

État des lieux de la contamination des écosystèmes aquatiques par les pesticides organochlorés dans le Bassin cotonnier béninois

Tachégnon Prudencio Agbohessi^{1,2}
Ibrahim Imorou Toko²
Patrick Kestemont³

¹ Facultés universitaires Notre-Dame de la Paix (FUNDP) de Namur
Faculté des sciences
Unité de recherche en biologie environnementale et évolutive (URBE)
55, rue de Bruxelles
Chambre 317
Namur
Belgique
<agbohessiprudencio@yahoo.fr>

² Université de Parakou (Bénin)
Faculté d'agronomie (FA)
Département de Production animale (DPA)
Unité de recherche en aquaculture et écotoxicologie aquatique (URAEAQ)
BP 123
Parakou
Bénin
<iimorou_toko@hotmail.com>

³ Facultés universitaires Notre-Dame de la Paix (FUNDP) de Namur
Faculté des sciences
Unité de recherche en biologie environnementale et évolutive (URBE)
Rue de Bruxelles, 61
B-5000 Namur
Belgique
<patrick.kestemont@fundp.ac.be>

Résumé

Les pesticides organochlorés avaient été recommandés au Bénin dans les années 1960 (DDT, lindane, dieldrine, heptachlore, etc.) et de 1999 à 2007 (endosulfan) pour le contrôle des ravageurs du cotonnier. En dehors de ces périodes, l'utilisation illicite de certaines molécules de cette famille de pesticide a été signalée dans le bassin cotonnier. Les molécules d'organochlorés sont très lipophiles et très rémanentes. Par ailleurs, elles se dégradent rapidement sous l'action des rayons ultraviolets en des produits dérivés généralement plus toxiques et plus stables que les composés initiaux. Utilisés dans les champs, ces pesticides sont même retrouvés plusieurs années plus tard dans les écosystèmes aquatiques. Un travail de synthèse documentaire nous a permis de faire l'état des lieux de la contamination des biotopes aquatiques béninois par ces produits dangereux. Ainsi, des taux alarmants d'endosulfan, de DDT, de dieldrine et d'heptachlore ont été trouvés dans certaines eaux dont les eaux du parc W. Dans les sédiments à Bétérou, des taux élevés de DDT, d'endosulfan et de lindane ont été également mis en évidence. Des analyses sur des tilapias *Sarotherodon melanotheron* mâles capturés le long du fleuve Ouémé ont montré la présence de lindane, de dieldrine, d'heptachlore, de pp'-TDE ainsi qu'une concentration plasmatique élevée en vitellogénine. Des taux alarmants de DDT, d'endosulfan, de lindane et de dieldrine ont également été trouvés chez des polyptères *Polypterus endlicheri* capturés dans les eaux de la Pendjari.

Mots clés : bassin cotonnier ; écosystème aquatique ; pesticides organochlorés.

Thèmes : eau ; pathologie ; pêche et aquaculture ; ressources naturelles et environnement.

Abstract

Current status of the contamination of aquatic ecosystems by organochlorine pesticides in the cotton basin of Benin

Organochlorine pesticides were recommended in Benin in the 1960s (DDT, lindane, dieldrin, heptachlor, etc.) and from 1999 till 2007 (endosulfan) for the control of cotton plant devastators. Since the end of these periods, the illegal use of certain molecules of this family of pesticides has been observed in the cotton basin. Organochlorine molecules are very lipophilic and very persistent and quickly degrade under the effects of ultraviolet rays into by products which are generally more toxic and stabler than the initial compounds. When they are used in fields, they can still be found in the aquatic ecosystems several years later. A literature review showed the state of contamination in different Benin aquatic biotopes by these dangerous products. Indeed, alarming rates of endosulfan, DDT, dieldrin and heptachlor were found in certain waters, such as the waters of the park W. In sediments of Bétérou high levels of DDT, endosulfan and lindane were also revealed. An investigation of tilapia *Sarotherodon melanotheron* males captured along the Oueme river showed the presence of lindane, dieldrin, heptachlor, and pp'-TDE as well as a high plasmatic concentration of vitellogenin. Alarming rates of DDT, endosulfan, lindane and dieldrin were also found in *Polypterus endlicheri* captured in the waters of the Pendjari.

Pour citer cet article : Agbohessi TP, Toko II, Kestemont P, 2012. État des lieux de la contamination des écosystèmes aquatiques par les pesticides organochlorés dans le Bassin cotonnier béninois. *Cah Agric* 21 : 46-56. doi : 10.1684/agr.2012.0535

Tirés à part : T.P. Agbohessi

Key words: aquatic ecosystem; cotton plant basin; organochlorine pesticides.

Subjects: fishing and aquaculture; natural resources and environment; pathology; water.

Au Bénin (figure 1), le secteur de la production cotonnière est le principal moteur de croissance de l'économie nationale. Il constitue la plus grande partie de la production primaire et des exportations du pays, car représente environ 80 % des recettes d'exportations officielles et contribue pour 13 % à la formation du produit intérieur brut (PIB) (AIC, 2008). Sur le plan industriel, le coton représente environ 60 % du tissu industriel béninois et génère plus de 3 500 emplois. Cette filière fait vivre directement ou indirectement environ 3 000 000 de personnes (AIC, 2006). Elle est à ce titre un puissant levier de lutte contre la pauvreté. Seulement, la bonne conduite de cette culture exige l'utilisation d'engrais minéraux pour la fertilisation des sols et de pesticides pour la lutte contre les adventices et le traitement phytosanitaire des plantes. Certes, le recours aux pesticides chimiques a fait augmenter significativement la production agricole, mais en même temps cet usage aurait une influence négative sur la biodiversité (Monkiédjé *et al.*, 2000). En effet, la fraction de pesticides qui atteint le sol rejoint ensuite, sous l'effet des pluies, les eaux de surface par ruissellement superficiel ou les eaux souterraines par infiltration (Ramade, 1989). De plus, la fraction émise dans l'atmosphère par volatilisation finit aussi par regagner, sous forme de retombées atmosphériques, les sols et les eaux de surface lors des précipitations. Au nombre des pesticides, il y a les insecticides organochlorés jadis recommandés mais aujourd'hui interdits dans toute la sous-région ouest-africaine à la demande de l'Union Européenne, au regard de leurs nuisances sur l'environnement et sur les populations humaines. Ces pesticides sont très rémanents et peuvent se stocker durablement dans la biomasse. C'est pourquoi, il est indispensable de faire l'état des lieux de la contamination des écosystèmes aquatiques béninois par ces pesticides organochlorés, et de dégager l'impact de ces biocides sur le système eau/sédiment et les poissons qu'il contient.

