte les éléments suivants :

- l'importance du volume et de la masse des déchets liée à l'importance de la population
- le caractère continu de leur production même si la mise en décharge est discontinue
- la spécificité de leur collecte
- l'hétérogénéité des déchets.

Elle se marque au niveau :

- de leur **dimension** : de quelques mm pour les composantes électroniques de certains appareils ménagers à plusieurs dizaines de cm dans le cas d'emballages non recyclés
- de leur **nature** : des composés métalliques aux composés organiques naturels (origine végétale ou animale), synthétiques (les polymères plastiques ou textiles), inertes (pierres ou débris de maçonnerie) ou réactionnels (batteries usagées ou piles alcalines).
- de leur **stabilité** : des composés rémanents comme la plupart des polymères plastiques aux composés hautement dégradables comme les déchets d'origine végétale ou animale soumis aux conditions de température et d'humidité suffisantes qui autorisent leur fermentation.

Ainsi donc, il est préférable de prélever les échantillons au niveau des camions lors de leur entrée à la décharge plutôt que de vouloir échantillonner un tas déjà constitué. Dans la mesure du possible, le ramassage devrait être organisé pour acheminer des lots qui correspondent à des entités aussi homogènes que possible. Il n'est pas inutile de rappeler que les déchets produits par les quartiers résidentiels se distinguent de ceux issus de quartiers périphériques comme de ceux qui proviennent de zones à activité commerciale ou industrielle même familiales. L'hétérogénéité naturelle des chargements nécessite un prélèvement important (au moins la dizaine de Kg). Le matériel devra donc être prévu en conséquence. Il ne faut pas négliger les conditions de sécurité d'un travail pénible pour lesquelles les consignes d'hygiène et de premiers soins doivent rigoureusement être appliquées.

2.2. Réception et conditionnement des échantillons (figure 2)

L'échantillon est répertorié dès son arrivée. La première opération à laquelle l'échantillon est soumis après pesée consiste en un conditionnement. Celui-ci vise essentiellement à préparer l'échantillon en vue de son analyse ou de son stockage (échantillon de laboratoire). Si l'analyse est différée dans le temps, l'échantillon est stabilisé pour éviter toute dégradation.

A cet effet, l'échantillon est broyé en vue de réduire toutes ses composantes en des fractions de dimensions identiques (2 à 5 mm). Cet état physique facilite son homogénéisation, sa manipulation comme son stockage. Cette opération peut s'effectuer après un premier tri manuel qui sépare, par exemple, les polymères plastiques et le verre considérés comme inertes et non intégrés dans le processus analytique. Les matériaux métalliques ferreux comme non ferreux sont eux aussi séparés de la matière organique et traités séparément. Pour éviter les difficultés inhérentes au broyage de matières organiques à haute teneur en eau, il est conseillé de sécher l'échantillon jusqu'à masse constante. Il faut cependant être conscient que tout séchage entraîne la perte de tous les composés dont la tension vapeur est du même ordre de grandeur que celle de l'eau. On peut citer : l'ammoniac gazeux, les amines aliphatiques, comme les disulfures ou les mercaptans de faibles poids moléculaires, les hydrocarbures aliphatiques $C_1 - C_{14}$, des solvants chlorés comme le tétrachlorure de carbone ou le chloroforme. Dans ce cas précis, l'échantillon frais est homogénéisé grossièrement et stocké en récipient hermétique. Le processus analytique porte sur la phase vapeur après que l'équilibre entre celle-ci et la phase solide soit atteint.

Ces opérations exigent un local spacieux, équipé de force motrice suffisante pour alimenter les équipements (broyeurs, étuves, ...) de plans de travail qui peuvent être facilement nettoyés afin d'éviter toute contamination d'un échantillon par un autre. Le souci d'éviter les contaminations veut que le local soit isolé du local de stockage comme de ceux qui sont réservés aux opérations analytiques proprement dites.

2.3. Le stockage des échantillons (figure 2)

Même analysé immédiatement après son conditionnement, l'échantillon de laboratoire est retourné au local de stockage afin d'être facilement récupéré pour toute analyse complémentaire ou pour toute confirmation ultérieure (archivage).

L'équipement de ce local est simple. Il nécessite la présence de rayonnages ou de claies en nombre suffisant pour y ranger les échantillons des différentes campagnes de mesure le temps que la direction du laboratoire et ses commanditaires l'ont jugé suffisant (1 an mais parfois 5 ans lors d'études de monitoring ou de surveillances suivies).

2.4. Préparation des échantillons de laboratoires en vue de l'analyse instrumentale (figure 2).

Les opérations de préparation des échantillons sont fonction des méthodes analytiques retenues.

Les critères qui en guident le choix sont :

- **La nature de l'analyte**

Les méthodes d'analyse sont fondamentalement différentes pour la détermination de micro polluants organiques, des métaux lourds ou de certains anions. L'importance de la stabilité des composés que forment certains anions toxiques ou métaux de même que les combinaisons organiques dans lesquelles ils sont engagés poussent l'analyste à remplacer les déterminations globales par des méthodes ciblées sur chacune des formes chimiques de l'analyte (notion de spéciation). Cette notion est fondamentale dans le cadre du contrôle des divers compartiments de l'environnement et par de là pour la protection de la santé humaine. Il y a, par exemple, une différence de toxicité importante entre d'une part le ferrihexacyanure (Kst 510⁴⁴) et d'autre part, le nikeldicyanure (Kst 510¹⁶). De même, l'arsenic est très toxique sous forme d'arséniate, par contre, sa toxicité est négligeable sous forme d'arsénobétaine et intermédiaire comme dans le cas de l'acide diméthylarsénique.

- **Le niveau de performance ou de fiabilité attendu des résultats**

Par niveau de fiabilité, il faut comprendre :

- **La justesse** : concordance entre la valeur théorique et la moyenne des valeurs expérimentales
- **La fidélité** : dispersion des résultats autour de leur moyenne
- **La limite de quantification** : la plus petite concentration qui peut être déterminée avec un degré de justesse et de fidélité suffisant

- **La rapidité avec laquelle les résultats sont obtenus**

- **Le coût de l'analyse et le matériel dont on dispose**

Si ces deux critères n'ont aucun fondement scientifique, ils conditionnent bien souvent d'une façon déterminante le choix de la méthode. Même si la fluorescence X conduit à une évaluation semi-quantitative de l'ensemble des polluants minéraux contenus dans une matrice, son prix comme son accessibilité la rendent absente de la grande majorité des laboratoires.

Bien que quelques techniques instrumentales comme le proche infrarouge ou la fluorescence X permettent des déterminations directement sur la phase solide, la majorité d'entre-elles continue à s'appliquer à des solutions. Il y a donc lieu **d'extraire** l'analyte de la phase solide ou de le **dissoudre** dans un solvant. Quelle que soit la technique adoptée elle doit conduire à un résultat :

- **quantitatif** c'est-à-dire une récupération moyenne de 100 %
- **reproductible** c'est-à-dire une dispersion autour de ce taux de récupération nulle ou minime
- **spécifique** c'est-à-dire que l'extraction ne peut porter que sur l'analyte à l'exception de tout autre composé qui n'interagit pas avec lui au niveau de la détermination instrumentale.

En pratique, les conditions expérimentales de **l'extraction** ou de la **dissolution** conduisent à un compromis entre ces trois exigences. En conséquence, la détermination instrumentale sera souvent précédée d'une phase de **purification** des solutions à analyser. Celle-ci sera d'autant plus poussée que l'extraction ou la dissolution a mis en œuvre des moyens drastiques et que le degré de sélectivité de la méthode instrumentale est faible.

L'ensemble de ces opérations peut être concentré dans un ou des locaux contigus qui sont équipés :

- des appareils d'extraction : extracteurs discontinus : tables d'agitation à vitesse variable, homogénéisateurs, broyeurs de laboratoire ou semi-continus ; appareils SOXHLETS.
- du matériel de laboratoire permettant la purification des extraits : systèmes d'extraction liquide/ liquide, matériel de chromatographie.

2.5. Détermination instrumentale (figure 2)

Pour la détermination d'analytes minéraux tels que les métaux lourds, des anions et des anions toxiques, ce qui est le cas de l'Unité de recherche environnementale de la FDS, on recourt à :

❑ **Spectrophotométrie d'absorption atomique.**

Elle est essentiellement réservée à la détermination des métaux, des métaux lourds et de certains métalloïdes (As – Sb – Si). Leur dosage se base sur l'importance de l'atténuation (Extinction) de l'intensité d'une onde ou raie électromagnétique caractéristique de l'analyte traversant une population d'atomes neutres de celui-ci sous forme vapeur (éq. 1).

$$E_x = K.L.C \quad (\text{équation 1})$$

E_x = Extinction qui vaut avec $\log I_0/I$ l'intensité de l'onde après (I) et avant (I_0) l'interaction

L = traversée (cm) de la population par l'onde

C = concentration de la solution analysée.

L'équipement de base utilise la flamme comme moyen d'atomisation. Elle est alimentée par divers gaz : l'air, le protoxyde d'azote et même l'oxygène comme comburant et l'acétylène ou l'hydrogène comme combustible.

La limite de quantification atteinte avec des métaux comme le cuivre, le cadmium ou le zinc est de l'ordre de 10 µg/ litre de solution analysée.

L'atomisation de l'analyte par voie électrothermique en lieu et place de la flamme permet d'abaisser les limites de quantification par un facteur de 10 à au moins 100 suivant les éléments. La répétabilité des résultats est parfois plus faible qu'en présence de la flamme. Les mesures sont facilement influencées par la matière organique extraite qui n'est pas totalement minéralisée lors de l'atomisation (interférences). Des systèmes de correction de cette interférence complètent ce mode d'atomisation. Ils sont basés sur le comportement d'un spectre électromagnétique continu à l'égard de ce même bruit de fond ou sur l'effet Zeeman. Celui-ci consiste en l'application d'un champ magnétique intense (= ou – 10 KG) à la raie électromagnétique caractéristique dont on veut mesurer l'extinction.

Ces accessoires grèvent évidemment le prix d'achat de l'appareil et alourdissent les frais récurrents.

Un certain nombre d'éléments facilement transformés en hydrure (Sb, As, Bi, Ge, Sn) sont atomisés sous cette forme. Bien évidemment, il y a lieu d'ajouter à l'appareil de base, l'équipement de générateur des hydrures et de remplacer la flamme par un système approprié à cette combinaison chimique.

Enfin, la tension de vapeur élevée du Hg, même à température ordinaire, permet de lui appliquer une technique de vapeur froide. Après réduction du Hg ionique en mercure élémentaire, celui-ci est entraîné du milieu réactionnel vers un tube de quartz qui est traversé par la raie caractéristique du Hg.

Quel que soit le mode d'atomisation, la spectrophotométrie d'absorption atomique est, par principe, une méthode qui n'analyse qu'un élément à la fois. Par contre, l'adjonction d'un passeur d'échantillons permet les déterminations en série des échantillons.

- **Spectrophotométrie d'absorption moléculaire dans l'ultraviolet et le visible**

Elle se fonde sur l'atténuation de l'intensité d'une onde électromagnétique traversant une population de molécules ou d'ions en solution. L'équation 1 est toujours applicable. Elle est réservée aux composés minéraux engagés dans des combinaisons moléculaires ou ioniques ou des molécules organiques pour autant que la longueur d'onde atténuée se situe dans la zone ultraviolette (200 – 350 nm) ou visible (350 – 800 nm) du spectre. C'est ainsi que les phosphates sont dosés après réduction du complexe obtenu par leur réaction en milieu acide avec le molybdate. Les nitrites sont quantifiés sous forme d'un composé diazoïque et certains métaux (Pb, Cd, Hg) par l'intermédiaire de leur dithizonate solubilisé dans du tétrachlorure de carbone. Cette technique est aussi applicable aux phénols après réaction avec l' amino- 4 antipyrine en milieu alcalin ou même aux anilines sous forme de composés diazoïques.

Quoique son domaine d'application soit plus restreint que la précédente à cause de limites de quantification plus élevées et d'un degré de sélectivité plus faible, cette technique n'en conserve pas néanmoins certains avantages. Ainsi son prix d'acquisition et le degré d'automatisation la rendent encore très utile dans tous les laboratoires.

- **Potentiométrie**

L'intérêt de la potentiométrie initialement réservée à des mesures de pH s'est renouvelé depuis l'introduction de membranes sélectives solides ou liquides autres qu'au proton. Des électrodes sélectives aux ions chlorates, cyanures, fluorures, cuivriques, plomb (II) et calcium (II), ..., sont commercialisées. Les limites de quantification atteignent dans la plupart des cas le mg par litre de solution analysée. Cette technique présente l'avantage de ne nécessiter qu'un appareillage assez simple par rapport aux deux techniques précédentes. Elle ne comprend, en effet, qu'une électrode de mesure ou de travail contenant la membrane sélective, une électrode de référence et un potentiomètre mesurant la différence de potentiel qui s'établit entre les deux électrodes lorsqu'elles sont en présence de l'ion considéré. L'équation de Nernst (équation 3) permet de retirer la concentration de l'analyte de la différence de potentiel mesurée.

$$\Delta E = K + \frac{0,059}{ne} \log C \Delta \quad (\text{éq.3})$$

ΔE = différence de potentiel mesurée ;

K = Constante reprenant les potentiels de l'électrode de référence, les potentiels de jonction, ;

C = Concentration de l'analyte ;

ne = charge électrique portée par l'ion.

3. Reconnaissance officielle de l'expertise du laboratoire dédié à l'analyse des déchets ménagers

Le champ d'application étant très vaste, le laboratoire s'est défini le domaine pour lequel il veut faire reconnaître sa démarche qualité, c'est-à-dire son expertise (dans ce cas précis, la détermination des métaux lourds par spectrophotométrie d'absorption atomique).

Cette reconnaissance étant attribuée par une autorité indépendante, le laboratoire doit se conformer aux exigences du référentiel qui est utilisé lors de son audit.

L'accréditation constitue le système le mieux adapté pour :

- Permettre la reconnaissance formelle aussi bien de sa compétence technique que professionnelle pour réaliser les essais sur les déchets ménagers.
- Juger de l'adéquation de son organisation aux objectifs de qualité.

Tous les systèmes d'accréditation fonctionnent selon des schémas opérationnels identiques :

- Évaluation de la compétence du laboratoire sur base de standards internationaux tels que le guide ISO 25 ou la norme EN – 45001 ;
- Reconnaissance de cette compétence par l’attribution d’un « certificat d’accréditation » précisant clairement le(s) test(s) et domaine(s) visé(s) ; il ne vise donc pas nécessairement l’ensemble des activités de laboratoire ;
- Contrôle régulier du respect des critères d’accréditation ;
- Promotion du système par la conclusion d’accords de reconnaissance mutuelle avec ses homologues étrangers, ce qui confère au certificat une valeur internationale.

Pour répondre aux critères d’évaluation (audit), le laboratoire porte ses efforts sur :

- **Une définition de ses objectifs de qualité dans le domaine d’expertise considéré.** Par exemple, assurer une fonction de laboratoire « Conseil » pour une autorité ministérielle par la réalisation d’un nombre suffisant d’essais avec un degré déterminé de satisfaction du commanditaire ;
- **Une structuration de son personnel suivant les objectifs**
Il s’est fixé une structure horizontale comprenant : la direction générale (D.G.), une Assurance qualité (A.Q.) ayant un accès direct avec la direction générale et un archiviste. Sur cette structure horizontale vient se greffer une structure verticale comprenant la direction du laboratoire et des responsables techniques auxquels est adjoint le personnel d’exécution.
- **La rédaction des procédures :**
 - **de gestion** comprenant
 - a) le personnel**
Elles décrivent la façon dont il est engagé ainsi que les dispositions prises pour assurer la continuité de sa formation.
 - b) l’équipement**
Elles envisagent comment s’effectue son achat, sa mise en service, le mode d’utilisation, sa maintenance, les modalités de réparation.
 - c) les locaux et leur environnement**
Elles relatent la façon dont l’accès aux bâtiments est contrôlé pour garantir la confidentialité des essais ainsi que les dispositions à prendre pour qu’aucun paramètre

externe (température excessive, poussière, vibration, brouillage électromagnétique) ne puisse invalider les résultats ou affecter leur exactitude.

d) les rapports d'essais

Elles indiquent les informations minimum qu'ils doivent contenir pour relater avec exactitude, clarté et objectivité les résultats des essais.

▪ **de travail** portant sur

a) les méthodes d'essai

A chaque essai doit correspondre des instructions écrites sur la manipulation et la préparation des spécimens soumis à l'essai (le cas échéant) et sur des techniques d'essais normalisées. Toutes ces instructions, normes, manuels et données de références utiles aux travaux du laboratoire doivent être tenus à jour et être facilement accessibles pour le personnel.

b) la validation des méthodes d'essai

Elles visent à prouver le degré de performance des tests et leur adéquation aux objectifs à atteindre.

□ **Le système qualité**

Le laboratoire a défini un système qualité correspondant à son domaine d'expertise. Les éléments du système qualité sont consignés dans un manuel qualité, disponible pour l'usage par le personnel du laboratoire. Le manuel qualité doit être tenu à jour en permanence par un membre responsable du laboratoire, désigné à cet effet.

