

NIVEAU DE CONTAMINATION PAR LES PESTICIDES DES EAUX DES LAGUNES AGHIEN ET POTOU (SUD-EST DE LA CÔTE D'IVOIRE)

TRAORE Abou^{1*}, AHOUSI Kouassi Ernest¹, AKA Natchia², TRAORE Adamaet³, SORO Nagnin¹

¹Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement, UFR des Sciences de la terre et des ressources Minières, 22 BP 582 Abidjan 22, Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, Abidjan, Côte D'Ivoire

²Centre de Recherches Océanologiques (CRO), BP V18 Abidjan, Côte D'Ivoire

³Maganement Sciences for Health (MSH), 18 PB 2252 Abidjan18, Côte D'Ivoire

*Corresponding Author E-mail: aboutraoreat@gmail.com

ABSTRACT

The purpose of this study is to determine the level of contamination of lagoons Aghien and Potou by pesticides in aim to their use for drinking water production. The extraction method with cartridge C-18 followed by gas chromatography phase dosage coupled to a mass spectrometer allowed to highlight lagoons Aghien and Potou waters pollution by pesticides. Four families of pesticides constituted by triazines and metabolites, substituted ureas, carbamates and convulsivants were detected in both lagoons in concentrations widely superior to WHO guide values. In the lagoon Aghien, the respective averages of triazines and metabolites, substituted ureas, carbamates and convulsivants are 36.53 µg/L, 121.61µg/L, 1.09µg/L and 15µg/L and in lagoon Potou, they are 95.75µg/L, 283.67µg/L, 11.5µg/L et 172.80µg/L. The average of the total molecules detected is 72.43µg/L and 163.43µg/L respectively in the lagoon Aghien and in the lagoon Potou. Leaching waters of farmland bordering the lagoons, tributaries streams and wind are the main modes of transport of pesticides. The unofficial circuits of pesticides supply and the failure to respect the technical itineraries of products use contribute to aggravate pollution. Lagoons Aghien and Potou are unsuited to drinking water production. In view of their use, good agricultural practices are to be promoted in the region.

Keywords: pesticides, triazines, substituted ureas, carbamates, convulsants

RESUME

L'objectif de cette étude est de déterminer le niveau de contamination des lagunes Aghien et Potou par les pesticides en vue de leur utilisation pour la production d'eau potable. La méthode d'extraction avec cartouche C-18 suivie du dosage par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse a permis de mettre en évidence la pollution des eaux des lagunes Aghien et Potou par des pesticides. Quatre familles de pesticides constituées de triazines et métabolites, urées substituées, carbamates et convulsivants ont été détectées dans les deux lagunes à des concentrations largement supérieures aux valeurs guides de l'OMS. Dans la lagune Aghien, les moyennes respectives de triazines et métabolites, urées substituées, carbamates et convulsivants sont de 36,53µg/L, 121,61µg/L, 1,09µg/L et 15µg/L et dans la lagune Potou, elles sont de 95,75µg/L, 283,67µg/L, 11,5µg/L et 172,80µg/L. La moyenne du total des molécules détectées est de 72,43 µg/L et de 163,43 µg/L, respectivement dans la lagune Aghien et dans la lagune Potou. Les eaux de lessivage des terres agricoles qui bordent les lagunes, les cours d'eau tributaires et le vent sont les principaux moyens de transport des pesticides. Les circuits parallèles d'approvisionnement en pesticides et le non-respect des itinéraires techniques d'utilisation des produits contribuent à aggraver la pollution. Les eaux lagunaires d'Aghien et de Potou sont inaptes pour la production d'eau potable. Dans l'optique de leur utilisation, de bonnes pratiques agricoles sont à promouvoir dans la région.

Mots clés: pesticides, triazines, urées substituées, carbamates, convulsivants

INTRODUCTION

Tous les pays de l'Afrique au Sud du Sahara affichaient, vers la fin des années 1990, un solde annuel en éléments nutritifs du sol négatif (Henao et Baanante, 1999). Avec une démographie galopante qui a pour corollaire la croissance de la consommation, les terres cultivables se raréfient et/ou deviennent de plus en plus pauvres en éléments nutritifs. L'état ivoirien, dans sa politique de relance du secteur agricole, s'est fixé depuis 1992 trois objectifs majeurs notamment l'amélioration de la productivité et de la compétitivité, la recherche de la sécurité alimentaire et la diversification des cultures d'exportation (Fleischer *et al.*, 1998). Recours est donc fait aux produits phytosanitaires (pesticides, engrais, régulateurs de croissance, défoliants...) pour accroître la viabilité des cultures et pour maximiser les rendements. Ces produits présentent des risques sanitaires pour les utilisateurs et constituent une source de pollution de l'environnement (Levi, 1999; Sanborn *et al.*, 2004; Gnago *et al.*, 2010). L'utilisation des pesticides n'est pas sans danger pour les populations riveraines. Ainsi, les travaux de Xiang *et al.* (2000), Levario-Carrillo *et al.* (2004) et De Siqueira *et al.* (2010) ont montré une association inverse entre l'exposition aux pesticides, en raison principalement de l'activité agricole à proximité, et les risques de croissance intra-utérine et de faible poids à la naissance. En Côte d'Ivoire, le service de médecine du travail du Centre Hospitalier et Universitaire (CHU) de Yopougon (Abidjan) a révélé chez des patients une forte fréquence des signes cliniques évoquant une exposition aux produits phytopharmaceutiques notamment les organophosphorés et les carbamates (Kouassi *et al.*, 2004; Manda *et al.*, 2005). Les autorités ivoiriennes ont mis en place un Service National de Protection des Végétaux, du Contrôle et de la Qualité ayant en charge les avertissements, les traitements et les contrôles phytosanitaires. Malgré ces précautions, la présence de pesticides a été signalée dans les ressources en eau (Houénou, 1996 *in* Gnako *et al.*, 2010; Traoré *et al.*, 2006) et dans le lait et les produits laitiers (Traoré *et al.*, 2008). Des zones du territoire dans le bassin versant transfrontalier du Comoé qui réunit le Burkina Faso, le Ghana et la Côte d'Ivoire sont très exposées à la pollution aux pesticides (Coulibaly *et al.*, 2012).

