

## Caractérisation de la pollution chimique et microbiologique de l'environnement de la décharge d'Akouédo, Abidjan-Côte d'Ivoire

Oi Adjiri ADJIRI <sup>1</sup>, Droh Lanciné GONE <sup>2\*</sup>, Innocent K. KOUAME <sup>2</sup>, Bamory KAMAGATE <sup>2</sup> et Jean BIEMI <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire des Sciences de l'Environnement, UFR SGE, Université d'Abobo-Adjamé, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire.

<sup>2</sup>Laboratoire de Géosciences et Environnement, UFR SGE, Université d'Abobo-Adjamé, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire.

<sup>3</sup>Laboratoire des Sciences et techniques de l'Eau et de l'Environnement, UFR STRM, Université de Cocody 22BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire.

\*Auteur correspondant, E-mail: [dialou25\\_9@yahoo.fr](mailto:dialou25_9@yahoo.fr), Tel: (225) 05 04 33 37.

### RESUME

Durant ces dernières années, plusieurs cas de pollution des eaux de proximité ont été signalés dans la littérature. Afin de caractériser la pollution chimique et microbiologique de l'environnement de la décharge d'Akouédo, des analyses physico-chimiques (métaux lourds et nutriments) et microbiologiques ont été effectuées sur les lixiviats issus de la décharge. Le sol de la décharge a été soumis à l'analyse d'une large gamme de métaux lourds (Fe, Cd, Cu, Zn, Mn, Pb, Hg, Cr, Mg). La composition du biogaz émanant de la décharge a été également mesurée à partir de puits forés sur le site. Les concentrations des paramètres (métaux, nutriments, indicateurs bactériologiques, DBO<sub>5</sub> et DCO) dans le lixiviat sont plus élevées que celles recommandées par le Centre Ivoirien Antipollution (CIAPOL) pour le rejet des effluents. On observe une forte concentration des métaux dans les sols de la décharge. Les valeurs basiques du pH du sol pourraient favoriser les phénomènes d'absorption des métaux lourds et limiter leur migration vers les nappes d'eau souterraine. Le biogaz émanant de la décharge est composé essentiellement de CH<sub>4</sub> (70%) et de CO<sub>2</sub> (29%). Le rapport CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> est élevé, supérieur à 2, ce qui traduit l'anoxie du milieu et sa grande capacité à produire le méthane. La décharge d'Akouédo constitue donc un important puits de production de gaz à effet de serre.

© 2008 International Formulae Group. All rights reserved.

**Mots clés :** Lixiviat, contamination, métaux lourds, microbiologie, biogaz.

### INTRODUCTION

Les décharges sont actuellement l'option commune pour le dépôt final des déchets solides municipaux dans les pays en voie de développement (Mwiganga et al., 2005 ; Zarhani, 2006). Ainsi, la ville d'Abidjan s'est dotée depuis 1965, d'une décharge à ciel ouvert. Depuis plus de 40 ans, cette décharge reçoit en moyenne 70% des déchets collectés, soit environ 550 000 tonnes d'ordures ménagères par an et un peu plus du tiers des déchets industriels et certains déchets dangereux (Kouadio et al., 2000) tels les déchets biomédicaux, chimiques, toxiques et

inflammables (Sané, 2002), sans aucun respect des règles strictes recommandées pour une décharge contrôlée classique.

Le déversement incontrôlé d'ordures a entraîné la saturation de la décharge et pollué l'environnement d'Akouédo. La plainte quasi-permanente des populations riveraines et les rapports conflictuels entre les riverains et les gestionnaires de la décharge entraînent fréquemment la fermeture momentanée de la décharge (Attahi, 2002). Ces populations se plaignent généralement des mauvaises odeurs, de maladies (respiratoires, digestives, cutanées, ...) et de la prolifération des rats,

© 2008 International Formulae Group. All rights reserved.

des mouches, des moustiques et des blattes (Attahi, 2002; Zahrani, 2006).

Des études antérieures indiquent que cette décharge présente de nombreuses carences qui font du site une zone à hauts risques pour les populations riveraines, l'écosystème aquatique et les nappes souterraines (Zahrani, 2006). En effet, le lixiviat issu des déchets draine des métaux lourds et autres polluants contenus dans ces déchets et constitue une source potentielle de pollution des eaux souterraines et de surface (Erses et al., 2005 ; Kouamé et al., 2006a). Les études effectuées par Kouadio et al. (2000) sur la pollution chimique des eaux de la zone de la décharge ont montré une forte pollution organique et minérale des eaux de la baie de M'Badon suite au déversement du lixiviat dans ces eaux. Aussi, les travaux de Kouamé et al. (2006b) sur les caractéristiques physico-chimiques des eaux du lixiviat et du sol d'Akouédo confirment-ils cette forte pollution organique et minérale du lixiviat. Toutefois, ces études n'ont pas quantifié les teneurs en métaux lourds et en microorganismes pathogènes des lixiviats.

