



**Original Paper**

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

## **Aldicarbe et crimidine dans les eaux et les sédiments aux alentours de la décharge municipale d'Akouédo (Abidjan, Côte d'Ivoire) : niveaux et fréquences de contamination**

Urbain Paul GNONSORO<sup>1,2</sup>, Koffi Marcellin YAO<sup>2\*</sup>, Brou Lazare YAO<sup>3</sup>,  
N'guessan Louis Bérenger KOUASSI<sup>2</sup>, Ardjouma DEMBELE<sup>3</sup>,  
Soro Bernard METONGO<sup>2</sup>, Aka Marcel KOUASSI<sup>2</sup> et Albert TROKOUREY<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université Félix Houphouët Boigny, Laboratoire de Chimie physique, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire.

<sup>2</sup> Centre de Recherches Océanologiques (CRO), BP V18 Abidjan, Côte d'Ivoire.

<sup>3</sup> Laboratoire Central d'Agrochimie et d'Ecotoxicologie (LCAE), 04 BP 612 Abidjan 04, Côte d'Ivoire.

\* Auteur correspondant ; E-mail : [markcelklindr@gmail.com](mailto:markcelklindr@gmail.com); Tel. : (+225) 44144234

### **RESUME**

En Afrique, plusieurs familles de pesticides, susceptibles de nuire à la santé de l'homme et de l'environnement, sont utilisées contre les pestes et autres nuisibles. Cependant, la plupart des études menées se sont focalisées sur les organochlorés. La fréquence de détection et les concentrations des pesticides aldicarbe et crimidine ont été examinées dans les eaux et les sédiments autour de la décharge municipale d'Akouédo (Côte d'Ivoire). Les analyses ont été effectuées de juin 2013 à janvier 2014 par chromatographie liquide à haute performance couplée à la méthode de détection par fluorescence, après une extraction liquide/liquide des eaux, et une extraction au Soxhlet des sédiments. Les résultats ont montré une contamination significative des sédiments par l'aldicarbe et la crimidine à des fréquences de détection très élevées, contrairement aux eaux lagunaires et souterraines. Les concentrations ont été significativement plus élevées pendant la saison des crues dans les eaux et pendant la saison des pluies dans les sédiments. Ces résultats suggèrent que la crimidine est utilisée ou rejetée de façon illégale dans la zone d'étude, et que les niveaux de concentration de la crimidine et de l'aldicarbe dans la baie de M'Badon peuvent causer des risques de santé pour certains organismes aquatiques et les populations.

© 2016 International Formulae Group. All rights reserved.

**Mots clés :** Pesticides; lixiviat, estuaire, lagune Ebrié, Côte d'Ivoire.

### **Aldicarb and crimidine in waters and sediments in the vicinity of the Akouédo municipal dumping site (Abidjan, Cote d'Ivoire): concentrations and detection frequencies**

#### **ABSTRACT**

The impact of pesticides on environmental quality is of great concern in many developing countries. However, data on pesticide contamination levels in African estuaries has mainly focused on organochlorine compounds, although some among other pesticide families are able to persist in water for several days and pose

toxicological risks to humans and wildlife. This study assessed the detection frequency and concentration levels of aldicarb and crimidine residues in waters and sediments (from leachate, pits, and M'Badon Bay) around the municipal dumping site of Akouédo (Abidjan, Ivory Coast). Samples were analyzed by the HPLC-fluorescence detector method after liquid/liquid and soxhlet extractions of waters and sediments, respectively, from June 2013 to January 2014. The results showed significant contamination of sediments by the aldicarb and the crimidine, with detection frequencies up to 100% during the wet season. The highest pesticide concentrations in waters and sediments were observed during the flooding season and the wet season, respectively. The aldicarb and crimidine concentrations were significantly higher in sediments than waters, although they are highly soluble in water. The results suggest that the crimidine is illegally used or disposed of in Abidjan area, and that aldicarbe and crimidine concentration levels could pose health risks to biota.

© 2016 International Formulae Group. All rights reserved.

**Keywords:** Pesticides; leachate, estuary, Ebrié Lagoon, Ivory Coast.

## INTRODUCTION

Les pesticides sont des composés généralement synthétisés par l'homme pour lutter contre les pestes. Ces substances sont caractérisées par une variété de structures chimiques, de groupes fonctionnels et d'activités ou mode d'action que leur classification est complexe. Ainsi, selon leur cible biologique, les pesticides sont classés en plusieurs familles parmi lesquels figurent les insecticides, les nématicides (contre les nématodes), les herbicides, les fongicides (contre les champignons) et les rodenticides. Selon leurs structures chimiques ou groupes fonctionnels, l'on distingue aussi plusieurs familles dont les plus célèbres sont en autres, les organochlorés, les organophosphorés, les carbamates, les pyréthriinoïdes, les neonicotinoïdes, les hydroxy-4 coumarines, l'indane-dione, les phenylurées et les triazines. La plupart des pesticides toxiques et non biodégradables sont de plus en plus remplacés par ceux qui sont moins toxiques et biodégradables (Bocquené et Franco, 2005).