Le manuel doit contenir au moins :

- a) Une déclaration exprimant la politique qualité ;
- b) Une description de la structure du laboratoire (organigrammes) ;
- c) Les activités opérationnelles et fonctionnelles relatives à la qualité de façon que chaque personne concernée connaisse l'étendue et les limites de sa responsabilité ;
- d) Les procédures générales d'assurance qualité ;
- e) Une référence appropriée aux procédures d'assurance qualité propres à chaque essai ;
- f) Le cas échéant, les références aux essais d'aptitude, et à l'utilisation de matériaux de référence, etc. ;
- g) Des dispositions satisfaisantes concernant le retour d'informations et les actions correctives à entreprendre lorsque des anomalies sont détectées au cours des essais ;
- h) Une procédure de traitement des réclamations.

Le système qualité est l'objet d'une revue systématique et périodique par la direction ou pour son compte en vue de maintenir l'efficacité des dispositions prises et d'entreprendre toute action corrective nécessaire. De telles revues font l'objet d'enregistrements fournissant également les détails de toute action corrective entreprise.

□ **Les modalités d'une coopération avec les organismes d'accréditation**

Cet objectif est plus souvent atteint par l'organisation de tests circulaires pour lesquels il est prévu des actions correctrices.

4. Situation actuelle du Partenariat entre la Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux (FUSAGx); le Centre wallon de Biologie industrielle (CWBI) et la Faculté des Sciences de l'Université d'État HAÏTI (FS UEH)

Tenant compte de leurs moyens disponibles, les deux institutions se sont fixées dès 1999 un programme progressif de travail. Son calendrier est adapté en fonction de la réalisation des objectifs qu'ils ont arrêtés de commun accord.

4.1. Programme réalisé en 1999

- **La définition du domaine d'Expertise du laboratoire de l'Unité de Recherche environnementale (URE) de la Faculté des Sciences**

La caractérisation de l'état initial des déchets ménagers et de leur évolution suite à leur mise en décharge est suivie sur base :

- du carbone comme indicateurs des matières cellulosiques;
- de l'azote organique et minéral;
- des acides gras;
- des acides humiques et fulviques;
- des métaux lourds.

- **La conception et l'organisation du laboratoire**

Un premier stage de 3 mois à la FUSAGx d'un enseignant de la Faculté des Sciences de l'UEH a permis de :

- définir une politique en matière d'échantillonnage;
 - de mettre au point des modes opératoires analytiques de caractérisation globale des déchets (matières sèches, cendres, chlorures, azote, phosphates, ...);
 - de se familiariser avec les méthodes de minéralisation par voie humide et par voie sèche des échantillons.
- **L'acquisition de l'équipement (phase 1)**

Ce même stage a permis de finaliser l'achat d'équipements de base pour le laboratoire. Il est constitué de matériel pour le fonctionnement (verrerie, réactifs) et de matériel d'investissement (pH mètre, conductimètre, étuve, balance, four, photomètre d'absorption moléculaire).

4.2. Programme effectué en 2000

La deuxième année de partenariat a permis aux deux équipes :

- Le développement de méthodes analytiques des métaux lourds dans des échantillons prélevés par l'UEH suivant un plan expérimental élaboré de commun accord avec les opérateurs qui ont la responsabilité politique et administrative de la gestion des déchets ménagers à Haïti.
- L'acquisition d'un spectrophotomètre d'absorption atomique pour l'analyse en routine des métaux lourds et son installation au laboratoire de la Faculté des Sciences.
- La rédaction des procédures de travail et la mise en place des premiers éléments constitutifs du système qualité.

4.3. Programme établi pour 2001

Le programme retenu en 2001 a prévu :

- Un stage de 3 mois d'un second chercheur de l'UEH à la FUSAGx, qui a pour objectif d'élargir les possibilités analytiques du laboratoire et de compléter son matériel en fonction des nouveaux objectifs qu'ils s'étaient fixés.
- D'effectuer des intercomparaisons d'analyses de métaux lourds d'échantillons d'abord traités à la FUSAGx et ensuite à l'UEH. Sur base des résultats, des procédures analytiques ont été modifiées en vue d'optimiser les performances du laboratoire.

- Le développement du système qualité du laboratoire en vue d'un premier audit qui devra faire appel à une consultance extérieure.

2.6. Programme prévu en 2002

Ce programme ambitieux décidé au cours de contacts qui ont eu lieu en 2001 en Belgique et en Haïti sous l'égide de Monsieur Boisson (Doyen de la Faculté des Sciences) est en cours. Je laisserai à Monsieur Chamblin, responsable de l'Unité de Recherche en Environnement de vous le présenter dans le cadre de l'exposé qui suit.

5. Conclusion

Débuté il y a 4 ans, le partenariat entre les institutions de nos deux pays a permis au travers des liens qui se sont tissés entre les chercheurs d'augmenter leurs compétences particulières et de participer à une politique d'amélioration des conditions environnementales des habitants de ce pays.

Fig 1 : LES ETAPES D'UNE ANALYSE CHIMIQUE

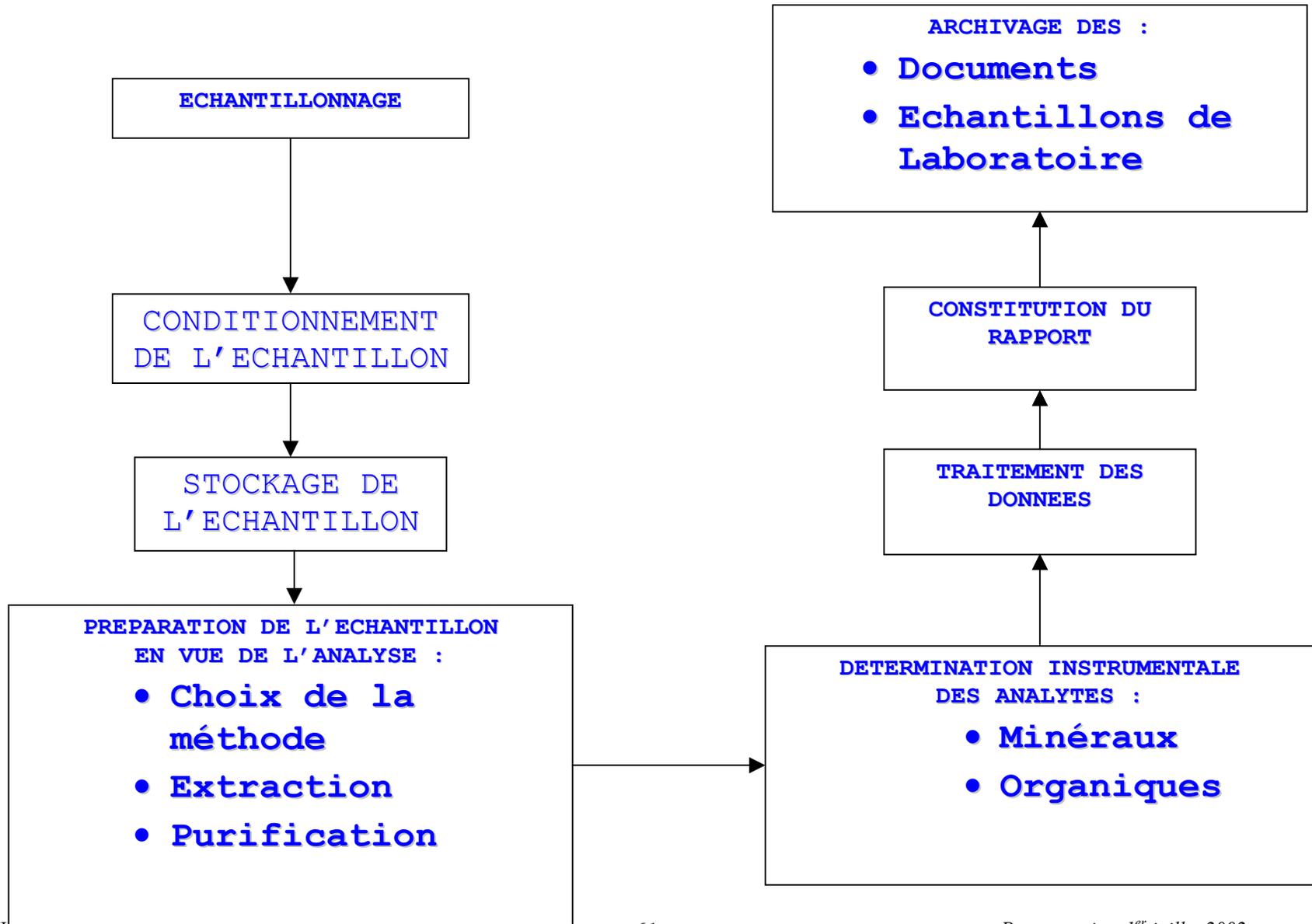
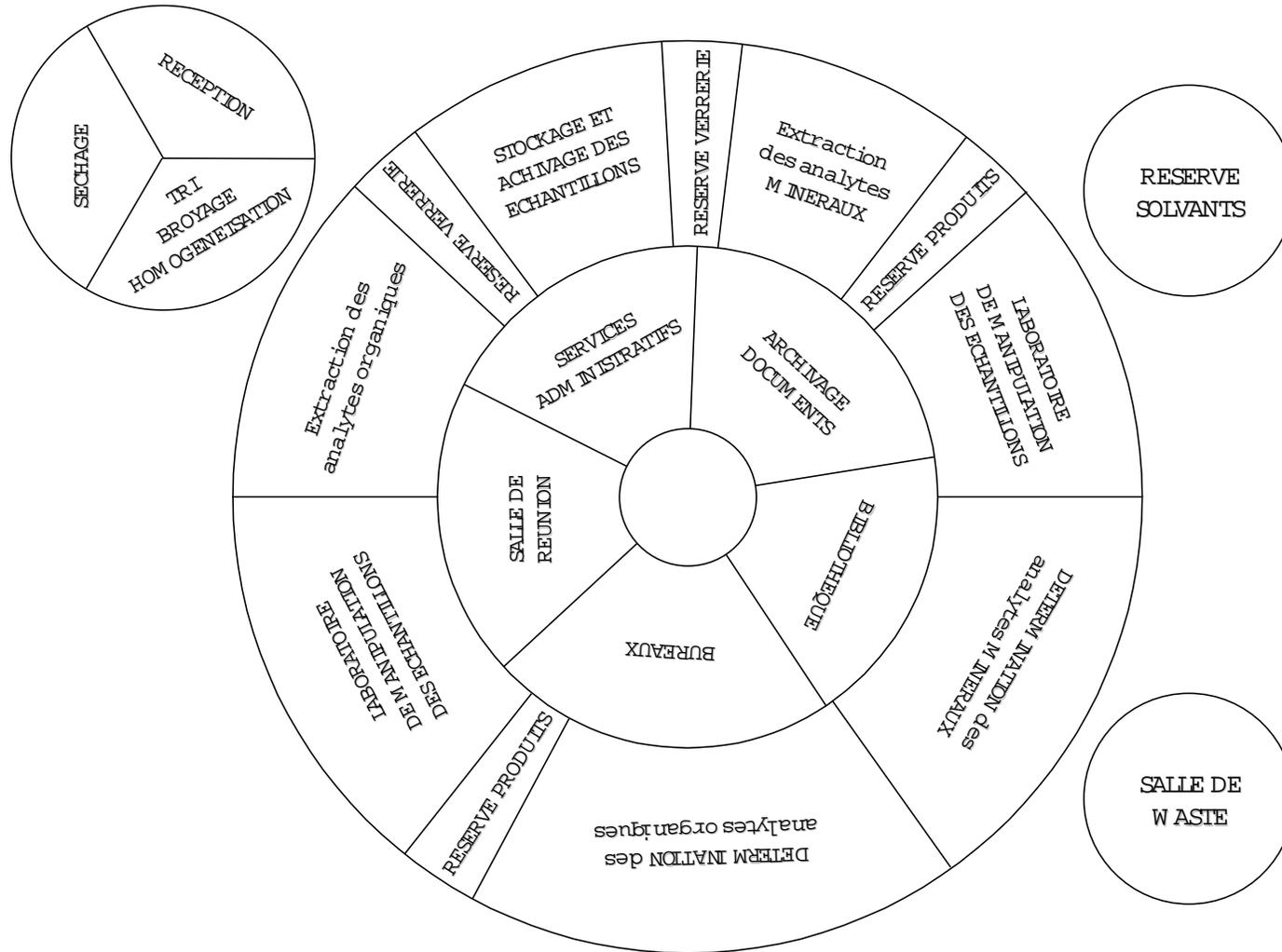


Fig 2 : CONCEPTION ET ORGANISATION DU CENTRE DE REFERENCE



CRITÈRES DE CHOIX DES SITES DE DÉCHARGES ET DES TECHNOLOGIES DE GESTION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DANS LES PAYS À CLIMAT CHAUD

S. HILIGSMANN, M. LARDINOIS, Ph. THONART

Centre wallon de Biologie Industrielle

Université de Liège - Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux

A. Critères de choix des sites de décharges

I. Introduction

Pour des raisons principalement économiques, la mise en décharge est, et restera probablement pour de longues années encore, la technique la plus utilisée pour se débarrasser des déchets ménagers dans de nombreux pays à revenus faibles. Cependant, la mise en décharge des déchets ménagers sans aucune précaution est une pratique qui est appelée à disparaître. De plus en plus, il est demandé aux exploitants d'offrir un certain nombre de garanties pour éviter toute incidence néfaste des dépôts de déchets sur l'environnement (humain et naturel). L'exploitation d'une décharge nécessite donc des études et des aménagements préalables ainsi que des procédures de gestion appropriées. Par conséquent, le terme "décharge" est en train de disparaître au profit du terme "centre d'enfouissement technique" (CET). Dans ce document, nous tentons de définir les critères minimums à respecter lors du choix des futurs sites de stockage des déchets pour que le CET ait l'incidence la plus faible sur son environnement lorsqu'il sera exploité.

Des priorités ont donc été établies :

- favoriser la stabilité (géologie et hydrogéologie) à long terme des dépôts.
- tenir compte qu'une activité biologique est susceptible de se développer dans le CET.
Eviter par conséquent les conditions qui pourraient entraîner des dérèglements de cette activité.
- éviter toute interaction entre le CET et l'environnement en protégeant notamment le réseau hydrographique et les réserves d'eau et la dispersion de gaz nocifs dans l'atmosphère
- tenir compte de l'accessibilité du site.
- tenir compte de l'impact sur l'environnement humain et écologique.

- tenir compte du volume disponible et utilisable.

Les critères ne constitueront pas un outil de sélection, dans le sens le plus restrictif du terme, mais plutôt un moyen pour classer les sites potentiels selon un ordre de préférence après un minimum d'étude. Citons par exemple des essais-types réalisés sur des échantillons de sol dans des conditions identiques pour chaque site potentiel; la prise en compte des résultats d'études antérieures; le dialogue avec les autochtones sur la flore et la faune sédentaire ou de passage; etc. Les sites retenus devront ensuite faire l'objet d'investigations approfondies dans tel ou tel domaine, notamment en fonction de leurs faiblesses respectives éventuelles.

Pour établir les critères et le système de cotation, nous nous sommes largement inspirés de l'étude réalisée par la société Spaque S.A. concernant le choix des futurs CET en Région Wallonne (Belgique). Nous avons toutefois essayé avec le concours d'experts en géologie, hydrogéologie et résistance des matériaux belges (Prof. Monjoie et Verbrugge), de simplifier la méthodologie utilisée pour qu'elle soit aisément applicable aux cas de pays en voie de développement. Pour ce faire, nous nous sommes inspirés de l'étude menée au Burkina Faso par les sociétés Horizons S.A. - Socrège dans le cadre du Projet pour l'Amélioration des Conditions de Vie Urbaine (PACVU - Gestion des déchets solides municipaux à Ouagadougou et Bobo - Dioulasso) mis en place par le gouvernement Burkinabé. (Etude n° 4431, août 1994)

II. Définition des critères de sélection des sites

Il faut distinguer 2 types de critères:

1. Les critères d'exclusion qui définissent les conditions minimum d'acceptation d'un site d'implantation pour un CET. Certaines de ces conditions pourraient toutefois être rencontrées mais au prix de relativement lourds investissements d'aménagement et d'isolement du site.
2. Les critères de comparaison qui vont permettre de différencier deux sites potentiels selon des considérations techniques ou d'aménagement du territoire plus ou moins favorables.

Les critères de sélection, qu'ils soient d'exclusion ou de comparaison, font partie de différents domaines scientifiques et socio-économiques : géologie, hydrogéologie, hydrologie, chimie et aménagement du territoire.

a. Géologie:

- Nature du terrain : type de sol, comportement (solubilité) des composés du sol en présence de lixiviats, hétérogénéité, anisotropie.
- Topographie: pente de terrain ou de vallon.
- Présence de zones de "faiblesse": faille perméable, zone fracturée, zone sismique.