Par ailleurs, dans la vie d'une décharge, deux événements importants peuvent se produire : une courte période de décomposition aérobie et une longue période de décomposition anaérobie. Cette dernière se fait en deux phases, une phase acide suivie de la phase de méthanisation (Erses et al., 2005). Le CO<sub>2</sub> et le méthane sont les principaux produits de ces différents processus (Robinson et al., 2003). Ces produits sont des gaz à effet de serre, participant au réchauffement global de la planète. Ce réchauffement, qui est responsable de microclimats, peut avoir des impacts négatifs sur la santé humaine (Zahrani, 2006 ; OMS/Climat et Santé, 2007).

Ce travail a pour objectif de caractériser la pollution chimique et microbiologique de l'environnement de la décharge d'Akouédo. Il s'agit en particulier, (1) de connaître la charge microbienne et les concentrations de métaux lourds dans les lixiviats, (2) de connaître le niveau de contamination du sol de la décharge et (3) de caractériser la composition du biogaz émanant de cette décharge.

## MATERIEL ET METHODES

### Site d'étude

La zone d'étude est la zone d'Akouédo située au Nord-Est de la ville d'Abidjan, dans la commune de Cocody, entre 396 000 m et 400 000 m en abscisse et entre 588 000 et 594 000 en ordonnées dans le référentiel UTM, fuseau 30. Elle comprend des villages et certains quartiers résidentiels périphériques de la commune de Cocody et la décharge municipale de la ville d'Abidjan (Figure 1). Cette décharge a été construite depuis 1965 et s'étend sur une superficie de 153 ha. Elle est située à mi-parcours de l'axe Abidjan-Bingerville, à 18 km du centre ville. Elle est classée au rang des décharges sauvages (Kouadio et al., 2000) et occupe un talweg dont le drainage naturel se fait vers la lagune Ebrié (baie de M'Badon), à moins de 2,1 km (Kouamé, 2007).

### Caractérisation du niveau de pollution physico-chimique et microbiologique de l'environnement de la décharge d'Akouédo

La caractérisation de la pollution de l'environnement d'Akouédo a consisté à analyser quantitativement les nutriments, les métaux lourds et les germes de pollution dans les lixiviats ainsi que les métaux lourds dans le sol. Les échantillons de sol ont été prélevés à la surface du sol et à environ 1,35 m de profondeur sur un même profil, à l'aide d'une tarière. Cette profondeur correspondant au premier changement de couleur. Au total 5 profils ont été réalisés. Les échantillons de lixiviats ont été prélevés sur le site de la décharge, dans la zone de confinement des lixiviats (marre de lixiviats) et à la zone de déversement du lixiviat dans la lagune Ebrié (baie de M'Badon) (Figure 1). Les échantillons prélevés ont été conservés dans une glacière et transférés au laboratoire où ils ont été réfrigérés à 4 °C pendant 24 heures avant d'être analysés. La composition de gaz émanant de la décharge a également été mesurée pendant la grande saison des pluies (début mai à mi-juin). Le choix des paramètres se justifie par le fait que les nutriments, notamment les composés azotés et phosphorés peuvent être nuisibles pour le milieu aquatique à travers l'eutrophisation et l'asphyxie des plans d'eau. Ils peuvent aussi