En Afrique subsaharienne, le climat tropical est favorable à l'agriculture, mais aussi au développement des nuisibles et pestes qui réduisent significativement le rendement de la production agricole. A cela s'ajoutent la croissance exponentielle de la population, l'urbanisation accélérée sinon anarchique et une relative mécanisation de l'agriculture. Tous ces faits ont contribué à l'utilisation anarchique des pesticides en Afrique de

l'Ouest (Biego et al., 2009 ; Afrane et Ntiamoah, 2011 ; Ardjouma et al., 2011; Hellar-Kihampa, 2011). Il est bien connu que les résidus de pesticides et métabolites peuvent être transportés des sources de contaminations vers les eaux souterraines et de surface à travers le ruissèlement des eaux, l'érosion des sols et causer des risques écologiques (Schulz, 2004 ; Shark et al., 2004 ; Hela et al., 2005 ; Boutron et al., 2011; Ouattara et al., 2012 ; Kalogridi et al., 2014 ). Cependant, les seules données disponibles sur la contamination des estuaires par les pesticides en Afrique se sont focalisées sur les organochlorés (Henry et Kishimba, 2003; EYA et al., 2006a, 2006b; Essumang et al., 2009 ; Koffi et al., 2009 ; Fianko et al., 2013; Okoya et al., 2013 ; Kouakou et al., 2015) et les organophosphorés (Paré et al., 2013), bien que les autres familles de pesticides puissent causer des dangers pour la santé de l'homme et de l'environnement (Charlier et Plomteux, 2001 ; Blacker et al., 2010; Ardjouma et al., 2011 ).

La présente étude a pour objectifs d'examiner la fréquence d'apparition, le niveau de contamination et les variations saisonnières de la crimidine et de l'aldicarbe dans les sédiments, le lixiviat, les eaux souterraines et lagunaires aux alentours de la décharge municipale d'Akouédo (Abidjan, Côte d'Ivoire). La crimidine (2-chloro-4-dymethylamino-6-methylrimidyne) est un rodenticide convulsant de la famille des

triméthylpyrimidin-4-amine à usage domestique (extrêmement toxique) qui fait l'objet d'une réglementation stricte, voire une interdiction, visant à limiter les risques toxiques chez l'homme à travers le monde (Gamelin et Harry, 2005). Son usage dans l'agriculture est interdit en Côte d'Ivoire. L'aldicarbe (2-méthyl-2-(méthylthio)propionaldéhyde *o*-(méthylcarbonyl)oxyme) est un carbamate très toxique (Gamelin et Harry, 2005) utilisé comme insecticide, acaricide, mais surtout comme nématicide (dans les plantations de palmier à huile, ananeraies et bananeraies) en Côte d'Ivoire et vendu sous le nom Temik® (ISYSPHYT, 2009). L'intérêt de cette étude est de contribuer à combler le manque de données sur les concentrations de l'aldicarbe et la crimidine dans les eaux de la zone d'Akouédo, vu leur haut degré de toxicité pour l'homme et la faune.

## MATERIEL ET METHODES

### Sites d'échantillonnage

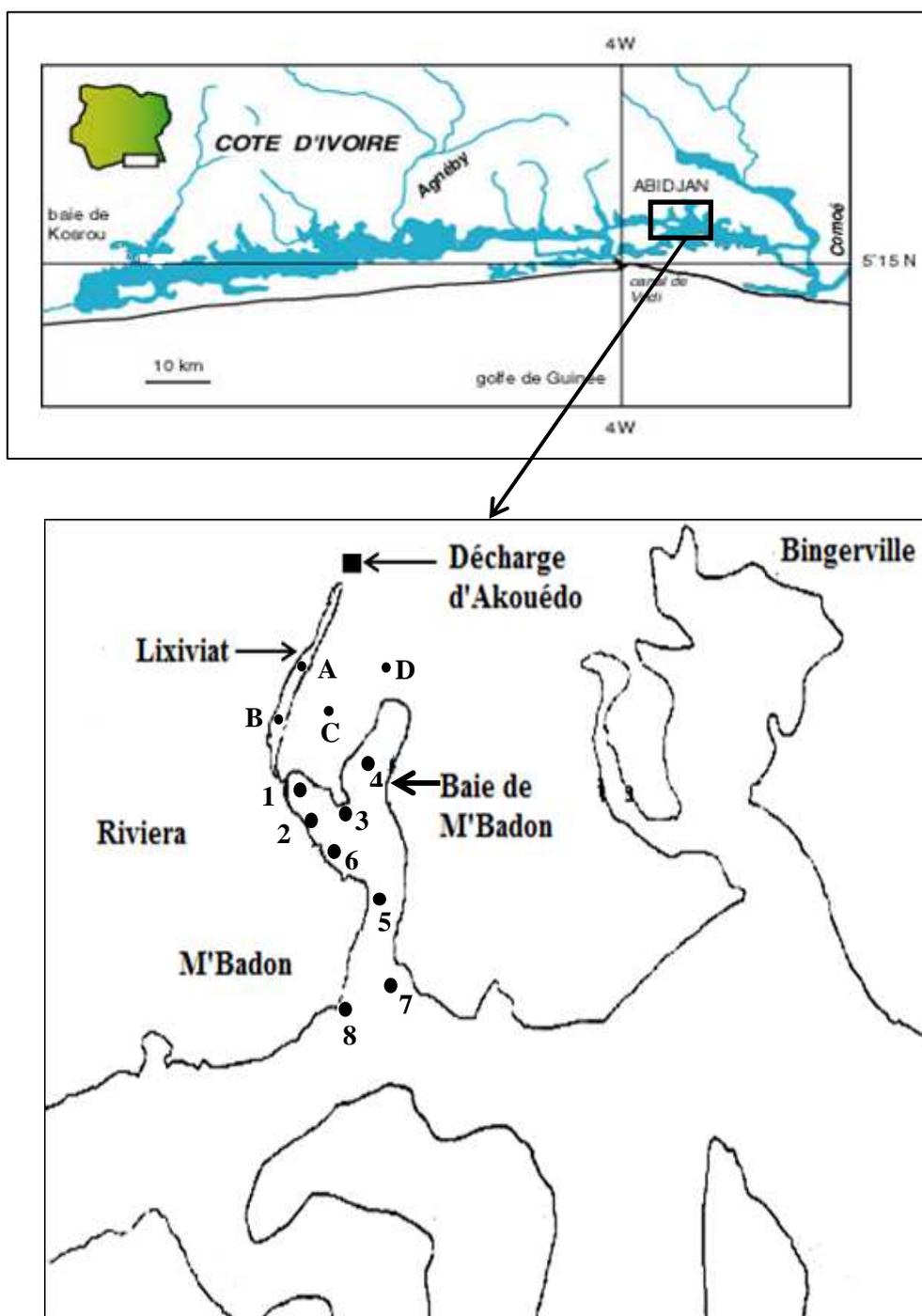
La décharge municipale d'Akouédo est localisée à l'Est de la ville d'Abidjan (5°25' Nord, 4°2' Ouest). Abidjan est située au Sud-Est de la Côte d'Ivoire, dans le Golfe de Guinée et abrite approximativement 6 millions d'habitants d'après le recensement de 2014. Le lixiviat issu de cette décharge d'ordures s'écoule à travers une vallée vers la baie de M'Badon de la lagune Ebrié, ce qui peut présenter un risque écologique. Pour mieux cerner le niveau de contamination des eaux et des sédiments par l'aldicarbe et la crimidine dans l'environnement de la dite décharge, deux points de prélèvements ont été choisis dans le lixiviat (A et B) et huit points dans la baie de M'Badon (1 à 8). Des échantillons d'eau souterraine ont également été prélevés dans deux puits (C et D) aux abords de l'écoulement du lixiviat dans la vallée. Les sites d'échantillonnage sont présentés dans la Figure 1.