Dans les environs des lagunes Aghien et Potou, la forêt dense est détruite au profit de grandes plantations. Les eaux de lessivage de ces terres agricoles, chargées de produits phytosanitaires sont susceptibles de polluer les eaux lagunaires qui pourraient venir en appoint aux champs de captages existants pour l'approvisionnement en eau potable du District Autonome d'Abidjan.

L'objectif de cette étude est de déterminer le niveau de contamination des eaux des lagunes Aghien et Potou par les produits phytosanitaires en vue de leur utilisation comme eau brute destinée à la production d'eau potable.

Présentation de la zone d'étude

Les lagunes Aghien et Potou sont situées entre 5°18' et 5°27' de latitude Nord et 3°45' et 3°56' de longitude Ouest (Figure 1). Ce sont des lagunes intérieures allongées Nord-Ouest/Sud-Est. Elles sont reliées par un canal naturel qui correspond à l'exutoire du fleuve Mé, avec en amont la lagune Aghien dont la superficie est de 20,2 km² et en aval, la lagune Potou, avec 22,8 km².

Le climat de la zone d'étude est de type équatorial caractérisé par quatre saisons dont une grande saison sèche de décembre à mars, une grande saison de pluie d'avril à juillet, une petite saison sèche d'août à septembre et une petite saison de pluie d'octobre à novembre. C'est une zone pluvieuse, avec des précipitations interannuelles supérieures à 1500 mm.

La zone renferme un réseau hydrographique important composé des rivières Bété et Djibi et du fleuve Mé. La Bété et la Djibi débouchent directement dans la lagune Aghien et la Mé débouche dans le canal naturel entre les lagunes Aghien et Potou.

La géologie de la zone est marquée par les formations sédimentaires constituées de roches détritiques du Tertiaire et du Quaternaire (Figure 1). Le complexe lagunaire Aghien-Potou est encastré dans le Continental Terminal composé de sable, d'argile et de grès ferrugineux. On note la présence des vases et des sables du quaternaire sur les bordures Est des deux lagunes (Delor *et al.*, 1992).

Deux catégories de sols occupent la région. Il s'agit des sols à sesquioxydes (sols ferralitiques lessivés en bases) et des sols hydromorphes notamment les sols tourbeux ou sols humiques à gley indifférenciés, les sols à gley ou pseudo-gley indifférenciés et sur alluvions à dominance sableuse (Roose et Chéroux, 1966).

La région est essentiellement couverte par la forêt dense fortement dégradée à cause des activités anthropiques en l'occurrence, l'expansion et la création des plantations de palmiers à huile, d'hévéa, de manioc, de cocotiers, de bananiers et la croissance de l'habitat humain. Les figures 2 et 3 présentent des plantations de palmiers à huile et d'hévéa qui bordent le complexe lagunaire Aghien-Potou.