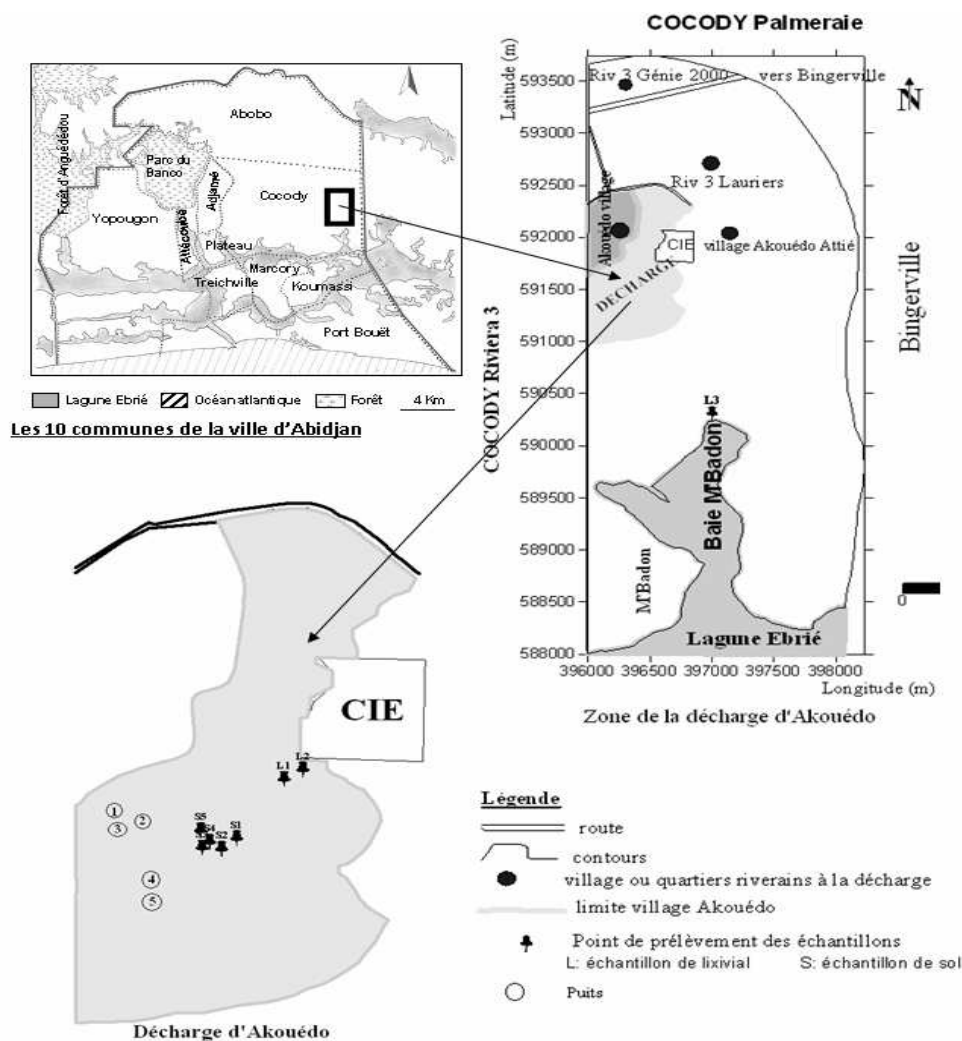


Figure 1. Présentation de la zone d'étude et des points de prélèvement des échantillons

polluer les eaux souterraines et présenter des risques pour la santé, notamment les composés azotés. Les métaux lourds par contre sont reconnus toxiques pour l'homme et pour bon nombre d'organismes vivants.

Aussi les gaz émanant des décharges, en particulier le méthane (CH<sub>4</sub>) et le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) sont-ils de puissants gaz à effet de serre.

Les coordonnées des différents points de prélèvement et de mesure de l'émanation du biogaz ont été relevées à l'aide d'un GPS (Global Positioning System) de marque Garmin.

### Analyse de métaux lourds dans le sol et dans les lixiviats

Les analyses de sol ont porté sur un échantillon moyen; c'est-à-dire sur l'échantillon obtenu après mélange à proportions identiques de différents échantillons de sol. L'analyse des lixiviats a porté également sur un échantillon moyen obtenu après mélange à proportions identiques des lixiviats du même site. Le dosage des métaux (Fe, Cd, Cu, Zn, Mn, Pb, Hg, Cr, Mg) a été effectué avec un spectrophotomètre d'absorption atomique (AAS) de type SHIMADZU UV-160A après une minéralisation acide des échantillons au four

graphique pour le mercure et à la flamme pour les autres métaux (CEAE-Québec, 2006).

#### **Analyse chimique et microbiologique du lixiviat**

L'ammoniac a été dosé par la méthode de détection de gaz électrochimique. Les nitrates, les nitrites et les sulfates ont été dosés par chromatographie ionique ; les phosphates par colorimétrie automatisée et les hydrocarbures par fluorescence X. Les sulfures ont été déterminés en utilisant la méthode iodométrique standard. La DCO a été mesurée par oxydation au bichromate et la DBO<sub>5</sub> par dilution (CEAE-Québec, 2006). Les indicateurs de germes pathogènes, coliformes fécaux (CF) et streptocoques fécaux (SF) ont été déterminés par la technique de filtration sur membrane après dilution jusqu'aux 1/100 000<sup>ème</sup>. Les CF ont été cultivés sur un milieu gélose lactosé au TriphénylTétrazolium de Chlorure (TTC) 1‰ et Tergitol 7 et les SF sur un milieu d'enrichissement sélectif, le milieu Rothe. Ils ont été mis à l'étuve respectivement à 37 °C pour les CF et 44 °C pour les SF pendant 24 heures. En ce qui concerne les SF, les tubes présentant un trouble bactérien après incubation ont été soumis à un test de confirmation à l'aide du bouillon Litsky. Le milieu de Litsky est un milieu de Rothe additionné d'éthyl-violet. Pour le dénombrement des CF et SF, nous avons utilisé la table de Mac Grady (Marchal et al., 1991 ; Joffin et al., 1999). Le pH et les températures ont été relevés *in situ* à l'aide d'un pH-mètre de marque WTW. Le débit d'écoulement du lixiviat en aval de la décharge a été également jaugé à l'aide d'un Moulinet courantomètre mécanique.