- Présence dans le sous-sol de nappes aquifères exploitées ou exploitables, type d'aquifère.
- b. Hydrogéologie:
- Perméabilité du sol.
 - Niveau piézométrique de la nappe phréatique.
 - Position par rapport à une zone de captage ou prise d'eau.
- c. Hydrologie:
- Incidence sur l'écosystème environnant, caractère particulier de l'écosystème.
 - Incidence sur le réseau hydrographique (cours d'eau, lac, mer, etc.).
 - Implantation dans les zones inondables et plans d'eau.
- d. Chimie:
- Implantation dans une zone de forte salinité (lagune d'eau de mer asséchée, faible distance par rapport à la mer).
 - Présence importante de sulfates (carrières de gypse)
- e. Critères d'aménagement du territoire:**
- Implantation dans des zones naturelles: réserves naturelles, parcs, forêts, thermalisme.
 - Proximité par rapport aux habitations et sites d'intérêt: classés, archéologiques, touristiques, de loisirs, de services, etc.
 - Accessibilité: route, piste.
 - Proximité par rapport aux lieux de collecte.
 - Perturbations par le charroi : trafic actuel et prévu, nombre de villages traversés par le charroi.
 - Disponibilité des matériaux de couverture en cours et après exploitation.
 - Impact paysager (visibilité du site depuis les routes et habitations).
 - Volume disponible et utilisable.

III. Critères d'exclusion

Un site sera sélectionnable s'il satisfait à l'ensemble des conditions suivantes, et ce après aménagements éventuels pour satisfaire un ou des critères particuliers (ex : apport d'argile pour assurer une meilleure imperméabilité de la base du CET).

1. Perméabilité du sol inférieure ou égale à 10^{-9} m/s¹ sur une épaisseur minimum de 5 m

¹ Correspondant à une infiltration d'environ 1m³ par hectare par jour. Le coefficient de perméabilité d'un sol doit être déterminé en tenant compte que les expériences de laboratoire sur des échantillons de sol conduisent à des valeurs dix à cent fois plus

2. Ne pas implanter un CET sur le bassin versant d'une nappe phréatique exploitée ou exploitable dépourvue d'une isolation naturelle par rapport au terrain superficiel (5 m de sol de perméabilité 10^{-9} m/s).
3. Pente du terrain inférieure à 1/3 (1 vertical sur 3 horizontal)
4. Niveau piézométrique de la nappe phréatique inférieur à -5m par rapport à la base du CET.²
5. Ne pas implanter un CET dans une zone inondable ou en dessous du niveau de la mer.
6. Ne pas implanter un CET dans une carrière (exploitée ou abandonnée) autre qu'argilière.
7. Le site ne doit pas être situé à moins de 35 m d'une installation de captage et, en milieu karstique (présence abondante de calcaire), la zone de site ne peut renfermer des points de pénétration préférentiels (dolines, chantoirs, ...) et ne peut se situer sur les axes de circulation préférentiels alimentant le captage.
8. Le débit des eaux susceptibles de s'écouler (écoulement hypodermique, percolats, etc.) à partir du site en direction d'une rivière environnante doit être au moins 100 fois inférieur au débit de la rivière (en période d'étiage), d'alimentation du lac, etc. On parle d'un taux de dilution supérieur à 100.
9. Ne pas implanter un CET dans une zone saline ou dont le sous-sol renferme du gypse (source d'une activité sulfato-réductrice néfaste sur le plan économique et environnemental et source de dissolution biologique ou chimique des roches).
10. L'implantation du CET ne doit pas être à l'origine de la destruction d'un écosystème particulier.
11. La distance entre le site et les habitations ou un site d'intérêt doit être supérieure à 100 m.

favorables que les coefficients effectifs *in situ*. Les expériences devront donc être répétées plusieurs fois et ponctuées par des tests de validation *in situ*, notamment sur les caractéristiques de l'échantillon (densité, hétérogénéité, etc.). Des essais de comparaison devraient également être réalisés en présence de lixiviats, jeunes et anciens, de décharges.

² Lors de l'évaluation du niveau piézométrique, il convient de tenir compte de la capillarité éventuelle dans certaines franges du sol.

IV. Critères de comparaison

IV.1. Système de cotation

La base du système de cotation est de donner une valeur nulle pour un site présentant les "conditions minimum" pour pouvoir être exploité (satisfaction à tous les critères dits "d'exclusion"). Les critères de comparaison donneront des valeurs soit positives, soit négatives, selon le cas particulier de chaque site.

La cote maximum est de 50.

La cote minimum est de -50.

Les sites qui obtiendront les meilleures cotes générales (somme de tous les cotes individuelles $C_{A1} + C_{A2} + \dots + C_{D7} + C_E$) pourront être sélectionnés pour la phase d'étude ultérieure qui aboutira à la sélection ultime. Notons toutefois que certains sites obtiendront une bonne cote générale alors qu'ils montrent une certaine faiblesse dans l'un ou l'autre domaine. Dans ce cas, certaines études approfondies dans le ou les domaines en question devront être réalisées prioritairement. Une appréciation, pouvant intervenir également en tant que critère de comparaison (C_E), pourra être donnée à chaque site en fonction du type d'étude prioritaire. Le type d'étude sera indiqué (en italique) en regard du critère considéré.

IV.2. Attribution des cotes

A. Géologie.

1. Implantation sur le bassin versant avec isolation naturelle de la nappe : $C_{A1} = -5$
Etude approfondie du sous-sol et de la dispersion des liquides dans les différentes couches.
2. Présence d'une zone de faiblesse : $C_{A2} = -5$
Calcul de la stabilité du sol.

3. Topographie:

$$C_{A3} = -2 \frac{\text{pente en } ^\circ}{18^\circ}$$

4. Présence de matériaux solubles (calcaire, anhydrite, etc.) dans les couches supérieures du sous-sol et non isolées naturellement de la base du CET : $C_{A4} = -5$

Etude de la solubilité des composés du sol en présence de lixiviats jeunes (acides) et vieux (basiques)

B. Hydrogéologie.

1. Zone de captage

Une zone de captage est associée à différents périmètres ou zones de prévention et de surveillance.

- la zone I (10 m autour des installations de prise d'eau) correspond à la zone de prise d'eau.
- la zone II ou zone de prévention est subdivisée en deux zones : IIa et IIb
La zone IIa est délimitée par une distance de 25 m au minimum autour de la zone I correspondant à un temps de transfert de 24h environ. La zone IIb est déterminée par la zone d'appel du captage dont le périmètre est fonction du type d'aquifère.
- la zone III ou de surveillance correspond au bassin d'alimentation du captage.

On définit D (en m) : la distance minimum entre le site et les installations de captage.

Dans la zone IIb³

On définit X2 (en m) : la longueur de la zone

- pour un aquifère sableux X2 = 100 m⁴
- pour un aquifère graveleux X2 = 500 m ou la distance de la nappe alluviale à la rivière si cette distance est inférieure à 500 m.
- pour un aquifère karstique ou fissuré X2 = 1000 m

D varie donc dans la zone IIb entre 35 et X2 + 35 m

$$C_{B1} = -5\left(1 + \frac{X2 - D + 35}{X2}\right)$$

Dans la zone III

³ L'implantation dans les zones I et IIa est un critère d'exclusion (cf III 7).

⁴ Ces distances sont inspirées des perméabilités moyennes connues pour ces différents types d'aquifère.

On définit X3 (en m) : la distance entre l'installation de captage et l'extrémité du bassin d'alimentation dans l'axe installation-site ⁵
D varie dans la zone III entre X2 + 35 et X3.

$$C_{B1} = -5 \frac{(X3 - D)}{X3 - X2 - 35}$$

Etude approfondie de la géologie et l'hydrogéologie dans les zones entourant l'aquifère (détermination précise des points de pénétration préférentiels, etc...)

2. Perméabilité du sol

On définit K (en m/s): le coefficient de perméabilité du sol. Bien qu'une valeur de K égale à 10^{-9} m/s et une épaisseur de 5 m aient été considérées comme conditions minimum (critère d'exclusion 1), on peut appliquer un facteur de pondération positif pour les couches (isolant le CET de la nappe) dont le K est inférieur à 10^{-9} m/s et dont l'épaisseur est supérieure à 5m.

$$C_{B2} = +0,1 \cdot \frac{10^{-9}}{K} + 0,4(e - 5)$$

Le premier terme ne peut être supérieur à 10 et le second à 5.

3. Niveau piézométrique (NP en m par rapport à la base du CET) ²

$$C_{B3} = +(NP - 5) \quad (\text{max } 10)$$

Etude approfondie des phénomènes de capillarité éventuels et de l'évolution du NP en fonction des saisons.

C. Hydrologie

1. Taux de dilution des effluents du CET qui atteindraient le réseau des eaux de surface (en période d'étiage) (TD sans dimension) (cf. critère d'exclusion 8)

$$C_{C1} = + \frac{TD - 100}{100} \quad (\text{max } 10)$$

⁵ On ne considère pas de zone III si la zone IIb renferme les limites du bassin d'alimentation ($X3 < X2 + 35$).

Etude, en fonction de la pluviométrie, de la dispersion des liquides (essais de traceurs) dans le sous-sol situé entre le site et le réseau hydrographique.

2. Incidence sur l'écosystème environnant

On définit TE : taux d'endommagement estimé de l'écosystème (sur une échelle de 1 à 5)

$$C_{C2} = -TE$$

Etude des espèces végétales, animales et microbiologiques présentes dans l'écosystème environnant le site potentiel, en fonction des saisons.

D. Aménagement du territoire.

1. Implantation dans une zone naturelle: $C_{D1} = -5$

2. Distance par rapport aux habitations et sites d'intérêt dans la direction des vents dominants (DH en m)

$$C_{D2} = -5 \frac{1000 - DH}{900}$$

3. Accessibilité du site et proximité par rapport aux lieux de collecte ⁶

$$C_{D3} = -0,5 (DC + 4DR)$$

avec DC (en km) : distance moyenne par rapport aux lieux de collecte et pondérée en fonction des volumes collectés.

et DR (en km) : distance à parcourir sur une piste non bitumée (maintenue en bon état toute l'année) entre les infrastructures routières et le site du CET. ⁷

Evaluation des possibilités d'amélioration de l'accessibilité et évaluation des coûts d'aménagement.

4. Critère de volume

C_{D4} (max 5) à définir sur une échelle en fonction des volumes collectés et potentiels, du taux de compactage et sachant que la pente des talus du dépôt ne peut dépasser 30° pour des raisons de stabilité des talus et de sécurité lors du maniement des engins de compactage.

5. Impact paysager :

⁶ Après aménagement éventuel d'un accès plus aisé.

⁷ Les coefficients de l'équation peuvent être corrigés en fonction de l'état des infrastructures routières.

- Présence d'écrans boisés autour du site : $C_{D5} = +5$
 - Absence d'écran boisé mais plantation envisageable $C_{D5} = +2$
6. Disponibilité des matériaux de couverture à proximité du site $C_{D6} = +3$ ⁸
7. Incidence du charroi
 C_{D7} (max 3) sera défini dans une échelle de comparaison entre les différents sites potentiels relatifs à une même zone de collecte.

La liste de ces critères de comparaison n'est certes pas exhaustive. D'autres paramètres pourraient également entrer en ligne de compte en fonction des caractéristiques particulières liées à une région ou une zone de collecte. Citons par exemple la faisabilité de prélever (pour les épurer) les eaux de la nappe phréatique en cas de pollution accidentelle par les lixiviats du CET.

V. Conclusions

Les critères de sélection développés dans ce document sont un outil de base pour effectuer, à partir d'un minimum de paramètres connus ou à étudier, une sélection parmi des sites potentiels pour l'implantation d'un CET.

Les différentes cotes seront attribuées par un comité d'experts ayant des compétences respectives dans les différents domaines concernés (biologie, géologie, hydrogéologie, etc.). Afin d'effectuer un choix sans équivoque, il convient de constituer un groupe d'experts commun à la sélection de tous les sites potentiels associés à une même zone de collecte voire, dans les cas (comme Haïti) où la superficie le permet, un comité commun à tous les sites d'un pays.

Il convient également, afin de motiver les choix, d'effectuer des tests de sensibilité sur la cotation générale en faisant varier sensiblement l'importance relative de certains critères par rapport aux autres. Est-il besoin de mettre l'accent sur l'importance et l'intransigeance à accorder aux critères d'exclusion?

Au terme de la cotation générale, les sites retenus devront faire l'objet d'études approfondies avant la sélection ultime, par un comité d'experts neutres et indépendants des auteurs des études.

⁸ L'apport de matériaux de l'extérieur peut être pris en considération selon une échelle d'appréciation du type de celle de C_{D3} .

B. Critères de choix des technologies de gestion de la matière organique dans les pays à climat chaud

Dans la filière de gestion des déchets ménagers et afin de limiter les volumes de déchets enfouis, on se doit également d'encourager les populations et les pouvoirs publics à développer des moyens complémentaires de valorisation des déchets tels que le recyclage des matériaux (métaux, verres, matériaux de construction, papiers et cartons, solvants, plastiques, etc.) et la valorisation de la matière organique sous forme de compost et/ou biogaz. Le terme "complémentaire" est important à souligner car ces moyens ne pourront bien souvent traiter que 30 % du "gisement" de déchets ménagers, principalement pour des raisons technologiques ou de débouchés des produits du recyclage ou de la valorisation des déchets organiques. Dans ce cas, les facteurs socio-économiques ne sont pas les seuls à considérer comme lors de l'implantation d'une usine de recyclage. En effet, les conditions climatiques et plus particulièrement les caractéristiques pluviométriques sont des paramètres qu'il est important de considérer pour une bonne maîtrise des processus de biodégradation de la matière organique. Il en va de la rapidité des procédés.

Les technologies de compostage, de biométhanisation ainsi que l'activité biologique des décharges dans les zones humides ou tempérées est relativement bien connue et économiquement rentable. Il n'en est cependant pas de même pour les régions à pluviométrie faible ou mal répartie. Dans les décharges de ces régions, en fonction de différents facteurs (fréquence et intensité des apports en eau, évaporation, texture des déchets, nature des matériaux de couverture éventuels, intensité et fréquence des pluies, ...) on pourrait observer, ou non, une activité biologique plus ou moins forte, donc plus ou moins longue, tant que la matière organique n'est pas épuisée.

Par conséquent, le choix et la mise en oeuvre des instruments de gestion de la fraction organique des déchets ménagers doit être guidé, en plus des facteurs socio-économiques, par des considérations climatiques. La mise en décharge est un instrument mais il en existe d'autres, relativement plus coûteux ou difficile à maîtriser, notamment, en fonction des paramètres précités. Ils sont décrits dans le tableau 1

Dans un souci de préservation de la santé publique et de l'environnement et dans l'objectif d'une valorisation éventuelle, ces traitements demanderont donc la maîtrise de certains paramètres. Citons par exemple, la disponibilité de grandes quantités d'eau (non salines sous peine d'obtenir des produits de biodégradation non valorisables dû à la présence de sulfates, sulfures et chlorures). Ce facteur pourrait par conséquent être limitant dans les pays où l'eau est une denrée rare à préserver. Un tri des déchets est également essentiel en amont de certaines technologies afin d'éviter la présence de certains contaminants. Par exemple, outre les piles, la présence de journaux ou de publicités imprimés en couleur apporte également une certaine proportion de métaux lourds qui sont très toxiques pour les organismes qui les ingéreraient via les plantes vivrières.

Tableau 1 : Comparaison des techniques principales de traitement des déchets solides.

Avantages	Inconvénients
COMPOSTAGE	
<ul style="list-style-type: none"> - simple - aérobie - peu coûteux, peu d'équipements - main d'œuvre non spécialisée - amendement pour l'agriculture - restructurant des sols à long terme - intéressant pour les déchets solides à taux d'humidité de max. 50% 	<ul style="list-style-type: none"> - utiliser des déchets biodégradables - exige une certaine surface d'entreposage et de grandes quantités d'eau (non salines) - doit être protégé des intempéries - odeurs parfois désagréables - peut contenir des métaux lourds transférables aux plantes vivrières, d'où nécessité d'un triage ou une sélection des déchets biodégradables - une fermentation mal menée ne détruit pas certains organismes pathogènes
METHANISATION	
<ul style="list-style-type: none"> - production d'énergie (gaz récupérable) - minéralisation des matières organiques et utilisation des boues résiduelles dans l'agriculture - destruction des pathogènes - traitement de déchets plus humides, entre 55 et 75% d'eau 	<ul style="list-style-type: none"> - anaérobie d'où un équipement plus coûteux - exige de grandes quantités d'eau (non salines) - odeurs désagréables en cas de mauvais confinement - pour éviter les métaux lourds et les sulfates, triage des déchets biodégradables - fermentation complexe demandant du personnel qualifié - procédé très sensible aux variations de composition du substrat, au pH (supérieur à 8), à la Température (55°C) - contrôle du stockage du gaz ou utilisation d'une torchère
INCINERATION	
<ul style="list-style-type: none"> - destruction des déchets solides de toute nature - sécurité d'élimination des déchets contaminants biologiques (hôpitaux, etc...) - utilisation des mâchefers en travaux publics après stabilisation 	<ul style="list-style-type: none"> - coûteux - personnel qualifié - traitement des fumées exigé avant rejet dans l'atmosphère - stabilisation des mâchefers avant mise en décharge ou utilisation en travaux publics, car les métaux lourds peuvent être solubilisés
MISE EN DECHARGE	
<ul style="list-style-type: none"> - simple et peu coûteux - pas de personnel qualifié - site réutilisable à certaines conditions après recouvrement - concerne les déchets solides 	<ul style="list-style-type: none"> - doit être contrôlée quant au type de déchets déposés (attention aux contaminants : sulfates, métaux lourds et toxiques pour la population et l'environnement) - son évolution (lente: 30-50 ans) doit être contrôlée comme un bioréacteur (présence de lixiviats, de gaz...) - installation de torchère s'il y a du biogaz ou éventuellement valorisation énergétique - étanchéité de couverture et de fond pour limiter l'infiltration des eaux de surface vers les déchets et vers la nappe - à installer sur site approprié pour éviter une pollution du sol et des eaux

On peut ajouter à ce tableau la méthode d'élimination directe par épandage des déchets ménagers sur le sol. Un tri est cependant nécessaire afin d'éliminer les contaminants; de même qu'un faible enfouissement afin d'éviter la dispersion des

plastiques par les vents. Sur les sols cultivés, cette méthode est toutefois peu conseillée parce qu'elle conduit dans les premiers temps à un effet dépressif sur les cultures mais elle peut être utilisée en tant que moyen de lutte contre la désertification.