Fig. 1: Carte géologique de la zone d'étude

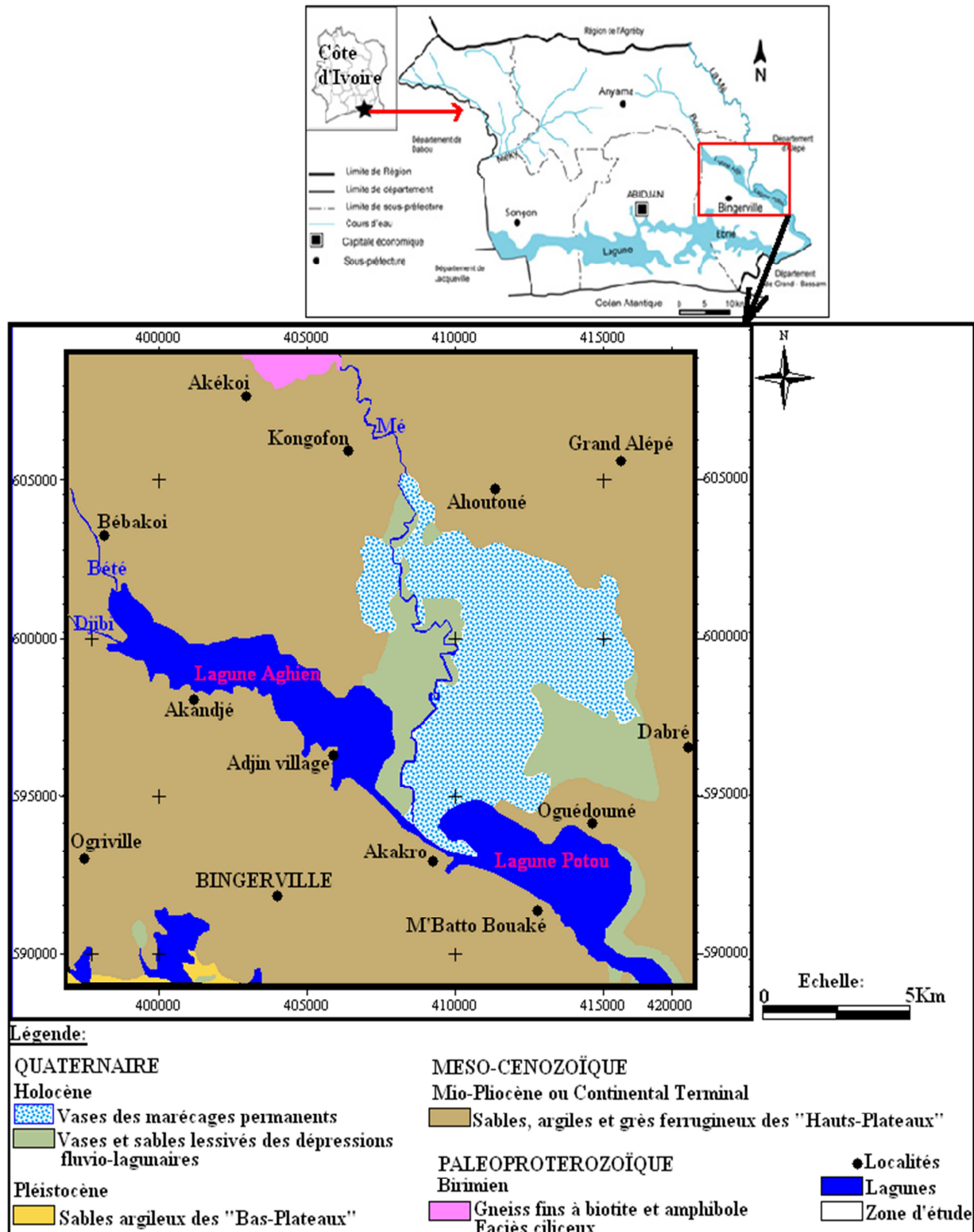


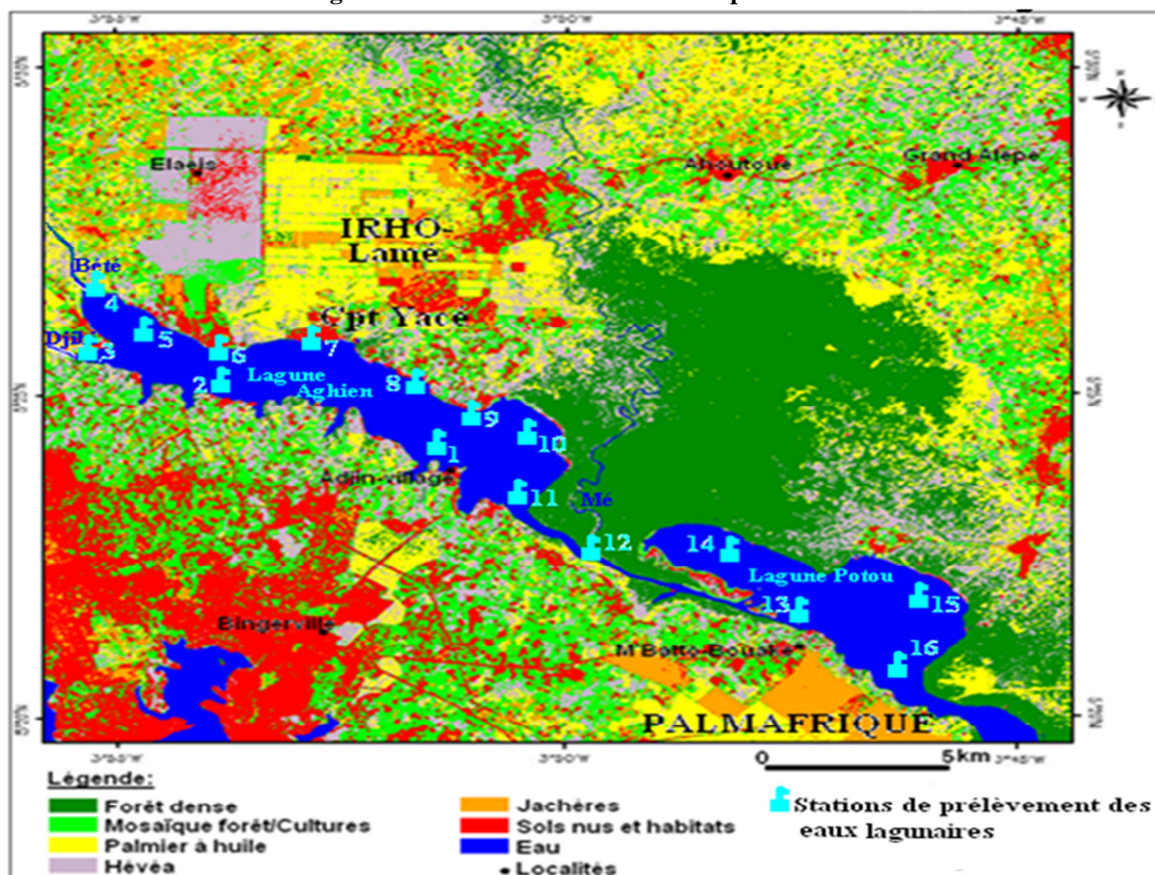
Figure 2 : Plantation de palmiers à huile aux abords du complexe lagunaire Aghien-Potou**Fig. 3: Plantation d'hévéa aux abords du complexe lagunaire Aghien-Potou**

MATERIEL ET METHODES

Méthode d'échantillonnage

Les points de prélèvement se répartissent en onze (11) stations sur la lagune Aghien, une (1) à l'embouchure de la Mé et quatre (4) sur la lagune Potou (Figure 4). A chaque station quatre échantillons d'eau ont été prélevés, avec deux échantillons à la surface de l'eau et deux autres au fond de l'eau. Les analyses ont été effectuées sur un total de soixante quatre (64) échantillons à raison de 32 échantillons prélevés à la surface de l'eau et de 32 autres au fond de l'eau. Les échantillons d'eau ont été collectés avec une bouteille Niskin et transvasés dans des bouteilles de verre ambré préalablement lavées et décontaminées. Une feuille d'aluminium est placée sur le goulot afin d'empêcher tout contact entre l'échantillon et le bouchon de plastique. Les échantillons ont été conservés dans la glace pendant leur transport et ensuite conservés à 4°C au Laboratoire Central d'Agrochimie et d'Ecotoxicologie (LCAE) du Laboratoire Nationale d'Appui au Développement Agricole (LANADA) à Abidjan jusqu'à leurs analyses.

Figure 4 : Localisation des stations de prélèvement



Techniques d'analyse des échantillons d'eau

Un total de trente et une (31) molécules de produits phytopharmaceutiques ou pesticides a été recherché dans les eaux des lagunes Aghien et Potou. Ces molécules sont regroupées en neuf familles en fonction de leurs compositions chimiques: les triazines et métabolites, les organophosphorés, les organochlorés, les urées substituées, les carbamates, les convulsivants, les amibes, les dicarboxymibes et autres (métazachlore).