#### **Analyse de la composition du biogaz**

Pour la mesure de l'émanation naturelle de biogaz, trois puits de captage ont été forés avec une tarière de 254 mm ayant une capacité de forage de 18 m. Ils ont été équipés de tuyaux en PVC de 102 mm de diamètre, crépinés à la base sur une longueur de 6 m. Les têtes de puits ont été étanchéisées avec de la bentonite. Chaque puits a été muni d'une vanne de contrôle. Un réseau de collecte a été installé, reliant chaque puits à un point central (appareil de mesure) et aux

équipements de pompes (aspirateur de gaz). Deux autres puits de sondage, ont été forés entre les puits de captage et la zone récente d'enfouissement (puits n° 4 et 5) (Figure 1). L'appareil de mesure donne les différentes proportions de gaz émanant de chaque puits.

## **RESULTATS**

### **Caractérisation de la pollution chimique et microbiologique**

Le rejet liquide en aval de la décharge génère un débit important (474 m<sup>3</sup>/j) et a un pH basique (Tableau 1). Les concentrations en ammonium, nitrates, phosphates et sulfates dans les lixiviats sont élevées par rapport aux normes de rejet du Centre Ivoirien Antipollution (CIAPOL), aussi bien au niveau de la décharge qu'au niveau de la baie. Les concentrations les plus élevées s'observent au niveau de la décharge. En revanche, le lixiviat est pauvre en métalloïde et en éléments trace. Le sol de la décharge présente par ailleurs de fortes concentrations en métaux lourds.

On détecte la présence de sulfures dans les lixiviats, mais en faible concentration.

La demande chimique en oxygène et la demande biochimique en oxygène restent relativement élevées. Le rejet est également riche en éléments azotés.

Au niveau microbiologique, on observe une forte contamination microbienne du rejet liquide par les coliformes fécaux, les streptocoques fécaux et les Clostridium perfringens, responsables de maladies entériques. Toutefois, la contamination en streptocoque décroît de la décharge à l'embouchure, contrairement aux coliformes fécaux et aux Clostridium perfringens dont les concentrations au niveau de l'embouchure sont supérieures à celles de la décharge. Les charges microbiennes demeurent élevées par rapport aux normes du CIAPOL pour la qualité microbiologique des eaux de rejets fixées à 2000/100 mL pour les coliformes fécaux et à 1000/100 mL pour les streptocoques fécaux.

Outre la pollution des sols, induite par le lixiviat qui suinte de l'amoncellement des déchets, la décharge génère également du biogaz.

**Tableau 1:** Caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques du sol et des lixiviats au niveau de la décharge d'Akouédo et de la baie de M'Badon (Abidjan, Côte d'Ivoire).

Paramètres	Décharge		Baie	Normes de rejet (Normes CIAPOL)
	Lixiviat	Sol	Lixiviat	
T (°C)	30,96	27,5	30,9	40
pH	8,03	7,77	8,28	6,5 - 8,5
	(mg/L)	(ppm)	(mg/L)	(mg/L)
Fe	7,46	6754,5	6,68	5
Cd	<0,02	9,87	<0,02	-
Cu	0,09	376,8	0,073	0,5
Zn	0,390	1250,55	0,283	2
Mn	0,213	65	0,131	1
Pb	<0,2	933,37	0,433	0,5
Hg		4,82		0,2
Cr	<0,09	73,5	<0,09	0,1
Mg	96,9		102,8	50
Na	1212,6		964,2	150
K	2474		2036	-
MES	518		340	100
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	564		108,3	↑ 10 (Azote minéral total) ↓
Nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	16		31	
Nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	612		55,7	
Phosphates (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	190		23,4	2
Sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	1350		1291	250
Sulfures (S <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	13		47	-
DCO	2195,2		2060,8	300
DBO <sub>5</sub>	878,1		842,3	100
<b>DCO/DBO<sub>5</sub></b>	<b>2,50</b>		<b>2,45</b>	<b>1,5</b>
Hydrocarbure	0,042		0,022	10
NTK	1316		616	15
<b>nombre de germes/100ml de lixiviats</b>				
Coliformes fécaux	610.10 <sup>6</sup>		900.10 <sup>6</sup>	2000
Streptocoques fécaux	15.10 <sup>6</sup>		865 000	1000
Clostridium perfringens	2 500		3 200	-
<b>Débit de rejet du lixiviat dans la baie:</b>			<b>474 m<sup>3</sup>/j</b>	<b>350 m<sup>3</sup>/j</b>

CIAPOL : Centre Ivoirien Antipollution ; (-) : Indique l'absence de norme CIAPOL

**Caractérisation du biogaz émanant de la décharge**

Les gaz qui émanent de la décharge sont composés essentiellement de méthane (CH<sub>4</sub>), de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et d'azote (N<sub>2</sub>) (Tableau 2). Le méthane est le gaz prédominant dans les dépôts anciens, suivi du

dioxyde de carbone. Ces deux gaz constituent les deux principaux gaz qui émanent de la décharge et représentent 99,43% de l'émanation totale de gaz dans les dépôts anciens.

