

La mise en décharge : quelles précautions minimales à petit budget, pour les petites et moyennes villes ?



*Atelier de travail de la plateforme Re-Sources
18 Nov. 2014*

S. HILIGSMANN – P. THONART

Centre Wallon de Biologie Industrielle



A light green background featuring a white outline map of the African continent. A white rectangular box highlights the West African region, specifically the area around Ouagadougou. At the top of the slide, a black-bordered box contains the title 'Plan de l'exposé' in bold blue text.

Plan de l'exposé

- 1. Présentation du CWBI et des partenariats avec les pays du Sud**
- 2. La gestion des déchets ménagers**
- 3. L'activité biologique des décharges et impacts sur la santé et l'environnement**
- 4. Influence des conditions climatiques sur l'activité biologique des décharges dans les pays du Sud**
- 5. Vers la création d'un centre d'enfouissement technique (CET)**
- 6. Conditions d'aménagements d'un CET à coûts réduits sous les climats secs : les expériences pilotes de Ouagadougou et Cuba**



Centre Wallon de Biologie Industrielle

Prof. Ph. THONART



CWBI - Unité de Liège :

Bd du Rectorat, 29 Bât B40-P70, 4000 Sart Tilman; Tél: 04 366 2861; Fax: 04 366 2862

e-mail p.thonart@ulg.ac.be; s.hilgsmann@ulg.ac.be;

Le Centre Wallon de Biologie Industrielle

Centre inter-universitaire belge de recherche et développement en microbiologie et biochimie industrielle

Le CWBI étudie

- la biochimie des microorganismes**
- la production de biomasse**
- la production de métabolites**
- le conditionnement des starters ou des produits finis**

pour des applications diverses dans les secteurs agro- alimentaire, pharmaceutique, agriculture, environnement

Le Centre Wallon de Biologie Industrielle

Application des biotechnologies au domaine de l'**environnement**

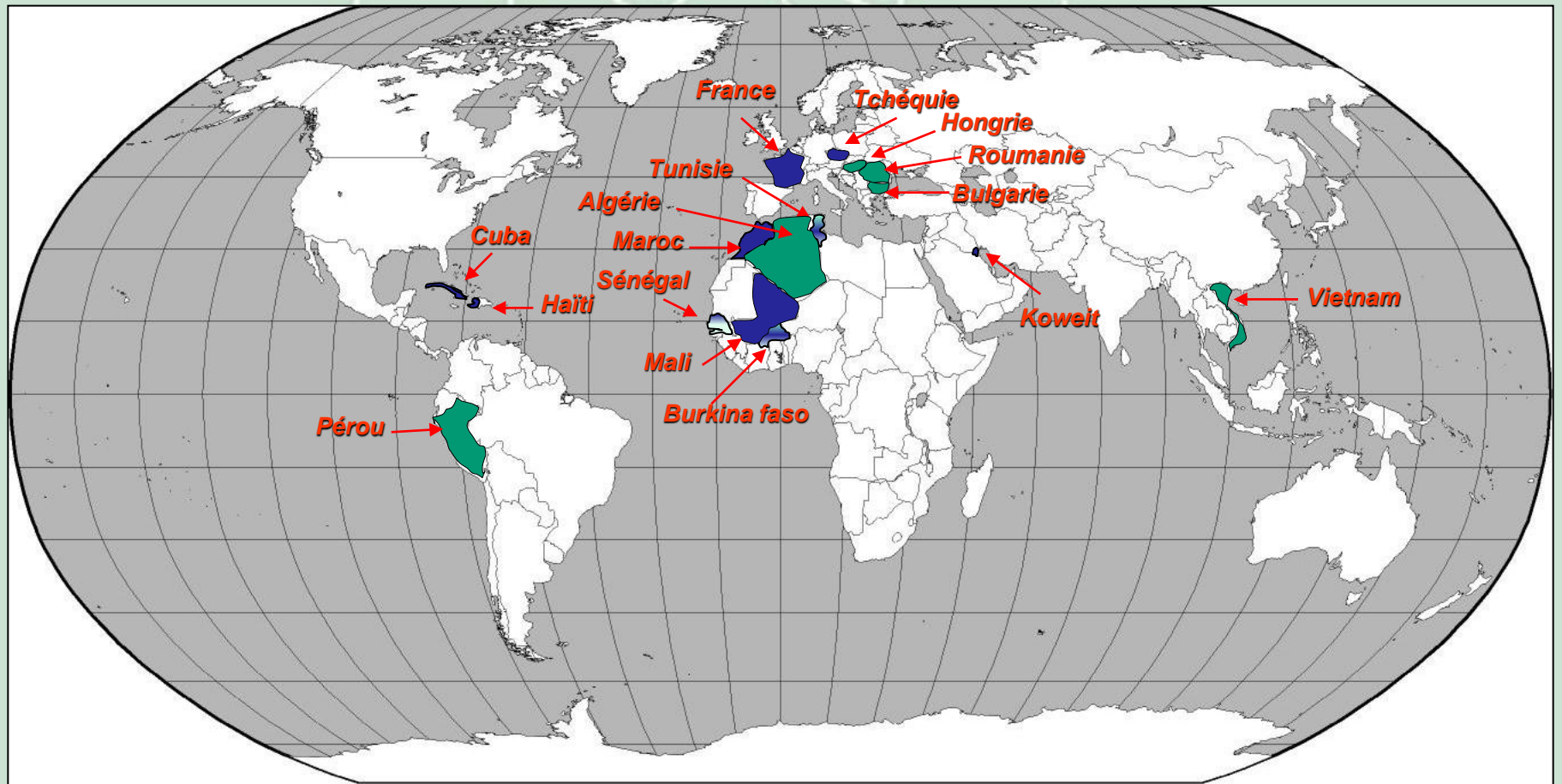
- **Bioremédiation**
 - traitement des sols contaminés (PCB, HC, ...)
 - bioconversion du gypse (sous-produit industriel)
 - traitement des biomasses (compost, effluents d'élevage,...)
 - traitement des eaux usées (fosses septiques,...)
- **Valorisation énergétique des biomasses**
 - biométhanisation
 - production de biohydrogène (dark fermentation)
- **Etude des décharges et centres d'enfouissement technique (CET)**
 - activité biologique, impact environnemental, potentiel de méthanisation et optimalisation
 - développement de modèles d'évolution
 - mise au point de bioréacteurs pilotes

Le Centre Wallon de Biologie Industrielle

Collaborations internationales → partenariats avec les pays du Sud

Projets en rapport avec l'agro-alimentaire

Projets en rapport avec l'environnement



Les programmes environnement et les pays en développement:

La problématique de la gestion des déchets ménagers dans les PED

- IEPF – Région Wallonne – Com. française
- Afrique francophone
- Atlas des décharges
- Etude de l'impact des décharges
- Guide pratique

Contacts :

- Mali
- Cameroun
- Bénin
- Guniée
- etc.

Tunisie
Gestion de l'impact
environnemental
des décharges
en Tunisie - RW

Sénégal
PIP
APEFE
RW

Burkina Faso
APEFE
RW
MECV
SHER S.A.

Haïti
Université d'Etat
RW - APEFE
Gestion Biologique des décharges
CUD
Laboratoire d'analyse
Séminaires
RW - BID

Cuba
Gestion de l'impact
environnemental
des décharges
RW



Plan de l'exposé

1. Présentation du CWBI et des partenariats avec les pays du Sud
2. **La gestion des déchets ménagers**
3. L'activité biologique des décharges et impacts sur la santé et l'environnement
4. Influence des conditions climatiques sur l'activité biologique des décharges dans les pays du Sud
5. Vers la création d'un centre d'enfouissement technique (CET)
6. Conditions d'aménagements d'un CET à coûts réduits sous les climats secs : les expériences pilotes de Ouagadougou et Cuba

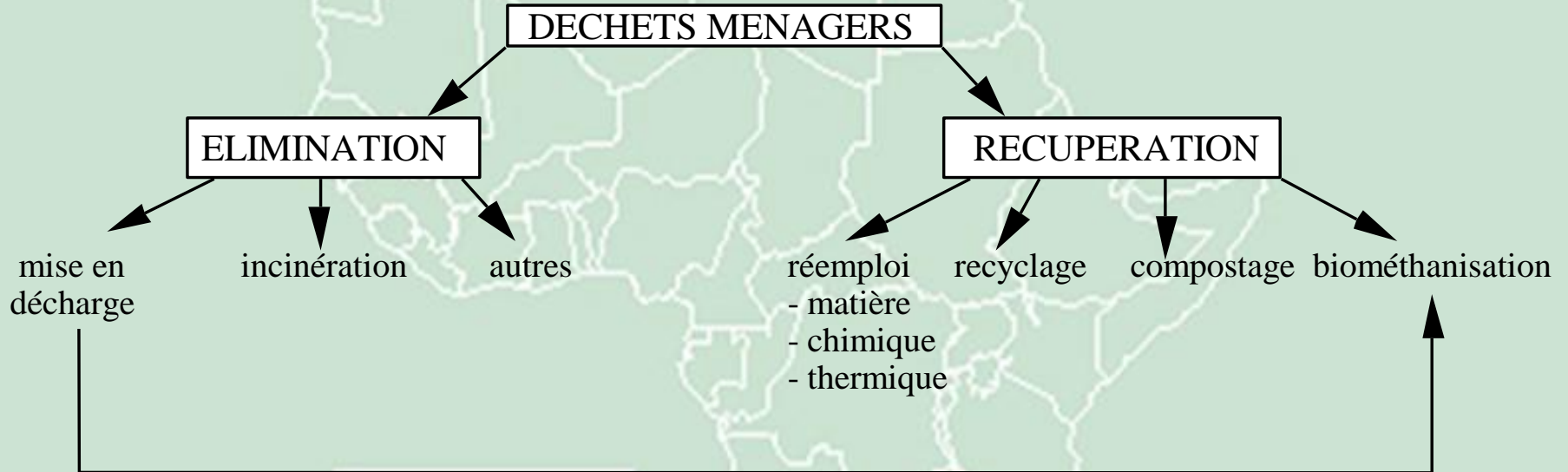
Conditions de base pour une gestion pérenne d'un système de gestion des déchets

1. Volonté affirmée du Gouvernement et mise en place du cadre légal
→ *Qui organise ? Qui contrôle ? Qui collecte ? Qui gère ? Qui finance ?*
2. Concertation de l'ensemble des acteurs locaux afin de développer un projet adapté à la situation locale
→ *citoyens – GIE - public – privé – mixte*
3. Mise à disposition par les institutions publiques des moyens humains, matériels et financiers, et ce de manière durable
4. Sensibiliser la population à la problématique et participation de cette dernière
5. Effectuer un contrôle rigoureux des actions menées

Principe de base de la valorisation de la matière à son plus haut degré de valeur ou complexité

Valeur élevée de la matière		<i>Exemples</i>
	1. Réparation et réemploi de la pièce	<i>Outil, appareil (électro-)ménager, meuble, vêtements, jeux, tuyau, bassin, ...</i>
	2. Réaffectation de la pièce ou d'une partie de la pièce	<i>Emballage alimentaire utilisé à d'autres fins, utilisation d'une partie non abîmée d'un fruit pour l'alimentation humaine ou animale</i>
	3. Réparation et/ou réemploi d'une partie de la pièce	<i>Moteur d'électroménager réutilisé, morceau intact d'un tuyau réutilisé</i>
	4. Recyclage ou transformation de la matière pour une utilisation au même titre que la matière noble (rendement de conversion élevé, peu de pertes ou déchets)	<i>Verre, plastiques, métaux recyclés, compostage de la matière organique</i>
	5. Recyclage ou transformation d'une partie de la matière pour une utilisation au même titre que la matière noble	<i>Métaux nobles des batteries recyclés, pyrolyse-gazéification de matières carbonées, biométhanisation de la matière organique, gravats utilisés pour les travaux de construction, solvants réincorporés dans les procédés de fabrication</i>
	6. Valorisation énergétique de la matière	<i>Combustion contrôlée des matières carbonées avec récupération de chaleur,</i>
	7. Utilisation simple comme combustible alternatif	<i>Combustion contrôlée des matières carbonées</i>
	8. Incinération en vue d'une réduction de volume	<i>Incinération des matières inflammables</i>
Valeur faible	9. Enfouissement de la matière brute	<i>Mise en décharge non contrôlée</i>

Comparaison des techniques principales de traitement des déchets solides



Perspectives à court-moyen terme dans les pays en développement:

- **Mise en décharge** => **70%** des déchets
- **Compostage et/ou biométhanisation simple** => **30%** des déchets
- **Autres techniques** => **techniquement** et **économiquement** difficiles

quelques cas de recyclage des plastiques

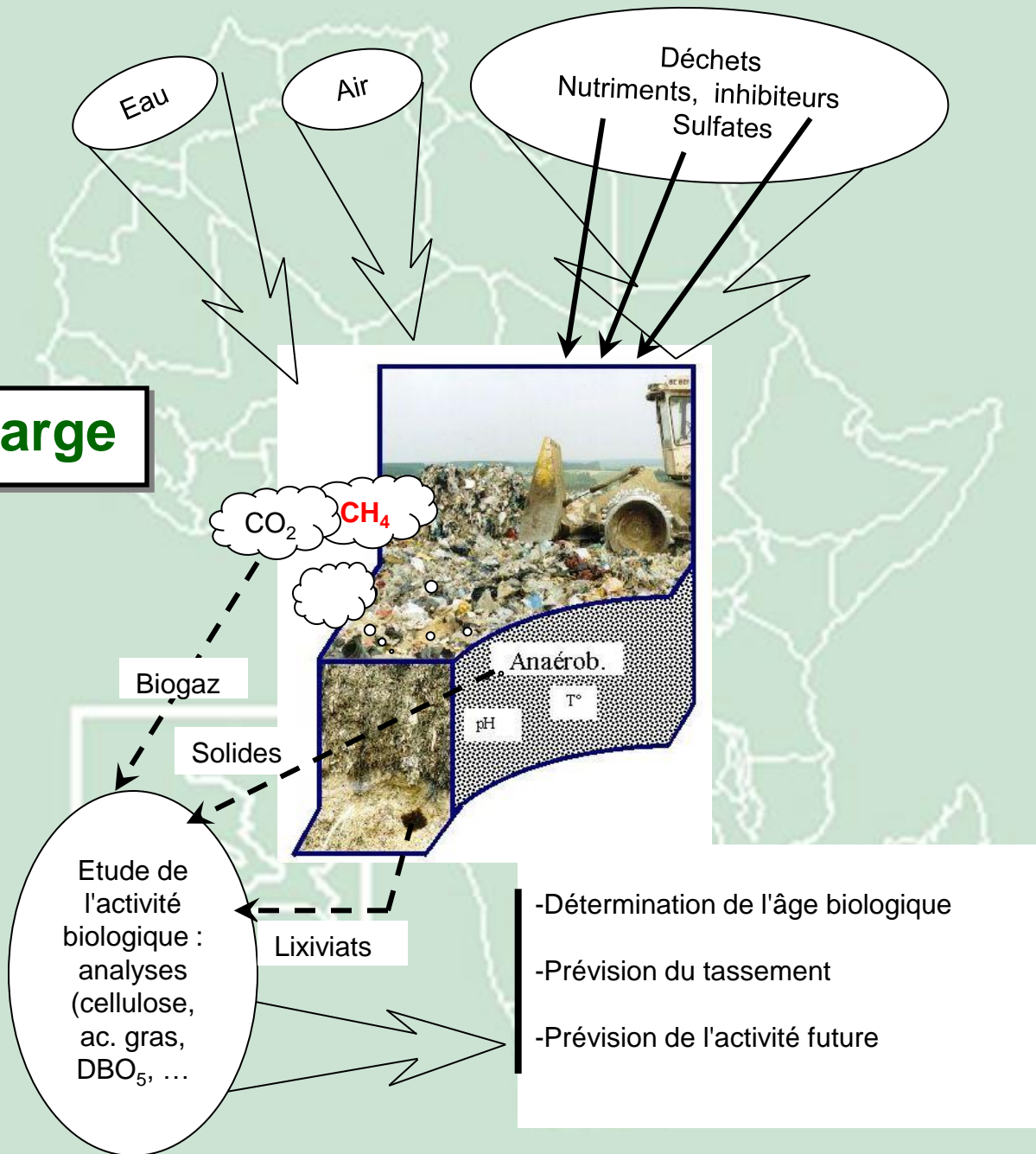
Critères de choix des technologies d'élimination de la matière organique