La détermination de ces pesticides s'est effectuée par la méthode d'extraction avec cartouche C-18 suivie du dosage par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse (CEAEQ, 2011). Le principe de cette méthode a consisté à prélever 10 ml de l'échantillon d'eau et à conditionner la colonne octadécyle (C-18) en passant 10 ml de méthanol et 10 ml d'eau déminéralisée. La totalité de l'échantillon prélevé a été passée à travers la colonne C-18 avant l'assèchement de l'absorbant. Le séchage de la cartouche a été observé pendant 30 minutes. Les pesticides retenus sur la colonne ont été élués avec 5 ml de méthanol en laissant tremper pendant 30 minutes. L'extrait est transféré dans un vial conique en verre pour le dosage au chromatographe (HPLC). Les solutions étalons et les échantillons ont été analysés avec un chromatographe en phase gazeuse muni d'un spectromètre de masse, en mode de balayage des ions. Les concentrations de pesticides contenues dans l'échantillon sont calculées en comparant les surfaces des pics des produits de l'échantillon aux surfaces obtenues avec des solutions étalons de concentrations connues. L'expression des résultats est donnée par l'équation suivante:

$$C_p = \frac{S_c \times C_e \times V_2 \times V_f \times F}{S_e \times M_e \times V_1}$$

C_p : concentration de la matière active (mg/L); S_c : surface du pic de l'échantillon; S_e : surface du pic du standard; C_e : concentration du standard (mg/L); V_1 : volume à purifier (l); V_2 : volume après purification (l); V_f : volume final (l); M_e : volume de l'échantillon (l); F: facteur de dilution.

RESULTATS

Les concentrations moyennes des principales molécules sont consignées dans les tableaux I et II. Elles correspondent aux résidus dont les concentrations sont au-delà des valeurs de référence recommandées pour l'eau potable, soient 0,1µg/L pour une matière active distincte, et 0,5µg/L pour le total des matières actives (OMS, 2011). Les triazines et métabolites, les urées substituées, les carbamates et les convulsivants ont été détectés en quantités très importantes dans les eaux lagunaires. Les moyennes respectives de triazines et métabolites, urées substituées, carbamates et convulsivants sont de 36,53µg/L, 121,61µg/L, 1,09µg/L et 15µg/L dans la lagune Aghien et dans la lagune Potou, elles sont de 95,75µg/L, 283,67µg/L, 11,5µg/L et 172,80µg/L. Les triazines et les urées substituées détectés sont tous des herbicides. L'aldicarbe (carbamate) et la crimidine (convulsivant) sont respectivement des insecticides et des rodenticides. La moyenne de l'ensemble des substances détectées est de 72,43 µg/L dans les eaux de la lagune Aghien et de 163,43 µg/L dans celles de Potou. Ces moyennes sont largement supérieures à la valeur guide de l'Organisation Mondiale de la Santé.

Tableau I : Concentrations moyennes en µg/L des triazines et métabolites, des carbamates et des convulsivants dans les eaux lagunaires d'Aghien et de Potou

Lagunes	Stations	Triazines et métabolites						Carbamate aldicarbe	convulsivant crimidine
		Atra- zine	Cyana- zine	Déisopro- pylatrazine	Déséthyl- atrazine	Méta- mitrone	Sima- zine		
Aghien	1	14,66	8,28	2,88	9,08	17,02	6,84	0,68	4,07
	2	5,88	12,61	1,22	86	11,15	57,81	0,95	8,09
	3	3,59	9,20	1,85	26,49	7,83	9,82	0,06	2,33
	4	1,53	17,15	5,91	23,55	14,06	7,80	0,36	2,10
	5	1,09	1,45	1,40	41,31	7,26	3,80	0,56	1,63
	6	10,73	2,79	0,79	26,62	8,13	5,49	0,25	2,85
	7	3,19	3,88	0,99	20,24	11,99	6,50	0,42	43,10
	8	0,04	82,74	0	2,31	0,36	1449,10	0	6,34
	9	14,54	0,33	0	108,32	9,57	4,73	1,81	33,20
	10	7,79	2,36	23,22	8,77	5,24	8,63	5,32	0,28
	11	0,30	24,56	14,94	91,16	22,70	9,64	1,53	61,09
Moyenne		36,53µg/L						1,09µg/L	15µg/L
EM	12	0	0	0,17	99,17	32,10	0,86	0	0,01
Potou	13	0	967,14	47,85	0,31	30,44	0	45,88	626,39
	14	0	16,36	5,54	11,49	5,73	0,91	0,10	9,56
	15	0	15,89	8,43	407,54	16,96	0,42	0,02	0,54
	16	0	85,31	5,54	225	43,16	20,90	0	54,70
Moyenne		95,75µg/L						11,50µg/L	172,80µg/L

EM : Embouchure du fleuve Mé

Tableau II : Concentrations moyennes en µg/L des urées substituées dans les eaux lagunaires d'Aghien et de Potou

Lagunes	Stations	Urées substituées							
		Chlorto- luron	Fénu- ron	Isopro- turon	Méthabenz- thiazuron	Métoxa- ron	Mono- linuron	Monu- ron	Métobro- muron
Aghien	1	0,40	22,51	1,67	0,14	16,50	0,05	0,08	0
	2	80,42	191,35	20,38	10,10	16,97	30,04	0,36	0
	3	10,01	32,32	11,28	0,45	13,19	1,58	1,78	0
	4	5,85	219,74	1,73	0,65	7420,23	0,46	0,86	0
	5	37,99	85,76	16,09	2,89	3,14	1,80	52,95	0
	6	13,29	19,85	7	0,26	4,64	0	0	0
	7	7,20	19,62	12,46	0,10	2,83	0,88	0,64	0
	8	6,78	6,14	6	0,15	8,63	1,60	30,72	0
	9	251,45	306,19	135,92	1,40	2,12	1,77	1,05	0
	10	30,87	46,25	1,06	1,05	1,28	12,24	0,25	0