### Méthodes d'échantillonnage

L'échantillonnage des eaux lagunaires a été réalisé à l'aide d'une bouteille Niskin, tandis que pour l'échantillonnage des eaux du lixiviat et des eaux de puits, une puisette a été employée. Environ 68 échantillons d'eau de surface de 1 L chacun ont été collectés pendant 8 mois (de juin 2013 à janvier 2014) dans des bouteilles en téflon, gardés immédiatement à 4 °C dans une glacière et transportés au laboratoire pour analyse. Les sédiments de surface ont été prélevés et traités selon UNEP (2006). Trente-six (36) échantillons de sédiments de surface ont été aussi prélevés à l'aide d'une benne de type Van Veen, puis enveloppés dans des feuilles d'aluminium, gardés dans des sacs plastiques et transportés au laboratoire (Kishimba et Mihale, 2004). Au laboratoire, les échantillons d'eau ont été gardés au frais (4 °C), tandis que les sédiments ont été stockés dans des boîtes en aluminium à -20 °C jusqu'aux analyses.

### Analyses chimiques

Les pesticides aldicarbe et crimidine ont été extraits des échantillons d'eau et de lixiviat par Extraction Liquide Liquide (LLE) suivant la méthode adoptée par l'US EPA 3510C. Cette méthode a été décrite par Dasgupta et al. (2011). La procédure d'extraction a consisté à extraire les pesticides de 500 mL d'eau à l'aide 3 x 50 mL de dichlorométhane (Prolabo, France) dans une ampoule à décanter. Les extraits combinés ont été ensuite séchés avec du sulfate de sodium anhydre et concentrés à environ 30 mL à l'évaporateur rotatif à 50 °C, où 10 mL ont ensuite été évaporés à sec. Le résidu a ensuite été récupéré avec 10 mL d'hexane (Scharlau, France) et purifié sur cartouche C<sub>18</sub> (Interchim, France) avant analyse par chromatographie liquide à haute performance (Schimadzu LC-20 AT, Japon).



**Figure 1:** Sites d'échantillonnage du lixiviat et de la baie de M'Badon. Stations A et B : stations de prélèvement du lixiviat d'Akouédo ; Stations C et D : stations de prélèvement des eaux de puits ; Stations 1 à 8 : stations de prélèvement des eaux lagunaires de la baie de M'Badon.

Dix grammes de sédiments lyophilisés, ont été écrasés, homogénéisés et mélangés à 5 g de sulfate de sodium anhydre. Les pesticides ont été ensuite extraits du mélange obtenu par extraction au soxhlet pendant 16 h (Ma et al., 2015). L'extrait a été ensuite filtré sur 15 g de sulfate de sodium anhydre, concentré à l'évaporateur rotatif à 50 °C et purifié comme décrit précédemment pour les échantillons d'eau et analysé par chromatographie liquide à haute performance (CLHP).

L'appareil de chromatographie liquide à haute performance était muni d'un détecteur à fluorescence et d'une colonne VP-ODS, de 154 mm de longueur et 4,6 mm de diamètre interne avec une pré-colonne de grade de 10 x 4,6 mm. La phase mobile utilisée était constituée d'un mélange d'acétonitrile (A) et d'eau ultrapure (E) (acétonitrile/eau (2/8)) avec un débit de 1 mL/min et la température de la colonne est de 40 °C. Les injections sont effectuées avec un injecteur automatique et le volume d'injection est de 20 µL. La limite de détection de l'aldicarbe et la crimidine était de 2 µg/kg dans les sédiments, et de 6 ng/L dans les échantillons d'eau.

Les taux de recouvrement des pesticides (aldicarbe et crimidine) par les méthodes d'extraction employées ont été estimés par différence entre les concentrations des échantillons préparés à partir de solutions de référence fournies par Dr. Ehrenstorfer GmbH (Ausborg, Allemagne) et les concentrations obtenues après extraction et lecture par CLHP. Les taux obtenus variaient entre 76 à 91%, avec une moyenne de 86% pour les eaux, tandis que pour les sédiments, les taux ont varié entre 63 et 76% avec une moyenne de 70%. Ces valeurs se situent dans la gamme d'acceptabilité de 70-120% fixée par Hill (2000). Aussi, le taux de précision de la lecture en triple par CLHP était d'environ 6%.