TECHNIQUES	Avantages	Inconvénients
COMPOSTAGE	<ul style="list-style-type: none"> - simple - aérobic - <u>peu coûteux</u>, demande peu d'équipements - main d'œuvre non spécialisée - <u>amendement</u> organique 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 - doit être protégé des intempéries - odeurs parfois désagréables - peut contenir des métaux lourds transférables aux plantes vivrières, d'où 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"> - <u>production d'énergie</u> (gaz récupérable) - minéralisation des matières organiques et utilisation des boues résiduelles dans l'agriculture - <u>destruction des pathogènes</u> - traitement de déchets plus humides, entre 55 et 75% d'eau. 	<ul style="list-style-type: none"> - complexe - anaérobic, d'où un <u>équipement plus coûteux</u> - odeurs désagréables - pour éviter les métaux lourds, triage des déchets biodégradables - fermentation complexe demandant du personnel qualifié - procédé <u>très sensible</u> aux variations de composition du substrat, au pH (6,8 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 - <u>sécurité d'élimination</u> des déchets contaminants biologiques (hôpitaux, etc...) - utilisation des mâchefers en travaux publiques après stabilisation 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>coûteux</u> - personnel qualifié - traitement des fumées exigé avant rejet dans l'atmosphère - stabilisation des mâchefers avant mise en décharge ou utilisation en travaux publiques, car les métaux lourds peuvent être solubilisés. - <u>pas de retour possible à la terre</u>
DECHARGES	<ul style="list-style-type: none"> - peu coûteux - <u>simple</u> - pas de personnel qualifié - sites réutilisables après recouvrement. - concerne les déchets solides 	<ul style="list-style-type: none"> - doit être contrôlée quant au type de déchets déposé (attention aux contaminants et toxiques pour la population et l'environnement) - son <u>évolution (lente: 30-50 ans)</u> doit être contrôlée comme un bioréacteur (présence de lixiviats, de gaz...) - installation de torchère s'il y a du biogaz - couverture imperméable pour limiter l'infiltration des eaux de surface vers les déchets et vers la nappe - à installer <u>sur site approprié pour éviter une pollution du sol et des eaux</u>

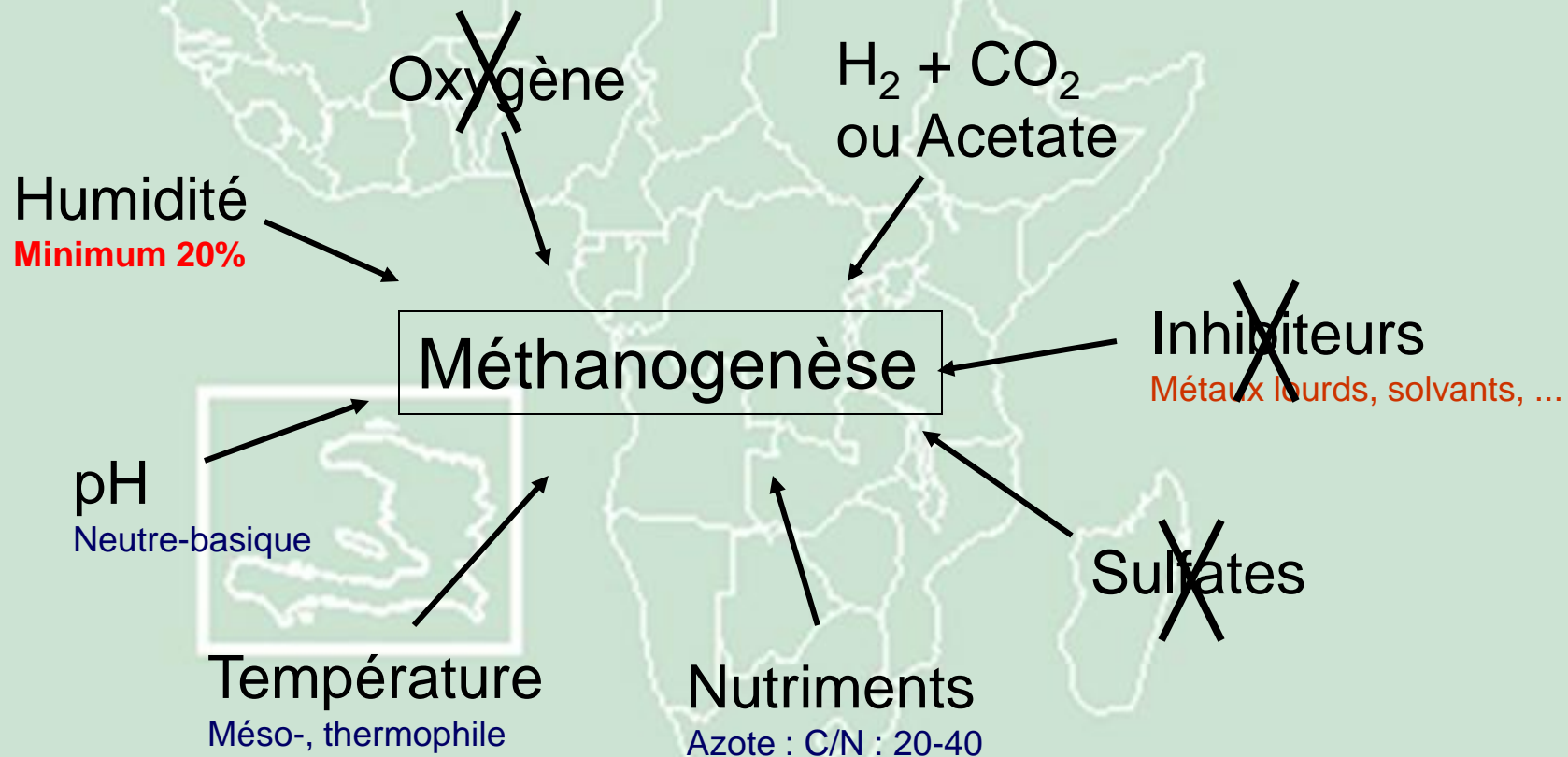
Plan de l'exposé

1. Présentation du CWBI et des partenariats avec les pays du Sud
2. La gestion des déchets ménagers
3. **L'activité biologique des décharges et impacts sur la santé et l'environnement**
4. Influence des conditions climatiques sur l'activité biologique des décharges dans les pays du Sud
5. Vers la création d'un centre d'enfouissement technique (CET)
6. Conditions d'aménagements d'un CET à coûts réduits sous les climats secs : les expériences pilotes de Ouagadougou et Cuba

La décharge



Les paramètres physico-chimiques à contrôler pour permettre la méthanogenèse



Le biogaz: risques environnementaux et sanitaires:

Composants principaux: CH₄, CO₂, CO, H₂S, COV (benzène, ...), ... en fonction de:

- type de déchets
- âge de la décharge
- conditions de mise en décharge (compactage, sulfates, ...)

Risques pour les humains:

- toxicité => court terme: empoisonnement, décès
=> long terme: cancers, mutations génétiques
- asphyxie
- explosions - incendies => endroit confinés (caves, cabanes, puits, ...)

Risques pour l'atmosphère:

- effet de serre (CO₂, CH₄ → 21 fois plus puissant)
- smog (COV + No_x + UV => O₃ => irritation des voies respiratoires)

Rendements de production de biogaz inférieurs en décharge

Biogaz produit par la **décomposition biologique** de la matière organique des déchets

- **10%** produit par une **décomposition aérobie** (déchets frais) ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$)

- **90%** produit par une **décomposition anaérobie** ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2 (+ \text{H}_2\text{S}) + \dots$)

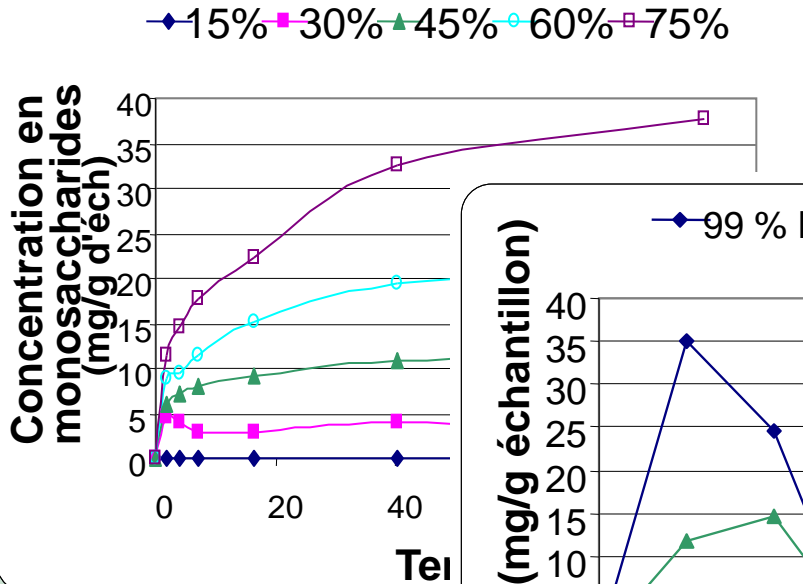
dont **90 %** à partir de la cellulose qui sera dégradée à **70 – 77 %**

Remarque : Pour développer une activité méthanogène, il faut des conditions anaérobies (sans oxygène)

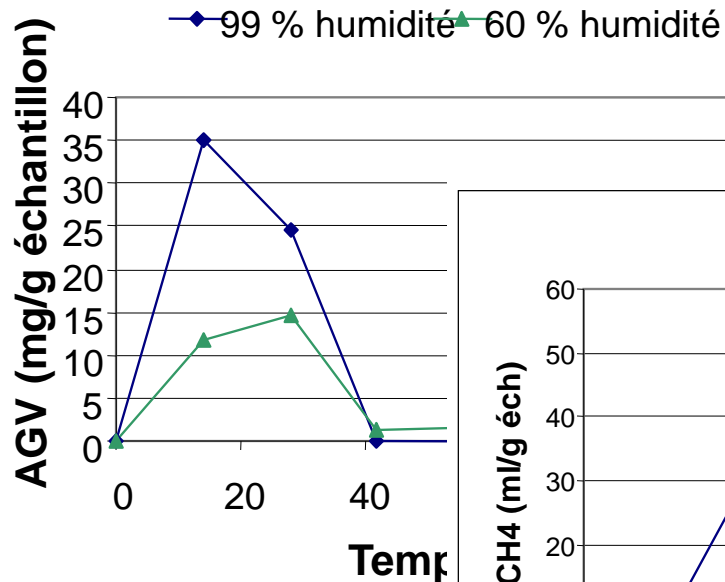
=> **Le massif de déchet doit être assez important!**
(quelques mètres d'épaisseur)

Influence de la teneur en eau des déchets sur les processus de biodégradation

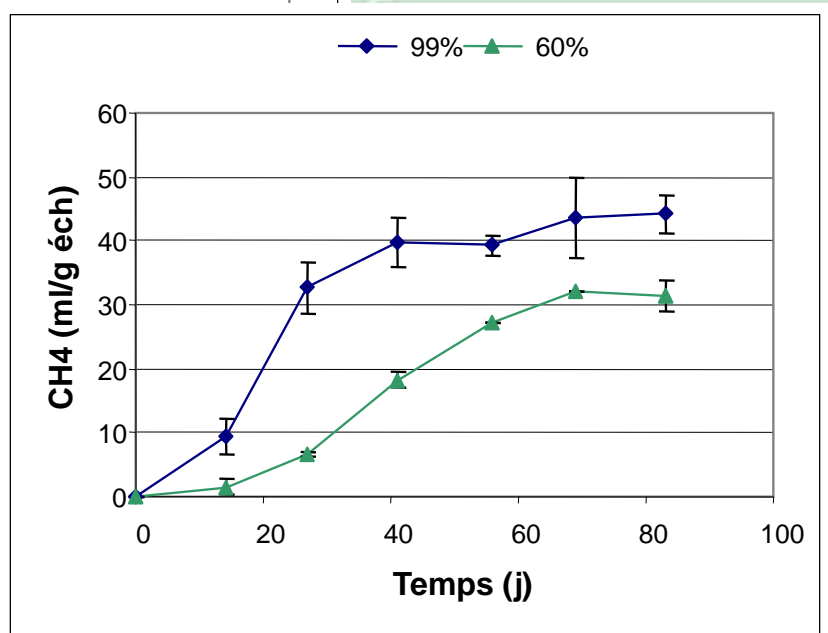
Déchets à 20% cellulose
production théorique de CH₄: 75 ml/g