Dans les dépôts récents, bien que le méthane et le dioxyde de carbone demeurent

**Tableau 2:** Composition du biogaz à la décharge d'Akouédo (Abidjan, Côte d'Ivoire).

N° Puits	Emanation naturelle				
	% CH <sub>4</sub>	% CO <sub>2</sub>	% O <sub>2</sub>	% N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> /CO <sub>2</sub>
<i>Dépôts anciens</i>					
1	69,0	30,9	0,0	0,1	2,23
2	71,2	28,7	0,0	0,1	2,48
3	72,6	26,5	0,1	0,8	2,74
<b>Moyenne</b>	<b>70,73</b>	<b>28,7</b>	<b>0,03</b>	<b>0,3</b>	<b>2,52</b>
<i>Dépôts récents</i>					
4	54	24,9	5,7	15,7	2,2
5	52,6	24,9	6,2	16,2	2,2
<b>Moyenne</b>	<b>53,3</b>	<b>24,9</b>	<b>5,95</b>	<b>15,95</b>	<b>2,2</b>
<b>Composés organiques volatiles (COV) (moyenne des 5 puits)</b>					
<b>Hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S)</b>			<b>moins de 2 ppm</b>		
<b>Chloroforme (CHCl<sub>3</sub>)</b>			<b>non détectable</b>		
<b>Chlorure de vinyle (CH<sub>2</sub>CHCl)</b>			<b>moins de 136 ppm</b>		
<b>Benzène (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)</b>			<b>traces</b>		
<b>Chlorure de méthylène (CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>)</b>			<b>non détectable</b>		

les deux gaz prédominants, leur proportion est relativement plus faible (78,2%) que celle obtenue dans les dépôts anciens.

En revanche, les proportions d'oxygène et d'azote sont plus importantes dans les dépôts récents.

Les concentrations des composés organiques volatiles, mesurés dans les 5 puits, sont respectivement de 136 ppm pour le chlorure de vinyle, moins de 1 ppm pour le H<sub>2</sub>S et des traces pour le benzène. Ces concentrations sont inférieures aux valeurs limites d'exposition de 3000 ppm (INERIS, 2003) pour le chlorure de vinyle et de 10 ppm (INRS, 2005) pour le H<sub>2</sub>S.

## DISCUSSION

Les paramètres mesurés *in situ* à savoir le pH et la température et les caractéristiques physico-chimique et microbiologique de l'environnement de la décharge d'Akouédo montrent que le lixiviat qui suinte de la décharge a un pH basique et une forte présence de sel alcalino-terreux (Mg) et alcalins (Na et K). Ce pH est semblable à ceux des lixiviats de la décharge sanitaire de Komurciioda, observés par Inanc et al. (2000). Ces valeurs sont conformes aux normes de rejet du CIAPOL. Leur caractère basique

pourrait être la conséquence des concentrations faibles de composés organiques volatiles.

En effet, pendant la phase acide, le lixiviat est généralement "jeune" et riche en polluants organiques et en composés organiques volatiles. Les fortes concentrations de composés organiques volatiles sont généralement obtenues pour des valeurs de pH inférieures à 4 (Tchobanoglous et al., 1993). Pendant la phase de méthanisation, les bactéries de la méthane-formation tels que les *Clostridium* dégradent les composés organiques volatiles et réduisent la force organique du lixiviat. La diminution de la concentration de composés organiques volatiles cause une montée de pH à 7 ou plus (Kjeldsen et al., 2002). La forte charge en *Clostridium* et donc de bactérie de la méthane-formation (sulfito-réducteurs) pourrait avoir pour conséquence la réduction de la durée de la phase acide et le maintien du lixiviat dans des conditions basiques.

Par ailleurs, la concentration de métaux lourds dans le lixiviat est fonction du complexe formé avec les matières organiques, le pH et l'espèce du carbonate en solution. La concentration de métaux lourds augmente avec de faibles valeurs de pH et baisse avec



des valeurs de pH élevées (Förstner et al., 1991). Le caractère basique du lixiviat d'Akouédo pourrait donc justifier les faibles concentrations en métalloïdes et en éléments trace obtenues dans les lixiviats. Une grande partie des métaux lourds pourrait être adsorbée sur les sédiments comme en témoignent les fortes valeurs de métaux lourds dans le sol du site de la décharge. En effet, l'enlèvement des métaux lourds par adsorption est rapporté dans la littérature comme dépendant du pH (Farrah et Pickering, 1977 ; Stumm et al., 1992). En milieu acide, l'efficacité de l'adsorption est réduite. En revanche, un environnement basique favorise la précipitation ou la fixation des métaux sur les sédiments.