## RESULTATS

### Concentrations de l'aldicarbe dans les eaux et les sédiments

Les niveaux de concentration de l'aldicarbe et de la crimidine dans les eaux (et

les sédiments) de lixiviat de la décharge municipale d'Akouédo, de puits et de lagune durant la période d'étude sont représentés dans le Tableau 1; L'aldicarbe a été détecté 1 fois sur 12 échantillons analysés, soit 8% dans les puits et le lixiviat, et 8 fois sur 44, soit 18% dans les eaux lagunaires. Les concentrations de l'aldicarbe ont varié de teneurs inférieures à la limite de détection (nd) à 740 ng/L dans le lixiviat et ont été de 30 ng/L dans les puits. Dans les eaux de la baie de M'Badon, les concentrations se sont situées dans la gamme inférieure à la limite de détection (nd) à 2340 ng/L avec une moyenne de  $501 \pm 741$  ng/L. Bien que la fréquence de détection de l'aldicarbe dans les eaux soit faible, les concentrations d'aldicarbe mesurées dans la lagune et le lixiviat sont très significatives. Aussi, les concentrations de l'aldicarbe ont été plus élevées dans les eaux lagunaires que dans les eaux de puits et du lixiviat.

Les variations saisonnières sont représentées dans le Tableau 2. Il ressort de ce tableau que les concentrations de l'aldicarbe dans les échantillons d'eau ont varié de façon notable entre les différentes saisons. En effet, aucune concentration de l'aldicarbe n'a été détectée dans les 12 échantillons d'eaux lagunaires, les 4 échantillons d'eaux de lixiviat et les 4 échantillons d'eaux de puits analysés pendant la saison des pluies. Il en a été de même pour la saison sèche, sauf que 3 sur 16 échantillons d'eaux lagunaires analysés ont été détectés, soit une fréquence de détection de 19%. En revanche, pendant la saison des crues (correspondant à la petite saison des pluies pour les eaux de surface), l'aldicarbe a été détecté à la fréquence de 31% dans les eaux lagunaires avec une concentration moyenne de  $702 \pm 940$  ng/L, et de 25% dans le lixiviat et les eaux de puits respectivement.

L'aldicarbe a été détecté à des fréquences très élevées dans les sédiments du lixiviat (87,5%) et de la lagune (57%) contrairement aux eaux (Tableau 1). Il apparaît aussi que l'aldicarbe a été plus fréquemment détecté dans les sédiments du lixiviat que dans les sédiments lagunaires. Les

concentrations de l'aldicarbe ont varié de nd à 64844 µg/kg avec une moyenne de 9279 ± 24501 µg/kg dans les sédiments du lixiviat, et de nd à 24912 µg/kg avec une moyenne de 1623 ± 5425 µg/kg dans les sédiments de la lagune (Tableau 1).

Le Tableau 2 montre aussi que l'aldicarbe a été détecté à des fréquences substantielles dans les sédiments du lixiviat et de la lagune pendant la saison des pluies et des crues. Cependant, les fréquences de détection et les concentrations les plus élevées de l'aldicarbe ont été relevées pendant la saison des pluies. En effet, les sédiments du lixiviat ont enregistré une concentration moyenne de 16229 ± 32409 µg/kg (à la fréquence de détection de 100%) pendant la saison des pluies contre 12 ± 16,8 µg/kg (à la fréquence de détection de 75%) pendant la petite saison des pluies. Concomitamment, il a été observé une concentration moyenne 2800 ± 7867 µg/kg (à la fréquence de détection de 75%) pendant la saison des pluies contre 111 ± 78,4 µg/kg (à la fréquence de détection de 50%) pendant la saison des crues dans les sédiments de la lagune.

#### **Concentrations de la crimidine dans les eaux et les sédiments**

Les concentrations de la crimidine dans le lixiviat, les puits et la baie de M'Badon sur toute la période d'étude sont représentées dans le Tableau 1. La crimidine n'a pas été détectée dans les échantillons d'eau de puits pendant les 8 mois d'échantillonnage. Par contre, la crimidine a été détectée à des concentrations significativement plus élevées dans les eaux lagunaires et dans le lixiviat par rapport à l'aldicarbe. La fréquence de détection dans le lixiviat a été respectivement de 33% et de 22% dans les eaux lagunaires et le lixiviat. Les concentrations ont varié de nd à 3310 ng/L dans le lixiviat et de nd à 16440 ng/L dans les eaux lagunaires avec des valeurs moyennes de 1166 ± 1101 ng/L et de 2889 ± 5119 ng/L, respectivement. La crimidine a été

plus fréquemment détectée dans le lixiviat que dans les eaux lagunaires.

La crimidine a été plus fréquemment détectée dans les sédiments du lixiviat sur toute la période d'étude avec une fréquence de 62%, que dans les sédiments lagunaires, où la fréquence a été de 57% (Tableau 1). Les concentrations de la crimidine dans les sédiments ont varié de nd à 47434 µg/kg dans les sédiments du lixiviat et de nd à 24912 µg/kg dans les sédiments lagunaires avec des moyennes respectives de 9494 ± 21209 µg/kg et de 2859 ± 10976 µg/kg (Tableau 1). Notons que les concentrations de la crimidine dans les sédiments ont été beaucoup plus élevées que dans les eaux.