Hydrolyse enzymatique

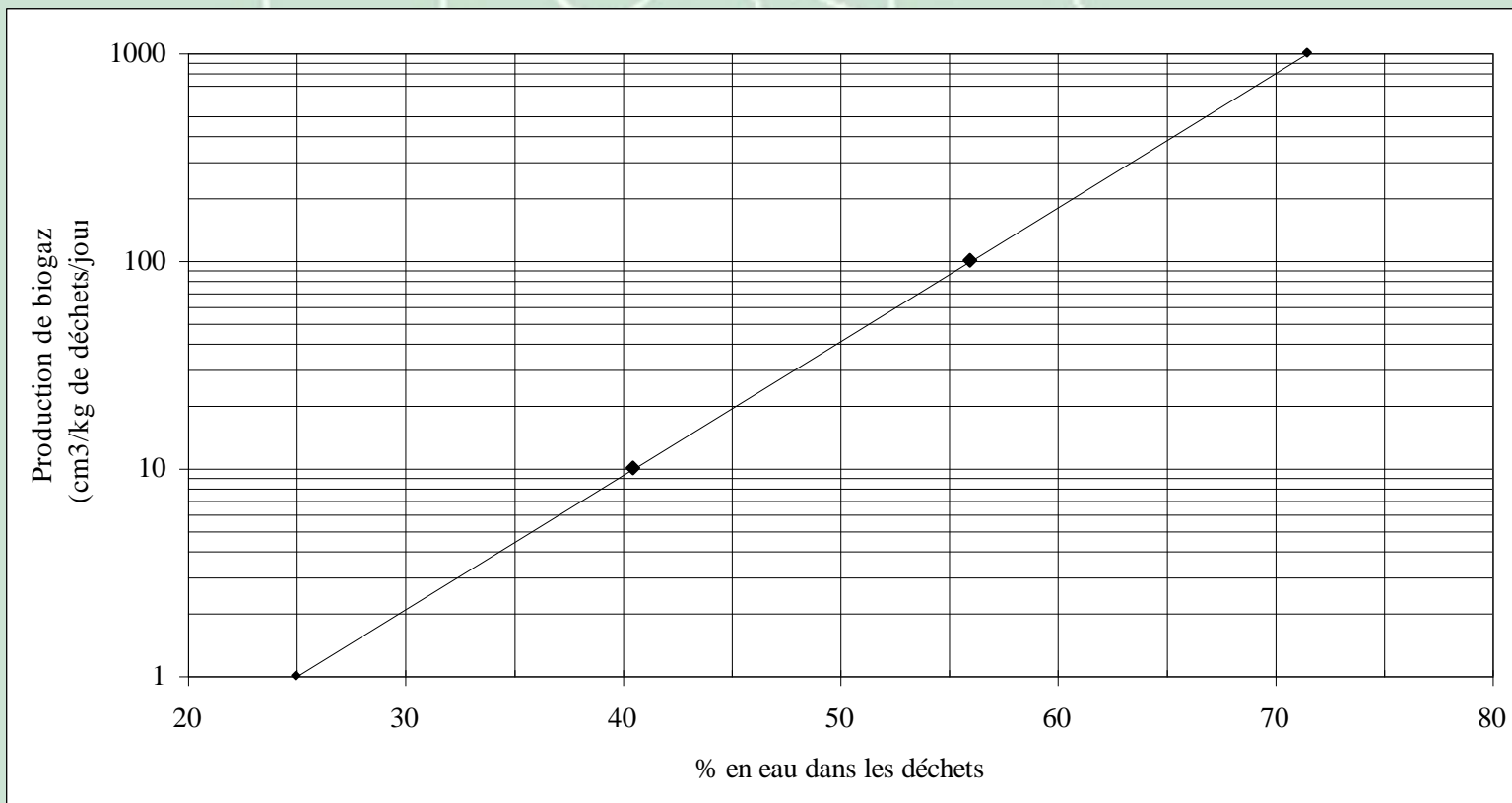


Acidogenèse



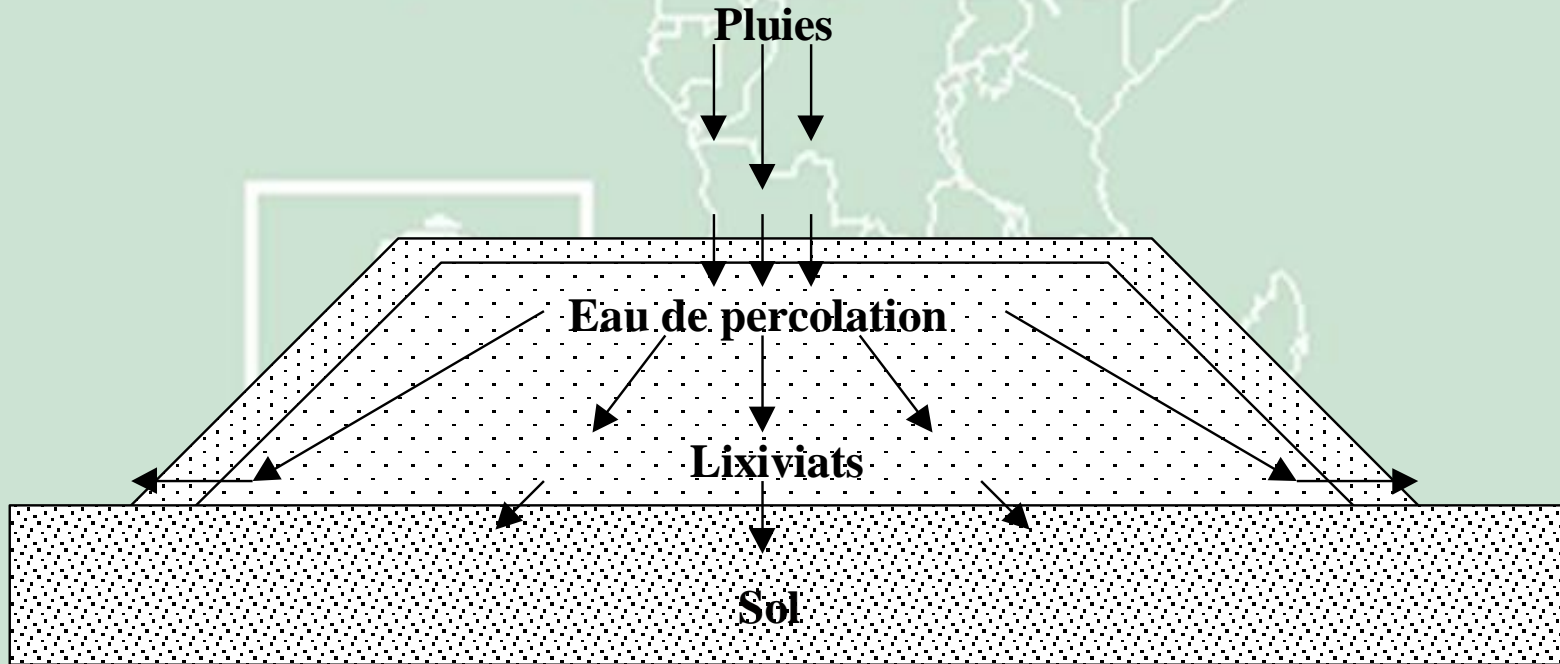
Méthanogenèse

Influence de la teneur en eau des déchets sur la productivité de biogaz



Les lixiviats : définition :

- Eau qui a percolé **à travers** les déchets
- Eau chargée **bactériologiquement** et **chimiquement** de substances minérales et organiques
- Cas de la décharge non contrôlée



L'atlas des décharges d'ordures ménagères dans les pays en développement

<http://www.ulg.ac.be/cwbi/index.htm>

But:

Collecter et **diffuser** toutes les informations disponibles sur les dépôts d'ordures ménagères dans les pays en développement

Pourquoi:

- Pour garder en mémoire la **localisation** et la **caractérisation** de ces sites
- Pour faciliter leur **réhabilitation**

Atlas des décharges d'ordures ménagères dans les pays en développement

Atlas des décharges d'ordures ménagères dans les pays en développement

[Page d'accueil](#) [Pays partenaires](#) [Principes théoriques](#)

Un des axes de la politique générale du [Centre Wallon de Biologie Industrielle](#) (CWBI, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux (FUSAGx) et Université de Liège (ULg)) est celui de la coopération au développement, entre autres en matière d'environnement. La question des déchets est un problème qui concerne tous les pays, qu'ils soient du Nord ou du Sud.

Cet "Atlas des décharges", réalisé dans le cadre d'un projet d'étude d'une durée de 4 années axé sur la "problématique des déchets ménagers en Afrique", et financé par l'[Institut de l'Energie et de l'Environnement de la Francophonie \(IEPF\)](#), est exécuté par le Centre Wallon de Biologie Industrielle. Il se veut un premier outil nécessaire à un projet de gestion durable de l'environnement sur ce continent.

Il a pour but la "conservation de la mémoire des nuisances qui se sont déclarées ou qui se déclarent"

De par son contenu, cet Atlas se veut en partie pour être mises à jour et de nouvelles décharges

Il est évident que tout commentaire concernant

Outre cet inventaire des décharges existantes, l'Atlas mentionne les décharges ainsi que l'incidence sur l'environnement

pour l'avenir, c'est-à-dire pour la gestion des

nous seront envoyées, les données existantes

pas à nous faire part de vos remarques.

compréhension des phénomènes ayant lieu dans les

- Pour garder en mémoire la **localisation** et la **caractérisation** des sites de décharge
- Pour faciliter leur **réhabilitation**



[IEPF](#)

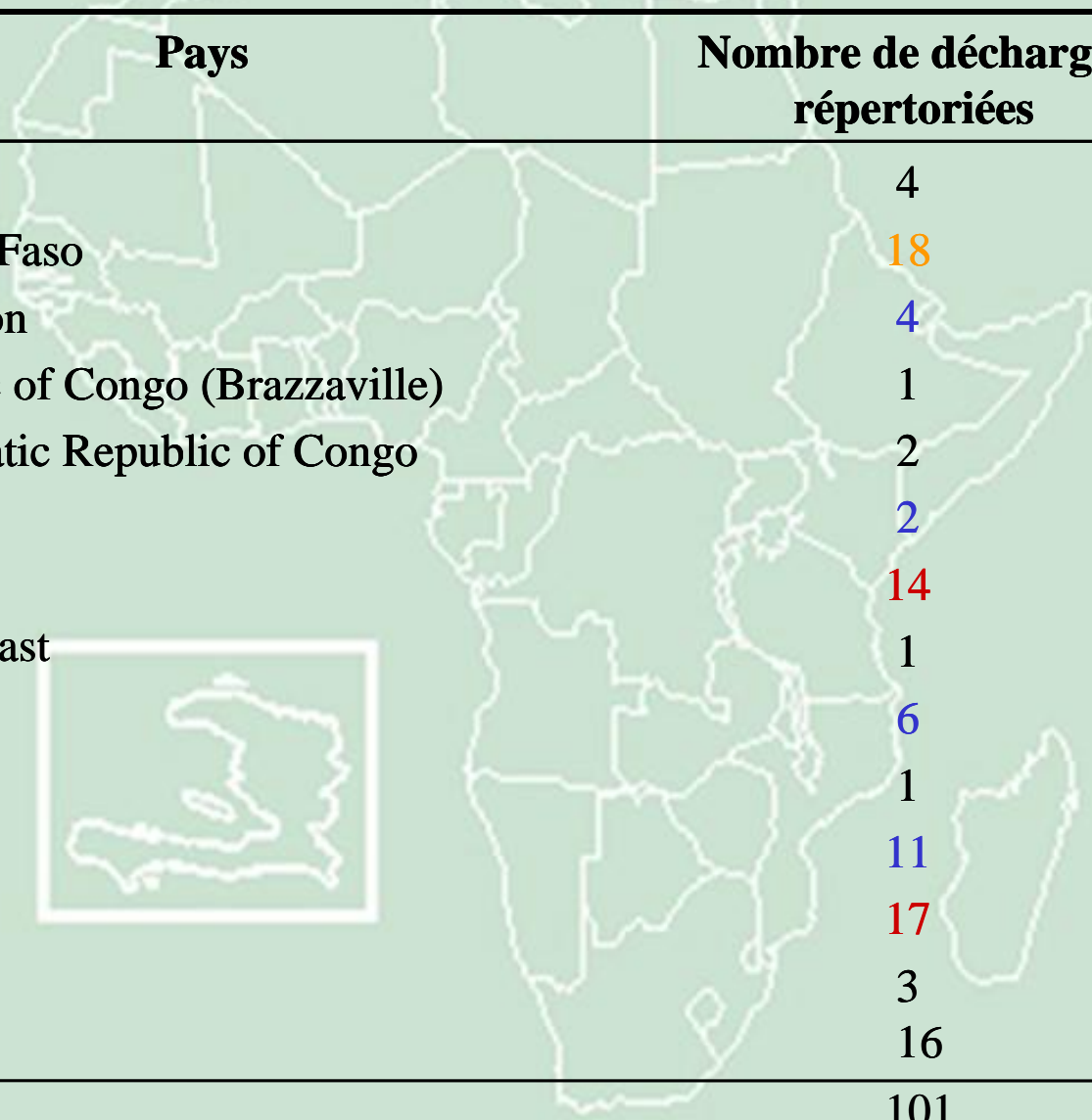


Agence Intergouvernementale de la Francophonie

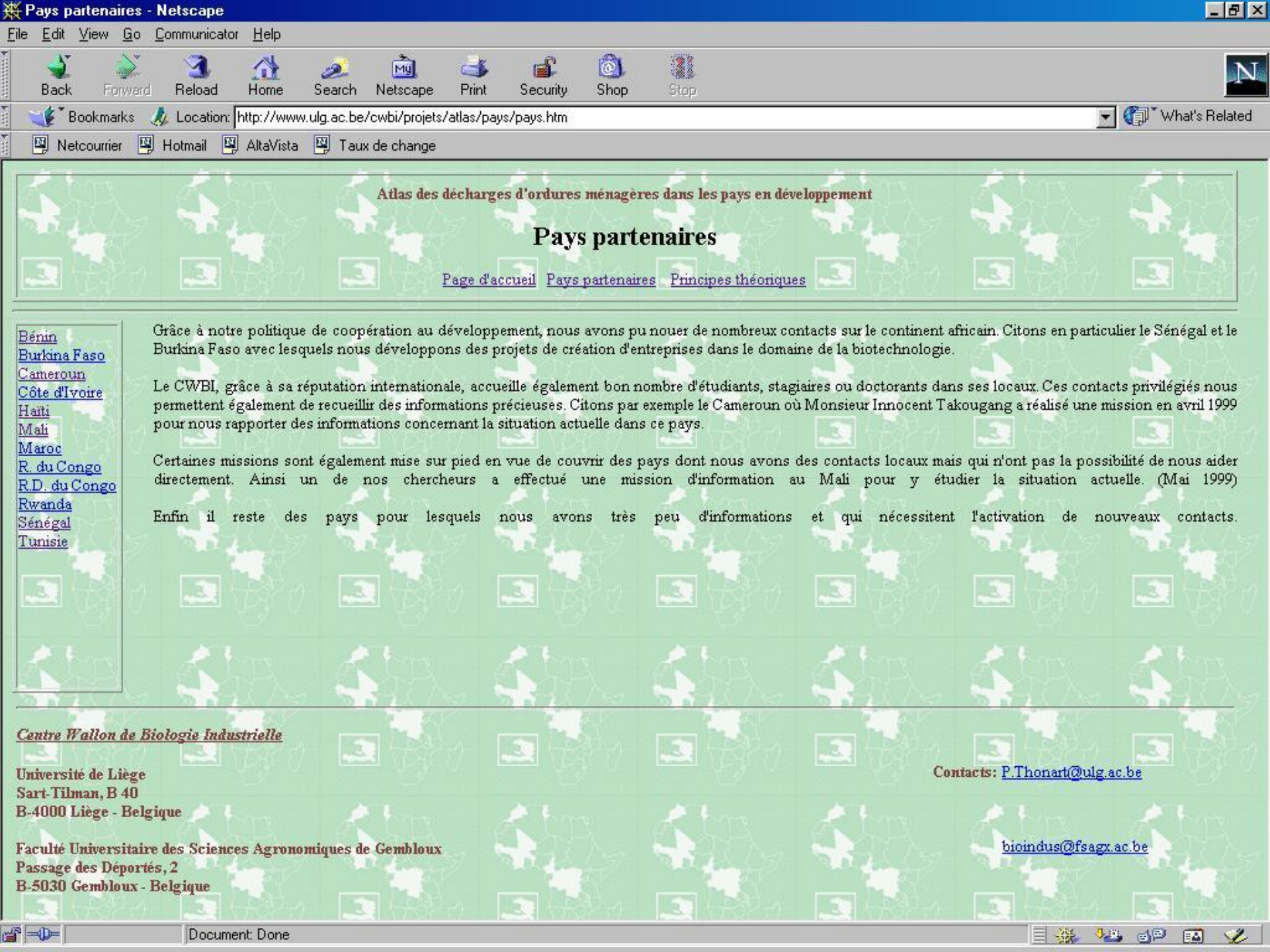


Région Wallonne de Belgique

L'Atlas aujourd'hui



Pays	Nombre de décharges répertoriées
Benin	4
Burkina Faso	18
Cameroon	4
Republic of Congo (Brazzaville)	1
Democratic Republic of Congo	2
Guinea	2
Haiti	14
Ivory Coast	1
Mali	6
Rwanda	1
Senegal	11
Tunisia	17
Togo	3
Cuba	16
Total	101



Atlas des décharges d'ordures ménagères dans les pays en développement

Pays partenaires

[Page d'accueil](#) [Pays partenaires](#) [Principes théoriques](#)

- [Bénin](#)
- [Burkina Faso](#)
- [Cameroun](#)
- [Côte d'Ivoire](#)
- [Haïti](#)
- [Mali](#)
- [Maroc](#)
- [R. du Congo](#)
- [R.D. du Congo](#)
- [Rwanda](#)
- [Sénégal](#)
- [Tunisie](#)

Grâce à notre politique de coopération au développement, nous avons pu nouer de nombreux contacts sur le continent africain. Citons en particulier le Sénégal et le Burkina Faso avec lesquels nous développons des projets de création d'entreprises dans le domaine de la biotechnologie.