	11	2,41	49,05	3,83	19,99	31,83	3,23	0	0	
Moyenne		121,61µg/L								
EM	12	0,56	41,27	0	0	0	0	0	0	
Potou	13	0,03	352,44	0	0	138,25	0	0	2946,69	
	14	0,11	15,09	0	0	8,47	0	0	24,72	
	15	0	646,08	0	0	0,03	0	0	0	
	16	46,34	322,72	0	0	37,72	0	0	0,03	
Moyenne		283,67µg/L								

EM : Embouchure du fleuve Mé

Les paramètres statistiques dans les différentes familles de pesticides des eaux lagunaires sont consignés dans les tableaux III, IV, V et VI et se présentent comme suit :

Famille des triazines et métabolites

L'analyse du tableau III montre que dans la lagune Aghien, la concentration de l'atrazine varie entre 0,04 µg/L et 14,66 µg/L, avec une moyenne de $5,76 \pm 1,65$ µg/L. Celle de la cyanazine est comprise entre 0,33 µg/L et 82,74 µg/L, avec une valeur moyenne estimée à $15,03 \pm 7,14$ µg/L. Les teneurs de déisopropylatrazine s'étendent entre 0 µg/L et 23,21 µg/L, avec une moyenne de $4,84 \pm 2,25$ µg/L. Les valeurs de déséthylatrazine évoluent de 2,31 µg/L à 108,32 µg/L, avec comme moyenne $40,35 \pm 11,19$ µg/L. Celles du métamitronne sont comprises entre 0,36 µg/L et 22,70 µg/L, avec une moyenne estimée à $10,48 \pm 1,81$ µg/L. Les concentrations de simazine varient de 3,80 µg/L à 1449,10 µg/L, avec une moyenne de $142,74 \pm 130,72$ µg/L.

Dans la lagune Potou, la cyanazine a des valeurs comprises entre 15,89 µg/L et 967,14 µg/L, avec une moyenne de $271,17 \pm 232,56$ µg/L. Les teneurs de déisopropylatrazine varient de 5,54 µg/L à 47,85 µg/L, avec une valeur moyenne estimée à $16,84 \pm 10,36$ µg/L. Celles de la déséthylatrazine sont comprises entre 0,31 µg/L et 407,54 µg/L, avec une moyenne de $161,08 \pm 97,06$ µg/L. La teneur moyenne de métamitronne est de $24,07 \pm 8,12$ µg/L. Le maximum et le minimum sont respectivement de 43,16 µg/L et 5,73 µg/L. Quant à la simazine, sa concentration s'étend entre 0 µg/L et 20,90 µg/L, avec une valeur moyenne de $5,56 \pm 5,12$ µg/L.

Les valeurs moyennes de toutes les molécules détectées dans les eaux sont supérieures à la valeur de référence de 0,1 µg/L de l'OMS. L'atrazine et la simazine sont des substances interdites dans l'Union Européenne depuis 2004 à cause de leur toxicité et de leur écotoxicologie mais, elles sont homologuées et autorisées en Côte d'Ivoire. La cyanazine, la déisopropylatrazine, la déséthylatrazine, et la métamitronne ne figurent pas dans la liste des pesticides homologués et autorisés en Côte d'Ivoire.

Tableau III: Paramètres statistiques des triazines et métabolites (en µg/L) dans les eaux lagunaires d'Aghien et de Potou

Lagunes	Paramètres	Min	Max	Moy ± e.s	Ecart-type	Cv	IC _{95%}
Aghien	Atrazine	0,04	14,66	$5,76 \pm 1,65$	5,47	94,95	[2,08; 9,43]
	Cyanazine	0,33	82,74	$15,03 \pm 7,14$	23,67	157,45	[0; 30,93]
	Déisopropylatrazine	0	23,22	$4,84 \pm 2,25$	7,46	154,30	[0; 9,85]
	Déséthylatrazine	2,31	108,32	$40,35 \pm 11,19$	37,12	91,99	[15,41; 65,28]
	Métamitronne	0,36	22,70	$10,48 \pm 1,81$	6,01	57,35	[6,44; 14,52]
	Simazine	3,80	1449,10	$142,74 \pm 130,72$	433,54	303,72	[0; 433,99]
	Cyanazine	15,89	967,14	$271,17 \pm 232,56$	465,12	171,52	[0; 1011,27]
	Déisopropylatrazine	5,54	47,85	$16,84 \pm 10,36$	20,72	123,03	[0; 49,80]
Potou	Déséthylatrazine	0,31	407,54	$161,08 \pm 97,06$	194,13	120,51	[0; 469,98]
	Métamitronne	5,73	43,16	$24,07 \pm 8,12$	16,25	67,50	[0; 49,93]
	Simazine	0	20,90	$5,56 \pm 5,12$	10,23	184,14	[0; 21,84]

Famille des urées substituées

L'analyse du tableau IV montre que dans les eaux de la lagune Aghien, le chlortoluron a des quantités comprises entre 0,40 µg/L et 251,45 µg/L, avec une moyenne de $40,60 \pm 22,23$ µg/L. Les concentrations de fénuuron s'observent entre 6,14 µg/L et 306,19 µg/L et la valeur moyenne est de $90,80 \pm 30,49$ µg/L. Les teneurs de l'isoproturon sont de 1,06 µg/L pour la plus faible valeur, 135,92 µg/L pour la maximale et

19,76 ± 11,77 µg/L pour la moyenne. Les quantités de méthabenzthiazuron évoluent entre 0,10 µg/L et 19,99 µg/L, avec une moyenne estimée à 3,38 ± 1,88 µg/L. Celles du métoxuron ont une moyenne de 683,76 ± 673,65 µg/L, avec une valeur maximale de 7420,23 µg/L et un minimum de 1,28 µg/L. Les concentrations de monolinuron évoluent entre 0,30 µg/L et 30,04 µg/L, avec une moyenne de 4,87 ± 2,72 µg/L. En ce qui concerne le monuron, ses teneurs varient entre 0 µg/L et 52,95 µg/L, avec une moyenne estimée à 8,06 ± 5,26 µg/L.