Le tableau 2 reprend les différentes techniques précitées et les met en relation avec les conditions climatiques. La figure 1 présente les différentes zones climatiques de l'Afrique. La figure 2 représente une installation de compostage à St-Louis, Sénégal.

Tableau 2 : Recommandations quant à l'applicabilité des techniques principales de traitement des déchets solides dans les zones sèches, humides ou intermédiaires

	Zones		
	Zone sèche	Zone intermédiaire	Zone humide
Type de climat	Désertique et sahélien	Méditerranéen et certaines stations en zone tropicale à longue saison sèche	Tropical à longue saison humide, équatorial et tempéré
Caractéristiques climatiques	Pas d'humidité au sol, pas de réserves d'eau	50 à 80 % des pluies sur une courte période (2 à 5 mois)	Plus de 7 à 10 mois humides
TECHNOLOGIES			
Compostage	oui - limité par le manque d'eau	oui	oui
Biométhanisation	oui - limité par le manque d'eau	oui	oui
Incinération	oui - en technologie d'appoint très sélective	oui	oui
Mise en décharge	oui - même recommandée	oui - mais conditionnée	non - sauf si la décharge est contrôlée
Epannage direct	oui	non	non

LES EXPÉRIENCES DE COMPOSTAGE EN HAÏTI : BILAN ET RECOMMANDATIONS.

M. Frantz BENOIT.

ONG Cooperative Housing Foundation. Port au Prince

Le compostage est l'opération qui consiste à transformer les déchets organiques en humus à partir d'une fermentation aérobie ou anaérobie. Le compostage est la réplique d'un phénomène naturel que l'on peut facilement observer dans la nature, notamment dans les forêts. En effet, les feuilles mortes tombées des arbres sont décomposées par des micro-organismes et transformées en Humus qui sert de nourriture aux arbres suivant un cycle ininterrompu. De nos jours le compostage est très utilisé dans le processus d'élimination des ordures ménagères. Il répond à une double nécessité :

a) diminuer le volume des déchets transportés dans les décharges à cause du manque d'espace dans certaines zones. Ce manque d'espace se fait de plus en plus sentir à proximité des grandes villes où la compétition pour l'occupation de terre devient de plus en plus forte entre plusieurs activités telles que: extension des zones résidentielles, création de parcs et de terrains de jeux, expansion de l'agriculture etc..

b) améliorer des sols agricoles dont la teneur en humus s'amenuise de jour en jour soit à cause d'une surexploitation soit à cause de l'érosion. Généralement cette perte d'humus est compensée chez nous et ailleurs par l'utilisation massive d'engrais chimiques dont l'impact sur l'environnement n'est pas toujours sans danger.

Quelques données historiques sur le compostage

Le compostage est connu depuis la plus haute antiquité en Chine et en Inde où il était pratiqué sur petite échelle et de façon artisanale. Il a fallu attendre le début du 20^{ème} siècle pour que les pays européens «s'approprient» la technique du compostage et la modernisent.

Les débuts du compostage industriel remontent vers 1947 avec la construction d'une usine de compostage mécanique au Caire en Egypte.

Expérience du compostage en Haïti

Les paysans haïtiens ont depuis toujours utilisé le fumier résultant de la décomposition des feuilles mortes ou des déchets d'animaux domestiques (porcs, bœufs, poules) pour améliorer la productivité de leurs jardins. Cependant ils sont très peu nombreux à connaître les techniques de compostage.

a) L'Usine National de Compostage (UNACOM)

Au début des années 80 Haïti allait connaître sa première expérience en matière de compostage industriel avec la construction de L'Usine National de Compostage (UNACOM). Cette usine fut construite sur l'initiative de la BNDAI avec l'accord de la mairie de Port-au-Prince a connu une existence très éphémère. Elle a fermé ses portes moins de 2 ans après sa mise en marche. Elle aurait coûté environ 4 millions de dollars à l'état haïtien. Cette usine implantée dans la zone de Mais Gaté, plus précisément à l'angle de Delmas 33 et la route de Maïs Gaté constituait une véritable nuisance pour les habitants de la zone qui se plaignaient de l'invasion de mouches et du dégagement d'odeurs nauséabondes à des kilomètres à la ronde. De plus, les tas de compost s'élevaient à hauteur de cathédrale sans pouvoir être vendus par les responsables de l'usine. Donc, on peut conclure que cette première tentative de compostage industriel a été un cuisant échec pour ses promoteurs. Une tentative de récupérer les carcasses de l'UNACOM pour construire une deuxième usine du côté de Truitier, par le Gouvernement de Marc Bazin, ne connut aucune suite. Finalement le site de L'UNACOM a été envahi par la population et des dizaines de maisons y ont été construites

Causes de l'échec de L'UNACOM

Les causes de l'échec de l'UNACOM peuvent être résumées comme suit:

- * l'usine a été construite non pas dans le cadre d'une recherche de solutions au problème des déchets à Port-au-Prince mais dans le but de générer des profits à partir de la vente du compost.
- * Il n'y a pas eu une bonne coordination entre les responsables de l'UNACOM et ceux du service de collecte des déchets de la mairie de Port-au-Prince pour une sélection des déchets qui devaient être livrés à l'usine. Ainsi l'UNACOM recevait toute sorte de déchets ramassés dans les rues de la capitale et même des carcasses de voitures.

Le mauvais état de la route de Maïs Gaté ne favorisait pas le transport du compost vers des centres d'utilisation.

Le Marketing du produit n'était pas assuré.

b) L'Unité de Compostage des Ordures Ménagères du Cap-Haïtien (UCOMECE)

Cette Unité de compostage a été inaugurée en septembre 1991 par le Groupe d'Appui Technique et d'Action Pédagogique (GATAP) au Cap Haïtien, plus précisément à Madeline, localité située à 5 kilomètres environ à l'est du Cap Haïtien. L'UCOMECE a connu un bon développement jusqu'en 1998 et son compost était vendu même à Port-au-Prince. Cependant les dernières informations nous laissent croire que l'usine est fermée depuis quelques mois.

L'UCOMECE était soutenue financièrement par la Fédération Genevoise de Coopération. Sa fermeture est sans doute imputable à l'arrêt du financement qu'elle recevait de cette Institution Helvétique. Pourtant l'UCOMECE fournissait un compost de bonne qualité et avait mis en place une petite parcelle de démonstration où l'on pouvait comparer les résultats de cultures maraîchères faites avec compost et celles réalisées sans utilisation de compost. La fermeture de l'UCOMECE, si elle se confirme est susceptible d'apporter un coup dur aux défenseurs du compostage en Haïti.

c) Compostage artisanal à Jacmel

Depuis Juillet 1998 la mairie de Jacmel reçoit l'assistance technique de l'Institut Régional de Coopération et de Développement (IRCOD) à travers un accord signé avec la mairie de Strasbourg dans le cadre du jumelage des deux villes. Cet accord prévoit l'encadrement du personnel de la mairie affecté à la gestion des déchets en vue de réaliser des activités pilotes de compostage dans certains quartiers de la ville.

Une première expérience a été réalisée avec les scouts d'Haïti qui ont produit un compost de qualité moyenne sous la supervision d'un ingénieur de la mairie.

Une deuxième expérience a visé la formation de certains élèves du centre Alcibiade Pommayrac dans la production de compost à partir des ordures ménagères. Cette expérience est en phase d'achèvement et le compost produit sera utilisé dans la production de fleurs sur le terrain de l'école

Enfin, une troisième expérience qui vise les membres de l'Association des Jeunes du Sud-est pour la Protection de l'Environnement est en cours de réalisation.

Vue le caractère expérimental de ces interventions, on peut mentionner dorénavant et déjà qu'elle ne va pas contribuer à solutionner le problème des déchets dans le Métropole du Sud-est.

Autres expériences de compostage

Dans les zones où la culture maraîchère se pratique sur une grande échelle, notamment dans la région de Kenskoff, certains paysans ont l'habitude de pratiquer le compostage. Les horticulteurs également. Cependant ces petits centres de compostage n'entrent pas dans le cadre global de gestion et d'élimination des déchets.

Justification de la nécessité de développement du compostage en Haïti

Une analyse des déchets produits dans les principales villes du pays montre qu'ils sont composés de plus de 70% de matières organiques, ce qui signifie qu'ils sont potentiellement compostables.

Or toutes les conditions susceptibles de justifier la création d'unités de compostage en Haïti sont réunies:

- 1) Le pays est confronté à un grave problème d'appauvrissement des terres agricoles à cause de l'érosion.
- 2) Les fertilisants chimiques importés sont chers et drainent une bonne partie de nos devises vers les pays producteurs. (certains importateurs de ces fertilisants seraient des adversaires farouches de toute idée de création de centres de compostage à travers le pays).

Partant de ces constats, On ne peut qu'encourager la création de centres de compostage à travers le pays et la vulgarisation des techniques de compostage qui doivent être à la portée de tous. Ces dispositions doivent cependant faire partie d'une stratégie globale de formation et d'éducation environnementale.

Pièges à éviter

On a souvent entendu l'opinion de personnes non-informées disant que l'état pourrait gagner beaucoup d'argent en créant des usines de compostage pour traiter les tas de déchets qui se «gaspillent» dans les rues de la capitale. Or, la finalité du compostage est rarement lucrative. Généralement on l'utilise dans le but de diminuer le flux de déchets à traiter dans les décharges et pour la réhabilitation des sols dégradés par le déboisement et l'érosion. Ce qui signifie qu'avant même d'envisager la fabrication du compost il faut se poser certaines questions pas toujours faciles à répondre:

Quels sont les finalités du projets?

Il y a-t-il un marché pour l'écoulement du produit?

Comment le transport sera t-il organisé de manière à en diminuer le coût?

Comment le marketing du produit sera t-il assuré? Car, l'expérience a démontré que les utilisateurs potentiels du compost ne sont pas suffisamment informés sur les avantages d'utilisation de ce produit. Comme cela se passe dans certains pays, notamment en Suisse, l'état devrait intervenir en subventionnant les usines de compostage des déchets, parce qu'elle contribuent à diminuer la pression que les service de collecte des déchets exercent sur les site de décharge.

Quelques informations sur le compostage

1) Classifications

Suivant les procédés utilisés dans la production du compost, le compostage peut être aérobie ou anaérobie, mésophile ou thermophile, mécanique ou manuel.

Le compostage est dit aérobie lorsque le processus de décomposition se fait en présence d'air (c'est à dire en présence d'oxygène). Inversement, le compostage anaérobie implique la décomposition des déchets en absence d'air. Le système anaérobie se fait dans des digesteurs anaérobies. Les systèmes de compostage modernes sont plutôt de nature aérobie. L'une des plus importantes raisons de la «popularité» du compostage aérobie est qu'il n'est pas caractérisé par le dégagement d'odeurs nauséabondes comme pour le compostage anaérobie. De plus, le compostage aérobie présente une plus grande garantie pour la santé publique que le compostage anaérobie à cause de la température élevée enregistrée au moment de la décomposition des déchets. Cette température peut être supérieure au point thermal critique de survivance des micro-organismes pathogènes et des parasites. Un autre avantage du compostage aérobie est la rapidité du processus de fermentation par rapport au compostage anaérobie.

2) Microbiologie

Qu'il soit aérobie ou anaérobie, le processus de compostage serait impossible sans la présence de micro-organismes. Ces micro-organismes sont généralement des bactéries, des actinomycètes et des champignons. Les actinomycètes peuvent décomposer une large variété de matières organiques telles que sucres, celluloses, protéines, amino acides et même des composés ligneux. Suivant les recherches effectuées dans le domaine, les champignons impliqués dans le processus du compostage sont les suivants:

Chaetomium thermophile
Humicola languinosa
Talaromyces dupontii
Aspergillus fumigatus
Mycogone nigra etc...

3) Préparation du compost

a) Tri

Il est généralement recommandé d'effectuer un tri préalable des déchets avant d'entamer le processus. A moins que les déchets aient été l'objet d'une collecte sélective, la première démarche à entreprendre pour la production du compost est de séparer les composantes «compostables» des composantes non bio-dégradables susceptibles de gêner la processus ou d'empoisonner le produit final. Les éléments indésirables sont :

Le verre

Le plastic

Le caoutchouc

Les métaux en général et les métaux lourds en particulier.

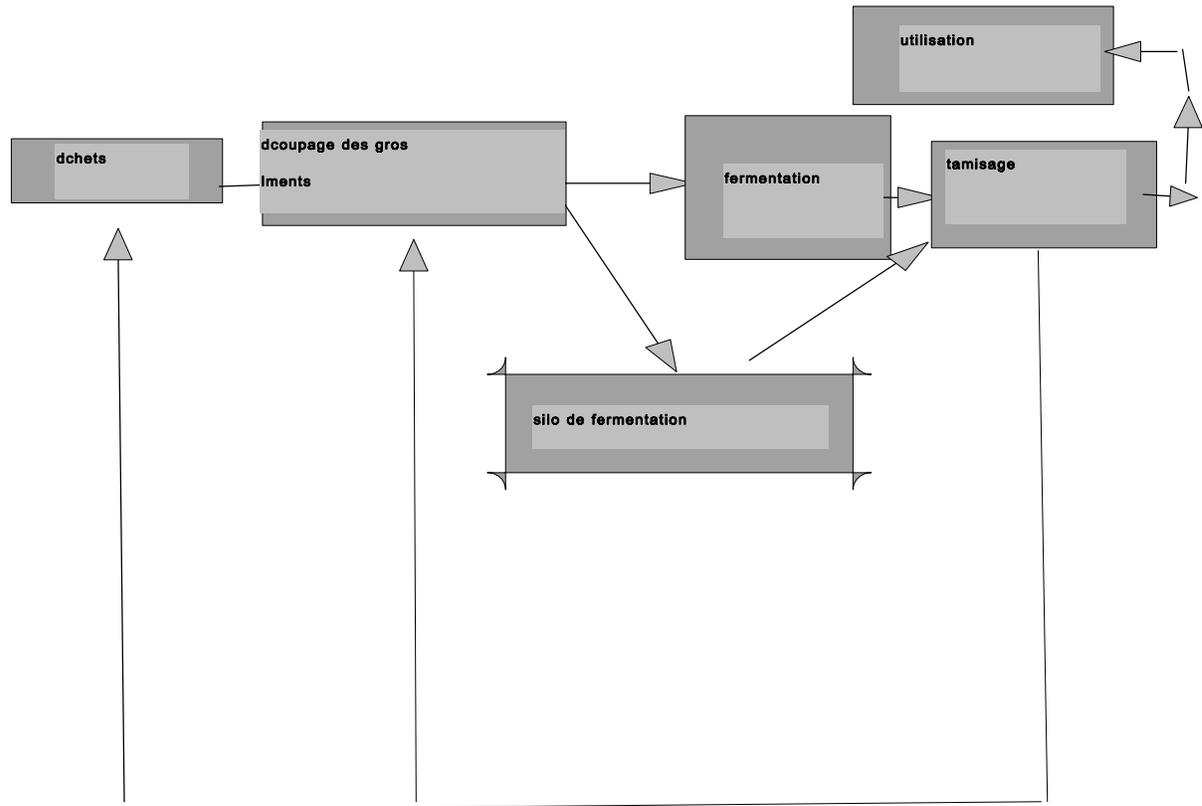
Le tri peut s'effectuer mécaniquement ou manuellement. Pour les opérations manuelles, il est recommandé de prévoir des habits de protection pour les travailleurs: gants, cache-nez, blouse de protection, bottes etc....

Les déchets une fois débarrassés des éléments indésirables, sont disposés en tas sous forme de digues de dimensions 10x2x1.5 (cas du Cap-Haïtien) Alors commence le processus de fermentation qui nécessite une surveillance stricte car les tas doivent être remués fréquemment pour faciliter la pénétration de l'air et arrosés régulièrement. Le compostage aérobie fait intervenir ces deux facteurs essentiels; l'air et l'humidité.

Les micro-organismes entrent en action. La matière organique est alors décomposée avec une élévation graduelle de la température du tas qui peut atteindre jusqu'à 50 degrés Celcius. La température redescend et se stabilise avec la fin du processus. Le volume final peut être de cinquante pour cent du volume initial. Le compost est alors tamisé et stocké dans des conditions qui n'altèrent pas ses propriétés.

Un bon compost ne doit pas contenir de métaux lourds (cadmium, plomb, cuivre, mercure ...) Ces éléments sont impossibles à éliminer lorsqu'ils sont présents dans le compost et peuvent empoisonner toute la chaîne alimentaire. Les métaux lourds proviennent généralement des batteries (toutes catégories confondues), des thermomètres etc.. Il faut donc veiller à ce que ces éléments «n'atterrissent»pas dans les tas de compost.