Le CWBI, grâce à sa réputation internationale, accueille également bon nombre d'étudiants, stagiaires ou doctorants dans ses locaux. Ces contacts privilégiés nous permettent également de recueillir des informations précieuses. Citons par exemple le Cameroun où Monsieur Innocent Takougang a réalisé une mission en avril 1999 pour nous rapporter des informations concernant la situation actuelle dans ce pays.

Certaines missions sont également mise sur pied en vue de couvrir des pays dont nous avons des contacts locaux mais qui n'ont pas la possibilité de nous aider directement. Ainsi un de nos chercheurs a effectué une mission d'information au Mali pour y étudier la situation actuelle. (Mai 1999)

Enfin il reste des pays pour lesquels nous avons très peu d'informations et qui nécessitent l'activation de nouveaux contacts.

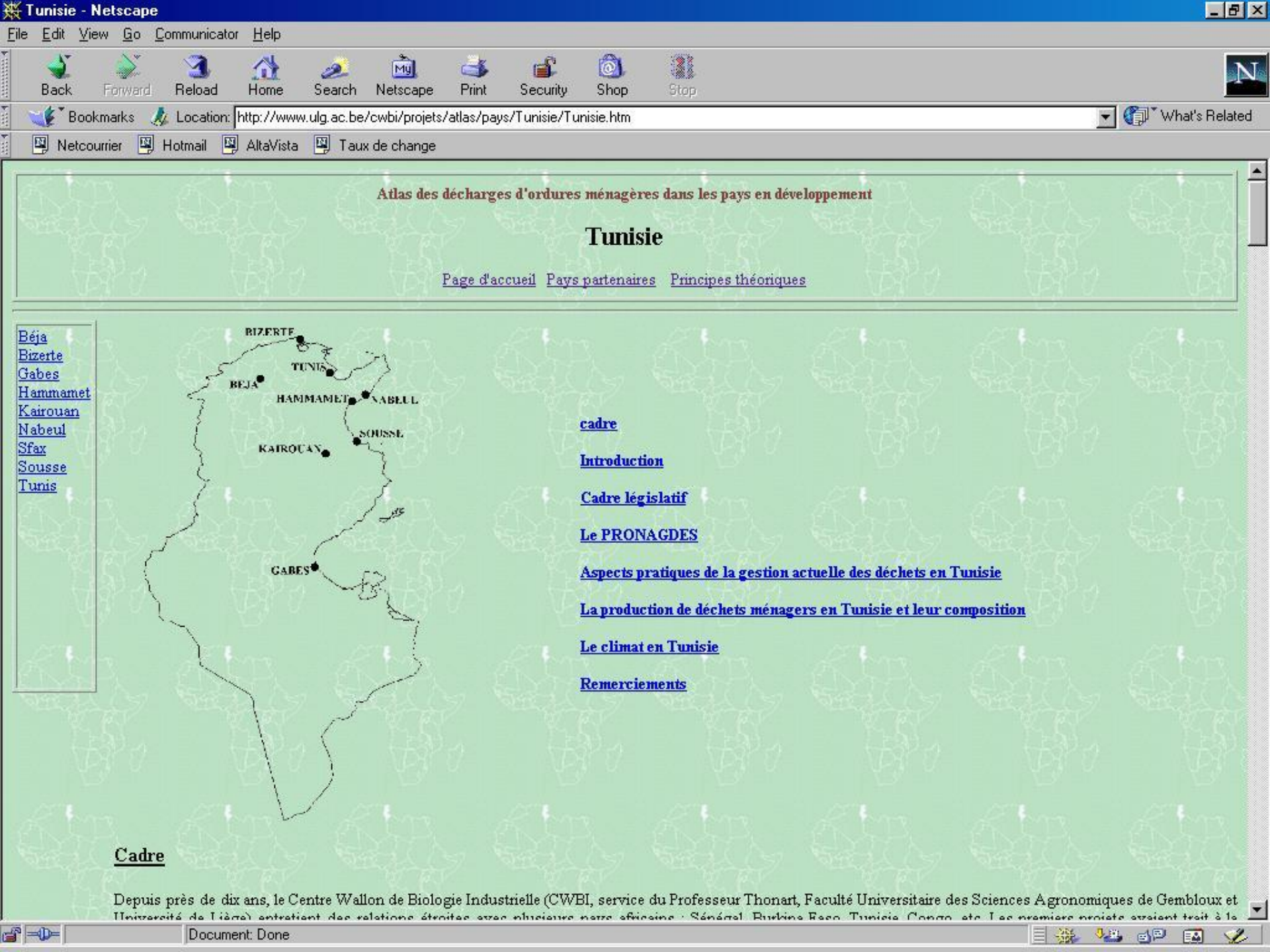
Centre Wallon de Biologie Industrielle

Université de Liège
Sart-Tilman, B 40
B-4000 Liège - Belgique

Contacts: P.Thonart@ulg.ac.be

Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux
Passage des Déportés, 2
B-5030 Gembloux - Belgique

bioindus@fsagx.ac.be



Atlas des décharges d'ordures ménagères dans les pays en développement

Tunisie

[Page d'accueil](#) [Pays partenaires](#) [Principes théoriques](#)

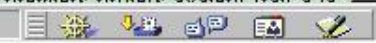
- [Béja](#)
- [Bizerte](#)
- [Gabes](#)
- [Hammanmet](#)
- [Kairouan](#)
- [Nabeul](#)
- [Sfax](#)
- [Sousse](#)
- [Tunis](#)



- [cadre](#)
- [Introduction](#)
- [Cadre législatif](#)
- [Le PRONAGDES](#)
- [Aspects pratiques de la gestion actuelle des déchets en Tunisie](#)
- [La production de déchets ménagers en Tunisie et leur composition](#)
- [Le climat en Tunisie](#)
- [Remerciements](#)

Cadre

Depuis près de dix ans, le Centre Wallon de Biologie Industrielle (CWBI, service du Professeur Thonart, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux et Université de Liège) entretient des relations étroites avec plusieurs pays africains : Sénégal, Burkina Faso, Tunisie, Congo, etc. Les premiers projets avaient trait à la



Atlas des décharges d'ordures ménagères dans les pays en développement

Tunis

Page d'accueil Pays partenaires Principes théoriques

- [Bourj Chekir](#)
- [Henchir El Yahoudia](#)
- [Nahli](#)
- [Raoued](#)



[Retour en Tunisie](#)

Atlas des décharges d'ordures ménagères dans les pays en développement

Henchir El Yahoudia

[Page d'accueil](#) [Pays partenaires](#) [Principes théoriques](#)

Atlas des décharges d'ordures ménagères en Afrique

HENCHIR EL YAHOU디아

(Nom de la décharge)

Pays Tunisie

Ville Tunis

Localisation Municipalité de Ben Arous, à 6 km au sud de Tunis sur un sebkha (lagune d'eau de mer asséchée pendant la saison sèche)

Caractéristiques de la décharge

Superficie (ha)	100	Volume (m ³)	4.5 Millions
Hauteur (m)	2 - 10	Intrants (t/an)	?
Date de début d'exploitation	1984		
Date de fin d'exploitation	1998		
Type de sous-sol	salé (sebkha)		
Profondeur de la nappe phréatique (m)	au-dessus d'une nappe salée (mer)		
Autres sources d'eau	?		
Traitement au fond	certains casiers ont été réalisés en creusant 2 à 3 m sous le niveau du sebkha		
Traitement en surface	30 - 50 cm terre argileuse		
Compactage	Mise à feu		
Emission de lixiviats	oui	Emission de biogaz	oui
Emission de poussières	no		
Quantification et/ou analyses des lixiviats	oui - en cours		
Quantification et/ou analyses du biogaz	oui - en cours		
Université de Liège	Centre Wallon de Biologie Industrielle	Belgique	

[Remonter] [[Henchir El Yahoudia \(Page 2\)](#)] [[Plan du site de Henchir el Yahoudia](#)] [[Photos de Henchir El Yahoudia](#)]

Centre Wallon de Biologie Industrielle

Université de Liège
 Sart-Tilman, B 40
 B-4000 Liège - Belgique

Contacts: P.Thonart@ulg.ac.be

Atlas des décharges d'ordures ménagères dans les pays en développement

Henchir El Yahoudia (Page 2)

[Page d'accueil](#) [Pays partenaires](#) [Principes théoriques](#)

Atlas des décharges d'ordures ménagères en Afrique

Caractéristiques des déchets

HENCHIR EL YAHOU DIA

Végétaux	x	Restes de cuisine	x	Restes d'origine animale	-
Plastiques	x	Métaux	x	Verres	x
Caoutchouc	x	Textiles	x		
Déjections animales	-	Déjections humaines	-		
Déchets hospitaliers	x				
Papiers	x	Cartons	x	Bois	x
Pierres	x	Graviers	x	Sable	x
Ferraille	-	Carcasses de voitures	-		
Piles	x	Batteries	x	Peintures	?
Huiles	?	Solvants	?	Hydrocarbures	-
Autres	boues de stations d'épuration, déchets industriels				

Actions

Actions à mener

Localisation précise des nappes

Actions en cours

étude de l'activité biologique de la décharge (CITET/CWBI) - réalisation de carotages et analyses sur les gaz, liquides et solides

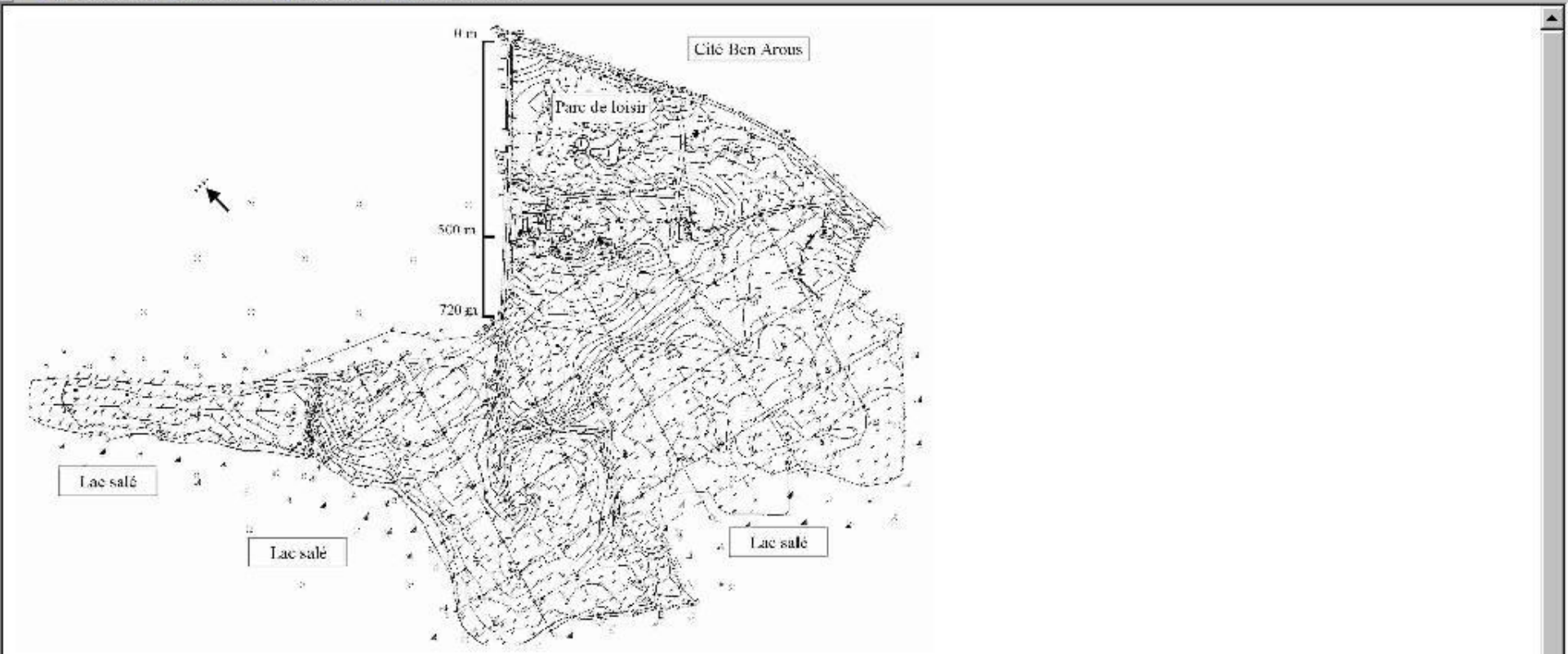
Actions prévues par les gestionnaires

création d'un parc de loisir après étude sur des puits dans les déchets - étude commandée par l'ANPE et réalisée en avril - mai 2000 par SOCFORACD

Année repère 09/2000 Documents rapport RW 10/2000
 06/2000

Contact local Centre International des Technologies de l'Environnement de Tunis (CITET)
 Université de Liège Centre Wallon de Biologie Industrielle Belgique

[\[Remonter \]](#)



Source: CITET - CWBI

[\[Remonter \]](#) [\[Henchir El Yahoudia \(Page 2\) \]](#) [\[Plan du site de Henchir el Yahoudia \]](#) [\[Photos de Henchir El Yahoudia \]](#)
[Retour en Tunisie](#)

Centre Wallon de Biologie Industrielle

Université de Liège
Sart Tilman, R 40

Contacts: P.Thonart@ulg.ac.be

Atlas des décharges d'ordures ménagères dans les pays en développement

Photos de Henchir El Yahoudia

[Page d'accueil](#) [Pays partenaires](#) [Principes théoriques](#)



Vue de la zone en réhabilitation arrière plan : bâtiment d'entrée et sebkha



Vue de la zone en réhabilitation arrière plan : sebkha



Lixiviats et dégagement de gaz (mousse en formation)



lixiviats sur les talus entre SC15 et SC16



Lixiviats jaillissant (orange) du puit SC16



Lixiviats jaillissant d'un puit de 3 m de profondeur (boule de mousse s'écoulant le long du tube) puit SC16



Lixiviats sortant d'un puit de 7 m de profondeur (bubbles de gaz à la base) puits SC15



Chemin au centre de la décharge inondé après les fortes pluies de la veille



Plan de l'exposé

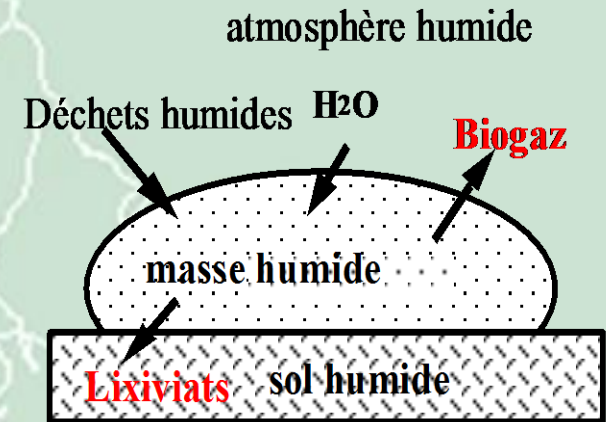
1. Présentation du CWBI et des partenariats avec les pays du Sud
2. La gestion des déchets ménagers
3. L'activité biologique des décharges et impacts sur la santé et l'environnement
4. **Influence des conditions climatiques sur l'activité biologique des décharges dans les pays du Sud**
5. Vers la création d'un centre d'enfouissement technique (CET)
6. Conditions d'aménagements d'un CET à coûts réduits sous les climats secs : les expériences pilotes de Ouagadougou et Cuba

Les 3 types de décharges:

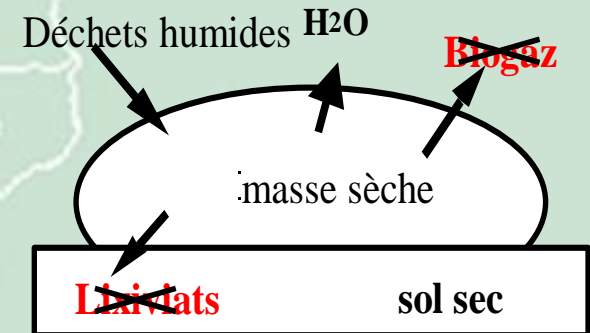
L'humidité de la décharge est un paramètre essentiel à connaître => 3 types de décharges

1. **Humide** => idem Belgique
2. **Sèche** => fossilisée
3. **Intermédiaire** => ?