Pesticides organochlorés et contamination des écosystèmes aquatiques au Bénin

Les pesticides organochlorés comme le DDT ont été utilisés au Bénin dès les années 1960, bien avant l'avènement de la culture cotonnière, contre la malaria, la mouche tsé-tsé, les vers de guinée (*Dracunculus medinensis*) et les anophèles (Gambia). De la fin des années 1970 à 1999, les substances actives de la famille des pyréthrinoïdes ont remplacé les organochlorés jugés alors trop toxiques pour le traitement phytosanitaire du cotonnier (Katary, 2003). Mais face aux chutes drastiques des rendements provoquées par la résistance du plus redoutable ennemi du cotonnier, *Helicoverpa armigera*, aux pyréthrinoïdes, d'autres programmes de lutte chimique ont été mis en œuvre à partir de la campagne 1999-2000 dans lesquels les organochlorés ont été réintroduits à travers l'endosulfan, en remplacement de ces pyréthrinoïdes (Katary, 2003). En février 2007, suite aux dégâts de l'endosulfan sur l'environnement et les populations humaines (décès de plusieurs personnes dus à l'intoxication par ce produit), cet insecticide a été officiellement interdit d'utilisation et remplacé par le tihan 175 O-TEQ. Cependant, des écarts existent entre les pesticides recommandés et ceux utilisés. En effet, des enquêtes d'Agagbé (2008) menées à Savalou ont révélé que seuls 36 % des agriculteurs continuent de faire confiance aux produits phytosanitaires officiellement autorisés. Trente et un pour cent se procurent ces produits à la fois dans le secteur formel et informel et 33 % des agriculteurs ne se ravitaillent que dans le secteur informel. Le secteur informel se fournit en produits issus des trafics transfrontaliers qui échappent à tout contrôle (Togo,

Nigeria, Ghana, etc.), disponibles à bon marché, et en produits désuets mal stockés soumis au risque de vente frauduleuse. Il s'agit notamment des organochlorés tels que l'endosulfan, le DDT, le lindane, la dieldrine, l'heptachlore, etc. (Soclo, 2003 ; Yèhouéou A Pazou, 2005). Ces pesticides, à base de substances toxiques persistantes, sont caractérisés par une forte rémanence temporelle et une faible spécificité. Sous les tropiques comme au Bénin, ils se dégradent rapidement sous l'action des rayons ultraviolets en des produits dérivés généralement plus toxiques et plus stables que les composés initiaux (Pnue, 2002). Leur demi-vie est de plusieurs années, généralement de l'ordre de 10 ans ou plus, ce qui leur permet de se stocker durablement dans une grande partie de la biomasse de la planète (Pnue, 2002).

La contamination des eaux par les pesticides au Bénin est, soit ponctuelle lors de la manipulation des produits du remplissage ou du rinçage des pulvérisateurs, soit diffuse après l'application des produits, par ruissellement vers les eaux de surface. En effet, 89 % des cultivateurs de coton enquêtés par Agagbé (2008) ont leur champ situé au bord d'un cours d'eau et 73 % reconnaissent nettoyer leurs outils de pulvérisation dans les plans d'eau. La contamination des cours d'eau vient également de l'utilisation directe pendant la période des basses eaux par les pêcheurs, de pesticides organochlorés, notamment de l'endosulfan, du DDT, de l'endrine, etc., pour capturer des poissons (Soclo, 2003 ; Yèhouéou A Pazou, 2005). Ainsi tous les compartiments de ces écosystèmes sont atteints par ces produits dangereux.

Contamination des eaux de surface

Les tableaux 1 et 2 présentent les valeurs résiduelles des composés

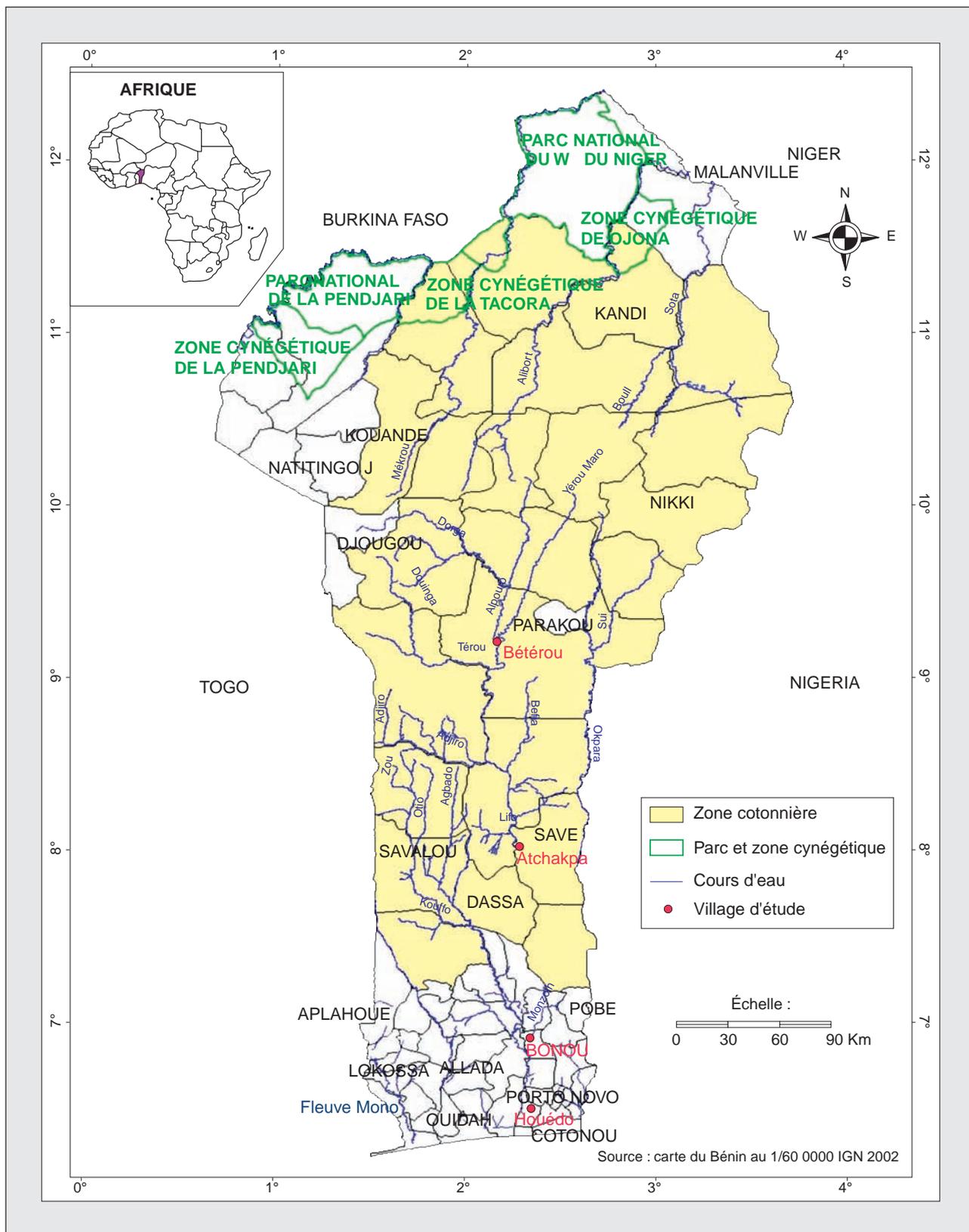


Figure 1. Carte du Bénin avec les zones cotonnières et le réseau hydrographique.

Figure 1. Map of Benin with the cotton-growing areas and hydrographic network.

Tableau 1. Données chiffrées sur la contamination de certains cours d'eau du Bénin par quelques pesticides organochlorés ($\mu\text{g/L}$).

Table 1. Quantitative data on the contamination of some Benin rivers by some organochlorine pesticides ($\mu\text{g/L}$).

	Σ DDT	Endosulfan	Dieldrine	Heptachlore	Références
Rivière Agbado (Savalou)	6,45 - 29,48	0,293-0,471	-	-	Agagbé, 2008
Fleuve Mono	0,15	0,69	0,06	0,11	Mawussi, 2008
Zone cynégétique Pendjari	61	46	0	29	
Zone cynégétique Atacora	75	45	0	44	Soclo, 2003
Zone cynégétique Djona	78	35	0	23	
Cours d'eau Parc W	1 - 100	58 - 746	1 - 48	34 - 83	Assongba, 1997 (données non publiées)

Σ DDT = DDE + DDD + DDT.