Le processus manuel dure entre trois et six mois



4) Facteurs influençant le processus de compostage.

a) Humidité

L'humidité joue un rôle très important dans le processus de compostage car les micro-organismes en ont besoin pour leur survie. Il faut cependant bien doser l'humidité pour ne pas compromettre le processus. Une trop grande humidité provoque le pourrissement des déchets et le compostage aérobie se transforme en compostage anaérobie. Il est cependant difficile d'établir un degré d'humidité «universelle» pour le compostage de n'importe quel déchet. La «demande en eau» dépend du type de déchets utilisés. Ainsi, pour les ordures ménagères il est recommandé d'avoir entre 55 et 65% d'humidité.

b) Aération

L'aération permet de fournir aux micro-organismes la quantité d'oxygène nécessaire à leur développement et à leurs activités. Lorsque le compostage se fait manuellement, on parvient à fournir de l'oxygène aux déchets en remuant complètement le tas aux râtaux deux ou trois fois au cours du processus de transformation.

5) Technique de compostage individuel

Le compostage peut être pratiqué individuellement par tous ceux qui ont un minimum d'espace et qui sont intéressés à la protection de l'environnement. On peut le pratiquer à même le sol ou dans un récipient approprié (Drum perforé pour la circulation de l'air, boîte, etc...) Pour réussir le compostage, il suffit de suivre les étapes suivantes:

- 1) Hacher les déchets organiques (restes de cuisine, feuilles mortes...) en petits morceaux et les mettre dans un drum perforé de façon à maintenir l'aération constante des déchets.
- 2) Arroser une fois par semaine pour fournir aux micro-organismes les éléments nécessaires à leur développement
- 3) Recouvrir préférablement le drum pour éviter que les mouches pondent des oeufs à la surface des déchets.
- 4) Remuer à la main les déchets au moins une fois par mois pour s'assurer d'une parfaite aération.

Après 5 à 6 mois le processus de fermentation est complet. On peut s'en assurer en constatant que la température n'est plus très élevée et que le tas s'apparente à de la terre végétale.

Conclusions

En Haïti, on peut considérer le compostage comme étant une nécessité de premier ordre vu l'état de dégradation des terres agricoles, la disponibilité des déchets et les difficultés de trouver des terrains pour l'aménagement des décharges au voisinage des villes. Cependant, il ne faut pas commettre les erreurs des années 80 en voulant à tout prix installer une usine sophistiquée ne répondant pas aux besoins réels du pays. (L'UNACOM était même équipée d'un décongélateur de déchets!)

Nous devons privilégier l'utilisation de technologies simples, financièrement acceptables pour la fabrication du compost. L'UCOMECE est un exemple à conseiller puisque toutes les opérations se font manuellement. Le processus est certes très lent mais les avantages économiques sont énormes. Parmi ces avantages il convient de souligner la possibilité de création d'emplois permanents.

COLLECTE ET GESTION DES DÉCHETS DANS L'AIRE MÉTROPOLITAINE DE PORT AU PRINCE - HAÏTI, ENQUÊTE AUPRÈS DE 5000 MÉNAGES

Enquête réalisée Dans le cadre du projet : « Assistance technique à la gestion biologique des décharges en Haïti » coopération Haïti-Région Wallonne de Belgique par Sébastien GROLET, ing. Agronome et chargé de mission APEFE, coresponsable de l'URE (Faculté Des Sciences, UEH) [sebastien_grolet@yahoo.com];

Cette enquête est le fruit d'un partenariat avec OMS-OPS Haïti et du soutien de la FDS, de l'APEFE, et du CWBI.

CONTEXTE

Port au Prince, métropole de près de 2000 000 d'habitants, génère quotidiennement près de 2000 m³ de déchets ménagers. Peu de gens, aujourd'hui, s'aventureraient à donner une estimation du volume de déchets aboutissant effectivement dans une décharge digne de ce nom...50%, 40% peut être moins... Où disparaissent ces tonnes de déchets produits chaque jour et dont on perd la trace en cours de route ?

Les activités informelles de recyclage, humaines ou animales, jouent certes un rôle non négligeable mais force est de constater qu'elles ne peuvent, à elles seules, absorber cette masse de détritiques considérable. Il suffit seulement d'ouvrir les yeux pour s'en rendre compte : dépôts sauvages, ravines encombrées de déchets, restes d'ordures calcinées sur le bord des routes...et ceci jusqu'au centre de la capitale.

D'autres questions viennent à l'esprit : qui collecte les ordures aujourd'hui ? l'Etat, les municipalités et les privés semblent se partager le travail tant bien que mal, au gré des soubresauts politiques, sans cohésion ni coordination apparente. Qu'en est il réellement ? Qu'en est il de leur efficacité ?

Les habitants de la capitale payent ils pour se débarrasser de leurs ordures ménagères ? Sont ils disposés à payer en contrepartie d'un service de collecte efficace ? Dans quelle mesure?

C'est en vue d'apporter des réponses à ces quelques questions que cette enquête a vu le jour ; réponses qui contribueront à y voir plus clair sur la situation et aideront à l'établissement de bases solides aux futurs programmes de collecte des déchets de la capitale.

L'efficacité des structures actuelles de collecte est nettement insuffisante ; cependant, tout espoir n'est pas perdu. Une collaboration rationnelle entre les différents acteurs,

basée sur une bonne connaissance de la situation, des structures et moyens existants, ne peut qu'apporter une amélioration significative, bénéfique pour tous.

OBJECTIF

L'objectif de cette enquête est avant toute chose de constituer une base de donnée cartographique contenant à la fois des informations sur les pratiques en vigueur en matière de gestion-collecte des déchets ménagers, mais également de rassembler des informations précieuses sur la localisation des dépôts intermédiaires de déchets (aux coins des rues notamment) ainsi que sur la qualité de la voirie ; ceci en tout point de l'Aire Métropolitaine. Cette base de donnée est destinée à servir de support à la réflexion pour les politiques (mise en place d'un système de tarification,..) et d'outil de travail pour les acteurs de la collecte, pour les aider à établir un système de collecte adapté aux différentes situations socio-économiques et urbanistiques existantes.

CARACTERISTIQUES PARTICULIERES DE L'ENQUÊTE

Dans cette enquête, couvrant l'ensemble de l'Aire Métropolitaine de Port au Prince. Il a été particulièrement fait attention à ce que toutes les couches socio-économiques soient prises en compte. Un peu plus de 5000 ménages ont été interrogés (voir carte 1), soit plus de 1% des ménages de la capitale.

La seconde particularité de l'enquête repose sur le fait que les données collectées sont saisies immédiatement à l'aide d'un ordinateur de poche (ou encodeur, ou encore PSION, sa marque) et non sur feuille. Les questionnaires individuels sont en outre géo- référencés c'est à dire que chaque questionnaire complété est accompagné des coordonnées géographiques (X et Y) du lieu de prise de l'information. Ces coordonnées prises à l'aide d'un GPS permettent le positionnement de chaque questionnaire sur une carte de l'agglomération de Port au Prince. Ceci permet une analyse spatiale de l'information.

L'outil de saisie : l'encodeur

GPS Garmin 35 LP →

En lieu et place des traditionnels questionnaires papier nécessitant une fastidieuse et coûteuse étape d'encodage, non exempte d'erreurs de recopiage ou de lecture, nous avons opté pour la saisie directe sur une sorte de mini-ordinateur de poche (90 mm x 260 mm) communément appelé encodeur (fig. ci-contre). Etant couplé à un GPS, ce petit ordinateur permet en outre la saisie instantanée des coordonnées géographiques du lieu.

→
Ordinateur portatif ou PSION



Fig.1. l'encodeur PSION et le GPS GARMIN 35 LP

QUESTIONNAIRE

1. Que faites vous de vos déchets ? « quid_dechet »

- Ils font l'objet d'une collecte intermédiaire « collecte_temporaire »
- Il font l'objet d'une collecte finale « collecte_finale »
- Ils sont déposés dans la rue par l'habitant lui même « deplacement_rue »
- Ils sont jetés dans la ravine par l'habitant « deplacement_ravine »
- Ils sont jetés dans les eaux s'écoulant lors des grosses pluies « deplacement_pluie »
- Ils sont incinérés par l'habitant « incineration »
- Ils sont enfouis par l'habitant « enfouissement »
- Autre « ... »

2. Vos déchets font ils l'objet d'une collecte finale ? « collecte_finale »

- Non « n_existe_pas »
- Oui, devant la maison « devant_kaye »
- Oui, à moins de 50 mètres de la maison « moins_de_50m »
- Oui, à une distance située entre 50 et 100 mètres de la maison « entre_50_et_100m »
- Oui, à plus de 100 mètres « plus_de_100m »

3. Vos déchets font ils l'objet d'une collecte intermédiaire ? « collecte_temporaire »

- Oui/Non

2a. Qui est le collecteur final ? « collecteur_final »

- Il n'y a pas de collecte finale « pas_de_collecte_finale »
- L'Etat « etat »
- La municipalité « municipalite »
- Un privé « prive »
- Une ONG « ONG »
- Autre « ... »

2b. Nom du collecteur final (si il y a collecte finale) « nom_collecteur_final »

- « ... »

2c. Quels sont les moyens utilisés pour la collecte finale « moyen_collecte_finale »

- Il n'y a pas de collecte finale « pas_de_collecte »
- Le camion benne « camion_benne »
- Le camion presse « camion_presse »
- La charrette « charrette »
- autre « »

**3a. Quels sont les moyens utilisés pour la collecte intermédiaire ?
« moyen_collecte_temporaire »**

- Il n'y a pas de collecte intermédiaire « pas_collect_tempo »
- La brouette « brouette »
- La charrette « charrette »
- Le sac de toile « sac_toile »
- Le sachet « sachets »
- Autre « ... »

2.d. Quelle est la fréquence de collecte finale ? « frequence_collecte_finale »

- Une fois par semaine « 1 »
- Une a deux fois par semaine « 1a2 »
- Deux fois par semaine « 2 »
- Plus de deux fois par semaine « plus »

3b. Que fait le collecteur intermédiaire avec les déchets collectés ? « lieu_collecte_temporaire »

- Il n'y a pas de collecte intermédiaire « pas_de_collecte_tempo »
- Dépose les déchets dans la rue « coin_de_rue »
- Dépose les déchets dans la ravine « ravine »
- Incinère les déchets « incineration »
- Dépose les déchets dans un terrain vague « terrain_vague »

**3.c. Quelle est la fréquence de collecte intermédiaire ?
« frequence_collecte_temporaire »**

- Une fois par semaine « 1 »
- Une a deux fois par semaine « 1a2 »
- Deux fois par semaine « 2 »
- Plus de deux fois par semaine « plus »

4. Payez vous actuellement une redevance pour la collecte de vos déchets ?

- « ... »

5. Combien seriez vous prêt à payer en contrepartie d'un service de collecte efficace ? « disponibilite_a_payer »

- « ... »

6. Participez vous au recyclage ?

- Oui/Non

7. Participez vous au compostage ?

- Oui/Non

ANALYSE PRELIMINAIRE DE QUELQUES RESULTATS

Remarque

L'analyse des résultats présentée ci dessous a pour but de donner un aperçu des possibilités d'utilisation de la base de donnée constituée. Celle-ci peut soit :

- Etre consultée directement d'un simple clic de souris, pour obtenir de l'information ponctuelle (fig2.);
- Faire l'objet d'une analyse thématique ;
- Faire l'objet d'un traitement numérique à l'aide d'un tableur Excel.

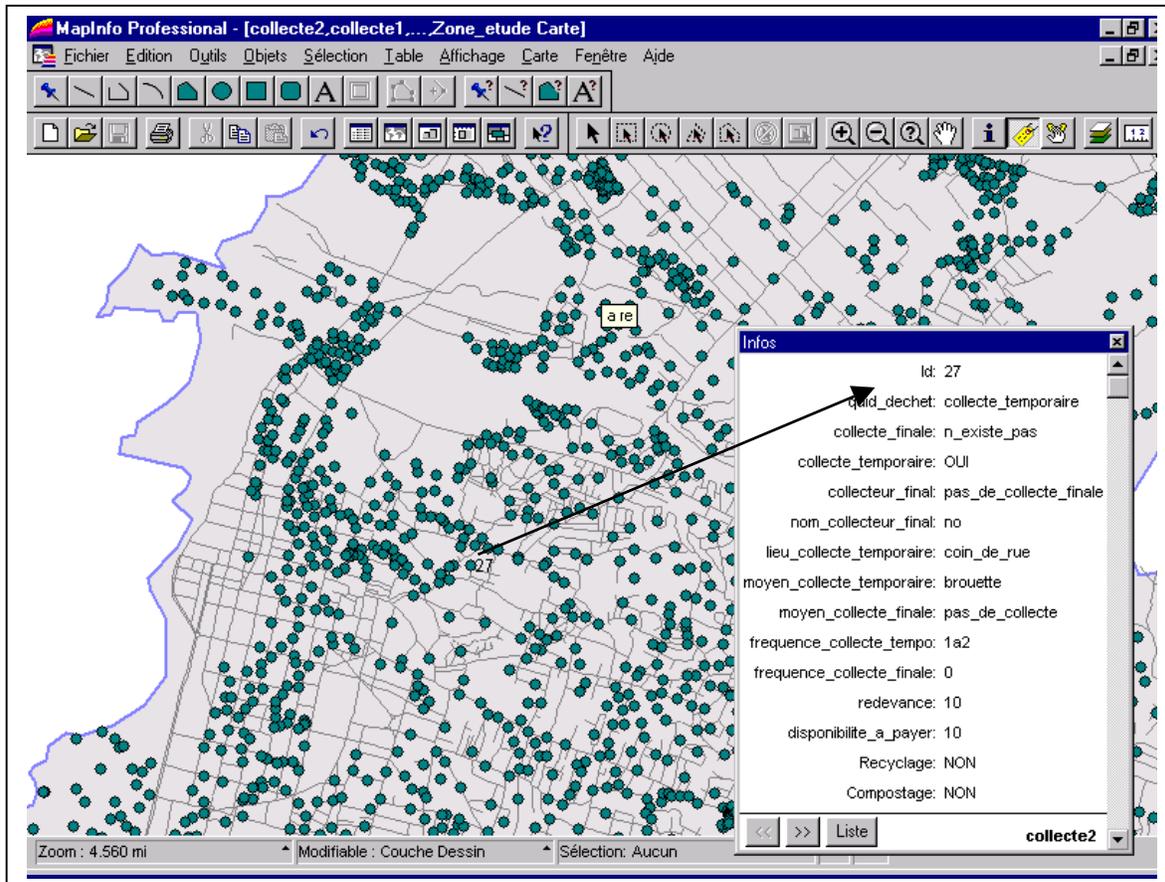


Fig.2. D'un simple « clic » de souris sur un ménage, on accède aux résultats de l'enquête

Collecte finale versus collecte intermédiaire

En matière de collecte des déchets, on observe à Port au Prince deux circuits principaux : le premier, que l'on appellera collecte finale, correspond à une collecte plus ou moins institutionnalisée et ayant idéalement pour mission de collecter les déchets produits au sein de la capitale afin de les acheminer hors de la ville dans un endroit prévu à cet effet ; c'est à dire un lieu aménagé, minimisant les nuisances envers la population et l'environnement. Ce circuit étant nettement défaillant et non toujours directement accessible à la population, celle-ci a bien souvent recours, afin de se débarrasser de ses encombrants restes, à un service de collecte intermédiaire de type informel. Nous

appelleront collecte temporaire ou intermédiaire ce second circuit puisque sa vocation première est de débarrasser le client de ses déchets et non d'assurer un service complet (client → décharge) ni de s'adresser à tous indistinctement. Les moyens utilisés (la brouette dans 70% des cas) ainsi que l'absence d'organisation et de réglementation ne permet d'ailleurs pas d'en espérer mieux .

Collecte finale

La « collecte finale », assurée par l'Etat (CNE) (65,7%), les municipalités (SMCRS : 27,4%) ou des privés (6%) , à l'aide de camions benne (11,7%) ou camions presse (84,7%) permet de soulager la ville d'au mieux 37% des déchets produits quotidiennement. Son action se concentre presque exclusivement sur les quelques centaines de Tas de fatras (on en a recensé et localisé près de 800 uniquement sur la voirie) qui jonchent en permanence les rues de la ville. Ces tas ne sont accessibles que pour une partie de la population. En effet si on considère que 7,7% des ménages ont la « chance » de voir leurs ordures enlevées devant leur logement et que 18,1% des ménages disent se déplacer pour jeter leurs ordures sur un des tas se trouvant sur la voirie, il reste que près de 75% de la population, pour des raisons de voirie défailante ou de circuit de collecte désuet , n'ont pas accès de manière directe à ce service doivent donc avoir recours soit à un collecteur intermédiaire (15,2%) soit à d'autres pratiques tout aussi nuisibles pour se débarrasser de leurs déchets. La fréquence de collecte « finale » est généralement estimée (par les personnes en bénéficiant) à 1 fois par semaine pour 13,3% des personnes interrogées, à 1 à 2 fois par semaine pour 50,2% tandis que 36,4% de la population estime cette fréquence de collecte à deux fois ou plus de deux fois par semaine.