Décharges humides forte activité (fonction de la teneur en matières organiques)
=> production de **biogaz** et de **lixiviats**
=> prévoir **traitement** des effluents (épuration, torchère, ...)



Décharges sèches: - peu ou pas d'activité biologique
=> PAS de production de biogaz et de lixiviats
MAIS attention à l'**évolution future** => ATLAS



Décharges intermédiaires: - forte humidité sur une courte période (2 à 5 mois)
=> situation peu connue

=> Etudes de terrain

Cas des décharges intermédiaires:

Modèle d'évolution de ce type de décharge

Paramètres à l'arrivée des déchets:

- humidité initiale des déchets
- sol sec (mélange sable et marne)
- période de saison sèche

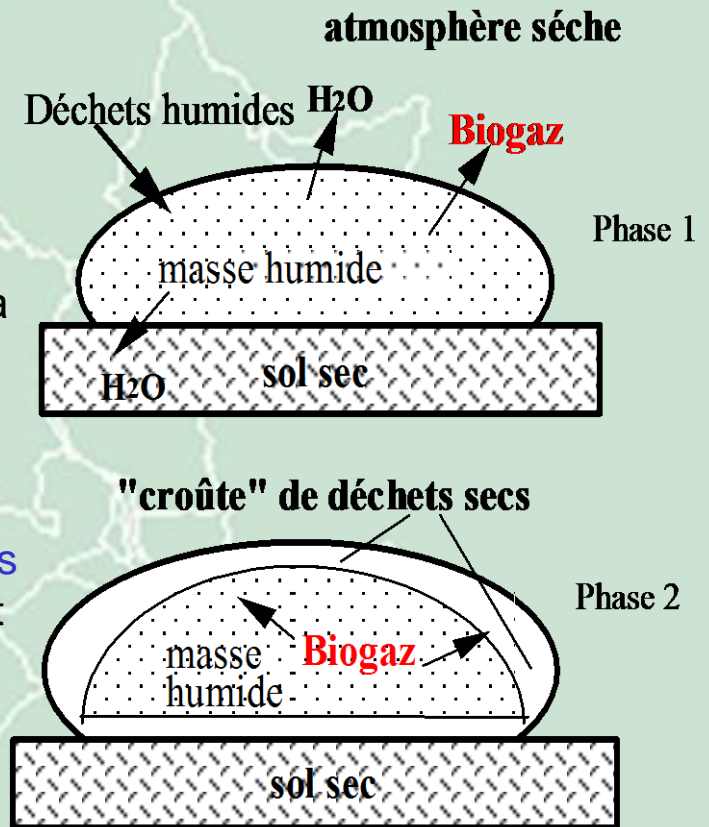
Première phase d'évolution:

- **dessèchement** des déchets en **surface** sur le sol
- formation d'une "**croûte**" sèche sur le pourtour de la masse de déchets

Deuxième phase, plus longue:

- "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**.

Lixiviats ?

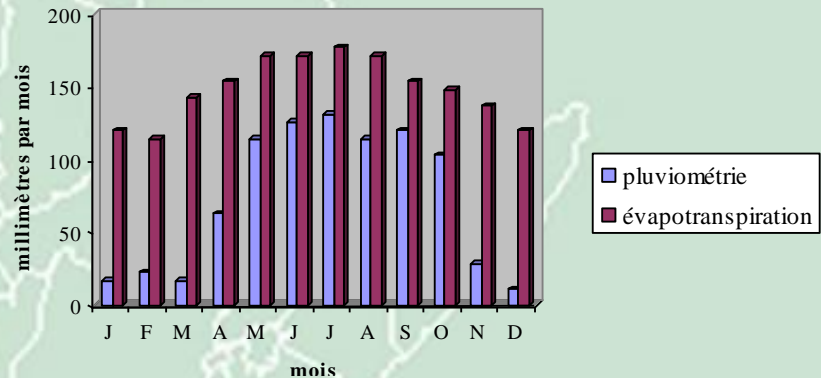


Etude de l'activité biologique des décharges dans les pays à climat sec (Haïti – Tunisie)

Évapotranspiration > précipitation => pas d'activité biologique

Cas de Haïti :
Etude de
l'évapotranspiration
=> hypothèses sur le
niveau d'activité
biologique

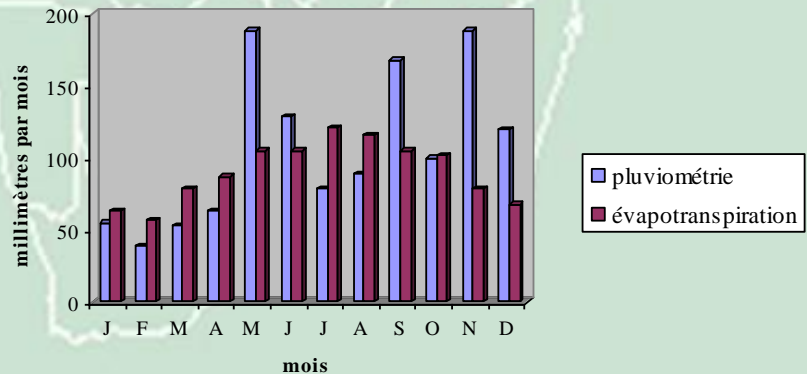
St-Marc



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

Évapotranspiration < précipitation => activité biologique faible

Cap Haïtien

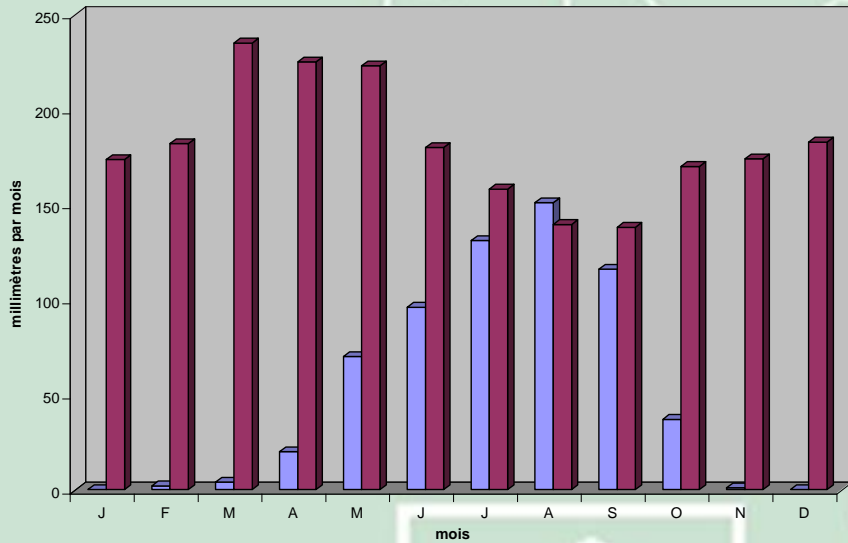


Pluviométrie et évapotranspiration mensuelles moyennes sur la ville du Cap Haïtien. (Source Ministère de l'Environnement d'Haïti)

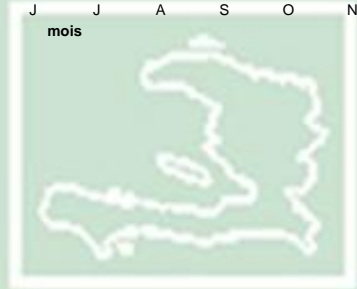
Etude de l'activité biologique des décharges dans les pays à climat sec (Burkina Faso)

Évapotranspiration > précipitation => pas d'activité biologique

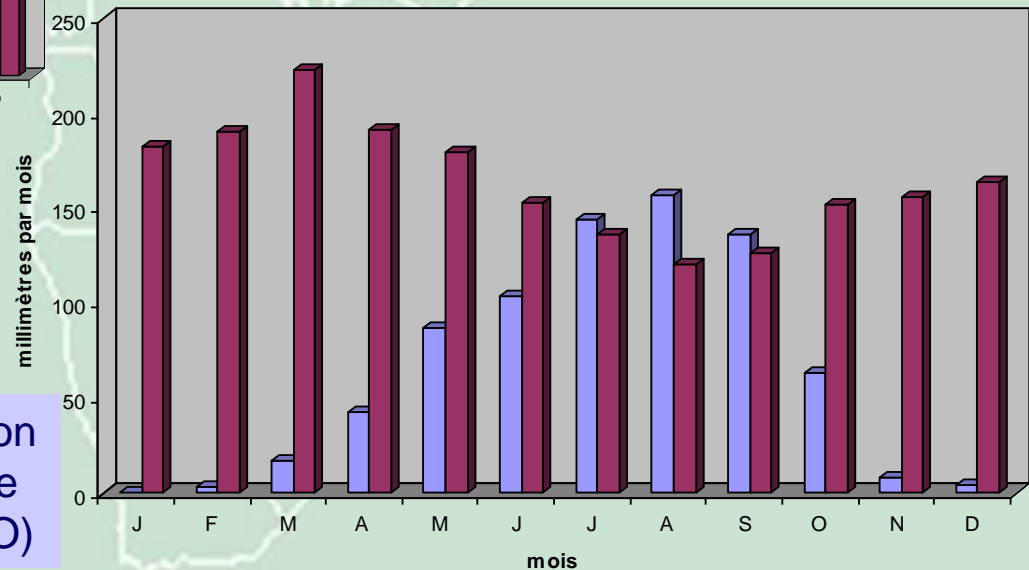
Pluviométrie et évapotranspiration mensuelles moyennes sur la ville de Ouagadougou. (Source FAO)



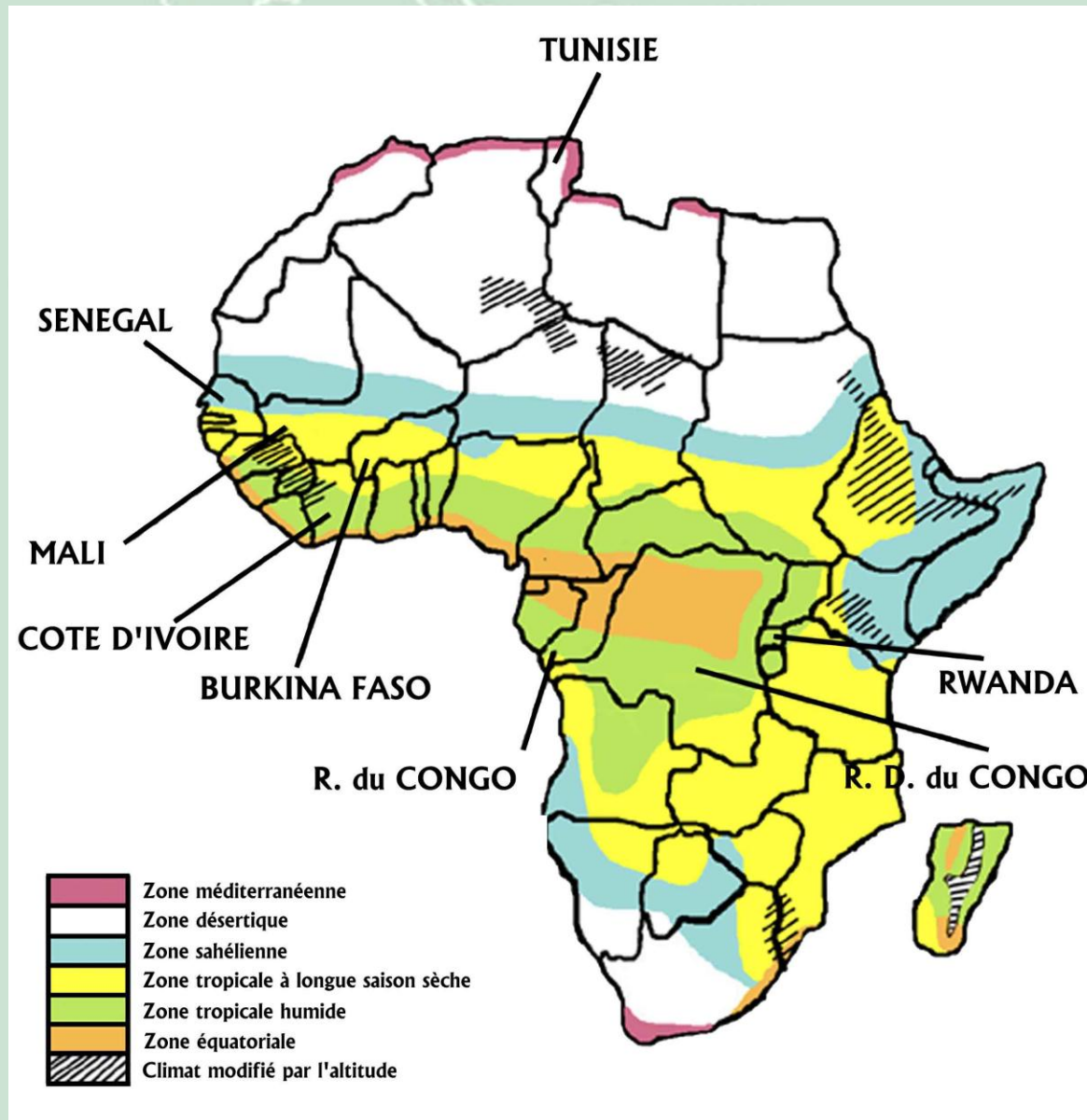
■ pluviométrie
■ évapotranspiration



Pluviométrie et évapotranspiration mensuelles moyennes sur la ville de Bobo Dioulasso. (Source FAO)



Décharges et humidité (exemple de l'Afrique):



Décharges et humidité (exemple de l'Afrique)

Activité micro-biologique => besoin en **EAU**

Belgique => Décharges **humides**

Afrique => il existe différentes **zones climatiques**

Zones climatiques	Pluviométrie ^a	Humidité des sols	Type de décharge
MEDITERRANEENNE Tunisie	50-200 / 0 / 200-800	50 à 80% sur une courte période (2-5 mois).	INTERMEDIAIRE Evolution très lente.
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.
SAHELIENNE Sénégal	0 / 0 / 50-400 (averses plus fréquentes)	Idem ci-dessus	SECHE FOSSILISEE Idem ci-dessus.
TROPICALE A LONGUE SAISON SECHE Mali; Sénégal; Burkina-Faso	0 / 50-300 / 400-1400	Variable suivant les stations.	Généralement SECHE, parfois INTERMEDIAIRE:
TROPICALE HUMIDE R du Congo	0 / 100-300 / 1400-2000	7-10 mois, favorable à une évolution biologique.	HUMIDE Une biométhanisation devrait être observée. Lixiviats présents.
EQUATORIALE RD du Congo	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].