Les valeurs présentées par Soclo (2003) et Mawussi (2008) sont des valeurs moyennes, celles d'Assongba (1997) et d'Agagbé (2008) sont des valeurs minimales et maximales obtenues sur le cours d'eau concerné.

organochlorés respectivement dans certaines eaux du Bénin et du continent africain. La majeure partie des données du *tableau 1* sont des résultats d'études écotoxicochimiques de résidus organochlorés dans l'eau réalisées dans le cadre de recherches par l'équipe du Professeur Henri Soclo au sein de l'Unité de recherche en écotoxicologie et étude de qualité (UREEQ), une unité accréditée par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA/Monaco) et dont le protocole est conforme à celui de « *Standard methods* ».

Le DDT a été détecté à des valeurs allant de 0,15 à 100 $\mu\text{g/L}$ dans les eaux étudiées. Le taux le plus faible, 0,15 $\mu\text{g/L}$ (fleuve Mono), est comparable à celui < 0,1 $\mu\text{g/L}$ observé par Dem *et al.*, 2007 dans les rivières des

zones cotonnières au Mali et à celui des rivières à Ibadan (1,266 $\mu\text{g/L}$) par Nwankwoala et Osibanjo, 1992. Les valeurs élevées de 6,45 à 100 $\mu\text{g/L}$ observées dans la rivière Agbado, et les rivières des zones cynégétiques de la Pendjari, de l'Atacora, de la Djona et du parc W (*figure 1*), sont de loin supérieures à celles signalées dans le lac Nakuru (1,09 $\mu\text{g/L}$) (Mavura et Wangila, 2003), dans les rivières d'Ibadan (1,266 $\mu\text{g/L}$) (Nwankwoala et Osibanjo, 1992), dans les rivières des zones cotonnières au Mali (< 0,1 $\mu\text{g/L}$) (Dem *et al.*, 2007) et dans la rivière Anié au Togo (0,11 $\mu\text{g/L}$) (Mawussi, 2008) (*tableau 2*). Ces valeurs sont également très supérieures à la limite maximale de résidu d'origine étrangère de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) fixée à 2 $\mu\text{g/L}$ (WHO,

1998) et à la directive de l'Union européenne 98/83/EC (EU, 1998) fixée à 0,1 $\mu\text{g/L}$ pour le DDT. Les teneurs en DDT des zones cynégétiques de la Pendjari (61 $\mu\text{g/L}$), de l'Atacora (75 $\mu\text{g/L}$), de la Djona (78 $\mu\text{g/L}$) et la valeur maximale trouvée dans le parc W (100 $\mu\text{g/L}$) sont de loin supérieures aux normes de qualité d'eau potable au Bénin (30 $\mu\text{g/L}$) fixées par le décret n° 2001-094 du 20 février 2001. Ces derniers taux et ceux observés dans la rivière Agbado à Savalou (6,45 à 29,48 $\mu\text{g/L}$) sont largement situés au-dessus du CL = 0,4 $\mu\text{g/L}$ pour les crevettes (Ritter *et al.*, 1997) et de 5 $\mu\text{g/L}$ qui a provoqué, chez les géniteurs de *Oreochromis mossambicus* exposés pendant 40 jours, une augmentation de l'atrésie des ovocytes dans les ovaires et une désorganisation

Tableau 2. Données chiffrées sur la contamination de certains cours d'eau de zones cotonnières de pays africains par quelques insecticides organochlorés ($\mu\text{g/L}$).

Table 2. Quantitative data on the contamination of some rivers in cotton growing areas of African countries by organochlorine insecticides ($\mu\text{g/L}$).

	DDT	Endosulfan	Dieldrine	Heptachlore	Références
Lac Nakuru (Kenya)	1,09			3,85	Mavura et Wangila, 2003
Rivières Ibadan (Nigeria)	1,266	0,43	0,657	0,202	Nwankwoala et Osibanjo, 1992
Rivières des zones cotonnières (Mali)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	Dem <i>et al.</i> , 2007
Rivière Anié (Togo)	0,11	0,57	0,04	0,24	Mawussi, 2008

Les valeurs contenues dans ce tableau sont des valeurs moyennes.

des lobules dans les testicules. Ce taux de 5 µg/L a aussi provoqué un taux de mortalité et de déformation élevé chez les larves issues des géniteurs exposés (Mlambo *et al.*, 2009).

Les teneurs en endosulfan des eaux étudiées se situent entre 0,293 et 746 µg/L (*tableau 1*). Ces différentes valeurs sont supérieures à celle de la directive du Conseil de l'Union européenne fixée à 0,1 µg/L (EU, 1998). Les taux de 46 µg/L (Pendjari), de 45 µg/L (Atacora), de 35 µg/L (Djona) et de 58 à 746 µg/L (parc W) sont très alarmants et sont à près de 100 à 1 000 fois supérieurs aux valeurs de 0,43 µg/L obtenu dans les rivières d'Ibadan au Nigeria (Nwankwoala et Osibanjo, 1992), de 0,57 µg/L obtenu dans la rivière Anié au Togo (Mawussi, 2008), et de celle inférieure à 1 µg/L obtenu au Mali (Dem *et al.*, 2007). En revanche, les valeurs de 0,293-0,471 µg/L (rivière Agbado) et de 0,69 µg/L (fleuve Mono) sont comparables à 0,43 µg/L (rivière Ibadan) et à 0,57 µg/L (rivière Anié). Les teneurs en endosulfan de la Pendjari, Atacora, Djona et du parc W sont très nettement supérieures au CL = 0,77 µg/L chez *Clarias gariepinus* (Ezemonye et Ikpesu, 2011) et au CL = 12,795 µg/L chez *Tilapia nilotica* (Tellez-Banuelos *et al.*, 2009) qui sont des espèces de poissons rencontrées dans ces cours d'eau.

Les concentrations en dieldrine dans les eaux béninoises étudiées varient de 0 à 48 µg/L. Aucune trace de dieldrine n'a été observée dans les zones cynégétiques de la Pendjari, de l'Atacora et de la Djona. Les concentrations de 0,06 µg/L (fleuve Mono) et de 1 à 48 µg/L (parc W) comparées aux normes de l'OMS et de l'Union européenne (0,03 µg/L) (EU, 1998 ; WHO, 1998) sont très élevées. Les taux les plus alarmants (1-48 µg/L) obtenus dans le parc W sont nettement supérieurs à ceux (0,657 µg/L) rapportés dans les rivières d'Ibadan au Nigeria (Nwankwoala et Osibanjo, 1992), à < 1 µg/L rapportés dans les rivières des zones cotonnières au Mali (Dem *et al.*, 2007) et à 0,04 µg/L rapportés dans la rivière Anié au Togo (Mawussi, 2008). Cependant, la valeur de 0,06 µg/L obtenue dans le fleuve Mono est comparable à celle de la rivière Anié (0,04 µg/L) mais reste très faible devant celle obtenue dans les rivières d'Ibadan au Nigeria

(0,657 µg/L). Les valeurs observées dans les cours d'eau du parc W (1-48 µg/L) sont équivalentes aux CL = 1,1 à 41 µg/L chez les poissons, notamment chez *Clarias gariepinus* de 57 jours (11,7 µg/L) et chez *Oreochromis niloticus* de 57 jours (4,95 µg/L) (Lamai *et al.*, 1999).