La présence des ions  $H^+$  pendant la phase acide, crée une compétition entre ceux-ci et les ions métalliques pour la fixation sur la surface des sédiments chargée négativement (Bellir et al., 2005). À pH élevé, les métaux sont sous forme d'hydroxyde souvent chargés positivement ou neutres. Cette situation limite la compétition entre  $H^+$  et ions métalliques et favorise la précipitation ou l'adsorption des métaux sur les sédiments (Bhattacharya et al., 1984 ; Bencheikh-Lehocine et al., 2003 ; Bellir et al., 2005).

La fixation des métaux dans les sédiments a l'avantage de limiter leur migration vers les eaux de proximité et les nappes d'eau souterraine. Certains éléments tel que le chrome (Cr) peuvent toutefois changer de degrés d'oxydation, provoquant la réduction ou l'augmentation de leur mobilité et/ou de leur toxicité (Rollin et al., 2006). En effet, Kouamé et al. (2006b), en analysant la concentration des différents métaux sur un profil vertical du sol effectué sur le site de la décharge d'Akouédo, ont montré que le Cr était capable d'atteindre les nappes souterraines et contaminer les eaux de celles-ci.

Par ailleurs, les métaux et métalloïdes associés à la phase aqueuse des sols peuvent être transportés au travers de la Zone Non Saturée (ZNS) soit vers les plantes (Prasad, 1999 ; Eléna, 2001 ; Feix et al., 2005), soit vers la nappe d'eau souterraine (Anguela, 2004). Il est donc à redouter l'exposition des populations suite à la consommation des eaux de puits dans l'environnement d'Akouédo et

des produits maraîchers et vivriers cultivés sur le site de la décharge.

L'analyse de la charge microbienne du lixiviat, donne des charges élevées de coliformes fécaux, de streptocoques fécaux et de *Clostridium perfringens* tant au niveau de la décharge qu'au niveau de la baie. Ces charges sont largement supérieures aux normes ivoiriennes pour la qualité microbiologique des eaux de rejet fixées à 2000/100 mL pour les coliformes fécaux et à 1000/100 mL pour les streptocoques.

Cette charge microbienne élevée, d'origine fécale, est préjudiciable pour la santé des populations riveraines consommatrices des produits de pêche des eaux de proximité et des produits vivriers et maraîchers cultivés sur le site.

Par ailleurs, la pollution chimique des eaux de la baie de M'Badon pourrait avoir une composante minérale très élevée. La concentration de phosphates dans le lixiviat est élevée (190 mg/L), supérieure aux 2 mg/L recommandées par le CIAPOL. Cette forte concentration de phosphate pourrait être due au relargage en solution du phosphore présent dans les sédiments et dans les débris organiques (Hammer, 1989). La concentration d'ammonium dans les eaux du lixiviat demeure également élevée. Le rejet est également riche en éléments azotés (nitrites et nitrates). Tout ceci confirme la forte pollution minérale des eaux de proximité telle que mentionnée par Kouadio et al. (2000) et Kouamé (2007).

La conséquence immédiate de ces fortes concentrations en éléments azotés et phosphatés est l'eutrophisation accélérée du plan d'eau lagunaire (lagune Ebrié).

Par ailleurs, la mesure de l'émanation naturelle du biogaz donne des proportions élevées de méthane et de  $CO_2$ . Ces deux gaz sont des gaz à effet de serre participant au réchauffement global de la planète (Dessus et al., 2008). Leurs proportions dominantes parmi les gaz émanant de la décharge d'Akouédo, et plus élevées dans les dépôts anciens (70,73% pour le méthane et 28,7% pour le  $CO_2$ ), indiquent que la décharge d'Akouédo est une importante source de production de gaz à effet de serre, avec une prédominance pour le méthane.

Rappelons que le biogaz contient principalement du méthane et du CO<sub>2</sub>, mais il peut contenir également des composés soufrés (H<sub>2</sub>S, mercaptans), des composés azotés (ammoniacque), de l'hydrogène et des produits intermédiaires de fermentation (alcools, acides, esters) (Servais, 2001 ; Afsset, 2008). La proportion de ces deux gaz dépend de la nature du substrat, et précisément de la proportion carbone - hydrogène - oxygène - azote (CHON). Par exemple, un substrat riche en C et H produit une forte proportion de méthane, jusqu'à 90%. Un substrat moyennement riche, comme la cellulose, produit un biogaz contenant typiquement 55% de méthane et 45% de gaz carbonique.

Le rapport CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>, indicateur du déroulement de la fermentation, est généralement très stable dès lors que la fermentation est bien établie. Il est de 1,3 à 1,4, caractéristique de déchets composés principalement de cellulose (Servais, 2001).