Etude de l'activité biologique des décharges dans les pays à climat sec (Haïti – Tunisie)

Caractéristiques climatiques et de gestion des quatre décharges étudiées

	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⁾ Pluviométrie et évapotranspiration potentielle (ETP) : Moyennes sur 30 années (données FAO) et entre 1988 et 1998 (données fournies par la station de Damien), respectivement.

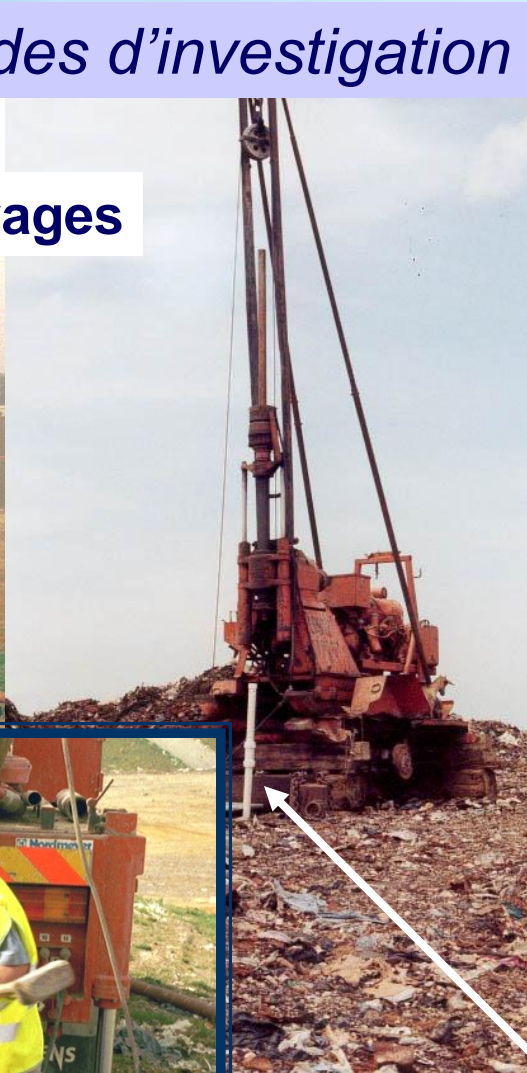
Europe

Méthodes d'investigation

Haiti



Forages



Tunisie



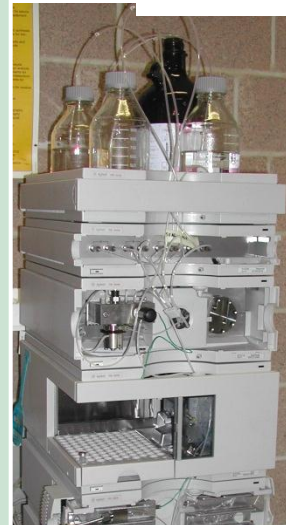
Extraction des déchets prélevés

Pose de tubes de dégazage

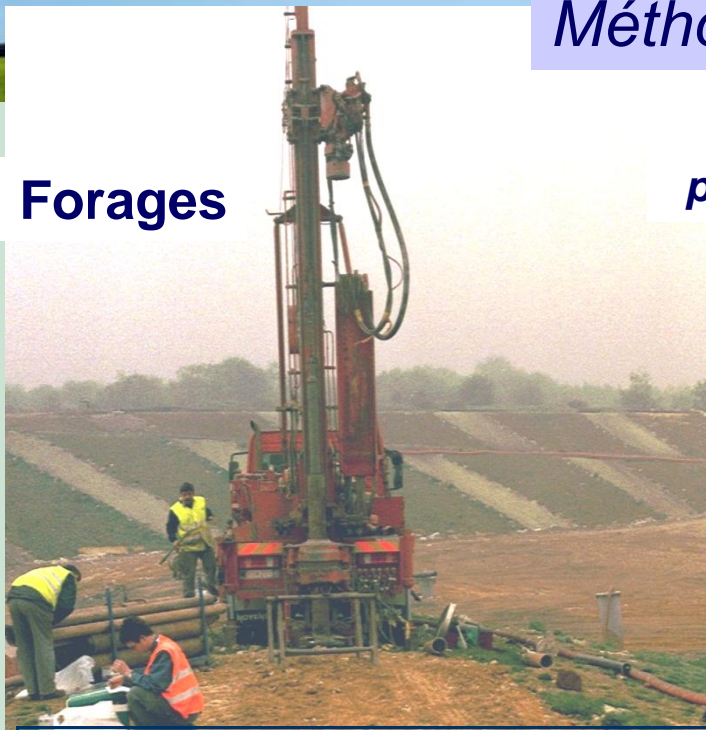
Méthodes d'investigation

HPLC

Analyse des éch. de lixiviats
 pH, redox, conductivité, AGV, N_{tot} , $N-NH_3$, ...



Forages



Analyse des gaz
 CH_4 , CO_2 , H_2S , H_2 , ..., temp°



Extraction des déchets prélevés



Résultats importants de l'étude
(validation sur deux années, suivi à long terme en cours)

	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				
Temperature dans les puits de carottage (différence par rapport à la température ambiante en °C)	10-15	10-15	0-10	0-5
% CH₄	1-65	6-65	0.5-40	Jusqu'à 60% dans deux puits
H₂S (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

Résultats des analyses chimiques des lixiviats (validation sur deux années, suivi à long terme en cours)

		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



Plan de l'exposé

1. Présentation du CWBI et des partenariats avec les pays du Sud
2. La gestion des déchets ménagers
3. L'activité biologique des décharges et impacts sur la santé et l'environnement
4. Influence des conditions climatiques sur l'activité biologique des décharges dans les pays du Sud
5. **Vers la création d'un centre d'enfouissement technique (CET)**
6. Conditions d'aménagements d'un CET à coûts réduits sous les climats secs : les expériences pilotes de Ouagadougou et Cuba



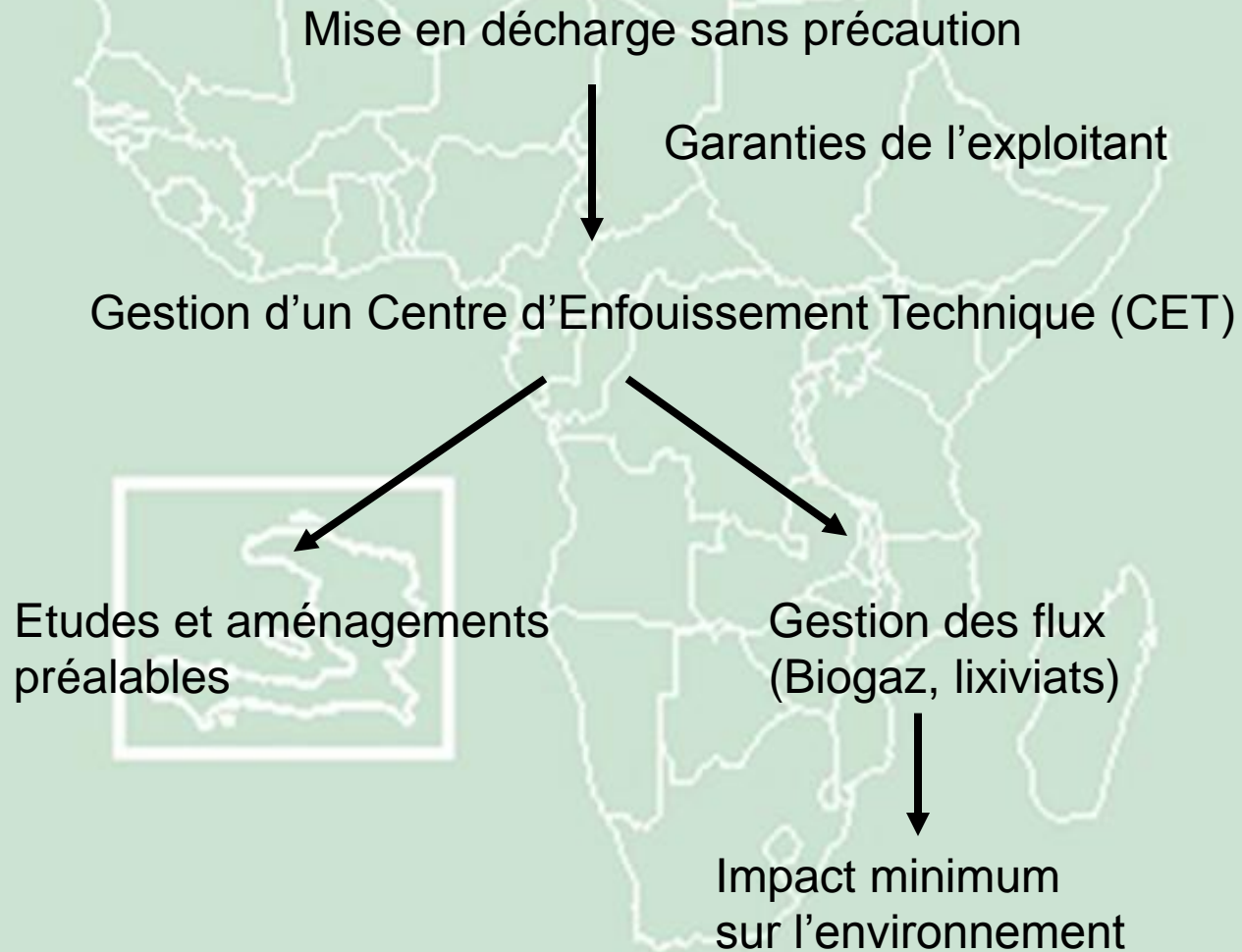
Pourquoi une gestion durable des déchets ménagers ?



**Pourquoi une sensibilisation à la gestion des CENTRES
d'ENFOUISSEMENT TECHNIQUE des déchets ménagers ?**



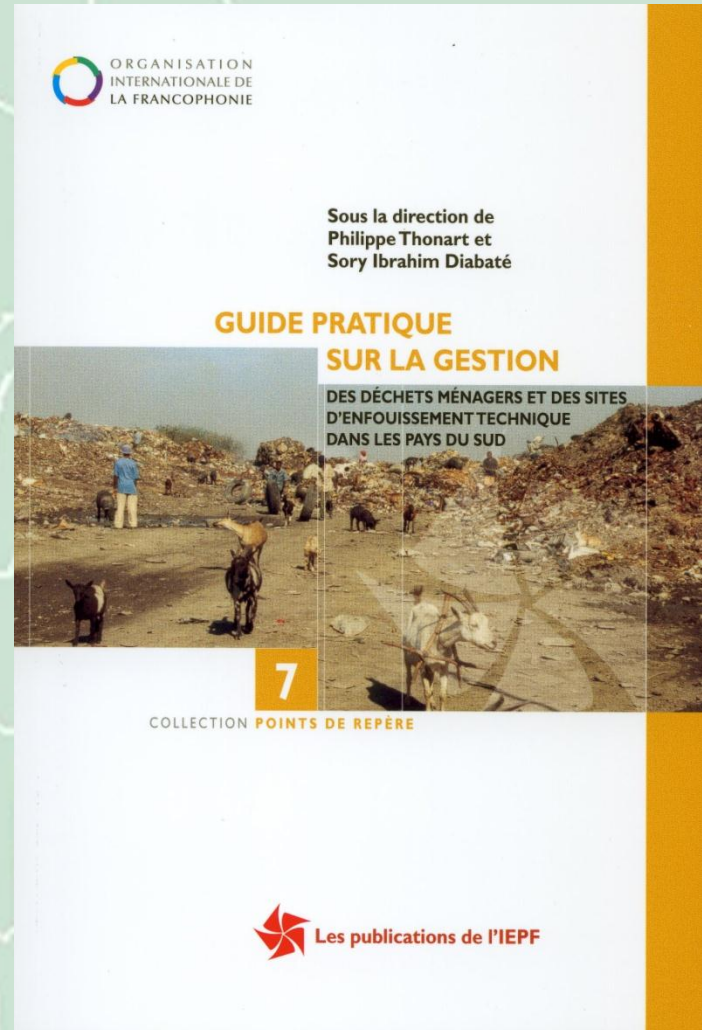
Evolution des techniques



Aménagement et gestion des CET

Domaine pluridisciplinaire :

- Géologie
- Hydrogéologie
- Chimie
- Biochimie
- Microbiologie
- Génie civil
- Électromécanique
- Aménagement du territoire
- ...



Choix du site d'implantation du CET

Critères minimum à respecter lors du choix des sites potentiels



PRIORITES

- stabilité à long terme des dépôts
- activité biologique : éviter dérèglements
- éviter interactions CET - environnement
- protéger réseau hydrographique et réserves d'eau.
- accessibilité
- impact sur environnement humain et écologique.
- volume disponible et utilisable.

Critères d'exclusion à l'implantation d'un CET

1. Perméabilité du sol $\leq 10^{-9}$ m/s; épaisseur min : 1 m
2. Pas sur le bassin versant d'une nappe dépourvue d'une isolation naturelle (1 m ; 10^{-9} m/s)
3. Pente du terrain $< 1/3$
4. Niveau piézométrique de la nappe phréatique sous le CET fortement instable
5. Pas dans une zone inondable
6. Carrière : oui si argilière
7. Min. 50 m d'une installation de captage !!! en milieu karstique (points de pénétration préférentiels, ...)
8. Hydrologie : taux de dilution > 100 .
9. Pas dans une zone saline, carrière de gypse
10. Eviter la destruction d'un écosystème particulier
11. Distance site - habitations ou site d'intérêt > 100 m

Critères + Sites potentiels + Minimum d'études

Classement des sites potentiels (cotation)

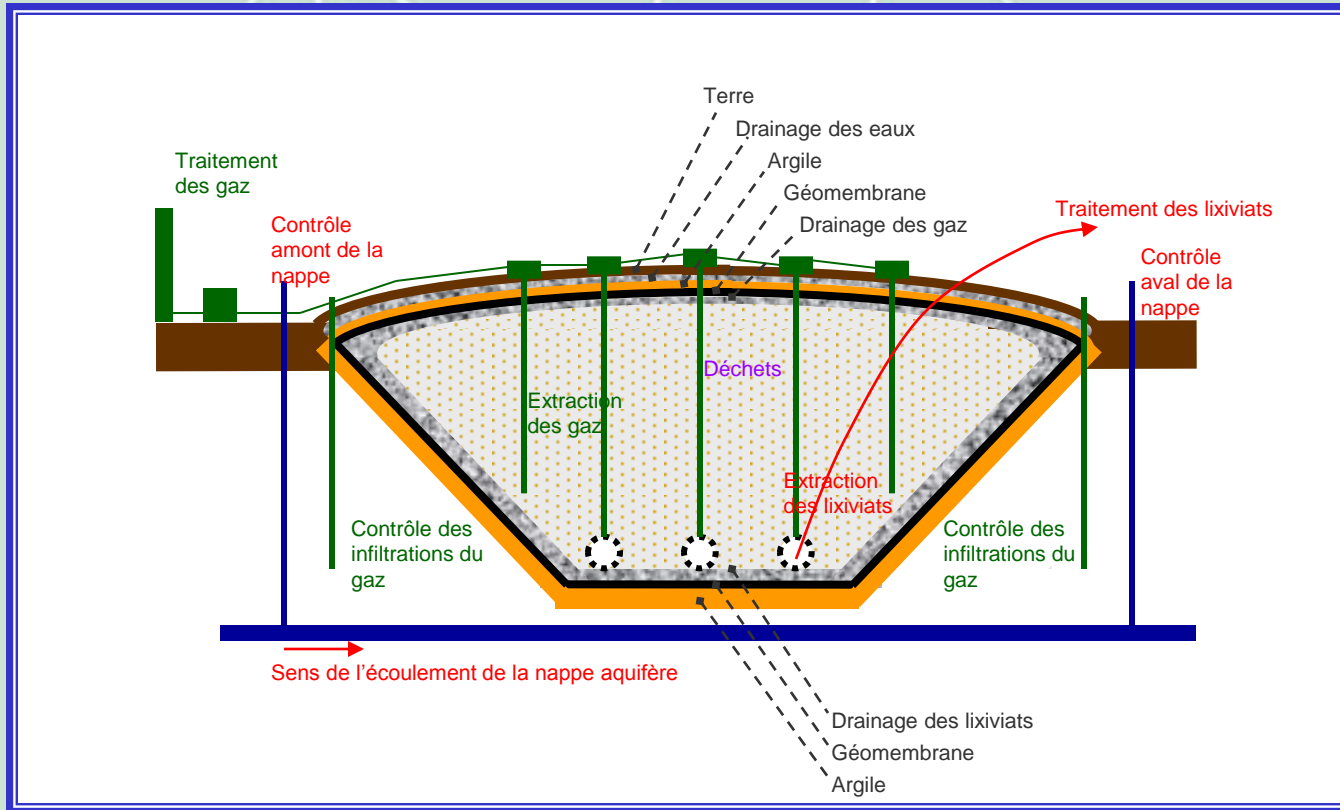
Sélection des meilleurs

Investigations approfondies (faiblesses)