Les niveaux résiduels en heptachlore détectés dans les eaux béninoises étudiées sont de 0,11 à 83 µg/L. Ces valeurs résiduelles sont très élevées comparées aux normes de l'OMS et de l'Union Européenne fixées à 0,03 µg/L (EU, 1998 ; WHO, 1998). Si la valeur obtenue dans le fleuve Mono (0,11 µg/L) est très faible par rapport à celles rapportées dans le lac Nakuru 3,85 µg/L (Mavura et Wangila, 2003), dans les rivières d'Ibadan 0,202 µg/L (Nwankwoala et Osibanjo, 1992) et dans la rivière Anié 0,24 µg/L (Mawussi, 2008), celles obtenues dans la Pendjari (29 µg/L), dans l'Atacora (44 µg/L), dans la Djona (23 µg/L) et dans le parc W (34 à 83 µg/L) sont plusieurs fois plus élevées que toutes ces valeurs (*tableau 2*).

Finalement, les eaux de la zone cynégétique de la Pendjari, de l'Atacora, de la Djona et du parc W traversant les zones de fortes productions cotonnières au Bénin, qui reçoivent également les effluents de plusieurs autres zones cotonnières, sont celles qui contiennent les taux les plus alarmants de composés organochlorés détectés. Ces différents taux comparés à ceux de plusieurs cours d'eau sur le continent africain sont très élevés et sont tous largement situés au-dessus des CL50 de certaines espèces de poissons vivant dans ces eaux. Cela peut certainement expliquer le fait que pendant la période d'utilisation des pesticides dans les champs et de façon récurrente, on observe sur ces cours d'eau et d'autres affluents du fleuve Niger, des quantités importantes de cadavres de plusieurs espèces de poissons dont *Clarias gariepinus*, *Tilapia nilotica*, et *Polypterus endlicheri* (Soclo, 2003 ; Issa, 2007 cité par Oga, 2007). La rivière Agbado située également dans une zone cotonnière contient des taux relativement élevés de DDT. Le fleuve Mono situé dans une zone non cotonnière contient un taux bas de DDT (0,15 µg/L) mais un niveau relativement élevé d'endosulfan (0,69 µg/L) dont l'origine peut être

liée à la présence de cultures maraichères aux abords de ce fleuve.

Contamination des sédiments

Les résultats de l'analyse des sédiments prélevés entre 0 et 10 cm de quelques cours d'eau du Bénin sont présentés dans le *tableau 3*. Les concentrations sont exprimées en fonction du taux de matière organique. Les données obtenues du lac Nokoué et du fleuve Ouémé sont des résultats d'analyses de résidus organochlorés dans les sédiments réalisés à l'*Institute of Environmental Studies* de la *Vrije Universiteit* aux Pays-Bas par une équipe de chercheurs béninois et néerlandais. Les autres (rivière Agbado, rivière Magou et ceinture cotonnière Gogounou-Kandi-Banikoara) sont réalisés à l'UREEQ.

Il ressort de ce tableau que les teneurs individuelles en DDT et métabolites des sédiments du lac Nokoué sont pour la plupart inférieures à la limite de détection. Les teneurs les plus élevées sont obtenues à Ladj (280 µg/kg [DDE], 128 µg/kg [DDD] et 23 µg/kg [DDT]). Celles observées dans les stations le long du fleuve Ouémé (*figure 1 et 2*) et celles obtenues dans la rivière Agbado (*tableau 3*) sont très élevées également. Toutes sont très supérieures à la recommandation canadienne pour la qualité de l'eau (1,42 µg/kg [DDE], 3,54 µg/kg [DDD] et 1,19 µg/kg [DDT]) et aux concentrations néerlandaises maximales permises (58 µg/kg [DDE], 39 µg/kg [DDD] et 98 µg/kg [DDT]).

Tous les taux de DDE et de DDT au niveau du lac Nokoué et du fleuve Ouémé qui dépassent la limite de détection, sont supérieurs aux 4,47 µg/kg (DDE) et 123 µg/kg (DDT) trouvés dans les sédiments du lac Nakuru au Kenya (Mavura et Wangila, 2003) (*tableau 4*). Les valeurs de DDD obtenues à Lowé (242 µg/kg) et à Bétérou (403 µg/kg) sont au-dessus de celles trouvées toujours dans les sédiments du lac Nakuru au Kenya qui est de 123 µg/kg (Mavura et Wangila, 2003). Le taux de DDT obtenu à Houédo (526 µg/kg) est supérieur aux 354 µg/kg trouvés dans la lagune Ebrié en Côte

Tableau 3. Résidus de pesticides organochlorés identifiés et quantifiés dans les sédiments collectés dans le lac Nokoué, le long du fleuve Ouémé et dans la rivière Agbado ($\mu\text{g}/\text{kg}$ MO).

Table 3. Organochlorine pesticide residues identified and quantified in sediments collected in Lake Nokoué, along the Oueme and Agbado rivers ($\mu\text{g}/\text{kg}$ OM).

Cours d'eau	Zones de collecte des sédiments	DDE	DDD	DDT	Σ Endo	γ HCH	Σ Drin	Références
Lac Nokoué	Sô-Ava	< dl	< dl	< dl				Yèhouénoù A Pazou, 2005
	Vèkky	< dl	< dl	< dl				
	Sô-tchanhoué	< dl	< dl	< dl				
	Ganvié	11,5	23	< dl				
	Abomey-Calavi	7,5	15	< dl				
	Zogbo	15	< dl	< dl				
	Awansori	74	56	< dl				
	Jesuko	< dl	< dl	< dl				
	Ladji	280	128	23				
Fleuve Ouémé	Donga	70	51 - 63	134 - 189	16,4- 19,2	7,0	< 0,1	Yèhouénoù A Pazou, <i>et al.</i> , 2006b
	Bétérou	109	403	139 -809	52,2	61,0	< 0,1	
	Kpassa	131	61,5	159,5	1,6	7,0	< 0,1	
	Lowé	68	115,5-243	167,3 -312	7,8	8,0	39	
	Toué			123	13	4,0	12	
	Bonou			220	7,6	42,0	32	
	Houédo			545,4	<0,1	16,0	8,2	
	Atcha -Béri			67	164	20,0	5,0	
Rivière Agbado (Savalou)	Pont de Gobada			10,8-69,8	0,9072-1,014			Agagbé, 2008
Rivière Magou				489,5	403,8	117,5	77,5	Soclo, 2003
Ceinture cotonnière Gogounou-Kandi-Banikoara	Gogounou				120			Adam <i>et al.</i> , 2010
	Kandi				120			
	Banikoara				150			

MO : matière organique ; < dl : inférieur à la limite de détection ; Σ Endo = endosulfan α + endosulfan β ; Σ Drin = aldrine + isodrine + télodrine + endrine + dieldrine.

Les valeurs uniques sont des valeurs moyennes ; les valeurs doubles sont des valeurs minimales et maximales obtenues.

d'Ivoire (Marchand et Martin, 1985). Les taux d'endosulfan trouvés à Bétérou (53 $\mu\text{g}/\text{kg}$) et à Atcha-Béri (164 $\mu\text{g}/\text{kg}$) se situent entre 7 et 1 155 $\mu\text{g}/\text{kg}$ trouvés dans les sédiments de la lagune Lekki (Ojo, 1991 cité par Pnue, 2002) et sont aussi respectivement similaires aux 44,4 $\mu\text{g}/\text{kg}$

trouvés dans le barrage de Tové et aux 164,31 $\mu\text{g}/\text{kg}$ obtenus dans les sédiments de la rivière Agbansiandi au Togo (Mawussi, 2008).