Collecte temporaire

La collecte temporaire ou intermédiaire, effectuée généralement par une personne munie d'une brouette (70% des cas) prend en charge 15,2% des déchets générés. Ce collecteur intermédiaire cherche lui même à se débarrasser au plus vite des déchets collectés. Dans le meilleur des cas (42,4%), il déverse son chargement sur un des tas se trouvant sur la voirie ; ces déchets seront probablement pris en charge par la collecte finale ; ils sont donc repris dans les statistiques sur la collecte finale totale. Dans 28,2% des cas, ils seront déversés dans une ravine proche, et dans 20,3%, ils seront incinérés ou déposés dans un terrain vague. La fréquence de collecte est légèrement plus élevée dans ce cas. La personne s'occupant de cette collecte intermédiaire perçoit en général (dans 99% des cas) une légère redevance située en général (dans plus de 70% des cas) entre 10 et 25 Gourdes par semaine et par ménage.

Incinération

L'incinération est une pratique assez courante à Port au Prince. 20,4% des ménages interrogés reconnaissent procéder à l'incinération de leurs déchets ménagers. En observant la carte 2, on constate que l'incinération est surtout pratiquée au nord ouest de Port au Prince, dans les zones d'extension de l'aire métropolitaine les plus récentes, dans les zones de moindre densité de population, de forte pente ou difficilement accessibles ou éloignées (Laboule, Thomassin).

Il faut ajouter à ces 20,4% une quantité non négligeable de déchets incinérés sur la voirie même par mise à feu des tas de fatras avant qu'ils ne soient collectés. Sans compter l'importante quantité de déchets incinérés sur les emplacements des décharges contrôlées ou non.

Plus d'un quart des déchets ménagers sont donc incinérés d'une manière toute à fait anarchique, occasionnant non seulement de nombreux désagréments (odeurs, fumées) pour les riverains mais étant aussi à l'origine de problèmes de santé beaucoup plus insidieux et graves (causés par les dégagements de Dioxine et métaux lourds par

exemple); sans compter l'impact négatif sur l'environnement (CO₂, autres gaz à effet de serre).

Jets dans les ravines

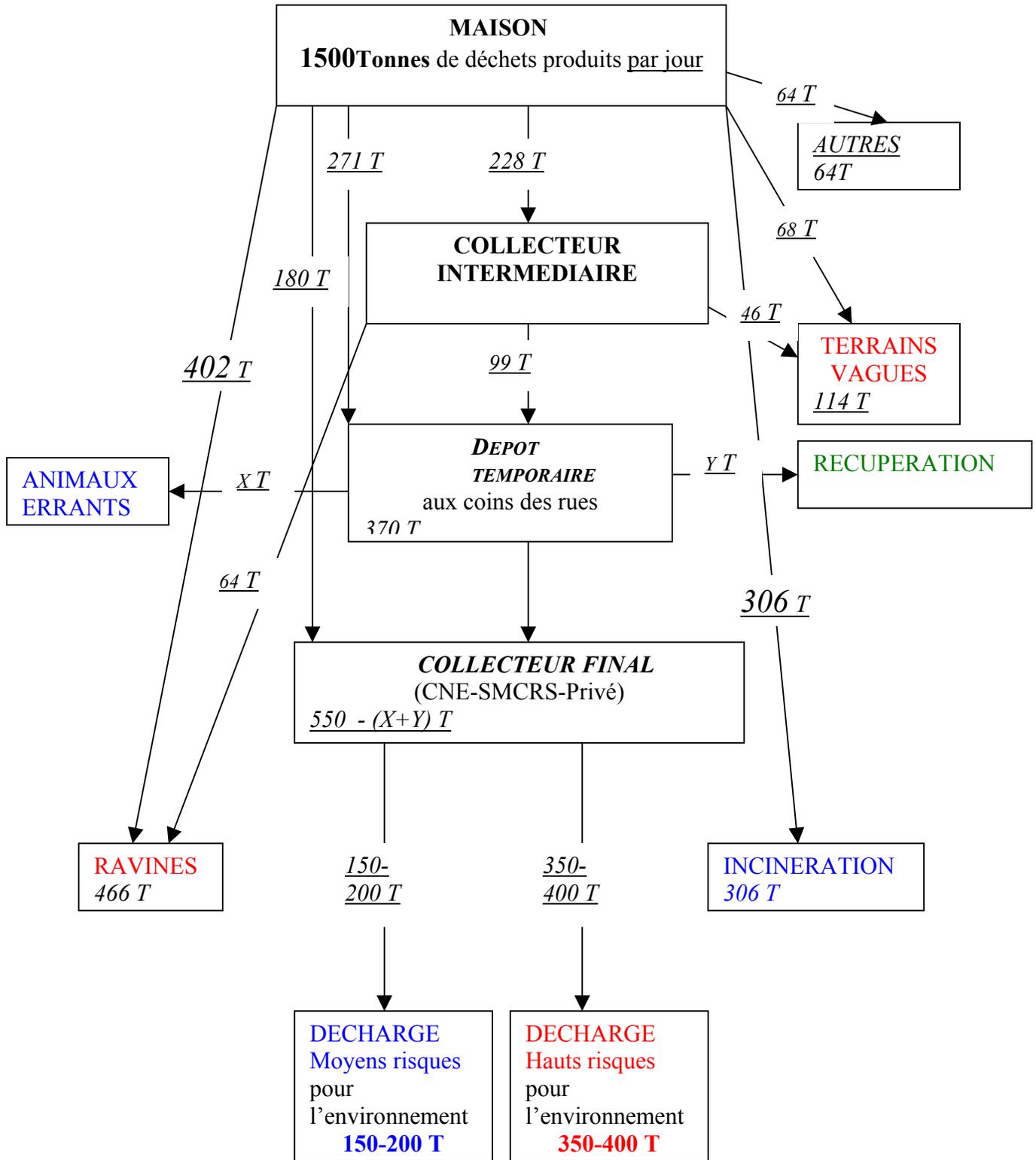
Le Moyen le plus couramment adopté par les habitants de la capitale pour se débarrasser de leurs débris, est de les jeter dans la ravine la plus proche. Plus d'un quart de la population (26,5%) reconnaît avoir recours à cette pratique. Rappelons aussi que 28,2% des déchets collectés temporairement sont aussi ensuite jetés dans la ravine. Au total on estime que près d'un tiers des déchets prennent le chemin des ravines (30,8%).

Ces déchets déposés dans les ravines, ainsi que ceux jetés dans les canaux, les rivières, dans les rues en pentes lors des gros orages ou directement dans la mer vont, peu à peu, se rejoindre dans la mer où les attendent les déchets collectés par les acteurs de la « collecte finale » et qui ont malheureusement été déposés le long du rivage, partiellement incinérés et/ou poussés directement dans les flots...

En résumé...

Sur 1500 tonnes de déchets ménagers produits quotidiennement dans l'Aire Métropolitaine de Port au Prince, environ 466 tonnes transitent par une des quelques ravines parcourant la ville, 306 tonnes sont incinérées, 550 tonnes sont collectés soit directement soit indirectement (370 tonnes transitent par l'un des plus de 800 tas bien visibles à travers la ville) pour se retrouver, dans le meilleur des cas (mais c'est plutôt rare), dans une décharge semi-contrôlée soit jetés au bord de la mer comme à Wharf Jérémie. Une centaine de tonnes (114) seraient déposés sur des terrains vagues de la ville.

Schéma 1. Circuit des déchets à Port au Prince : état des lieux ,Janvier 2002



Remarque :

Danger important pour l'environnement ■

Danger moyen pour l'environnement ■

Remarque :

On entend par décharge dangereuse une décharge située sur un terrain inapproprié (bord de la mer ou surplombant une nappe d'eau souterraine par exemple) et n'ayant subi aucun aménagement. Un des exemples les plus flagrants est celui de la décharge dite de Fort Dimanche, encore appelée Warf Jérémie où les déchets sont déposés au bord de la mer lorsqu'ils ne sont pas repoussés dans celle-ci.

Redevance actuelle et disponibilité de la population à payer en échange d'un service de collecte .

Le financement de la collecte des déchets est un problème souvent soulevé sans toutefois que l'on ose véritablement s'y attaquer, le considérant sans doute trop épineux. Cependant, il faudra bien un moment où un autre que la population mette la main à la pâte ou plutôt au porte-feuille. Ceci ne se fera bien sûr pas sans une sensibilisation progressive des habitants à la fois sur l'importance qu'il y a à réaliser une gestion appropriée des déchets mais aussi sur l'importance du rôle qu'ils ont eux-même à jouer dans cette gestion. Importance non seulement financière mais aussi et surtout comportementale.

On pouvait craindre en questionnant les citoyens sur leur disponibilité à payer en contrepartie d'un système de collecte efficace, qu'ils ne se comportent en « passager clandestin » pour reprendre une formule chère à monsieur Franz Verela ; c'est à dire qu'ils ne minimisent à outrance le montant qu'ils sont susceptibles de bien vouloir verser, tout guidé qu'ils sont par leur volonté de ne pas surenchérir par rapport aux autres personnes interrogées. En réalité, suite aux résultats de l'enquête, il nous est possible d'en partie balayer cette crainte car s'il est toujours possible et même vraisemblable qu'ils aient minimisé leur annonce, elle n'en reste pas moins non négligeable.

Tout d'abord, on s'aperçoit qu'actuellement près de 20% de la population paye déjà entre 10 et 50 Gourdes par semaine pour un système de collecte intermédiaire défaillant ; ces personnes ne peuvent donc être considérées comme à priori « réfractaires » au principe de payer pour accéder à ce service. Indépendamment de cela,

60% des personnes interrogées se sont dites prêtes à verser de l'argent en échange d'un service efficace. Les montants proposés se situent généralement (pour plus de 50% des personnes interrogées) entre 10 et 50 Gourdes par semaine et par ménage. 2 ménages sur 100 sont même prêts à verser plus de 75 Gourdes par semaine.

Si l'on totalise ces chiffres et qu'on les étend à la population entière de la capitale, on pourrait donc imaginer pouvoir compter sur plus de 15.000.000 de Gourdes par mois, soit 180.000.000 de Gourdes par an pour aider au financement de la collecte et à la gestion de décharges non nocives pour la population. Encore faut il que soit organisée une collecte efficace de cet argent et que le service suive évidemment.

Montant (en Gdes/semaine)	Nombre de ménage	% de Ménage	Estimation du montant global pour 400 000 ménages
0	1923	38.2	0
5	498	9.9	197815
10	1116	22.2	886594
15	865	17.2	1030785
20	212	4.2	336842
25	217	4.3	430983
30	18	0.4	42900
40	12	0.2	38133
50	86	1.7	341609
75	5	0.1	29791
100	18	0.4	142999
150	40	0.8	476663
200	11	0.2	174777
250	14	0.3	278054
Total/semaine			4407944

Table 1. Disponibilités des ménages à payer et estimation des montants percevables par semaine

Recyclage et compostage

Les activités de recyclage et de compostage pourraient à première vue être considérées comme marginales. Si leur caractère informel ne facilite pas l'estimation de

leur importance, il semblerait toutefois qu'une activité de recyclage (ou récupération) ait lieu au niveau des tas situés sur la voirie ainsi qu'au niveau des décharges semi-contrôlées. 2,3% des ménages interrogés disent participer à une activité de recyclage alors qu'un peu moins de 1% disent participer à une quelconque activité de compostage. Ces chiffres sont assez faibles. Il serait néanmoins très intéressant d'étudier de près ces activités qui constitueront quoi qu'il advienne, un maillon important sinon déterminant dans la gestion des déchets de la capitale.

SYNTHESE ET PRIORITES

Tout comme on pouvait le craindre, la situation actuelle à Port au Prince en matière de gestion des déchets est visiblement catastrophique. Pire, elle risque de s'aggraver dangereusement au cours des prochaines années, notamment en raison de l'accroissement rapide de la population et de la poursuite de l'exode rural. Si rien n'est entrepris pour enrayer le processus, non seulement l'impact sur les écosystèmes côtiers continuera de se faire ressentir mais un impact sur la santé de la population semble inévitable sans parler des épidémies toujours possibles dans un tel contexte.

L'aire Métropolitaine de Port au Prince génère au minimum 1500 tonnes de déchets ménagers quotidiennement. A peine un gros tiers (37%) de ces déchets sont collectés, le reste est soit abandonné dans les ravines (31%), soit incinéré (20%). Il n'existe pas à proprement parler de décharge contrôlée ; les déchets collectés sont abandonnés dans des décharges ne répondant pas réellement aux critères de sécurité nécessaires ou même laissés au bord de la mer lorsqu'ils ne sont pas tout simplement repoussés dans les flots.

Lorsqu'on interroge la population de Port au Prince sur son éventuelle participation financière à la collecte des déchets, on est surpris de constater que celle-ci y est majoritairement favorable ; ce qui n'est pas vraiment un événement si on veut bien y regarder de près ; en effet bon nombre d'entre eux payent déjà pour un service relativement inefficace aux mains d'un secteur informel non soumis à la moindre réglementation.

Nous sommes conscients qu'il est toujours plus facile de donner des directives que de les mettre en application. Il nous semble cependant naturel, à la lumière des quelques résultats de cette enquête, venant s'ajouter aux autres travaux réalisés ainsi qu'à notre connaissance du sujet, de proposer quelques mesures qu'il serait intéressant d'étudier de près en vue de commencer à résoudre ce problème majeur pour la République d'Haïti qu'est la collecte et gestion des déchets ménagers.

Voici, dans un ordre qui se veut logique, quelques unes des mesures proposées :

Sélectionner des emplacements répondant au maximum aux critères de sécurité environnementale et sanitaire pour y ouvrir des décharges contrôlées ;

Mettre en place des mesures visant à s'assurer que 100% des déchets collectés arrivent bien au sein d'une décharge contrôlée ;

Sensibiliser la population afin qu'elle abandonne progressivement des pratiques nuisibles telles que l'abandon de ses déchets dans les ravines ou l'incinération sauvage de ceux-ci ;

Mise en place progressive au niveau des quartiers d'un système de collecte intermédiaire aboutissant au sein de décharges du même type, régulièrement évacuées vers des décharges contrôlées ;

Mise en place au niveau des quartiers d'un système de diminution des déchets à la source utilisant les techniques de compostages et le recyclage ;

Mise en place d'un système de tarification basé sur une partie fixe identique pour tous et d'une partie variable calculée en fonction, par exemple, de l'impôt foncier ;

Parallèlement à ces mesures, il serait utile de mettre en place des parcours de collecte efficaces, tenant compte de l'état des voiries existantes et des densités de population.

Nous espérons que cette étude constituera un outil utile à toute personne désireuse d'œuvrer pour la mise en place d'un système de collecte et de gestion des déchets ménagers dans la capitale.

Bon travail à tous !

ACTES DU SEMINAIRE

Sensibilisation à la gestion des déchets ménagers

PORT-AU-PRINCE – HAITI, Hôtel Christopher, Le 1^{er} juillet 2002

Début : 9H30

Introduction

Monsieur A. COPIN préside le séminaire.

Il remercie le représentant du Ministre de l'Environnement, les représentants des collectivités territoriales, les facultés de l'UEH.

Monsieur Lionel PARISIEN, représentant du Ministre de l'Environnement

(texte en annexe)

Madame Y. H. LHERISSON, représentant de la FDS, membre du Conseil de la FDS.

(texte transmis)

Monsieur P. THONART, en tant que représentant de la Région Wallonne de Belgique

Il remercie le représentant du Ministre de l'Environnement, les représentants des collectivités territoriales, les facultés de l'UEH.

La Région Wallonne est très fière d'avoir créé un partenariat Nord-Sud mais aussi Sud-Sud.

Exposés (1^{ère} partie)

Monsieur Lionel PARISIEN, Directeur technique au Ministère de l'Environnement

(texte transmis)

Témoignages des mairies

Mairie de CAYES : Monsieur Raymond CLERGE, maire
Monsieur le Maire remercie la Région Wallonne de Belgique pour ce séminaire.
Pour lui, la gestion des déchets solides est un véritable défi quotidien. Cette question est discutée tous les jours à la mairie.

Concrètement :

- ils disposent de 3 camions dont 2 en panne ;
- le territoire compte 80.000 habitants pour 3032 km² ;
- la gestion des déchets leur a été transférée en 1997, avant elle relevait du MSPP (Ministère de la Santé Publique) mais aucun budget ne leur a été alloué pour assurer cette gestion ;
- le site de décharge est situé à 9 km de la ville ;
- la ville située au niveau de la mer reçoit les déchets des villes avoisinantes ;
- ils ont un service de voirie et une équipe dynamique.

En conclusion :

- La situation est très difficile ;
- ils manquent de matériel ;
- ils ont un grand besoin de partenariat.

Pause café : 10H30 - 10H45

Exposés (2^{ème} partie)

Monsieur Philippe THONART, professeur à l'ULG et à la FUSAGx, Directeur du CWBI

(texte transmis)

Monsieur Alfred COPIN, professeur à la FUSAGx

(texte transmis)

Monsieur Fritz CHAMBLIN, professeur responsable de l'Unité de Recherche en Environnement (URE) de la FDS

(texte transmis)

Discussions : 12H45 à 13H15

Q : Monsieur DUPERVAL : FAMV, professeur et consultant pour la mairie de Port-au-Prince

Il faudrait diffuser l'information sur la qualité des services offerts par le laboratoire de l'URE et sur les possibilités d'en disposer.