Les variations saisonnières sont représentées dans le Tableau 2. Les variations saisonnières de la concentration de la crimidine dans les eaux et les sédiments ont été identiques à celles de l'aldicarbe. Dans les eaux, les concentrations ont été significativement plus élevées pendant la petite saison des pluies (ou saison des crues pour les eaux lagunaires) par rapport à la saison des pluies et à la saison sèche. Il importe de noter qu'aucune concentration n'a été détectée pendant la saison des pluies dans toutes les eaux échantillonnées. Pendant la saison des crues (petite saison des pluies pour les eaux de surface), les concentrations moyennes de la crimidine ont été respectivement de 2330 ± 1840 ng/L et 8433 ± 5075 ng/L dans les échantillons de lixiviat et d'eaux lagunaires. Au niveau des sédiments, les concentrations de la crimidine ont été significativement plus élevées dans le lixiviat et les eaux lagunaires pendant la saison des pluies, avec des concentrations moyennes respectives de 11867 ± 23711 µg/L et de 4129 ± 13650 µg/L. La crimidine a été détectée à 100% dans le lixiviat et à 75% dans la lagune pendant la saison des pluies.

**Tableau 1:** Concentrations de l'aldicarbe et de la crimidine dans les eaux et les sédiments autour de la décharge municipale d'Akouédo.

Pesticides	Lagune M'Badon			Eaux de puits			Lixiviat d'Akouédo		
	Gamme	Moyenne	N	Gamme	Moyenne	N	Gamme	Moyenne	N
<b>Eaux (ng/L)</b>									
Aldicarbe	nd-2340	501	8	30	30*	1	nd-740	740*	1
Crimidine	nd-16440	2889	10	nd	nd	nd	nd-3310	1166	4
<b>Sédiments (µg/kg)</b>									
Aldicarbe	nd-24912	1623	16	-	-	-	nd-64844	9279	7
Crimidine	nd-45286	2859	16	-	-	-	nd-47434	9494	5

N: Nombre de détection du composé dans les échantillons analysés. Le nombre total d'échantillons des eaux lagunaires, de puits et de lixiviat analysés était de 44, 12 et 12 respectivement. Les échantillons de sédiments analysés étaient de 26 dans la lagune et de 8 dans le lixiviat. \* valeur n'étant pas une moyenne.

**Tableau 2:** Concentrations de l'aldicarbe et de la crimidine dans les eaux et les sédiments pendant les différentes saisons.

Eau (ng/L)	Lagune M'Badon			Eaux de puits			Lixiviat d'Akouédo		
	Pluies (N=12)	Crués (N=16)	Sèche (N=16)	Pluies (N=4)	P.S.P. (N=4)	Sèche (N=4)	Pluies (N=4)	P.S.P. (N=4)	Sèche (N=4)
Aldicarbe	Nd	702 (p=31)	300 (p=19)	nd	30 (p=25)	nd	nd	740 (P=25)	nd
Crimidine	Nd	8433 (p=38)	233 (p=25)	nd	nd	nd	nd	2330 (p=75)	nd
<b>Sédiments (µg/kg)</b>	<b>Pluies (n=12)</b>	<b>Crués (n=14)</b>	-	-	-	-	<b>Pluies (n=4)</b>	<b>Crués (n=4)</b>	-
Aldicarbe	2800 (75)	110,7 (p=50)	-	-	-	-	16229 (p=100)	12,34 (p=75)	-
Crimidine	4129 (p=92)	64,06 (p=36)	-	-	-	-	11867 (p=100)	2,5 (p=25)	-

N: Nombre total d'échantillons analysés pendant la saison ; nd: non détecté ou teneur en dessous de la limite de détection ; p: taux d'apparition ou de détection dans les échantillons analysés (%). P.S.P. : Petite Saison des pluies.

## DISCUSSION

### Niveaux de concentration et risques écologiques

L'aldicarbe et ses métabolites sont considérés comme neurotoxiques (Blacker et al., 2010). L'aldicarbe est toxique pour les invertébrés, les crustacés, les poissons (El-Alfy et al., 2002; Osterberg et al., 2012) et même pour l'homme (Blacker et al., 2010). Par exemple, il est avéré que des concentrations d'aldicarbe supérieures à 1200 ng/L entraînent une toxicité aigüe pour certains invertébrés en milieu marin et qu'une concentration de 1500 ng/L conduit à une toxicité chronique. Les données sur la toxicité

de l'aldicarbe indiquent que ce polluant peut entraîner une toxicité aigüe pour certaines espèces de poissons à partir de 281000 ng/L (Osterberg et al., 2012). Les concentrations d'aldicarbe observées dans cette étude pour les eaux de la baie de M'Badon, située dans la partie estuarienne de la lagune Ebrié, ont atteint des valeurs maximales de 2340 ng/L (moyenne  $501 \pm 741$  ng/L). Des valeurs plus élevées ont été observées dans les sédiments (jusqu'à 26440 µg/kg), avec des fréquences de détection très élevées (75% pendant la saison des pluies). Ces valeurs suggèrent que les concentrations d'aldicarbe dans la baie de

M'Badon pourraient causer une toxicité aigüe pour certains invertébrés. Par comparaison, les concentrations de carbamates mesurées dans les eaux en France et en Martinique varient entre 83 et 520 ng/L (Bocquéné et Franco, 2006 ; CORPEP, 2001). La valeur guide de l'aldicarbe pour les eaux de surface au Canada est de 1000 ng/L (Alberta, 2014). Il apparaît donc que le niveau de concentration de l'aldicarbe dans la zone d'étude est très élevé.