Dans la lagune Potou, les teneurs de chlortoluron évoluent de 0 µg/L à 46,34 µg/L, avec une moyenne de 11,62 ± 11,57 µg/L. Le fénuron présente une moyenne de 334,08 ± 128,96 µg/L, un minimum de 15,09 µg/L et une valeur maximale de 646,08 µg/L. Pour ce qui est du métochromuron, on observe une concentration minimale de 0 µg/L, une maximale de 2946,69 µg/L et une moyenne de 742,86 ± 734,63 µg/L. Les quantités de métoxuron sont comprises entre 0,03 µg/L et 138,25 µg/L, avec une valeur moyenne de 46,12 ± 31,76 µg/L.

Les valeurs moyennes de toutes les molécules détectées dans les eaux sont supérieures à la valeur de référence de 0,1 µg/L de l’OMS. Le monolinuron et la méthabenzthiazuron sont interdits en Europe respectivement depuis 2000 et 2006 à cause de leur toxicité et de leur écotoxicologie et elles ne font pas parti des produits phytosanitaires homologués et autorisés en Côte d’Ivoire.

Tableau IV: Paramètres statistiques des urées substituées (en µg/L) dans les eaux lagunaires d’Aghien et de Potou

Lagunes	Paramètres	Min	Max	Moy ± e.s	Ecart-type	Cv	IC _{95%}
Aghien	Chlortoluron	0,40	251,45	40,60 ± 22,23	73,73	181,59	[0; 90,14]
	Fénuron	6,14	306,19	90,80 ± 30,49	101,11	111,36	[22,87; 158,72]
	Isoproturon	1,06	135,92	19,76 ± 11,77	39,04	197,53	[0; 45,99]
	Méthabenzthiazuron	0,10	19,99	3,38 ± 1,88	6,23	184,39	[0; 7,56]
	Métoxuron	1,28	7420,23	683,76 ± 673,65	2234,25	326,76	[0; 2184,72]
	Monolinuron	0	30,04	4,87 ± 2,72	9,02	185,01	[0; 10,93]
	Monuron	0	52,95	8,06 ± 5,26	17,43	216,19	[0; 19,77]
	Chlortoluron	0	46,34	11,62 ± 11,57	23,15	199,23	[0; 48,45]
	Fénuron	15,09	646,08	334,08 ± 128,96	257,92	77,20	[0; 744,48]
	Métochromuron	0	2946,69	742,86 ± 734,63	1469,26	197,79	[0; 3080,75]
Potou	Métoxuron	0,03	138,25	46,12 ± 31,76	63,51	137,72	[0; 147,17]

Famille des carbamates

L’analyse du tableau V montre que dans les eaux d’Aghien, les teneurs de l’aldicarbe sont comprises entre 0 µg/L et 5,32 µg/L, avec une moyenne estimée à 1,09 ± 0,46 µg/L. Dans la lagune Potou, la concentration moyenne de l’aldicarbe est estimée à 11,50 ± 11,46 µg/L, la maximale est 11,50 µg/L et la minimale est 0 µg/L.

Les valeurs moyennes de l’aldicarbe détectée dans les eaux sont supérieures à la valeur de référence de 0,1 µg/L de l’OMS. Ce pesticide est interdit dans l’Union Européenne depuis 2003 à cause de sa toxicité et de son écotoxicologie mais, il est homologué et autorisé en Côte d’Ivoire.

Tableau V: Paramètres statistiques des carbamates (en µg/L) dans les eaux lagunaires

Lagunes	Paramètres	Min	Max	Moy ± e.s	Ecart-type	Cv	IC _{95%}
Aghien	Aldicarbe	0	5,32	1,09 ± 0,46	1,51	139,69	[0,07; 2,10]
Potou	Aldicarbe	0	45,88	11,50 ± 11,46	22,92	199,30	[0; 47,97]

Famille des convulsivants

L’analyse du tableau VI montre que les eaux lagunaires d’Aghien présentent une concentration moyenne de crimidine estimée à 15 ± 6,29 µg/L. Les valeurs extrêmes sont de 0,28 µg/L pour la minimale et 61,09 µg/L pour la maximale. Dans la lagune Potou, la concentration en crimidine évolue entre 0,54 µg/L et 626,39 µg/L, avec une moyenne de 172,80 ± 151,66 µg/L.

Les valeurs moyennes de la crimidine détectée dans les eaux sont supérieures à la valeur de référence de 0,1 µg/L de l'OMS. Cette substance active est interdite en Europe depuis 2004 à cause de sa toxicité et de son écotoxicologie.

Tableau VI: Paramètres statistiques des convulsivants (en µg/L) dans les eaux lagunaires

Lagunes	Paramètres	Min	Max	Moy ± e.s	Ecart-type	Cv	IC _{95%}
Aghien	Crimidine	0,28	61,09	15 ± 6,29	20,87	139,12	[0,98;29,03]
Potou	Crimidine	0,54	626,39	172,80 ± 151,66	303,32	175,54	[0; 655,44]