R : Monsieur CHAMBLIN

Les informations sont diffusées de manières ponctuelles par courrier ou par conférence.

Q : Monsieur ELIZE

Combien de temps faut-il pour qu'une décharge de déchets issus de la technologie (ordinateurs, TV, etc.) soit inerte pour l'environnement ?

R : Monsieur THONART

L'activité biologique d'une décharge est arrêtée quand il n'y a plus de substrat pour les micro-organismes c'est-à-dire quand il n'y a plus de cellulose. Il faut pour cela 50 à 70 ans.

Il faut aussi considérer le lessivage des molécules à l'intérieur de la décharge par l'eau, cela provoque des lixiviats polluants. Il faut donc aussi gérer l'eau dans la décharge.

De toute façon, il restera toujours des déchets. Il faut donc correctement choisir l'emplacement de la décharge non pas en fonction du prix des terrains mais des impacts sur l'environnement.

Q : Monsieur ELIZE

Et dans le cas d'une décharge contenant une forte concentration d'éléments radioactifs tels que l'on en trouve dans les circuits intégrés ?

R : Monsieur THONART

Il y aura lessivage de ces matières radioactives. Il n'existe pas de solution miracle, il existe seulement des solutions qui minimisent les impacts négatifs sur l'environnement.

Q: Madame THELEYS, UNIQ

D'après les chiffres cités pour les lixiviats de Truitier dans l'exposé de Monsieur THONART, on peut conclure qu'il n'y a pas de danger pour la nappe phréatique. Ma conclusion est-elle correcte ?

R : Monsieur THONART

Les lixiviats polluent la nappe même si leur volume est faible. On pourrait diminuer la pollution en diminuant la quantité de lixiviats mais cela ne voudra pas dire qu'il n'y plus de pollution.

Q : Madame Michèle PAULTRE, MCI

Monsieur PARISIEN pourrait-il préciser si les normes environnementales dont il a été question dans son exposé ont déjà été préparées par le MDE et quelles ont été les procédures suivies pour l'élaboration de ces normes ?

R : Monsieur PARISIEN

En ce qui concerne l'élaboration, priorité a été donnée à l'eau potable. Le MDE a repris les normes OMS en la matière. En ce qui concerne la procédure, le MDE a tiré des parallèles avec les normes internationales et en a discuté avec la CAMEP. Ce ne sont pas des normes purement haïtiennes, car il faut garder des normes internationales pour comparer avec d'autres pays.

Q : Monsieur Lilitte OBICSON, UTSIG

Ne pourrait-on pas recouvrir les déchets et leur apporter artificiellement de l'eau pour contrôler l'activité biologique et la vie de la décharge ?

R : Monsieur THONART

C'est une proposition qui nous mènerait à gérer la décharge comme on le fait en Europe. Mais ici, pour diminuer les coûts, il vaut mieux ne pas le faire. Il faut arriver à minimiser les impacts sur l'environnement, les coûts et les difficultés techniques c'est-à-dire à réaliser une « merveilleuse casserole » avec quelques coups de bulldozer. C'est la solution la mieux adaptée pour Haïti : si elle est un peu plus risquée, elle est meilleure marché.

Q : Monsieur DUPERVAL, FAMV

Il s'agit d'une simple remarque. Le débat scientifique n'est pas assez animé en Haïti. Il faut des normes et des sanctions si elles sont dépassées pour obliger à réfléchir avant de faire des excès. Heureusement le MDE met en place des normes mais il faut une police pour les appliquer. J'invite les autorités et les organismes à être concrets, à faire une équipe pour faire atterrir les belles idées qui se développent ici.

R : /

Q : Monsieur MAGLOIRE, étudiant UNIQ

Il y a une urgence pour de nouvelles interventions. Il faut profiter du partenariat qui commence. Seulement, le seul laboratoire de l'URE/FDS n'est pas suffisant. Par exemple, il n'y a pas de laboratoire en province. On devrait impliquer les laboratoires sur l'ensemble du territoire pour faire des analyses partout (par exemples les laboratoires des hôpitaux). On aurait ainsi des informations pratiques.

R : Monsieur CHAMBLIN

La FDS a aussi une fonction de sensibilisation et de partenariat. Nous sommes ouverts à tous ceux qui veulent se lancer dans la « lutte ».

Q : Monsieur Jude PIERRE, Maire de Carrefour

Que va-t-il se passer après le séminaire ?

R : Monsieur HILIGSMANN

Nous allons mettre en place une décharge modèle. Il faut encore trouver un terrain approprié et pour cela nous nous tournons vers les maires qui seraient disposés à recevoir cette décharge modèle sur leur territoire. Nous devons encore rassembler les fonds financiers pour réaliser cette décharge. Ensuite la remplir, la suivre pendant «deux à trois ans pour confirmer les options prises. Puis proposer cette réalisation à travers le pays.

Q : Monsieur BENOIT, CHF

Le niveau de la DBO5 qui est un paramètre très important pour estimer la qualité de l'eau, a-t-il été estimé pour Truitier ?

R : Monsieur HILIGSMANN

La DBO5 est comprise entre 60 et 100 milligrammes d'oxygène par litre, ce qui correspond à une charge biodégradable très faible.

Q : Monsieur Antji Daniel OUACHEE

Est-il possible de faire des analyses de pollutions atmosphériques ?

Quel type de conversion est prévu pour les décharges en fin de vie ?

R : Monsieur CHAMBLIN

Les analyses atmosphériques ne sont pas possibles pour le moment mais sont envisagées dans l'avenir.

R : Monsieur THONART

On essaye de faire de l'ancienne décharge une zone de plantation mais pas d'habitation car le sol est trop instable. C'est pourquoi on veut garder la mémoire des endroits.

Temps de midi : 13H15 à 14H30

Exposés (3^{ème} partie)

Monsieur Serge HILIGSMANN, Ir de recherche au CWBI

(texte transmis)

Monsieur Frantz BENOIT

(texte transmis)

Discussions : 15H30 à 15H45

Q : Monsieur Antji Daniel OUACHE

Y a-t-il des expériences de lombricompostage en Haïti ?

R : Monsieur BENOIT

C'est une technique très répandue à Cuba mais n'a jamais tentée en Haïti.

R : Monsieur DUPERVAL, FAMV

Il existe une firme en Haïti qui fait de la lombriculture.

Q : Monsieur ?, étudiant

Est-ce que le coût du transport du compost lié à l'éloignement entre les lieux de compostage et les lieux d'utilisation du compost est un problème incontournable ?

R : Monsieur BENOIT

D'abord il est nécessaire que l'Etat s'implique et mette en place des structures de production et de transport de compost. Ensuite, on peut éparpiller les centres de compostage à la périphérie de Port-au-Prince ; ainsi avec cette décentralisation, on pourrait arriver à une utilisation et une production rationnelle du compost.

Q : Monsieur ?

Le plastique utilisé pour l'imperméabilisation des décharges est-il décomposé après 100 ans ?

R : Monsieur HILIGSMANN

Ce plastique est une barrière statique utilisée quand il y a une grande production de lixiviats. Mais ici, en Haïti, il y aura peu de lixiviats produits. On se contentera d'une couche d'argile (appelée barrière dynamique) pour canaliser les lixiviats. Sinon, les plastiques utilisés pour l'imperméabilisation des décharges ne se décomposent que sur plusieurs centaines d'années.

Q : Madame THELEYS, UNIQ

**1/ Peut-on avoir des précisions sur les tapis de couverture placés sur les décharges ?
2/ Peut-on envisager un encadrement des groupes de compostage pour assurer leur survie ?**

1/ R : Monsieur HILIGSMANN

Ce que j'ai présenté ne doit absolument pas se faire ainsi en Haïti. On place un textile sur les dépôts en décharges en Belgique pour éviter les nuisances pour le voisinage. On humidifie en plus le tapis pour éviter les odeurs nauséabondes car la pression de la population en Belgique est très forte contre les décharges et parfois non justifiée.

2/ R : Monsieur BENOIT

D'abord, les zones, où interviennent ces groupes de compostage, sont enclavées ; on ne peut pas aller y chercher les déchets. Ensuite, ce sont des zones très densément peuplées. Donc si un terrain est libre, il appartient sûrement à quelqu'un qui habite en dehors de la zone. Qui lorsqu'il revient ou passe dans la zone constate que son terrain est occupé et expulse le groupe de compostage. Le MDE, les mairies et l'Etat ont tout intérêt à encourager et à soutenir ces groupements.

Intervention de Monsieur THONART.

Un mot n'est pas sorti. C'est : « collecte sélective ».

Monsieur BENOIT (suite). En effet, c'est une des causes de l'échec de l'UNACOM (grosse entreprise de compostage qui n'a pas survécu 8 mois) : il faut une collecte sélective si l'on veut faire du compostage.

Q : Madame ?

S'il y a dégagement de gaz lors du compostage celui-ci peut présenter un danger, cela doit être contrôlé. N'importe qui peut-il faire du compostage ?

R : Monsieur BENOIT

Si toutes les conditions pour le compostage sont bien réunies, il n'y a presque pas de risques de production de gaz.

Exposés (4^{ème} partie)

Monsieur Sébastien GROLET, co-responsable de l'URE, FDS (Haïti)

(texte transmis)

Monsieur Frantz VERELLA, professeur à la FDS (Haïti)

(texte transmis ?)

Discussions : 17H30 à 18H30

Q : Monsieur ?

Comment expliquer que malgré les difficultés économiques, la croissance urbaine ne cesse d'augmenter ?

R : Monsieur VERELLA

D'abord, le Ministre de l'Aménagement du Territoire ne fait pas de l'aménagement du territoire. Ensuite, l'augmentation de la pression démographique entraîne qu'il faudrait donner du travail aux ruraux hors de Port-au-Prince, donc augmenter leur niveau d'éducation. Mais alors, ils migrent quand même vers la ville pour augmenter leur niveau de salaire. Il faut donc mettre en place des zones tampons avec hôpitaux, infrastructures en dehors de la ville.

Le débat s'étend et termine sur des confrontations politiques.

Fin : 18H30

CONCLUSIONS DU SEMINAIRE

Ce séminaire a été une expérience très enrichissante. Il a permis de réunir des personnes d'horizons et de compétences diverses. Plus particulièrement, il a permis de rencontrer les nouveaux maires et représentants techniques de plusieurs grandes villes haïtiennes et des acteurs, ou futurs acteurs, de terrain dans le domaine de l'environnement. Ce sont ces personnes qui ont en charge la gestion pratique des déchets produits dans leur ville et collectivités. En tout, plus de 75 personnes ont pu être sensibilisées aux problèmes, précautions à prendre et solutions présentées par les différents orateurs.

Les différentes communications orales ont fourni les grandes lignes de la politique du Ministère de l'Environnement ainsi que des critères de choix des techniques de traitement des déchets ménagers. Les principes nécessaires à leur contrôle et les moyens disponibles en Haïti ont également été présentés. Plusieurs exposés ont aussi mis en évidence les problèmes de terrain et les "réalités-potentialités" liés à la collecte et la gestion des déchets. Les échanges qui ont résulté ont montré à quel point ce sujet est intéressant. Ces discussions, même si elles sont parfois sujettes à polémique, permettent d'ouvrir le débat et favorisent les échanges entre personnes. Cela est essentiel si l'on veut arriver à dégager des solutions efficaces de gestion des déchets ménagers. Cela permet également de provoquer l'intérêt des autorités politiques et scientifiques, ainsi que de la population toute entière. En effet, rappelons que c'est cette dernière qui est à l'origine de la production de déchets ménagers.

Nous pouvons tirer quelques conclusions concernant ce séminaire. D'une part, les diverses voies de coopération entre la Région Wallonne de Belgique et la République d'Haïti sont appréciées de tous. Les projets mis en œuvre ont déjà fourni nombre de résultats positifs et les structures établies au sein de l'Université d'Etat d'Haïti (UEH) fonctionnent déjà en "Centre de Référence" dans le domaine environnemental. Doté de cet outil performant, l'UEH peut consolider les échanges scientifiques entre la République d'Haïti et la Région Wallonne. Les compétences ainsi réunies permettent, et permettront encore pour de longues années, d'apporter un soutien considérable à la résolution des problèmes de gestion des déchets ménagers en République d'Haïti.

Avec la coopération de tous les acteurs environnementaux, des solutions efficaces sont maintenant sur le point de se mettre en œuvre. Le pouvoir politique, de part son pouvoir législatif, doit définir le cadre de la gestion des déchets ménagers. Certaines mairies sont réceptives à la proposition d'installer un site pilote et démonstratif d'enfouissement approprié des déchets. Les responsables scientifiques, tels que les universités et les experts nationaux et internationaux, doivent soutenir les autorités politiques et locales dans leur démarche réglementaire et gestionnaire. Ils doivent également assurer les études nécessaires à la mise en place de techniques de

gestion ayant une incidence minimale sur l'environnement. Les responsables des mairies, de part leur contact privilégié avec la population, doivent servir de relais entre les directives données par le gouvernement et les problèmes concrets rencontrés lors de l'application de ces dernières. Enfin, la population, directement intéressée tant dans la production que dans la gestion des déchets, doit comprendre que des efforts doivent être consentis afin d'améliorer la qualité de la vie et de l'environnement.

Dans la continuité de ce travail, un dialogue permanent doit être instauré entre l'UEH et les villes. En effet, il n'existe pas de solution miracle et l'échange d'information est capital pour tirer le meilleur des expériences existantes et à venir.

Projet de décharge pilote

Dans un but de démonstration à l'attention des responsables en charge de la gestion des déchets ménagers et également dans le but de confirmer le niveau d'activité biologique et l'impact environnemental des décharges sous des conditions climatiques telles que celles de Port-au-Prince, un modèle-type de décharge pilote a été présenté. A ce moment, nous entendons par "décharge", un réel centre d'enfouissement technique (CET) avec ses spécificités liées au contexte socio-économique local mais surtout soumis à des critères de gestion durable de façon à réduire au maximum l'impact du site sur l'environnement et la santé publique. Par conséquent, le sous-sol et les réserves en eau sont protégées, la mise à feu n'est plus réalisée, etc.

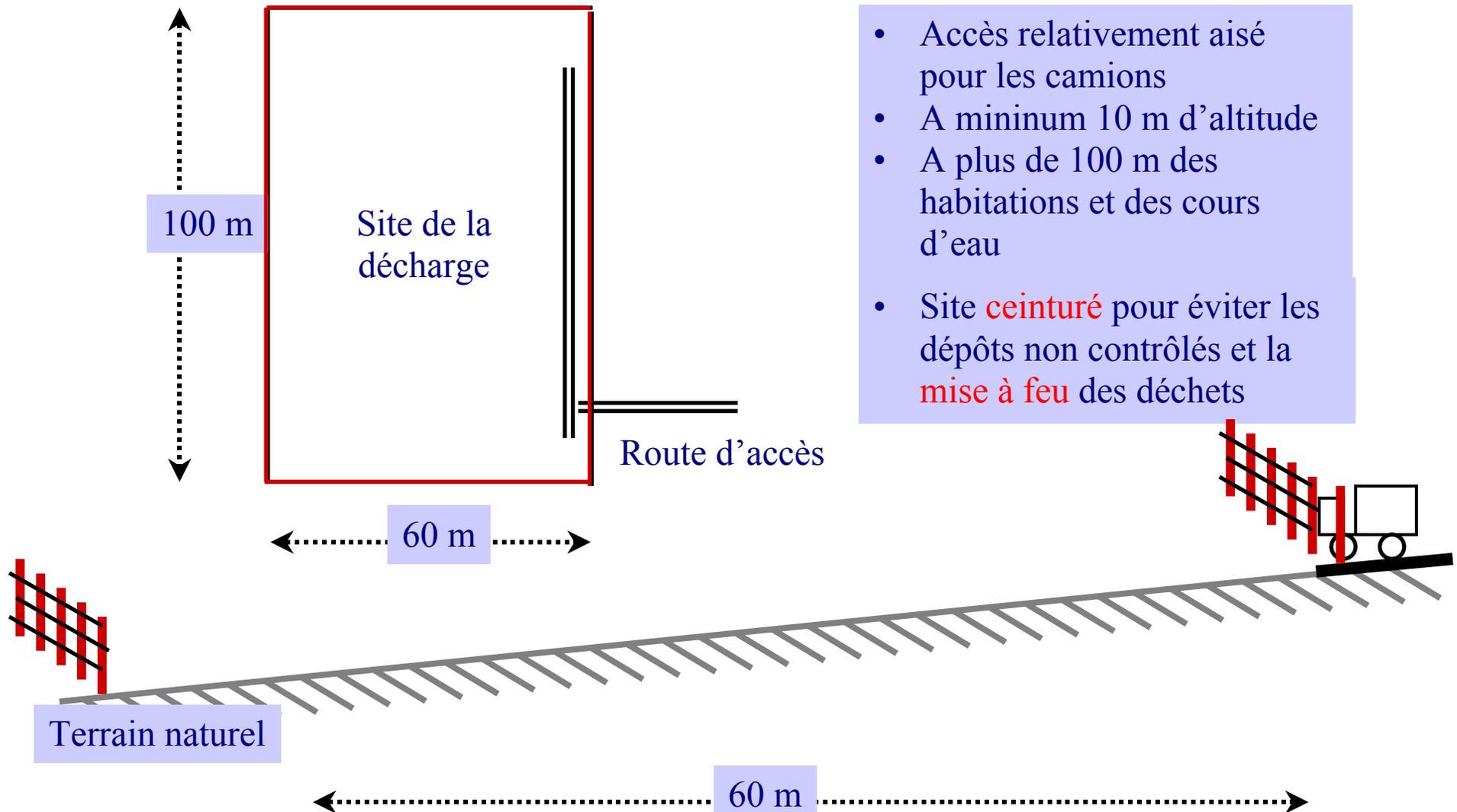
La surface à considérer est d'environ 100 m sur 80 m (c'est-à-dire la surface d'un terrain de football). Le CET sera implanté sur un terrain de préférence argileux et avec une légère pente (inférieure à 8%; Cf. Schémas) de façon à faciliter la collecte des eaux de ruissellement et lixiviats éventuels et à faciliter le remplissage sans nécessité constante d'un engin de génie civil pour étendre les déchets. Après les études nécessaires de terrain sur l'adéquation avec l'implantation d'un CET (Cf. Critères de choix des sites d'implantation des CET et études relatives dans les domaines géologiques, hydrogéologiques, etc.), le terrain retenu pourra être aménagé pour accueillir la décharge pilote. Le site sera d'emblée ceinturé de façon à éviter par la suite les dépôts sauvages, la mise à feu des déchets, la venue d'animaux domestiques, Le terrain sera aménagé en retirant une couche superficielle d'environ 1,5 à 2 m de profondeur pour constituer une réserve de matériaux de couverture pour l'après-remplissage. Une couche d'argile d'un mètre d'épaisseur sera constituée sur la base et les flancs devant accueillir les déchets. Cette couche présentera une légère pente pour favoriser l'écoulement des lixiviats vers des drains au niveau bas chargés de recueillir les lixiviats éventuels pour les acheminer vers un puits étanche. L'argile sera couverte d'un film plastique imperméable dans le but d'évaluer avec précision les débits de lixiviats éventuels à traiter. Soulignons que, lors de l'aménagement des sites futurs, ce film pourrait être omis, en fonction des résultats rapportés par le suivi du site pilote. Le coût de ce film est en effet généralement très élevé.