La crimidine est un rodenticide très toxique pour les mammifères et les oiseaux. Il existe peu de données sur la concentration de la crimidine dans les eaux et sédiments dans la littérature. Aucune autorisation n'est connue en Côte d'Ivoire. Dans cette étude, la crimidine a été détectée à des fréquences et des concentrations très élevées dans les sédiments de la lagune (jusqu'à 45286 µg/kg). Les concentrations de la crimidine (valeurs maximales 16440 ng/L) ont été significativement plus élevées dans les eaux lagunaires par rapport à l'aldicarbe. La crimidine est un pesticide obsolète. Les concentrations et les fréquences de détections très élevées observées dans cette étude indiquent que, soit la crimidine est illégalement utilisée à Abidjan, soit des quantités de crimidine hors d'usage sont rejetées à la décharge municipale d'Akouedo. Vu sa toxicité et sa persistance, nous suggérons que le niveau de concentration de la crimidine dans la baie de M'Badon est dommageable pour certains organismes aquatiques. Des études supplémentaires sont nécessaires pour connaître et réduire les risques écologiques de la crimidine dans la zone d'étude.

#### **Comportement de l'aldicarbe et de la crimidine dans les eaux et les sédiments**

L'aldicarbe et la crimidine sont très soluble dans l'eau ; leurs solubilités dans l'eau sont respectivement de 6 g/L et 9,3 g/L à 20 °C. L'aldicarbe possède une faible affinité pour beaucoup de sols ( $\log K_d < 4$  L/kg) (Weber et al., 2004). De ce fait, il serait raisonnable de supposer que ces substances se retrouveraient principalement dans les eaux.

Cependant, les fréquences de détection et les concentrations de ces composés dans les eaux (lixiviat et eaux de lagune) ont été significativement inférieures à celles des sédiments. Mieux encore, la crimidine n'a pas été détectée pendant la saison des pluies, et a été détecté seulement 3 fois sur 24 pendant la saison sèche dans toutes les eaux échantillonnées. Le fait que les concentrations de ces substances soient plus faibles dans les eaux que celles des sédiments suggère une sorption notable de ces polluants sur les sédiments. Une explication probable serait les caractéristiques géochimiques des sédiments échantillonnés dont la teneur moyenne en carbone organique total est de 2%, et la composition granulométrique est de 1% de limon+argiles et de 99% de sable. Ces observations sont corroborées par celles faites par Allison et al. (2014) dans les eaux au Sud-Est de l'Australie où des concentrations du pesticide simazine dans les sédiments (260 µg/kg) ont été trouvées très supérieures à celles des eaux (670 ng/L). De plus, l'aldicarbe et la crimidine ont présenté des fréquences d'apparition très élevées dans les sédiments de lixiviat et de lagune. Ces résultats montrent clairement que l'aldicarbe et la crimidine peuvent relativement persister dans les sédiments. Cependant, les concentrations de l'aldicarbe et de la crimidine dans les sédiments de la baie de M'Badon ont chuté de 96% et 98% respectivement de juin-juillet (saison des pluies) à septembre-octobre (saison des crues). Ceci suggère qu'une grande partie s'est dégradée en 2 mois et qu'une autre s'est dissoute dans la colonne d'eau, puisque les valeurs maximales dans les eaux ont été enregistrées pendant la saison des crues. Il est connu que la crimidine n'est pas utilisée dans les plantations, contrairement à l'aldicarbe. Cependant, les concentrations maximales de ces deux substances dans les eaux ont été enregistrées pendant la saison des crues. Cette information indique que les apports de pesticides aldicarbe et crimidine par les eaux de crues du fleuve Comoé n'expliquent pas les concentrations élevées de ces pesticides

dans les eaux de la lagune pendant la saison des crues, même si pendant cette saison les eaux du fleuve Comoé forment plus de 60% des eaux de la lagune. Aussi, bien que présente en grande quantité dans les sédiments, la crimidine (et l'aldicarbe) n'a pas été détectée dans les eaux de puits dans la zone d'étude.

#### **Sources potentielles de l'aldicarbe et de la crimidine dans les eaux de lagune**

La persistance de la crimidine dans le lixiviat et la lagune de M'Badon, malgré son interdiction dans l'agriculture, prouve son usage clandestin et son rejet (résidus dans des sachets ou flacons, ou aliments) à la décharge d'Akouédo. Ceci est indiqué par le fait que les sédiments et les eaux du lixiviat ont présenté des fréquences de détection et des concentrations supérieures à celles de la lagune. La pente du sol favorise l'écoulement du lixiviat vers la lagune ; ce qui entraîne les polluants dans la lagune. Ces résultats sont corroborés par l'observation de plusieurs sachets et boîtes de pesticides vides abandonnées dans les zones de cultures vivrières à M'Pouto, Abidjan (Dembele et al., 2011). Les concentrations maximales de l'aldicarbe et la crimidine relevées pendant la saison des pluies dans les sédiments du lixiviat et de la lagune avec des fréquences de détection de près de 100%, mettent en évidence les apports par les eaux de ruissellement qui se chargent en pesticides aldicarbe et crimidine. Une autre source probable serait l'usage de ces substances en agriculture autour de la décharge dont la zone est un vaste espace (25 ha) de cultures maraîchères, d'igname, de maïs, de manioc, de gombos, entre autres. Cependant, aucune information sur le nom commercial de la crimidine ou sur la période d'application de ces pesticides (crimidine et aldicarbe) n'est disponible dans la zone d'étude.

#### **Conclusion**

L'analyse des échantillons d'eau de lixiviat, de puits et de lagune et des échantillons de sédiments collectés aux

environs de la décharge d'Akouédo de juin 2013 à janvier 2014 ont révélé un niveau de pollution élevé des sédiments dans l'environnement d'Akouédo par l'aldicarbe et la crimidine. Ceci met en évidence l'usage clandestin de la crimidine et son rejet à la décharge municipale d'Akouédo. Les teneurs en aldicarbe et crimidine ont été beaucoup plus élevées pendant la saison des crues dans les eaux et pendant la saison des pluies dans les sédiments. Cependant, les puits environnants n'ont pas été contaminés en aldicarbe et en crimidine. Au regard des concentrations très élevées dans les sédiments, ces composés méritent une attention particulière du fait de leur toxicité potentielle pour les espèces vivantes, l'homme y compris.