Sélection ultime



Description d'un CET



Le CET → un bioréacteur à gérer

Coût d'aménagement et gestion d'un CET

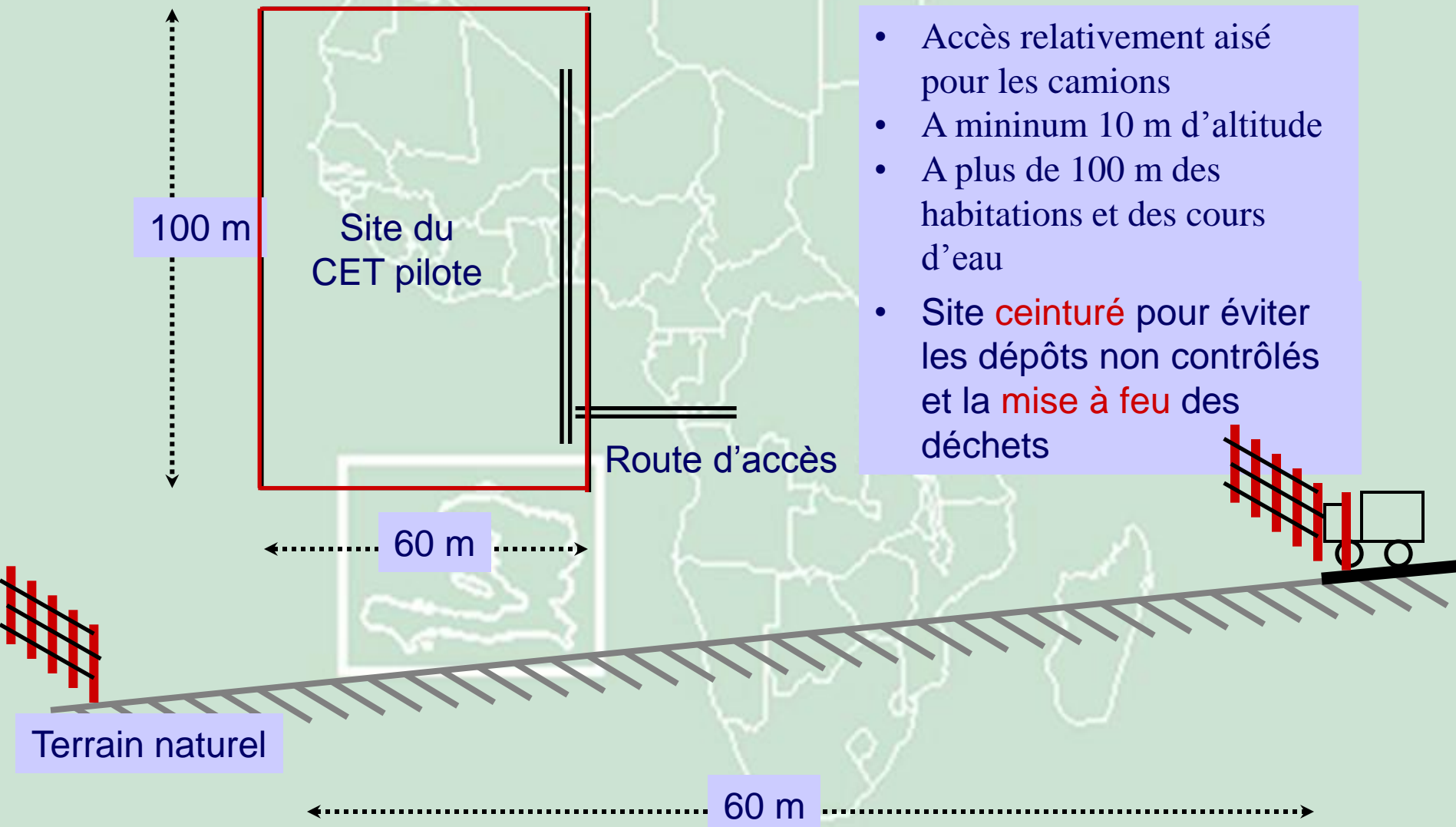
Base de calcul en tonnes de déchets ménagers

NATURE DES ELEMENTS D'ANALYSE	unité	Base de calcul	Quantités présümées	1 million		500 000			
				Coût global		Coût global		Coût global	
				+/- Humide	PED s-aride	+/- Humide	PED s-aride	+/- Humide	PED s-aride
Données introduites									
<i>superficie du CET</i>	ha		5	5	5	5	5	5	5
<i>hauteur de déchets</i>	m		20	20	20	20	20	10	10
<i>profondeur en excavation</i>	m		5	5	5	5	5	5	5
<i>Pente des talus (rapport Vertical/Horizontal)</i>			1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
<i>intrants</i>	tonnes/j		500	500	500	2 000	2 000	500	500
<i>Pluviométrie annuelle moyenne</i>	mm		1 000	1 000	200	1 000	200	1 000	200
Estimations à partir des données									
<i>débit lixiviat</i>	m³/an	1,5% du volume tot pondéré par rapport à 1000 m pluies	15 000	15 000	3 000	15 000	3 000	7 500	1 500
<i>débit biogaz</i>	m³/h	200m³/t sur 30 ans pondérés par rapport à 1000 m pluies	761	761	152	761	152	381	76
<i>pluviométrie annuelle répartie sur 1 mois</i>	mm/jour		33	33	7	33	7	33	7
Première Partie : Etude de base	Euros			640 200	499 107	640 200	499 107	640 200	499 107
Deuxième Partie : acquisition et préparation du site	Euros			947 130	537 436	947 130	537 436	946 494	537 118
Troisième partie : aménagement et réhabilitation du CET	Euros			9 384 458	1 792 181	10 084 458	2 282 181	8 372 752	1 508 731
TOTAL Coût de base	Euros			10 971 788	2 828 723	11 671 788	3 318 723	9 959 446	2 544 956
Quatrième Partie : Gestion quotidienne du CET	Euros/an			1 493 433	379 849	2 718 603	914 962	1 359 379	344 637
Cinquième Partie : Post-gestion du CET (30 premières années)	Euros/an			155 806	25 831	161 406	29 751	137 161	24 412
Sixième Partie : Post-gestion du CET (après 30 premières années)	Euros/an			92 268	481	92 268	481	91 605	462

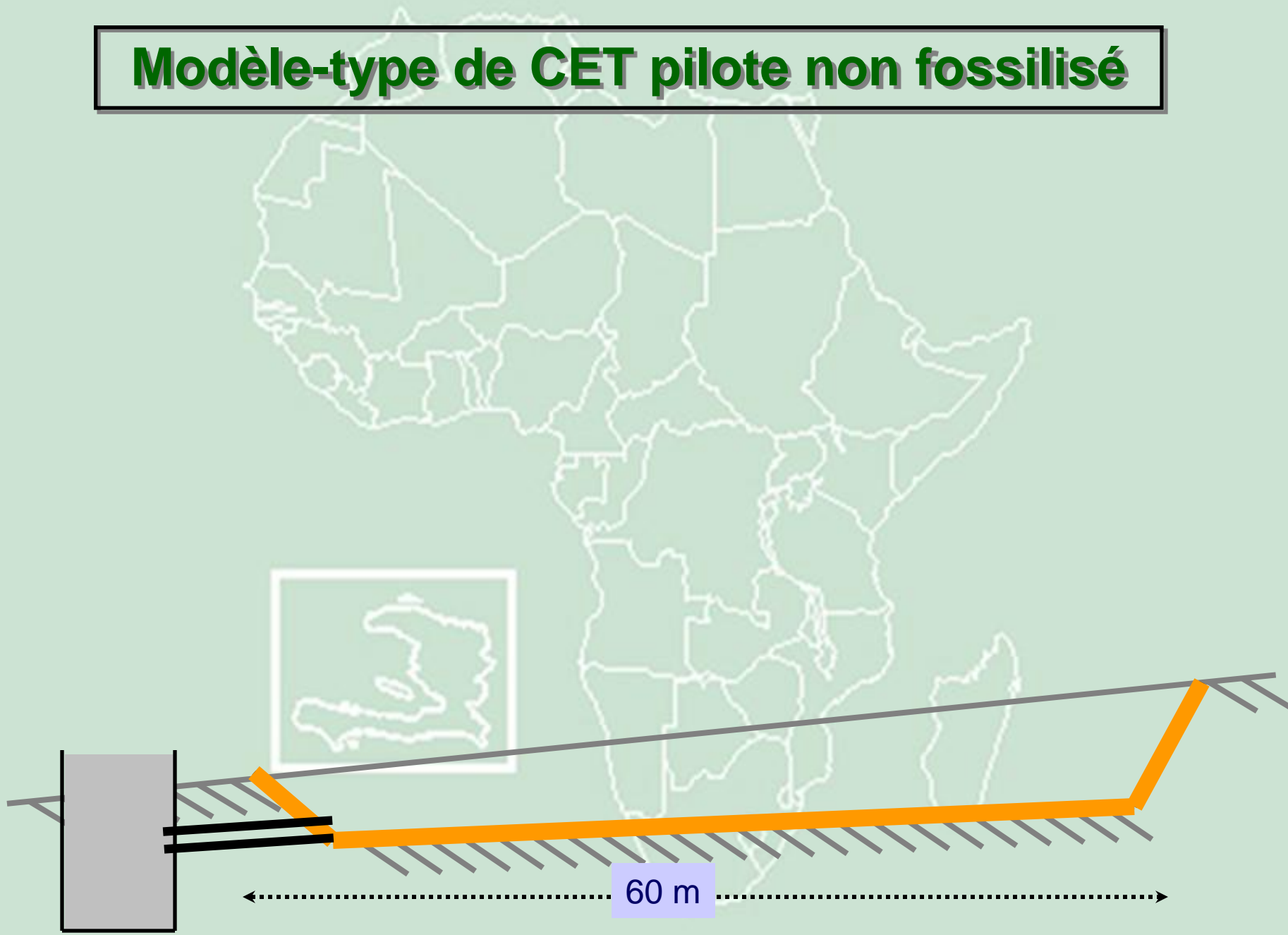
Plan de l'exposé

1. Présentation du CWBI et des partenariats avec les pays du Sud
2. La gestion des déchets ménagers
3. L'activité biologique des décharges et impacts sur la santé et l'environnement
4. Influence des conditions climatiques sur l'activité biologique des décharges dans les pays du Sud
5. Vers la création d'un centre d'enfouissement technique (CET)
6. **Conditions d'aménagements d'un CET à coûts réduits sous les climats secs : les expériences pilotes de Ouagadougou et Cuba**

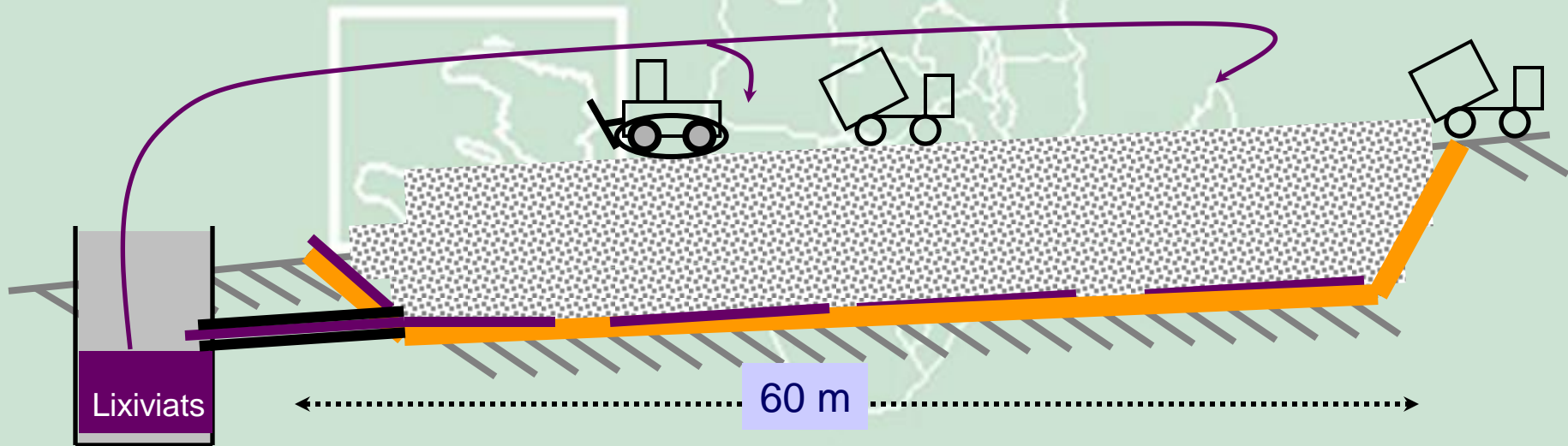
Essais préliminaires en CET de taille pilote