En ce qui concerne la décharge d'Akouédo, ce rapport, qui est supérieur à 2, confirme non seulement la grande capacité de la décharge à produire le méthane (volume CH<sub>4</sub> > 2 volume CO<sub>2</sub>), mais indique également que le déroulement de la fermentation au sein de la décharge est bien établie. La prédominance de l'émanation du méthane s'avère inquiétante dans la mesure où, en plus d'être un gaz extrêmement inflammable, son potentiel de réchauffement global est 21 fois celui du CO<sub>2</sub> (Dessus et al., 2008). Cependant, il existe peu d'études statistiques fiables reliant des pathologies définies, à des variations extrêmes des conditions climatiques. La seule prévision médico-météorologique qui paraisse confortée par de nombreuses études concerne l'infarctus du myocarde, dont l'incidence est fonction des zones climatiques : il est beaucoup plus fréquent en période hivernale dans les régions très froides ou froides, et en été sous les climats chauds (Groupe de réflexion Académie et conseil économique et social, 2006).

L'émanation de l'azote est également plus importante dans les sites de dépôts récents. En effet, les déchets ont une grande capacité à convertir le nitrate ou le nitrite en azote gazeux (dénitrification) sous l'action de micro-organismes (Vassilia et al., 2006). Dans

la plupart des réactions, les nitrites ont une dénitrification rapide et plus complète que les nitrates (Vassilia et al., 2006). Ce qui pourrait expliquer les faibles concentrations de nitrites obtenues dans les lixiviats d'Akouédo.

### Conclusion

Cette étude a montré que l'environnement de la décharge d'Akouédo présente un niveau de pollution élevé.

La composante chimique de cette pollution se caractérise par de fortes concentrations en composés azotés et phosphatés dans les lixiviats et de fortes concentrations en métaux lourds dans le sol. Le pH basique des lixiviats pourrait favoriser les phénomènes d'adsorption des métaux lourds.

La composante microbiologique se caractérise par de fortes charges en coliformes fécaux et en streptocoques fécaux.

Le biogaz émanant de la décharge se compose essentiellement de CH<sub>4</sub> (70%) et de CO<sub>2</sub> (29%). Le taux de production du CH<sub>4</sub> par rapport au CO<sub>2</sub> est élevé et supérieur à 2. Ce qui traduit l'anoxicité de la décharge et sa grande capacité à produire le méthane. La décharge d'Akouédo constitue de ce fait, un important puits de gaz à effet de serre.

Un complément indispensable à cette étude chimique et microbiologique serait de déterminer l'impact de cette pollution sur la santé des populations riveraines et sur la biocénose aquatique des eaux environnantes.

### REMERCIEMENTS

Nous adressons nos sincères remerciements au Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics (LBTP) de Côte d'Ivoire pour son appui technique dans la réalisation des puits, au Directeur général du groupe EOULEE pour son appui financier et matériel.

### REFERENCES

- Afsset. 2008. Evaluation des risques sanitaires liés à l'injection de biogaz dans le réseau de gaz naturel. Rapport d'expert, France, 185p.
- Anguela TP. 2004. Etude du transfert d'eau et de solutés dans un sol à nappe superficielle drainée artificiellement. Thèse de Doctorat, Ecole Nationale du