Cependant les valeurs d'endosulfan (0,9072-1,014 $\mu\text{g}/\text{kg}$) trouvées à Agbado sont faibles par rapport à celles du barrage de Tové (44,4 $\mu\text{g}/\text{kg}$) et à

celles de la rivière Agbansiandi (164,31 $\mu\text{g}/\text{kg}$). Celles obtenues dans la ceinture cotonnière de Gogounou-Kandi-Banikoara (120 à 150 $\mu\text{g}/\text{kg}$) sont comparables à celle de cette rivière mais largement au-dessus de celle du barrage de Tové. En revanche, une valeur de 403,8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ a été

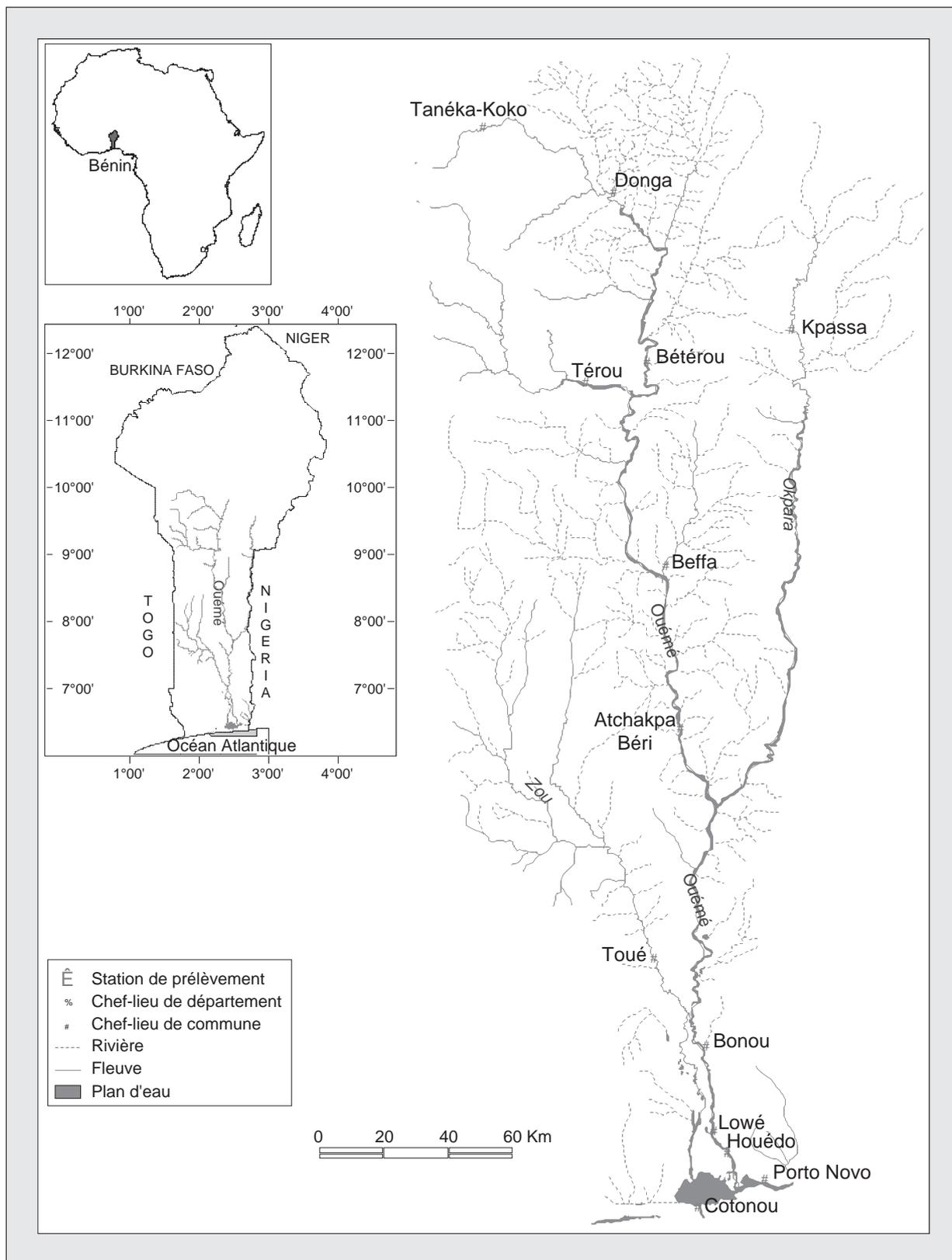


Figure 2. Le fleuve Ouémé.

Figure 2. The Ouémé river.

Tableau 4. Résidus de pesticides organochlorés identifiés et quantifiés dans les sédiments de quelques cours d'eau de zones cotonnières en Afrique.

Table 4. Organochlorine pesticide residues identified and quantified in the sediments of some rivers in cotton growing areas in Africa.

	DDE	DDD	DDT	Σ DDT	Σ Endo	γHCH	Σ Drin	Références
Lagune Ebrié (Côte-d'Ivoire)	149	803	354	1 306		19	187,9	Marchand et Martin, 1985
Rivière Agbansiandi (Togo)	15,85		104,38	120,23	164,31	11,22	71,53	Mawussi, 2008
Barrage Tové (Togo)	31,9		35,74	67,64	44,4	61,66	164,51	
Lac Nakuru (Kenya)	4,47	123					8,26	Mavura et Wangila, 2003

Σ DDT = DDE + DDD + DDT ; Σ Endo = endosulfan α + endosulfan β ; Σ Drin = aldrine + isodrine + télodrine + endrine + dieldrine.
Les valeurs contenues dans ce tableau sont des valeurs moyennes.

trouvée dans la rivière Magou. Cette valeur est très élevée, comparée à celles qui ont été trouvées dans les deux rivières (barrage de Tové et rivière Agbansiandi).

Quant au lindane, les concentrations les plus élevées ont été identifiées dans la rivière Magou (117,5 µg/kg) puis à Bétérou (61 µg/kg). Celles-ci sont supérieures à celles qui sont retrouvées dans la lagune Ebrié (0,5-19 µg/kg), dans la rivière Agbansiandi (11,22 µg/kg) et dans le fleuve Sabaki (6,93 µg/kg) au Kenya. Mais celle de Bétérou est semblable à celle du barrage de Tové (61,66 µg/kg) au Togo.

Les taux les plus élevés d'aldrine et de ses dérivés ont été trouvés dans la rivière Magou (77,5 µg/kg) et à Lowé (39 µg/kg), ceux-ci sont faibles devant celui de la lagune Ebrié (187,9 µg/kg) et du barrage de Tové (164,51 µg/kg), semblables à celui de la rivière Agbansiandi (71,53 µg/kg) mais élevés devant celui du lac Nakuru (8,26 µg/kg).

Les valeurs très élevées obtenues dans certains sédiments pourraient s'expliquer par le fait que, d'une part les zones de prélèvement choisies sont des zones de production cotonnière et les sites situés près des champs de coton et d'autre part, ces composés organochlorés ont une solubilité à l'eau très faible et par conséquent se déposent sur les sédiments dès qu'ils contaminent les cours d'eau. Certains secteurs de prélèvement dans le lac Nokoué sont à proximité de zones où

les conditions climatiques ne sont pas favorables à la culture du coton. Pour les zones comme Ladji, Awansori, Abomey-Calavi et Ganvié, la présence de ces résidus de DDT pourrait se justifier par leur transport de Houédo, un affluent du fleuve Ouémé ou par une utilisation frauduleuse de ce pesticide dans la zone. Le rapport DDE/DDT de Ladji est supérieur à 1 alors que ceux des stations comme Donga, Bétérou, Kpassa et Lowé sont inférieurs à 1, ce qui indique, selon Iwata *et al.*, 1993 que le DDT détecté à Ladji a été utilisé dans un passé lointain alors que ceux de Donga, Bétérou, Kpassa et Lowé sont d'utilisation récente.