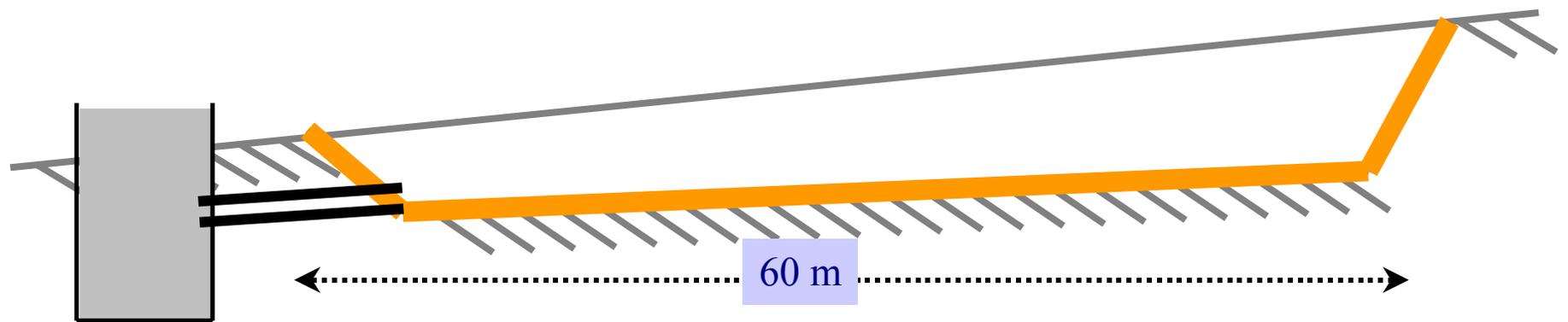
Après aménagement du site, les déchets seront déversés en contrôlant les volumes entrants et la composition générale afin d'éviter l'apport de déchets industriels et hospitaliers. Les déchets seront épandus, et par la même légèrement tassés, de temps à autres en fonction de la disponibilité d'un engin de génie civil. Des chemins d'accès aisés sur le massif de déchets seront également constitués lors de ces opportunités.

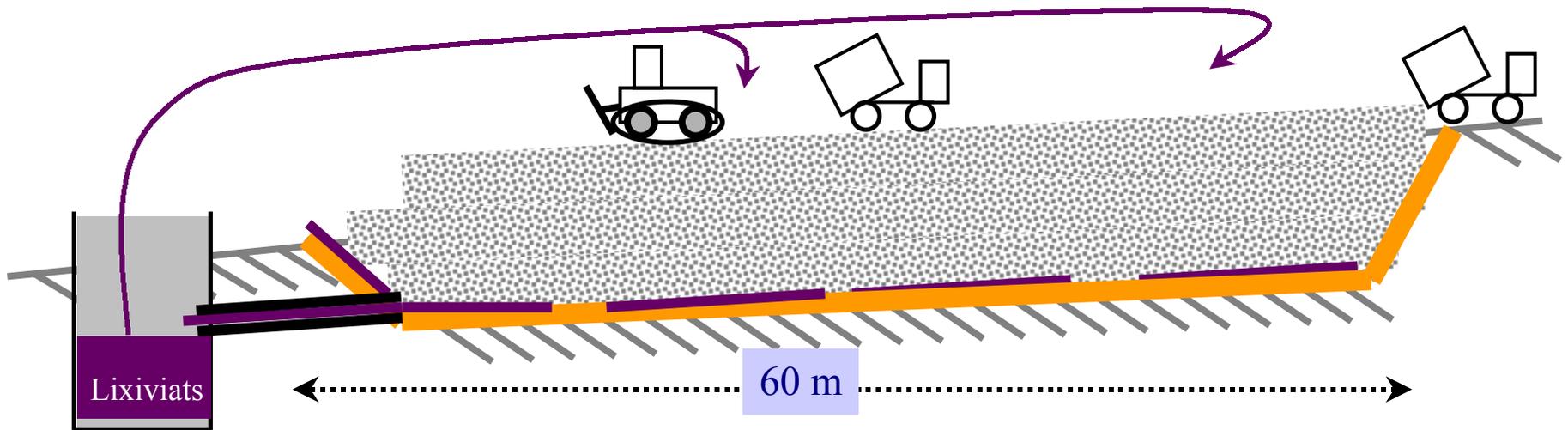
Après constitution d'une couche de déchets de 7 à 10 m d'épaisseur, ceux-ci seront recouverts d'une couche de matériaux de couverture (auparavant excavés du terrain naturel) formant une pente douce pour l'écoulement des eaux de ruissellement qui ne doivent pas entrer en contact avec les déchets et les lixiviats. Deux puits de dégazage seront créés dans le massif de déchets et, si présence de lixiviats, une dizaine de puits traversant la couche de couverture pour le recyclage éventuel des lixiviats dans la décharge afin de maintenir une humidité optimale.

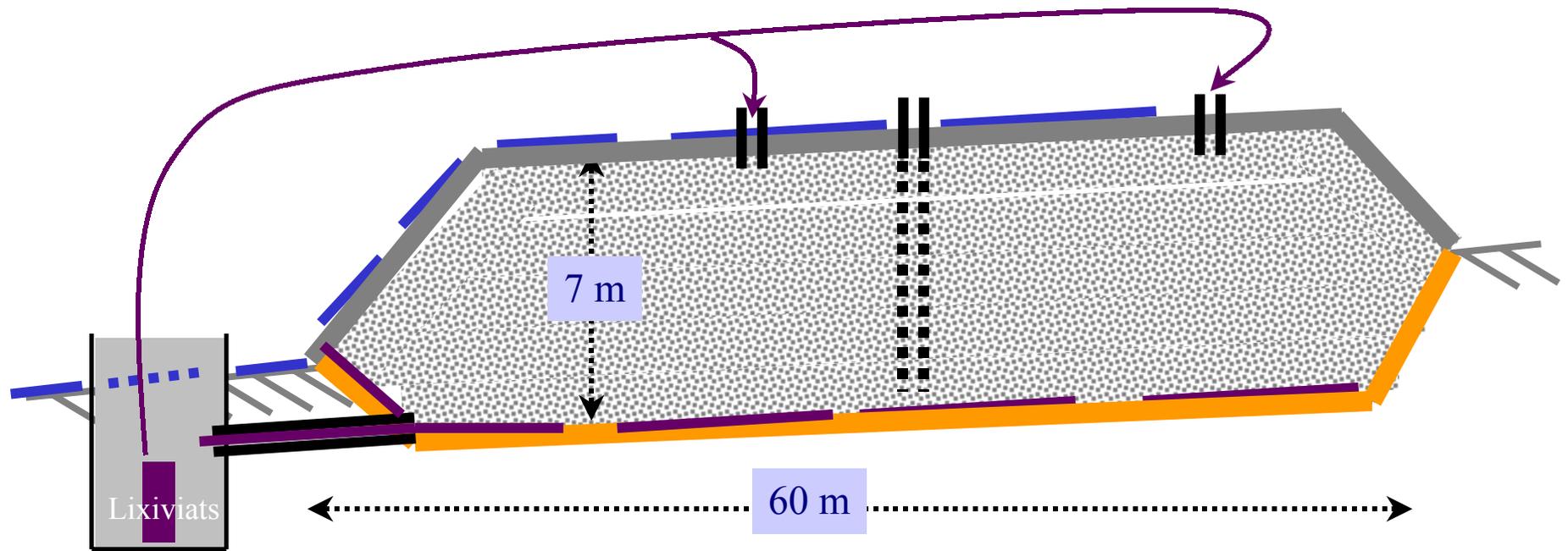
Le suivi de la décharge pilote passera par une étude des liquides et gaz prélevés régulièrement sur le site (une à deux fois par mois) selon les procédures établies par le CWBI avec la FDS dans le cadre des études antérieures sur l'activité des décharges en Haïti. Lors de la réalisation des puits de dégazage, il sera tiré profit des déchets excavés par carottage non destructif pour analyses de la matière solide.

Modèle-type de décharge pilote en Haïti









LISTE DES INVITES

NOM	Prénom	Organisme	in ext.	Fonction
ALTIDOR	Nicole Yolette	MDE	Ministère de l'Environnement	Chef de service PDDE
ARISTHENE	Jean-Gardy	MDE	Ministère de l'Environnement	Agent environnemental
ASTREL	Joseph	MDE	Ministère de l'Environnement	Chef de service
BENOIT	Frantz	CHF	Cooperative Housing Foundation	Directeur
CALIXTE	Aldrin	COHPEDA	Collectif Haïtien pour la Protection de l'Environnement et un Développement Alternatif	
CENATUS	Berard	ENS	Ecole Normale Supérieure	Professeur
CHAMBLIN	Jean Fritz	FDS	Faculté Des Sciences	Professeur
COPIN	Alfred	FUSAGx	Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux	Professeur
DORVILIEN	Jean-Génis	UNAP	Université Autonome de Port-au-Prince	Professeur
DUPERVAL	Jean-Paul	FAVM	Faculté d'Agronomie et de Médecine vétérinaire	Professeur
ELIZE	Thomas-Franck	CAMEP		Ingénieur
GRAFF	Véronique	FDS	Faculté Des Sciences	Ingénieur
GROLET	Sébastien	FDS	Faculté Des Sciences	Ingénieur
HILIGSMANN	Serge	CWBI	Centre Wallon de Biologie Industrielle	Ingénieur
LAROSILIERE	Jean-Guy	MCI	Ministère du Commerce et de l'Industrie	Chargé de mission - Direction contrôle qualité
LHERISSON	Yolaine H.	FDS	Faculté Des Sciences	Membre du Conseil de la Faculté
NOEL	Raymond	FDS	Faculté Des Sciences	Professeur
PAQUIOT	Pierre	UEH	Université d'Etat d'Haïti	Recteur
PARISIEN	Lionel	MDE	Ministère de l'Environnement	Directeur technique
PAULTRE	Michèle B.	MCI	Ministère du Commerce et de l'Industrie	Directeur du Contrôle de la Qualité et de la Protection du Consommateur
PORCENA	Gina	UTSIG - MPCE	Unité de Télédétection et de systèmes d'information géographique	Responsable
RACCURT	Christian	AUF	Agence Universitaire de la Francophonie	Directeur Régional de l'AUF

RICHMOND	Alix	FAVM	Faculté d'Agronomie et de Médecine vétérinaire	Professeur
THONART	Philippe	CWBI	Centre Wallon de Biologie Industrielle	Professeur
VERELLA	Frantz	FDS	Faculté Des Sciences	Professeur
XAVIER	Gérard	FHE	Fédération Haïtienne pour l'Environnement	Directeur exécutif
LUDERS	Wilnès	FHE	Fédération Haïtienne pour l'Environnement	Membre
DUROCHER	Marie-Rose	FHE	Fédération Haïtienne pour l'Environnement	Membre
JEAN-BAPTISTE	Gérard	UNIQ	Université de Quisqueya	Professeur
OBICSON	Lilitte	UTSIG - MPCE	Unité de Télédétection et de systèmes d'information géographique	Ingénieur
ROGER	Martin	TEFAC Technologie		Président
MORENCY	Guerda	FDS	Faculté Des Sciences	
ARISTHENE	F.			
MILLET	Jeanine	CUSM	-	Architecte
THELSON	Fleurisé		Télémax	Journaliste
RONALD	Jules		Télémax	Journaliste
LUBIN	Suze	UAPC	-	
ANGEVILLE	Ruth	CAMEP	Centrale AutonomeMetropolitaine d'Eau Potable	
DESULME	Jean Robert		Action pour l'environnement	Membre
DESULME	Raymond		Action pour l'environnement	Membre
VICTOR	Mario	FDS	Faculté Des Sciences	Etudiant
JEUDY	Salgador	SEJA	-	Coordonateur
VIELOT	Carl-Henry	ADISH	Assossiation Des Ingénieurs génie Sanitaire d'Haïti	Membre
DIRENY	Walner	ADISH	Assossiation Des Ingénieurs génie Sanitaire d'Haïti	Membre
MONDESIR	Jude	ADISH	Assossiation Des Ingénieurs génie Sanitaire d'Haïti	Membre
CHATELIER	Henriot			Ingénieur
ARCHANGE	Gladys	UNIQ	Université de Quisqueya	Professeur
CESAR	Johny		LE NOUVELLISTE	Journaliste
LOUIS-JEUNE	Moïse		BIOGAZ	Journaliste
PREVAL	Tony		LE MATIN	Propriétaire
LOUIS	Hanxy		VISION 2000	Journaliste
PAUL	Viala		LE NOUVELLISTE	Journaliste
JACQUES	Marcel		Ecole Nationale de PV	

JOSEPH	Adens	ADISH	Assossiation Des Ingénieurs génie Sanitaire d'Haïti	Etudiant
BALISAIRE	Dwinel	ADISH	Assossiation Des Ingénieurs génie Sanitaire d'Haïti	Etudiant
DOMINIQUE	Wilker	ENGA	Ecole Nationale de Géologie Appliquée	Etudiant
GERMAIN	Nerlande	ENGA	Ecole Nationale de Géologie Appliquée	Etudiant
VICTORIN	Marie	ADISH	Assossiation Des Ingénieurs génie Sanitaire d'Haïti	Etudiant
HILAIRE	Stanley	ADISH	Assossiation Des Ingénieurs génie Sanitaire d'Haïti	Etudiant
MAGLOIRE	Evans	ADISH	Assossiation Des Ingénieurs génie Sanitaire d'Haïti	Etudiant
CHAMPAGNE	Jerry	ADISH	Assossiation Des Ingénieurs génie Sanitaire d'Haïti	Etudiant
MILORD	Leonard	FASCHI	Faculté des sciences humaines	Etudiant
JEUDY	Syffrin	UNIQ	Université de Quisqueya	Etudiant
ARISTHIDE	G.	UEH	Faculté d'ethnologie	Etudiant
ERNST	J-Claude	FSA	faculté des sciences administratives	Etudiant
BELIZAIRE	Marthely	ADISH	Assossiation Des Ingénieurs génie Sanitaire d'Haïti	Etudiant
OUACHEE	Antji-Daniel			Etudiant
MONFOINT	Myrline	UNIQ	Université de Quisqueya	Etudiant
THELEYS	Kettly	UNIQ	Université de Quisqueya	Etudiant
ST FLEUR	Jean Emile	UNIQ	Université de Quisqueya	Etudiant
DAS	Senel	FAHV		

Mairies		Prénom	NOM	Fonction
Carrefour				
	<i>Représentant 1</i>	Jude	PIERRE	
Cayes	<i>Maire</i>	Raymond	CLERGE	Maire
	<i>Représentant 1</i>	Fritz	DOUYON	Resp. du Génie Municipal
Hinche				
	<i>Représentant 1</i>	Jacques Lemard	JACQUET	Chargé de mission - Consultant
Pétion-Ville	<i>Maire</i>	Rodrigue, Fils	SULLY GUERRIER	Maire
	<i>Représentant 1</i>	Frank	CAZEAU	
Port-de-Paix				
	<i>Représentant 1</i>	Nesly	GRACIA	