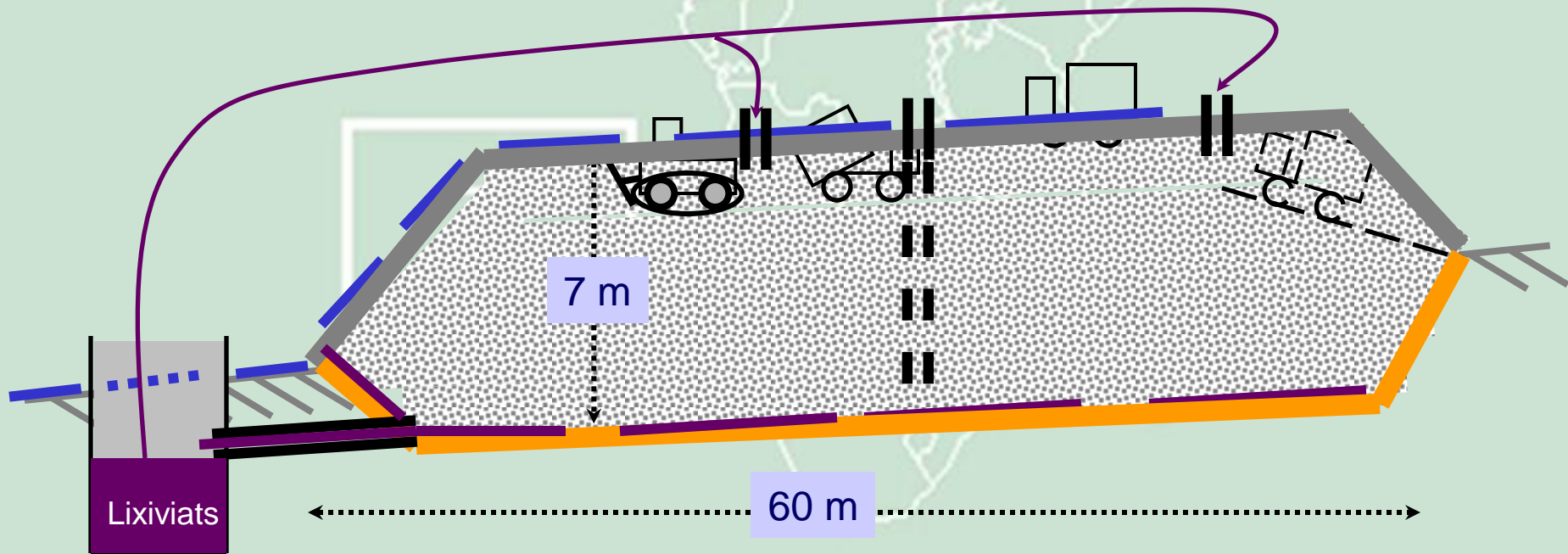
Modèle-type de CET pilote non fossilisé



Modèle-type de CET pilote non fossilisé



Modèle-type de CET pilote non fossilisé

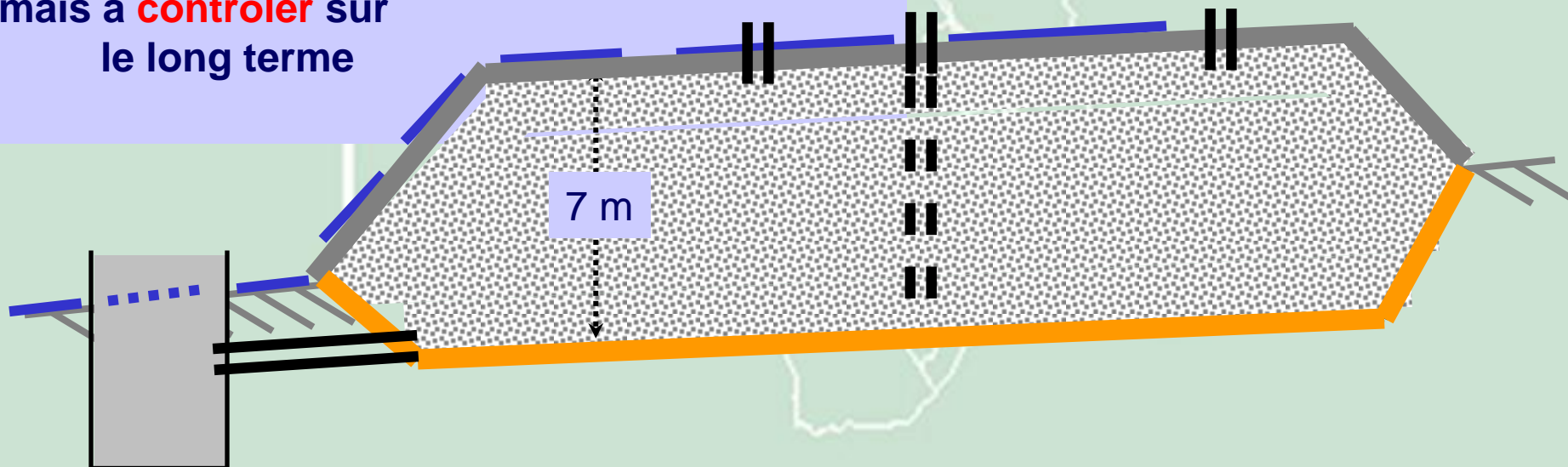


Modèle-type de CET pilote fossilisé

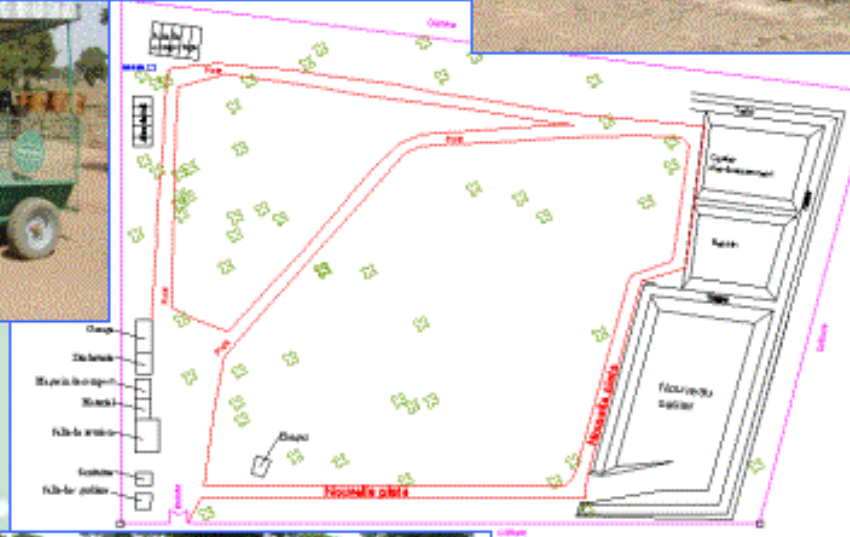
Une solution envisageable pour les pays à **climat sec** :

- enfouissement durant les saisons sèches
- épandage très étendu pour favoriser la déshydratation des déchets
- rassemblement des déchets secs avant la période des pluies
- pose d'une couverture argileuse favorisant les écoulements superficiels des pluies

mais à **contrôler** sur le long terme



Décharge pilote fossilisée de Saaba-Ouagadougou

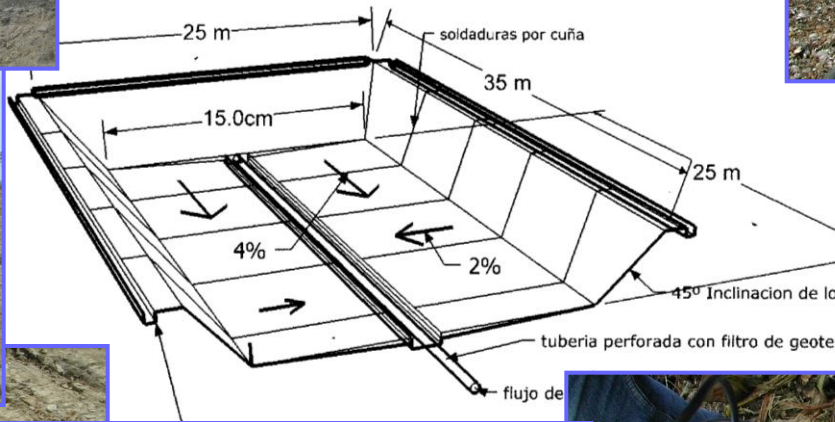


Décharge pilote fossilisée de Saaba-Ouagadougou



Une solution envisageable pour les pays à **climat sec** mais à **contrôler** sur le long terme

Mise en place d'un CET pilote à La Havane

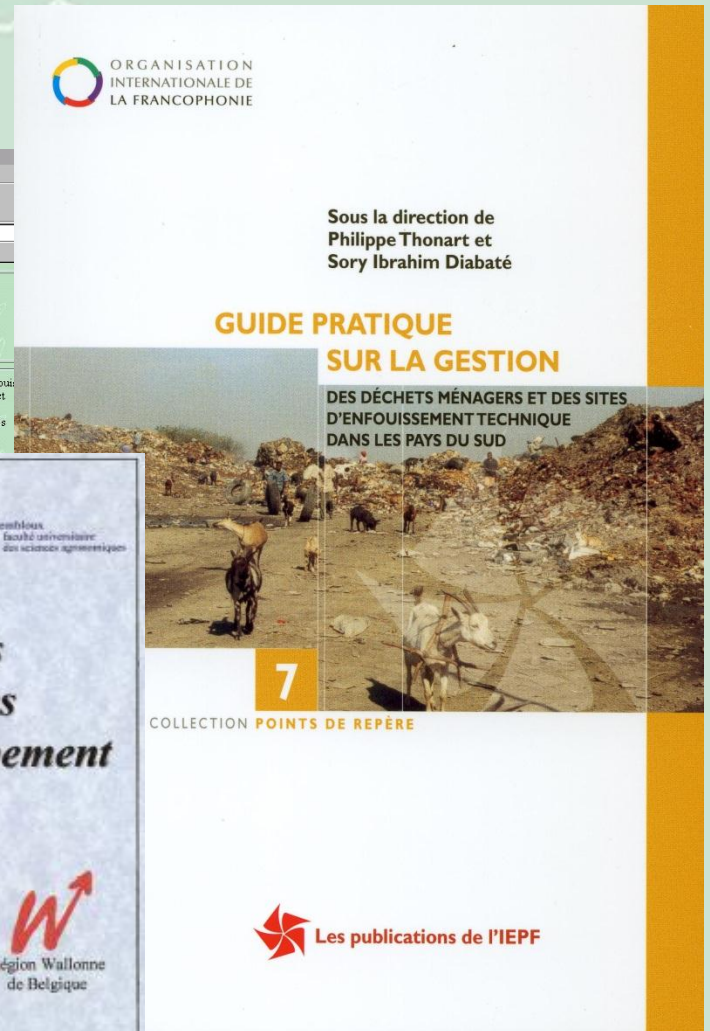
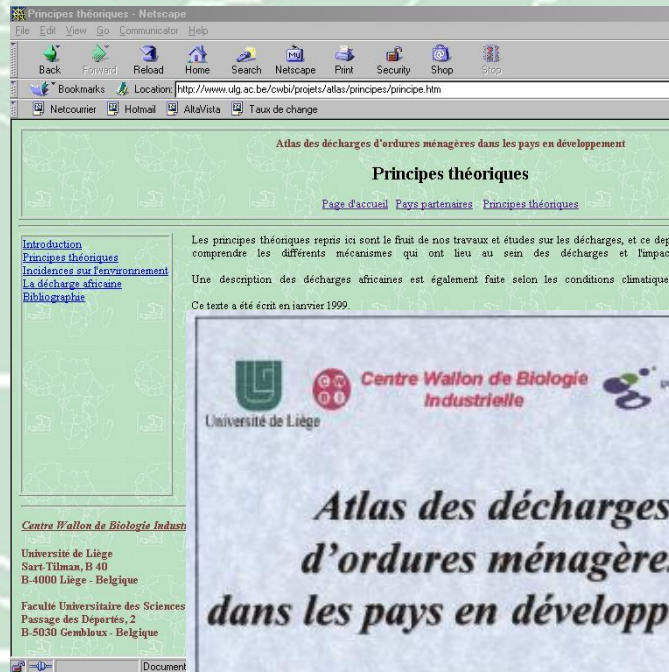


Diffusion des acquis et transfert de technologie dans les pays en développement

Domaine pluridisciplinaire :

⇒ **CD-Rom, internet, guide pratique**

- Géologie
- Hydrogéologie
- Chimie
- Biochimie
- Microbiologie
- Génie civil
- Électromécanique
- Aménagement du territoire
- ...



Sous la direction de
Philippe Thonart et
Sory Ibrahim Diabaté

**GUIDE PRATIQUE
SUR LA GESTION**

**DES DÉCHETS MÉNAGERS ET DES SITES
D'ENFOUSSEMENT TECHNIQUE
DANS LES PAYS DU SUD**

7

COLLECTION **POINTS DE REPÈRE**

Les publications de l'IEPF

Organisation de séminaires et visites de terrain

Gembloux, Ouaga, Port-au-Prince, Tunis

- 50-100 participants :
- Maires, conseillers techniques, ...
- Des différentes régions du pays et pays voisins



Pédagogie pour les écoles

85 pages apportant les rudiments sur

- l'éducation environnementale
- l'environnement
- la situation environnementale d'Haïti et recommandations
- des activités pédagogiques (fiches)

SENSIBILISATION A LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

(à l'intention des directeurs d'écoles du Secondaire)



Diagramme illustrant des activités de sensibilisation à la protection de l'environnement.

Document préparé par

Mme BILGÉONDE AMILCAR, D., géologue, Faculté des Sciences, Université d'État d'Haïti et Ministère Haïtien de l'Éducation Nationale, de la Jeunesse et des Sports, Port-au-Prince

Avec l'appui de M. S. BILGÉONDE AMILCAR, M. LARDON et Prof. Ph. THOMAS

Centre Wallon de Biologie Industrielle
Université de Liège, Belgique

APPROCHES PÉDAGOGIQUES EN ÈRE

Approche interdisciplinaire

Action d'aborder un projet ou de résoudre un problème en faisant interagir et en combinant des données et des approches issues de diverses disciplines.

Intégration des matières

Opération qui consiste à conjuguer deux ou plusieurs contenus interdépendants d'apprentissage appartenant à la même discipline ou à des disciplines différentes en vue de résoudre un problème, d'étudier un thème ou de développer des habiletés.

Démarche de résolution de problèmes réels

Démarche méthodique qui permet de rechercher, de manière consciente, une certaine ligne d'action en vue de découvrir la ou les solutions à un problème rencontré.

Ouverture de l'école sur le milieu

Terme utilisé pour désigner le rapport éducatif réciproque entre l'école et le milieu au sein duquel elle s'insère.

Approche systémique

Méthode d'analyse et de synthèse prenant en considération l'appartenance à un ensemble et l'interdépendance d'un système avec les autres systèmes de cet ensemble.

Pédagogie de la conscientisation

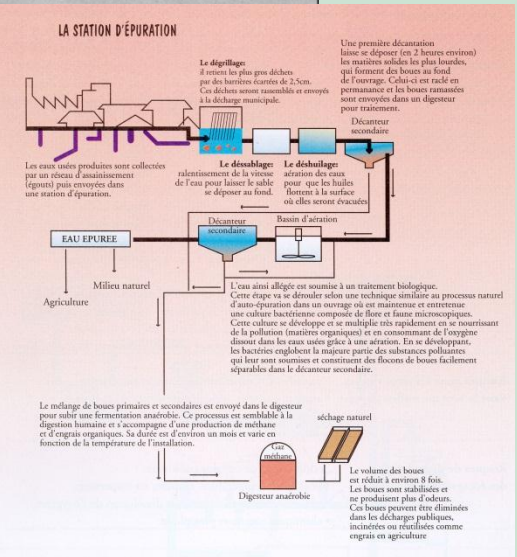
Processus par lequel les êtres humains, en tant que sujets connaissants, et non en tant que bénéficiaires, approfondissent la conscience qu'ils ont à la fois de la réalité socioculturelle qui modèle leur vie et de la capacité de transformer cette réalité.

Pédago

La pédagogie philosophique. Elle permet aux élèves et reconnaît soit: l'interactif groupes; élève; les de la dyn tissage.

Pédago

Approche d'appren





Nous empruntons la terre
aux générations futures

A faint, light-colored outline map of Belgium is centered in the background of the slide.

Merci de votre attention

s.hiligsmann@ulg.ac.be

<http://cwbi.fsagx.ac.be>

www.microh2.ulg.ac.be

Publications avec accès gratuit

Guide IEPF sur la gestion des déchets : <http://hdl.handle.net/2268/12919>

[http://orbi.ulg.ac.be/simple-search?query="hiligsmann+serge"](http://orbi.ulg.ac.be/simple-search?query='hiligsmann+serge')