Contamination des populations halieutiques

Les poissons sont contaminés par les polluants par absorption directe au travers des téguments et des branchies et par voie alimentaire (Ramade, 1991). Le *tableau 5* présente quelques données chiffrées de résidus organochlorés dosés chez quelques espèces de poissons situées à différents niveaux de la chaîne trophique. Les données obtenues le long du fleuve Ouémé (Kpassa, Bétérou, Atchakpa-Béri, Toué, Bonou, Lowé, Houédo)

(*figure 2*) sont des résultats d'analyses de résidus organochlorés réalisées à l'*Institute of Environmental Studies, Vrije Universiteit* aux Pays-Bas par une équipe de chercheurs béninois et néerlandais. Les autres (cours Pendjari, Dridji) sont réalisés à l'UREEQ. L'analyse du tableau montre que les teneurs résiduelles en DDT et ses produits de transformation dans les poissons étudiés varient de 40 à 421 ng/g (DDE), de 24 à 320 ng/g (DDD), de 5,7 à 819,6 ng/g (DDT) et de 129 à 6 900 ng/g (Σ DDT [DDE + DDD + DDT]). Ces valeurs de DDE sont supérieures à celles qui ont été trouvées chez les poissons du lac Nakuru au Kenya (34,9 ng/g, Mavura et Wangila, 2003) et à celles trouvées par Afful *et al.*, 2010 (1,3 à 12 ng/g) dans les poissons du bassin de Densu au Ghana. Pour les poissons capturés le long du fleuve Ouémé et dans la rivière Dridji, la Σ DDT a varié de 129 à 1 642 ng/g, ce qui est inférieur à ceux rapportés pour *Micropterus salmoides* capturé dans le lac Naivasha (Kenya) qui contient des taux de Σ DDT équivalents à 2 100 ng/g (Gitahi *et al.*, 2002) et comparables à ceux obtenus (70-1 050 ng/g) pour les poissons du lac Malawi (Kidd *et al.*, 2001). En revanche, la teneur résiduelle en DDT de *Polypterus endlicheri* (6 900 ng/g) capturé dans la rivière Magou dans le parc W est très supérieure à celle des poissons du lac Malawi (70 – 1 050 ng/g) (Kidd *et al.*, 2001) et à celle rapportée pour

Tableau 5. Résidus des pesticides identifiés et dosés dans les espèces de poissons de quelques cours d'eau au Bénin (ng/g de lipide).

Table 5. Organochlorine pesticide residues identified and assayed in some species of fish of some rivers in Benin (in ng/g lipid).

Stations	Espèces	DDE	DDD	DDT	Σ DDT	Σ Endo	Lind	Diel	Références
Kpassa	<i>Oreochromis niloticus</i>	41	38	50	129	16	-	-	
	<i>Sarotherodon galileus</i>	40	47	52	139	24	-	10	
Bétérou	<i>Clarias gariepinus</i>	66	83,3	386	535	23	-	-	
Atchakpa-Béri	<i>Tilapia guineensis</i>	63	29,1	60	152	8,2	-	9,0	
	<i>Clarias gariepinus</i>	421	157	806	1 384	4,1	-	-	
	<i>Chrysichthys nigrodigitatus</i>	96	27	73	196	-	-	-	
Toué	<i>Tilapia zillii</i>	44	24	66	134	5,3	-	-	Yèhouénu A Pazou <i>et al.</i> , 2006b
	<i>Polypterus endlicheri</i>	65	60	348	473	-	-	-	
	<i>Clarias ebriensis</i>	78	29	64	171	-	-	-	
Bonou	<i>Clarias gariepinus</i>	221	57	1 364	1 642	32	-	-	
Lowé	<i>Protopterus annectens</i>	64	61	5	130	61	-	750	
	<i>Clarias gariepinus</i>	105	85	700	890	26	-	10	
	<i>Clarias ebriensis</i>	107	47,9	87	241	15,5	-	6,9	
	<i>Synodontis schall</i>	88	75,7	137	301	39	-	1,5	
	<i>Synodontis nigrita</i>	115	104	352	571	85	-	6,6	
	<i>Schilbe intermedius</i>	396	320	475	1 191	215	-	8,5	
	<i>Chrysichthys auratus</i>	297	122	819	1 238	121	-	-	
	<i>Hyperopisus bebe</i>	242	196	376	814	85	-	-	
Houédo	<i>Clarias gariepinus</i>	72	97,3	620	789	54	-	-	
Cours Pendjari	<i>Polypterus endlicheri</i>	93	52	-	6 900	8 180	174	200	Soclo, 2003
Dridji	<i>Clarias gariepinus</i>	403	-	-	403	75	-	-	Glin <i>et al.</i> , 2006 cité par Mbaye, 2008

Σ DDT = DDE + DDD + DDT, Σ Endo = endosulfan α + endosulfan β; Lind = lindane ; Diel = dieldrine.
Les valeurs contenues dans ce tableau sont des valeurs moyennes.

Micropterus salmoides capturé dans le lac Naivasha (2 100 ng/g de Σ DDT) (Gitahi *et al.*, 2002). Aussi, la Σ DDT obtenue dans *Oreochromis niloticus* pêché à Kpassa (129 ng/g) est 9 fois supérieure à celle obtenue dans *Oreochromis niloticus* pêché dans le lac Paranoa au Brésil (1,35 ng/g) (Caldas *et al.*, 1999). Les concentrations de DDD (24 ng/g) et de DDT (66,4 ng/g) obtenues pour le *Tilapia zillii* capturé à Toué sont nettement supérieures à celles trouvées (respectivement 0,009 et 0,003 ng/g de lipide) pour la même espèce dans le fleuve Tana au Kenya (Lalah *et al.*, 2003). Cependant, une analyse plus approfondie du tableau fait remarquer de façon globale que ce sont certaines espèces de poissons carnivores (*Clarias gariepinus*, *Chrysichthys auratus*,

Schilbe intermedius, *Polypterus endlicheri*, etc.) situées donc au bout de la chaîne trophique qui concentrent les taux les plus élevés de DDE et de DDT, tandis que les poissons omnivores et phytoplanctonophages (*Oreochromis niloticus*, *Tilapia guineensis*, etc.) concentrent les valeurs les plus basses.

Les teneurs résiduelles en endosulfan ont varié de 4,1 à 8 180 ng/g. Pour les poissons capturés le long du fleuve Ouémé et dans la rivière Dridji, les taux ont varié de 4,1 à 215 ng/g, ce qui est très inférieur à celui qui est trouvé chez *Micropterus salmoides* capturé dans le lac Naivasha qui contient un taux de 584 ng/g (Gitahi *et al.*, 2002). Le taux de 8 180 ng/g obtenu chez *Polypterus endlicheri* est 13 fois plus grand que celui rapporté chez *Micro-*

pterus salmoides précédemment cité mais plus de 12 000 fois inférieur aux taux concentrés par les poissons des cours d'eau kenyans (110 mg/g) (Pnue, 2002). La concentration en endosulfan obtenue chez *Tilapia zillii* (5,3 ng/g) capturé à Toué est plus grande que celle trouvée chez la même espèce dans le fleuve Tana au Kenya (0,042 ng/g) (Lalah *et al.*, 2003) et dans le bassin de Densu Weija (0,6 ng/g) mais deux fois plus petite que celle des *Tilapia zillii* du bassin de Densu Nsawam (10,4 ng/g) au Ghana (Afful *et al.*, 2010). La concentration en endosulfan du *Clarias gariepinus* capturé à Atchakpa-Béri (4,1 ng/g) est plus élevée que celle de la même espèce du bassin de Densu Weija (0,6 ng/g) mais 2 fois inférieure à celle obtenue chez Densu Nsawam

(8,7 ng/g). Au total, *Polypterus endlicheri* capturé dans la rivière Magou du parc W concentre un fort taux ainsi que *Synodontis nigrita*, *Schilbe intermedius* *Chrysichthys auratus* et *Hyperopisus bebe* capturés à Lowé sur le fleuve Ouémé. *Clarias gariepinus* concentre un taux semblable à ceux des poissons omnivores et phytoplanctonophages.