#### **CONFLIT D'INTERETS**

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts.

#### **CONTRIBUTIONS DES AUTEURS**

La contribution des auteurs s'est située à tous les niveaux, de la conduite à la réalisation des travaux au laboratoire jusqu'à la rédaction et aux différentes corrections du manuscrit.

En effet, UPG a été l'instigateur principal l'exécutant premier de ce projet en accomplissant les travaux au laboratoire et en étant l'un des principaux rédacteurs de ce manuscrit. KMY a conçu et supervisé ce travail. Il a aussi été l'un des rédacteurs de ce manuscrit. AD et BLY, respectivement directeur et responsable technique du Laboratoire Central d'Agrochimie et d'Ecotoxicologie (LCAE), ont aidé à la réalisation du travail présenté dans ce manuscrit en fournissant la paillasse, les produits chimiques, les appareils et les orientations nécessaires, sans lesquels aucun résultat n'aurait été obtenu. N'GLBK et SBM ont contribué à la rédaction de ce manuscrit par leurs critiques et conseils avisés. AMK a contribué à la mise en œuvre de ce projet par ses orientations et ses conseils. Il a aussi aidé à la rédaction de ce manuscrit. AT a été l'instigateur de ce projet de recherche et a été

l'artisan de sa mise en œuvre en créant le cadre de sa réalisation.

#### REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Soro Kolo et Akouaba Eddy du Laboratoire Central d'Agrochimie et d'Ecotoxicologie d'Abidjan (LCAE) pour leur assistance pendant les manipulations.

#### REFERENCES

- Afrane G, Ntiamoah A. 2011. Use of pesticides in the cocoa industry and their impact on the environment and the food chain. In: Stoytcheva M., ed. Pesticides in the Modern World – Risks and benefits. Rijeka, Croatia : *InTech Publisher*, 51-68. doi : 10.5772/17921.
- Alberta Environment & Sustainable Resource Development (ESRD). 2014. Environmental Quality Guidelines for Alberta Surface Waters. Water Policy Branch, Policy Division. Edmonton. 48pp
- benefits. Rijeka, Croatia: *InTech Publisher*, 51-68. doi : 10.5772/17921.
- Allison G, Bui A, Zhang P, Rose G, Wightwick AM, Allison M, Pettigrove V. 2014. Investigation of 10 herbicides in surface waters of a horticultural catchment in southeastern Australia. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **67** : 358-373. Doi : 10.1007/s00244-0049-z
- Biego HMG, Yao DK, Ezoua P, Chatigre OK, Kouadio LP. 2009. Niveaux de contamination en pesticides organochlorés des noix de *Cola nitida*. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **3**(6): 1238-1245.
- Blacker AM, Kelly LD, Lantz JL, Mihlan GJ, Jones RL, Young BM. 2010. aldicarb: toxicity, exposure and risks to humans. In *Hayes' Handbook of Pesticide Toxicology* (3<sup>rd</sup> edition); 1619-1632.
- Bocquené G, Franco A. 2005. Pesticide contamination of the coastline of Martinique. *Mar Pollut Bull.*, **51**: 612–619. doi:10.1016/j.marpolbul.2005.06.026
- Boutron O, Margoum C, Chovelon J-M, Guillemain C, Gouy V. 2011. Effect of the submergence, the bed form geometry, and the speed of the surface water flow on mitigation of pesticides in agricultural ditches. *Water Resour. Res.*, **47**: 13p. Doi: 10.1029/2011WR010378
- CORPEP. 2001. Etude de la contamination des eaux superficielles de Bretagne par les produits phytosanitaires. Rapport annuel 2000. 25p. Préfecture de la Région Bretagne. Rennes. France.
- Charlier C, Plomteux G. 2001. Effets perturbateurs endocriniens des pesticides. 2<sup>èmes</sup> Journées Internationales de Toxicologie Hospitalière Liège, 25-26 Octobre 2001. *Annales de Toxicologie Analytique*, **13**(4) : 289-290. Doi: 10.1051/ata/2001029.
- Dasgupta S, Banerjee K, Utture S, Kusari P, Wagh S, Dhumal K, Kolekar S, Adsule PG. 2011. Extraction of pesticides, dioxin-like PCBs and PAHs in water based commodities using liquid-liquid microextraction and analysis by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, **128**: 6780-6791. doi: 10.1016/j.chroma.2011.07.043
- Dembele A, Badini O, Toure AA. 2011. Quality of vegetables and pests control in African urban cities. In: Stoytcheva M, ed. Pesticides in the Modern World – Risks and benefits. Rijeka, Croatia : *InTech Publisher*, 16-32. doi : 10.5772/18368.
- El-Alfy AT, Bernache E, Schlenk D. 2002. Gender differences in the effect of salinity on aldicarb uptake, elimination, and in vitro metabolism in Japanese medaka, *Oryzias latipes*. *Aquatic Toxicology*, **61**: 225-232.
- Essumang DK, Togoh GK, Chokky L. 2009. Pesticide residues in the water and fish (lagoon tilapia) samples from lagoons in Ghana. *Bull. Chem. Soc. Ethiop.*, **23**(1): 19-27.
- Fianko JR, Donkor A, Lowor ST, Yeboah PO. 2013. Pesticide residues in fish from the Densu River Basin in Ghana. *Int. J. Biol.*