DISCUSSION

Les analyses réalisées sur les échantillons d'eau du système lagunaire Aghien-Potou ont mis en évidence la présence de pesticides dans ces eaux. D'importantes quantités d'herbicides, d'insecticides et de rodenticides y ont été déterminées. Certains de ces pesticides notamment l'atrazine, la simazine, le métabenzthiazuron, le monolinuron, l'aldicarbe et la crimidine sont interdits dans l'Union Européenne pour leur toxicité et leur écotoxicologie. Curieusement, l'atrazine, la simazine et l'aldicarbe sont homologués et autorisés en Côte d'Ivoire (M.A., 2014). La présence des autres produits interdits dans les deux lagunes met en évidence une utilisation frauduleuse de formulations contenant ces substances. Traoré *et al.* (2006) ont relevé cette utilisation frauduleuse d'organochlorés (endosulfane, lindane, heptachlore) dans des zones de production de café et de cacao notamment Buyo, Grand-Lahou et Yamoussoukro. Les moyennes de l'ensemble des produits phytopharmaceutiques dans les lagunes Aghien et Potou sont respectivement de 72,43 µg/L et de 163,43 µg/L, qui sont des valeurs largement supérieures à la valeur guide de 0,50 µg/L (OMS, 2011). Les pesticides sont exclusivement d'origine anthropique et leur présence dans les eaux s'explique par l'action des eaux de pluie qui lessivent les substances épandues dans les plantations jusqu'aux plans d'eau lagunaires. Elle s'explique également par l'action du vent. En effet, lors de la pulvérisation des plantations bordant les lagunes, l'air pollué et chargé de particules de pesticides fini son parcours dans les eaux lagunaires. Les moyennes de l'ensemble des pesticides détectés aux embouchures de la Djibi (station 3), de la Bété (station 4) et de la Mé (station 12) sont respectivement de 8,78 µg/L, 510,80 µg/L et 15,83 µg/L. Ces rivières forestières (Djibi et Bété) et le fleuve Mé, qui traversent de vastes étendues agricoles avant de déboucher dans le complexe lagunaire Aghien-Potou, drainent des quantités importantes de produits phytosanitaires. La pollution diffuse est consécutive à de mauvaises conditions d'épandage et causée par le ruissellement et la lixiviation des terres agricoles (Keddal et N'Dri, 2007). Les cultures maraîchères sont très diverses et occupent de grandes superficies dans les environs des lagunes où plusieurs types de légumes sont cultivés. De grandes quantités de pesticides variés y sont utilisées. Selon Gomgnimbou *et al.* (2009), les sources du risque environnemental sont les circuits parallèles d'approvisionnement des pesticides, le lavage du matériel d'épandage dans les sources d'alimentation en eau et le non-respect des itinéraires techniques d'utilisation des intrants chimiques. Houenou (1996) cité par Gnako *et al.* (2010) a révélé que l'abus d'engrais et de pesticides dans les champs cultivés ont nui à la qualité de l'eau du lac Buyo et de son bassin hydrographique. Par ailleurs, Adingra et Kouassi (2011) ont indiqué la présence de pesticides dans la lagune Ebrié. Ils ont souligné que la plupart des plantations industrielles localisées dans la zone côtière utilisaient de grandes quantités de produits fertilisants et phytosanitaires tels que les insecticides, les fongicides, les nématocides, les raticides et les herbicides. Selon ces auteurs le lessivage des fertilisants et pesticides des plantations aux rivières et aux écosystèmes marins côtiers induit une eutrophisation et une contamination chimique des eaux et des produits de pêche. La pollution anthropique des eaux de surface liée aux pesticides s'observe également dans d'autres pays africains. Ainsi, Nwankwoala et Osibanjo (1992) ont détecté 1,26 µg/L de DDT, 0,43 µg/L d'endosulfan, 0,66 µg/L de dieldrine et 0,20 µg/L d'heptachlore dans la rivière Ibadan au Nigéria. Dans le Lac Nakuru au Kenya, Mavura et Wangila (2003) ont détecté 1,09 µg/L de DDT et 3,85 µg/L d'heptachlore. La présence de résidus d'endosulfan a été signalée dans le barrage de Vy-Kayo et l'étang de Sipohen au Burkina Faso par Tapsoba et Bonzi-Coulibaly (2006). La présence des pesticides dans les eaux représente un danger car elle peut causer plusieurs maladies et

dysfonctionnements de l'organisme humain. Les effets potentiellement toxiques de certains pesticides peuvent provoquer des fausses-couches et des malformations congénitales (Ferragu et al., 2010). Les pesticides présentent une toxicité potentielle sur le développement du cerveau chez les enfants (Qiao et al., 2002; DeMicco et al., 2010).

CONCLUSION

Les eaux de lessivage des plantations et des maraîchers qui bordent les lagunes Aghien et Potou introduisent d'importantes quantités de pesticides dans ces eaux. Ces pesticides proviennent également des cours d'eau tributaires que sont la Djibi, la Bété et la Mé. Le complexe lagunaire Aghien-Potou est pollué par des pesticides de nature diverse notamment les triazines et métabolites, les urées substituées, les carbamates et les convulsivants. La moyenne de l'ensemble de ces produits est de 72,43µg/L dans la lagune Aghien et de 163,43 µg/L dans la lagune Potou. Ces valeurs sont largement supérieures à la norme de 0,50 µg/L requise pour les eaux destinées à la production d'eau potable. Les eaux des lagunes Aghien et Potou sont donc inaptes pour la production d'eau potable. Les bonnes pratiques agricoles sont à promouvoir dans l'optique d'une exploitation durable des ressources naturelles de la région en particulier les ressources en eau.

Remerciements

Nous remercions le Laboratoire Central d'Agrochimie et d'Ecotoxicologie (LCAE) du Laboratoire Nationale d'Appui au Développement Agricole (LANADA) d'Abidjan.