La teneur résiduelle en lindane chez *Polypterus endlicheri* de la rivière Magou dans le parc W est de 174 ng/g de lipide. Cette valeur est faible comparée à celles des poissons des cours d'eau kenyans (295 ng/g) (Pnue, 2002), très faible par rapport à celle rapportée chez *Micropterus salmoides* (2 715 ng/g) capturé dans le lac Naivasha toujours au Kenya (Gitahi *et al.*, 2002) mais très nettement plus grande que celle obtenue chez *Clarias gariepinus* capturé respectivement dans les stations Weija (6,4 ng/g) et Nsawam (6,8 ng/g) du bassin de Densu au Ghana (Afful *et al.*, 2010).

La teneur en dieldrine des stations le long du fleuve Ouémé varie entre 1,5 et 750 ng/g. Le taux le plus élevé de 750 ng/g est obtenu chez *Protopterus annectens* capturé à Lowé ; 200 ng/g ont été dosés chez *Polypterus endlicheri* de la rivière Magou dans le parc W. Tous ces taux sont inférieurs aux taux rapportés chez *Micropterus salmoides* capturé dans le lac Naivasha (935 ng/g) mais supérieurs à ceux qui sont obtenus chez *Clarias gariepinus* (0,11 ng/g), *Chrysichthys nigrodigitatus* (0,4 ng/g) et *Tilapia zillii* (0,2 ng/g) du bassin Densu Weija (Afful *et al.*, 2010). La concentration en dieldrine du *Clarias gariepinus* pêché à Lowé (10 ng/g) est deux fois plus grande que celle de la même espèce (4,8 ng/g) du bassin Densu Nsawam (Afful *et al.*, 2010). Donc, seuls les poissons *Protopterus annectens* pêchés à Lowé et *Polypterus endlicheri* capturé dans les eaux du parc W concentrent les taux les plus élevés.

La teneur élevée de ces poissons carnivores en ces organochlorés est liée à la lipophilie élevée, à l'hydro-solubilité faible et à la persistance élevée de ces composés qui leur confèrent une capacité de bioaccumulation et de bioamplification le long des chaînes trophiques. Ces différentes observations avaient déjà été faites par Afful *et al.*, 2010 dans le bassin

Densu Weija et Nsawam au Ghana. Yèhouéno A Pazou *et al.*, (2006a; 2006b) précisent que les individus de la même espèce pêchés en des sites différents ne sont pas forcément contaminés par les mêmes types de pesticides. Les poissons sont contaminés par les pesticides utilisés en culture de coton dans la zone de leur habitat.

Une investigation de Okoumassoun *et al.*, 2002 qui a porté sur le dosage de pesticides organochlorés et de vitellogénine chez les tilapias *Sarotherodon melanotheron* mâles capturés le long du fleuve Ouémé a montré la présence du lindane (105 µg/g), de la dieldrine (75 µg/g), de l'heptachlore (30 µg/g), du pp'-TDE (28 µg/g) ainsi qu'une concentration plasmatique en vitellogénine atteignant 38 µg/mL. Or la vitellogénine est une lipoprotéine synthétisée par le foie sous le contrôle de l'hormone femelle œstradiol pour former le vitellus. La présence de la vitellogénine dans l'organisme d'un tilapia mâle, une espèce gonochorique, est donc un indicateur de la présence dans ces poissons d'un xénoestrogène. Cette capacité de certains pesticides organochlorés à féminiser les mâles de certaines espèces qui ne changent pas de sexe au cours de leur vie, conduit inévitablement à l'extinction de celles-ci. L'étude menée par le ministère de l'Environnement, de l'Habitat, et de l'Urbanisme du Bénin (MEHU, 1997), a d'ailleurs rapporté la disparition jusqu'en 1997 de 40 espèces de poissons d'eau douce et saumâtre au Bénin et parmi les causes énumérées par les experts, il y a la pollution des cours d'eau par les pesticides agricoles.

Conclusion

Il est aujourd'hui plus que jamais évident que les pesticides organochlorés utilisés dans le bassin cotonnier sont retrouvés dans tous les compartiments des écosystèmes aquatiques béninois. Ils menacent dangereusement de nombreuses espèces dont les poissons, notamment les poissons carnivores comme *Clarias gariepinus*, *Chrysichthys auratus*, *Polypterus endlicheri*, *Schilbe intermedius*, etc., qui concentrent des taux élevés de ces biocides, et des poissons phytoplan-

tonophages comme *Sarotherodon melanotheron* mâles, chez qui il a été trouvé des taux importants de vitellogénine. C'est pourquoi, au-delà des simples déterminations de niveau de pollution chimique des cours d'eau effectuées jusque-là, des investigations sérieuses doivent être faites pour approfondir les connaissances, d'une part sur les effets chroniques des matières actives utilisées par les cultivateurs de coton sur l'environnement et d'autre part, sur la nature et le nombre d'espèces halieutiques qui disparaissent réellement chaque année du fait de la nocivité de ces biocides afin que des mesures idoines soient prises pour sauver la biodiversité en général et celle ichthyologique en particulier. Ces mesures passent par des actions concrètes en amont pour modifier les pratiques des cultivateurs de coton et enrayer l'utilisation des produits dangereux pour l'environnement. ■

Références

- Adam S, Edoth AP, Totin H, Koumoulo L, Amoussou E, Aklirikou K, *et al.*, 2010. Pesticides et métaux lourds dans l'eau de boisson, les sols et les sédiments de la ceinture cotonnière de Gogounou, Kandi et Banikoara (Bénin). *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 4 : 1170-9.
- Afful S, Anim AK, Serfor-Armah Y, 2010. Spectrum of organochlorine pesticide residues in fish samples from the densu basin. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences* 2 : 133-8.
- Agagbé AA, 2008. *Etude écotoxicochimique des résidus de pesticides dans le bassin-versant de la rivière Agbado par la technique d'analyse ELISA en phase solide*. Thèse d'ingénieur des travaux en aménagement et protection de l'environnement, université d'Abomey-Calavi (Bénin). http://www.epac.bj.refer.org/article.php3?id_article=0252
- Association Interprofessionnelle du coton. *Plan de campagne agricole cotonnière 2006-2007 et perspectives 2007-2008*. Cotonou (Bénin) : Presse de l'AIC, 2006. http://www.aicbenin.org/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=25&Itemid=42
- Association Interprofessionnelle du coton. *Plan de campagne agricole cotonnière 2008-2009 et perspectives 2009-2010*. Cotonou (Bénin) : Presse de l'AIC, 2008. http://www.aicbenin.org/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=92&Itemid=10
- Caldas ED, Coelho R, Souza LCKR, Silva SC, 1999. Organochlorine pesticides in water, sediment and fish of Paranoa Lake of Brasilia, Brazil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 62: 199-206. doi:10.1007/s001289900860
- Dem SB, Cobb JM, Mullins DE, 2007. Pesticide residues in soil and water from four cotton growing areas of Mali, West Africa. *Journal of Agricultural, Food and Environmental Sciences* 1: 1-12.