- Chem. Sci.*, **7**(3): 1416-1426. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v7i3.46>
- Gamelin L, Harry P. 2005. Rodenticides. *EMC-Toxico. Path.* **2**: 89–97. Doi: 10.1016/j.emctp.2005.05.001
- Hela DG, Lambropoulou DA, Konstantinou IK, Albanis TA. 2005. Environmental monitoring and ecological risk assessment for pesticide contamination and effects in Lake Pamvotis, northwestern Greece. *Environ. Toxicol. Chem.*, **24**(6): 1548–1556.
- Hellar-Kihampa H. 2011. Organochloride pesticide residues in soil from sugarcane plantations in Kilimanjaro, Tanzania. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **5**(1): 247-257.
- Hill A. 2000. Quality Control Procedures for pesticides Residues Guidelines for Residues Monitoring in the European Union (2<sup>nd</sup> edn). Document no. ANCO/3103/2000, European Commission.
- Henry L, Kishimba MA. 2003. Levels of pesticide residues in water, soil and sediments from southern lake Victoria and its basin. *Tanz. J. Sci.*, **29**(1) : 77-89.
- ISYSPHYT. 2009. Liste actualisée des Pesticides homologués et autorisés en Côte d'Ivoire, 46p, consulté le 15/09/2015 sur le site [www.isysphyt.ci](http://www.isysphyt.ci)
- Kalogridi E-C, Christophoridis C, Bizani E, Drimaropoulou G, Fytianos K. 2014. Part I: Temporal and spatial distribution of multiclass pesticide residues in lake waters of Northern Greece: application of an optimized SPE-UPLC-MS/MS pretreatment and analytical method. *Environ. Sci. pollut. R.*, **21**: 7239–7251.
- Kishimba MA, Mihale MJ. 2004. Levels of pesticide residues and metabolites in soil at vikuge farm, kibaha district, Tanzania - A classic case of soil contamination by obsolete pesticides. *Tanz. J. Sci.*, **30**(2): 77 - 86.
- Koffi SO, Coffy AA, Villeneuve JP, Sess DE, N'Guessan YT. 2009. Pollution of a Tropical Lagoon by the Determination of Organochlorine Compounds. *Tropicultura*, **27**: 77-82.
- Kouakou R, Kouassi AM, Kwa-Koffi KE, Etile NR, Trokourey A. 2015. Distribution of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyl in the sediments of a tropical lagoon (The Grand-Lahou lagoon, Côte d'Ivoire). *J. Appl. Biosci.*, **88**: 8167-8179. Doi: 10.4314/jab.v88i1.4
- Ma Y, Halsall CJ, Crosse JD, Graf C, Cai M, He J, Gao G, Jones K. 2015. Persistent organic pollutants in ocean sediments from the North Pacific to the Arctic Ocean. *J. Geophys. Res. Oceans*, **120**: 1-13. doi:10.1002/2014JC010651.
- Okoya AA, Ogunfowokan O, Asubiojo OI, Torto N. 2013. Organochlorine Pesticide Residues in Sediments and Waters from Cocoa Producing Areas of Ondo State, Southwestern Nigeria. *ISRN Soil Sci.*, 2013, 12 p. doi:10.1155/2013/131647
- Osterberg JS, Darnell KM, Blickley TM, Romano JA, Rittschof D. 2012. Acute toxicity and sub-lethal effects of common pesticides in post-larval and juvenile blue crabs, *Callinectes sapidus*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **424-425**: 5-14. doi:10.1016/j.jembe.2012.05.004
- Ouattara Y, Guiguemde I, Diendere F, Diarra J, Bary A. 2012. Pollution des eaux dans le bassin du nakambe: cas du barrage de Ziga. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**(6): 8034-8050. Doi : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i6.47>
- Paré S, Kaboré B, Stechert C, Kolb M, Bahadir M, Bonzi-Coulibaly LY. 2013. Agricultural Practice and Pesticide Residues in Soils and Pool Sediments from the Pendjari Biosphere Reserve Area in Benin, West Africa. *Clean – Soil, Air, Water*, **42**(11): 1593–1603. DOI: 10.1002/clen.201200371
- EYA P, Boko M, van Gestel CAM, Ahissou H, Lalèyè P, Akpona S, van Hattum B, Swart K, van Straalen NM. 2006a. Organochlorine and organophosphorous pesticide residues in the Ouémé River catchment in the Republic of Bénin. *Envi.*

- Int.*, **32**: 616-623. doi: 10.1016/j.envint.2006.01.007
- EYA P, Lalèyè P, Boko M, van Gestel CAM, Ahissou H, Akpona S, van Hattum B, Swart K, van Straalen NM. 2006b. Contamination of fish by organochlorine pesticide residues in the Ouémé River catchment in the Republic of Bénin. *Envi. Int.*, **32**: 594–599. doi:10.1016/j.envint.2006.01.003
- Schulz R. 2004. Field studies on exposure, effects, and risk mitigation of aquatic nonpoint-source insecticide pollution: A review. *J. Environ. Qual.*, **33**: 419–448.
- Shark C, Zullei-Seibert N, Willme U, Gatzemann U, Schlett C. 2004. Contribution of non-agricultural pesticides to pesticides load in surface water. *Pest Manag. Sci.*, **60**: 525-530; doi: 10.1002/ps.844
- UNEP. 2006. Method for sediment sampling and analysis. UNEP(DEC)/MED WG.282/Inf.5/Rev.1. 22 March 2006. Athens.
- Weber JB, Wilkerson GG, Reinhardt CF. 2004. Calculating pesticide sorption coefficients (Kd) using selected soil properties. *Chemosphere*, **55**: 157-166. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2003.10.049
- WHO. 2003. Aldicarb in Drinking-water, Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality, WHO/SDE/WSH/03.04/72. Assessed on 15/09/2015, at [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/aldicarb.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/aldicarb.pdf).