- Génie Rural, des Eaux et Forêts (ENGREF), France, 188p.
- Attahi K. 2002. *La Gestion des Déchets Urbains, des Solutions pour l'Afrique*. CRDI/Editions Karthala: Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Bellir K, Bencheikh-Lehocine M, Meniai AH, Gherbi N. 2005. Study of the retention of heavy metals by natural material used as liners in landfills. *Desal.*, **185**: 111–119.
- Bencheikh-Lehocine M, Arris S, Meniai A-H, Morcellet M, Bacquet M, Martel B, Mansri A. 2003. Study and identification of retention process of heavy metals by adsorption on agricultural by-products. *Eng. Life. Sci.*, **3**: 351–360.
- Bhattacharya AK, Venkobachar C. 1984. Removal of Cd (II) by low cost adsorbents. *J. Environ. Engineering. ASCE.*, **110**: 110-122.
- CEAE-Québec (Centre d'Expertise en Analyse Environnementale-Québec). 2006. *Méthodes d'analyse chimiques inorganiques*. Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs.
- Dessus B, Laponche B, Le Treut H. 2008. Réchauffement climatique: importance du méthane. Rapport d'étude CNRS, France, 7p.
- Eléna N, Denis Z. 2001. Evaluation du risque pour la santé lié aux émissions atmosphériques des incinérateurs soumis aux nouvelles valeurs limites de l'Union Européenne. Rapport final, Institut Universitaires d'Hygiène et de Santé Publique, France, 23p.
- Erses SA, Mohammad FA, Turgut OT, William CH. 2005. Determination of solid waste sorption capacity for selected heavy metals in landfills. *J. Haz. Mat. B*, **121**: 223–232.
- Farrar H, Pickering WF. 1977. Influence of clay solute interactions on aqueous heavy metal ion levels. *Water, Air, Soil Pollut.*, **8**:189-197.
- Feix I, Tremel-Schaub A. 2005. *Contamination des Sols - Transferts des Sols vers les Plantes*. Edp Sciences; 413p.
- Förstner U, Colombi C, Kistler R. 1991. In *Metals and Their Compounds in the Environment, Dumping of Wastes*, E. Merian (ed). VCH Publishers Inc.: New York; 333-355.
- Groupe de Réflexion Académie et Conseil Economique et Social. 2006. Partager la connaissance et ouvrir le dialogue : le changement climatique. I-Marginal, 30p. <http://www.changement-climatique.fr>, consulté le 16/09/2008.
- Hammer DA. 1989. *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, Municipal, Industrial and Agricultural Use*. Lewis Publishers: Chelsea; 831p.
- Inanc B, Calli B, Saatci C. 2000. Characterization and anaerobic treatment of the sanitary landfill leachate in Istanbul. Anaerobic digestion of solid waste. *Wat. Sci. Technol.*, **41**: 223–230.
- INERIS. 2003. Emission accidentelle de substances chimiques dangereuses dans l'atmosphère : Seuil de toxicité aiguë-Chlorure de vinyle. Rapport d'étude, France. <http://www.ineris.fr>, consulté le 16/09/2008.
- INRS. 2005. *Recommandation R420* (1<sup>ère</sup> édition). Impression Corlet (14) : France.
- Joffin C, Joffin J-N. 1999. *Microbiologie Alimentaire* (5<sup>ème</sup> éd.). Collection Biologie Technique ; 117-185.
- Kjeldsen P, Barlaz MA, Rooker AP, Baun A, Ledin A, Christensen TA. 2002. Present and long-term composition of MSW landfill leachate. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, **32**(4): 297–336.
- Kouadio G, Dongui B, Trokourey A. 2000. Détermination de la pollution chimique des eaux de la zone de la décharge d'Akouédo (Abidjan-Côte d'Ivoire). *Rev. Sci. Tech. – ENS-CI*, Série A(01): 92p.
- Kouamé IK, Goné D L, Savané I, Koffi K, Lobassé EK, Diallo M. 2006a. Caractérisation physico-chimique des eaux de forages du champ captant Nord Riviéra au voisinage de la décharge d'Akouédo (Abidjan-Côte d'Ivoire). *Rev. SN.*, **3**(2): 199-213.
- Kouamé IK, Goné D L, Savané I, Kouassi EA, Koffi K, Goula BTA, Diallo M. 2006b. Mobilité relative des métaux lourds issus de la décharge d'Akouédo et risque de contamination de la nappe du continental terminal (Abidjan - Côte d'Ivoire). *Rev. AS.*, **02**(1): 39-56.

- Kouamé IK. 2007. Caractérisation de la pollution physico-chimique des eaux dans la zone d'Akouédo et étude du risque de contamination de la nappe d'Abidjan par un modèle de simulation des écoulements et du transport des polluants. Thèse de Doctorat, Université d'Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire, 212p.
- Marchal N, Bourdon JL, Richard CI. 1991. *Les Milieux de Culture pour l'Isolement et l'Identification Biochimique des Bactéries* (nouvelle éd.). Biologie Appliquée; 200-239.
- Mwiganga M, Kansiiime F. 2005. The impact of Mpererwe landfill in Kampala-Uganda, on the surrounding environment. *PCE*, **30**: 744-750.
- OMS/Climat et Santé. Octobre 2007. *Aide Mémoire N° 266*. WHO Media Centre, OMS: Genève.
- Prasad MNV, J Hagemeyer. 1999. *Heavy Metal Stress in Plants*. Eds; 401p
- Robinson A, Sewell G, Damodaran N, David E, Kalas AN. 2003. Landfills in developing countries and global Warning. 9<sup>th</sup>. International Waste Management and Landfill Symposium: Sardinia.
- Rollin C, Quiot F. 2006. Eléments traces métalliques, guide méthodologique : recommandation pour la modélisation des transferts des éléments traces métalliques dans les sols et les eaux souterraines. Rapport d'étude INERIS, France, 119p.
- Sané Y. 2002. La gestion des déchets à Abidjan : un problème récurrent et apparemment sans solution. *AJEAM/RAGEE*, **4**(1): 13-22.
- Servais C. 2001. Dossier Biogaz. *Energie Plus*, Suppl. n° 268.
- Stumm, W. 1992. *Chemistry of the Solid-Water Interface*. John Wiley & Sons, Inc.: New York; 21-34, 229-232.
- Tchobanoglous G, Theisen H, Vigil S. 1993. *Integrated Solid Waste Management*. McGraw-Hill International Edition: New York; 978p.
- Vassilia V, Ponthieu M, Giulia B, Jean-Marc A, Christian D, Laurent M, Nicolas B, Theodore B. 2006. Nitrate and nitrite injection during municipal solid waste anaerobic biodegradation. *Was. Man.*: 14.
- Zahrani F. 2006. Contribution à l'élaboration et validation d'un protocole d'audit destiné à comprendre les dysfonctionnements des centres de stockage des déchets (CSD) dans les pays en développement. Applicable à deux CSD: Nkolfoulou (Cameroun) et Essaouira (Maroc). Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Lyon, 269p.