- European Union, 1998. *Directive on the quality of water intended for human consumption, 98/83/EC*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Ezemonye LIN, Ikpesu TO, 2011. Evaluation of sublethal effects of endosulfan on cortisol secretion glutathione S-transferase and acetylcholinesterase activities in *Clarias gariepinus*. *Food and Chemical Toxicology* 49:1898-903. doi:10.1016/j.fct.2010.10.025
- Gitahi SM, Harper DM, Muchiri SM, Tole MP, Ng'ang'a RCN, 2002. Organochlorine and organophosphorus pesticide concentrations in water, sediment, and selected organisms in lake Naivasha (Kenya). *Hydrobiologia* 488 : 123-8.
- Iwata H, Tanabe S, Sakai N, Tatsukawa R, 1993. Distribution of persistent organochlorines in the oceanic air and surface seawater and the role of ocean on their global transport and fate. *Environmental Science and Technology* 27: 1080-98. doi:10.1021/es00043a007
- Katary A, 2003. *Étude spatio-temporelle de la gestion de la résistance de Helicoverpa armigera (Hubner, 1808) aux Pyrèthrinoides en culture cotonnière au Bénin*. Thèse de docteur d'État ès sciences naturelles, université d'Abomey-Calavi (Bénin). http://www.fsa.bj.refer.org/article.php3?id_article=164
- Kidd KA, Boostma HA, Hesslein RH, Muir DCG, Hecky RE, 2001. Biomagnification of DDT through the benthic and pelagic foods webs of lake Malawi, East Africa: importance of trophic level and carbon source. *Environmental Science and Technology* 35:14-20. doi:10.1021/es001119a
- Lalah JO, Yugi PO, Jumba IO, Wandiga SO, 2003. Organochlorine pesticide residues in Tana and Sabaki Rivers in Kenya. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 71: 298-307. doi:10.1007/s00128-003r-r0164-4
- Lamai SL, Warner GF, Walker CH, 1999. Effects of dieldrin on life stages of the African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 42: 22-9. doi:10.1006/eesa.1998.1723
- Marchand M, Martin JL, 1985. Détermination de la pollution chimique (hydrocarbures, organochlorés, métaux) dans la lagune d'Abidjan (Côte d'Ivoire) par l'étude des sédiments. *Océanographie Tropicale* 20 : 25-39.
- Mavura WJ, Wangila PT, 2003. The pollution status of Lake Nakuru, Kenya: heavy metals and pesticides. *African Journal of Aquatic Science* 114: 13-8. doi:10.2989/16085914.2003.9626594
- Mawussi G, 2008. *Bilan environnemental de l'utilisation de pesticides organochlorés dans les cultures de coton, café et cacao au Togo et recherches d'alternatives par l'évaluation du pouvoir insecticide d'extraits de plantes locales contre le scolyte du café (Hypothenemus hampei ferrari)*. Thèse de doctorat de l'université de Toulouse. <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00000935/01/mawussi.pdf>
- Mbaye DF, 2008. *Interdiction de l'endosulfan dans les pays du sahel en Afrique de l'ouest. Rapport de consultation, groupe de travail PAN/IPEN sur les pesticides POPs*. Presse locale. http://www.ipen.org/ipenweb/documents/work%20documents/rap%20endosulfan_french.pdf
- MEHU, 1997. *Rapport sur la monographie nationale de la diversité biologique*. Presse du ministère. <http://bch-cbd.naturalsciences.be/benin/implementation/documents/monobenin.pdf>
- Mlambo SS, van Vuren JHJ, Barnhoorn IEJ, Bornman MS, 2009. Histopathological changes in the reproductive system (ovaries and testes) of *Oreochromis mossambicus* following exposure to DDT. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 28 : 133-9. doi:10.1016/j.etap.2009.03.011
- Monkiédjé A, Njiné T, Tamatcho B, Démanou J, 2000. Assessment of the acute toxic effects of the fungicide Ridomil plus 72 on aquatic organisms and soil micro-organisms. *Environmental Toxicology* 15: 65-70. doi:10.1002/(sici)1522-7278
- Nwankwoala AU, Osibanjo O, 1992. Baseline levels of selected organochlorine pesticides in surface waters in Ibadan (Nigeria) by electron capture gas chromatography. *Science of the Total Environment* 119:179-90.
- Oga SS, 2007. *Diagnostic de l'éducation environnementale et de l'écotourisme dans la réserve de biosphère transfrontalière du W (Bénin)*. Diplôme d'étude approfondie de l'université d'Abomey-Calavi (Bénin). http://sopodiva.com/wp-content/uploads/2009/12/Microsoft-Word-sauvegarde_m%C3%A9moire_dess_au_07_mars_07_final.pdf
- Okoumassoun L, Brochu C, Deblois C, 2002. Vitellogenin in tilapia male fishes exposed to organochlorine pesticides in Ouémé River in Republic of Benin. *The Science of the Total Environment* 299: 163-72. doi:10.1016/s0048-9697(01)01053-1
- Pnue, 2002. *Évaluation régionale des substances toxiques persistantes. Rapport de la Région saharienne*. <http://www.chem.unep.ch/pts/regreports/Translated%20reports/sub%20saharan%20africa%20fr.pdf>
- Ramade F, ed, 1989. *Écologie appliquée : pollution par les pesticides*. Paris : McGraw Hill.
- Ramade F, 1991. Caractères écotoxicologiques et impact environnemental potentiel des principaux insecticides utilisés dans la lutte anti-acridienne. In : Aupelf-Uref, éd. *La lutte anti-acridienne*. Montrouge (France) : John Libbey Eurotext.
- Ritter L, Solomon KR, Forget J, 1997. *Les polluants organiques persistants : DDT-aldrine-dieldrine-endrine-chlordane-heptachlore-hexachlorobenzène-mirex-toxaphène-biphényles polychlorés-dioxines et furanes. Rapport d'évaluation pour le programme international sur la sécurité des substances chimiques (PISSC) dans le cadre du programme inter-organisations de gestion écologiquement rationnelle des produits chimiques (IOMC), Canada*. <http://www.chem.unep.ch/pops/ritter/fr/ritterfr.pdf>
- Soclo HH, 2003. *Étude de l'impact de l'utilisation des engrais chimiques et des pesticides par les populations riveraines sur les écosystèmes (eaux de surface, substrat des réserves de faune) dans les complexes des aires protégées de la Pendjari et du W. Rapport d'étude*. Cotonou : CENAGREF. <http://www.cenagref.net/spip.php?article40>
- Tellez-Banuelos MC, Casa-Solis J, Bravo-Cuellar A, Zaitseva G, 2009. Oxidative stress in macrophages from spleen of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) exposed to sublethal concentration of endosulfan. *Fish and Shellfish Immunology* 27:105-11. doi:10.1016/j.fsi.2008.11.002
- Yèhouénu Azéhoum Pazou E, 2005. *Les résidus de pesticides chimiques de synthèse dans les eaux, les sédiments et les espèces aquatiques du bassin versant du fleuve Ouémé et du lac Nokoué*. Thèse de doctorat unique de l'université d'Abomey-Calavi (Bénin). http://www.epac.bj.refer.org/article.php3?id_article=0252
- Yèhouénu Azéhoum Pazou E, Lalèyè P, Boko M, 2006a. Contamination of fish by organochlorine pesticide residues in the Ouémé River catchment in the Republic of Bénin. *Environment International* 32: 594-9. doi:10.1016/j.envint.2006.01.003
- Yèhouénu Azéhoum Pazou E, Boko M, van Gestel CAM, 2006b. Organochlorine and organophosphorous pesticide residues in the Ouémé River catchment in the Republic of Bénin. *Environment International* 32: 616-23. doi:10.1016/j.envint.2006.01.007
- WHO, 1998. *Guidelines for drinking water quality: Health criteria and other supporting information*. 2nd ed. Addendum to vol. 2. Geneva (Switzerland): WHO.