REFERENCES

1. Adingra, A.A. and Kouassi, A.M., Pollution en lagune Ebrié et ses impacts sur l'environnement et les populations riveraines. *F. Tech. & Doc. Vulg.*, 48-53 (2011).
2. Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec (CEAEQ). Détermination des pesticides de type organophosphoré, triazine, carbamate et urée substituée dans l'eau: extraction avec C-18; dosage par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse. *MA. 403-Pest. 3.1, Rév. 2, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec*, 19 p (2011).
3. Coulibaly, L., Coulibaly, S., Kamagaté, B., Sékongo, N., Savané, I. and Gourène, G., Distribution des pesticides d'origine agricole et évaluation de la vulnérabilité des ressources en eaux dans un bassin versant transfrontalier: Cas du Comoé, Côte d'Ivoire. *European Journal of Scientific Research*, **76 (4)**: 601-613(2012).
4. Delor, C., Diaby, I., Siméon, Y., Adou, M., Zamblé, B. Z., Tastet, J.P., Yao, B., Konan, G., Chiron, J.C. and Dommanget, A., Carte géologique de la Côte d'Ivoire à 1/200 000, 1^{ère} Edition, Feuille GRAND-BASSAM, Direction de la Géologie, Abidjan, Côte d'Ivoire (1992).
5. Demicco, A., Cooper, K.R., Richardson, J.R. and White, L.A., Developmental neurotoxicity of pyrethroid insecticides in zebrafish embryos. *Toxicological Sciences*, **113 (1)**:177-186 (2010).
6. De Siqueira, M.T., Braga, C., Cabral-Filho, J.E., Augusto, L.G.D.S., Figueiroa, J.N. and Souza, A.I., Correlation between pesticide use in agriculture and adverse birth outcomes in Brazil: an ecological study. *Bull Environ Contam Toxicol.*, **84 (6)**:647-651 (2010).
7. Ferragu, C., Tron, I. and Bompays, S., Pesticides et santé: état des connaissances sur les effets chroniques en 2009. *Observatoire Régional de Santé de Bretagne.*, 120 (2010).
8. Fleischer, G., Andoli, V., Coulibaly, M., and Randolph, T., Analyse socio-économique de la filière des pesticides en Côte d'Ivoire. Ministère de l'Agriculture et des Ressources Animales. *Hanovre/Abidjan, Série de publication N°06/F*, 70 (1998).
9. Gnago, J.A., Danho, M., Agnéroh, T.A., Fofana, I.K. and Kohou, A.G., Efficacité des extraits de neem (*Azadirachta indica*) et de papayer (*Carica papaya*) dans la lutte contre les insectes ravageurs du gombo (*Abelmoschus esculentus*) et du chou (*Brassica oleracea*) en Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **4(4)**:953-966 (2010).
10. Gomgnimbou, A.P.K., Savadogo, P.W., Nianogo, A.J. and Millogo-Rasolodimby, J., Usage des intrants chimiques dans un agrosystème tropical : diagnostic du risque de pollution environnementale

- dans la région cotonnière de l'est du Burkina Faso. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **13** (4):499-507 (2009).
11. Henao, J. and Baanante, C., Estimating rates of nutrient depletion in soils of agricultural lands of Africa. *Technical Bulletin. IFDC –T 48. IFDC, Muscle Shoals, Alabama.*, 76 (1999).
 12. Keddal, H. and N'dri, Y.J., Impacts de l'intensification agricole sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines. *Revue HTE N°138*, 29 (2007).
 13. Kouassi, Y.M., Wognin, S.B., Manda, P., Yéboué-Kouamé, B.Y., Tchicaya, A.F., Bonny, J.S. and Dano, D.S., Intoxications chroniques professionnelles diagnostiquées au CHU de Yopougon-Abidjan, de 1990 à 2002. *Cahier de Santé Publique. Editions Universitaires de Côte d'Ivoire (EDUCI), Université de Cocody-Abidjan.*, **3**(1): 61-66 (2004).
 14. Levario-Carrillo, M., Amato, D., Ostrosky-Wegman, P., Gonzalez-Horta, C., Corona, Y. and Sanin, L.H., Relation between pesticide exposure and intrauterine growth retardation. *Chemosphere*, **55**(10):1421-1427 (2004).
 15. Levi, Y., Les micropolluants à effets modulateurs endocriniens. *Spectra 2000 Analyse*, **28**(208):19-22 (1999).
 16. Manda, P., Dano, D.S., Kouassi, Y. M., Oga, A.S., Dembélé, A., Wognin, S.B. and Aka, I., Evaluation de l'exposition aux organophosphorés et aux carbamates des applicateurs de produits phytosanitaires. *Editions Universitaires de Côte d'Ivoire (EDUCI). J. Sci. Pharm. Biol.*, **6** (1):53-60 (2005).
 17. Mavura, W.J. and Wangila, P.T., The pollution status of Lake Nakuru, Kenya: heavy metals and pesticides, 1999/2000. *African Journal of Aquatic Science.*, **13**(1):13-18 (2003).
 18. Ministère de l'Agriculture (M.A.). Liste des pesticides homologués et autorisés en Côte d'Ivoire., 78 p (2014).
 19. Nwankwoala, A.U. and Osibanjo, O., Baseline levels of selected organochlorine pesticides residues in surface waters in Ibadan (Nigeria) by electron capture gas chromatography. *Science of the Total Environment*, **119**:179-190 (1992).
 20. Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Guidelines for Drinking-water Quality. *World Health Organization, Fourth Edition; Genève, Suisse*, 541 (2011).
 21. Qiao, D., Seidler, F.J., Padilla, S. and Slotkin, T.A., Developmental neurotoxicity of chlorpyrifos: what is the vulnerable period? *Environ Health Perspect.*, **110**(11): 1097-1103 (2002).
 22. Roose, E. and Cheroux, M., Les sols du bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire. *O.R.S.T.O.M. Adiopodoumé, multig.*, 51-92 (1966).
 23. Sanborn, M., Cole, D., Kerr, K., Vakil, C., Sanin, L.H. and Bassil, K., Pesticides Literature Review. Systematic Review of Pesticide Human Health Effects, Ontario College of Family Physicians, 177 (2004).
 24. Tapsoba, H.K. and Bonzi-Coulibaly, Y.L., Production cotonnière et pollution des eaux par les pesticides au Burkina Faso. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim.*, **21**:87-93 (2006).
 25. Traoré, S.K., Mamadou, K., Dembélé, A., Lafrance, P., Mazellier, P. and Houénou, P. Contamination de l'eau souterraine par les pesticides en régions agricoles en Côte d'Ivoire (centre, sud et sud ouest). *Journal Africain des Sciences de l'Environnement*, **1**:1-9 (2006).
 26. Traoré, S.K., Dembélé, A., Mamadou, K., Mambo, V., Lafrance, P., Békro, Y.A. and Houénou P. Contrôle des pesticides organochlorés dans le lait et produits laitiers : Bioaccumulation et risques d'exposition. *Afrique Science.*, **4** (1):87-98 (2008).
 27. Xiang, H., Nuckols, J.R. and Stallones, L.A., geographic information assessment of birth weight and crop production patterns around mother's residence. *Environ Res.*, **82**(2):160-167 (2000).