

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
TABLE DES MATIERES	ii
LISTE DES FIGURES	iv
LISTE DES TABLEAUX	v
SIGLES ET ACRONYMES	vi
RESUME.....	vii
ABSTRACT	viii
INTRODUCTION.....	1
PARTIE 1: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	3
I. Généralité sur les pesticides	4
1. Définition.....	4
2. Classification des pesticides	4
2.1 Selon la cible	4
2.2 Selon la formulation	5
2.3 Selon la formule chimique	5
3. Mode d'action et toxicité des pesticides.....	7
4. Risques liés à l'utilisation des pesticides.....	8
4.1 Contamination de l'environnement.....	8
4.2 Contamination de l'homme.....	9
5. Polluants organiques persistants (POP).....	10
5.1 Propriété du DDT et de ses métabolites	11
5.2 Propriété de l'Aldrine et de la Dieldrine	13
5.3 Propriété du Lindane	14
5.4 Propriété du Dicofol	15
5.5 Voies de contamination par les pesticides organochlorés	15
II. Généralités sur la sédimentologie	16
1. Les types de sédimentation.....	17
1.1 Sédimentation continentale et lagunaire.....	17
1.2 Sédimentation marine.....	18
2. Quelques données de contamination de sédiments.....	18
III. Présentation du fleuve Niger	19
1. Cadre géographique	19

2. Zone d'étude	21
IV. Méthode analytique : la chromatographie en phase gazeuse.....	22
1. Définition.....	22
1.1 Principe.....	22
1.2 Le gaz vecteur (phase mobile).....	23
1.3 Le système d'injection	23
1.4 La colonne (phase stationnaire).....	24
1.5 Le four	25
1.6 Le détecteur	25
PARTIE 2: EXPERIMENTALE.....	26
I. CADRE D'ETUDE : CERES-Locustox	27
1. Historique et Création.....	27
2. Organisation et fonctionnement.....	27
3. Missions et Domaines d'activités	28
II. Matériel et méthodes	29
1. Matériel.....	29
1.1 Réactifs et solvants.....	29
1.2 Verreries	30
1.3 Appareillages.....	30
2. Méthodes	30
2.1 Méthode d'extraction	30
2.2 Méthode de lecture d'une analyse CPG	34
PARTIE 3 : RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	36
I. Résultats	37
II. Discussion	37
CONCLUSION	39
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	40

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Formule Générale des organophosphorés.....	6
Figure 2: processus de dégradation du DDT en DDE et en DDD (Wikipedia)	12
Figure 3: Carte du fleuve Niger (Wikipedia)	21
Figure 4: Schéma d'un chromatographe en phase gazeuse	22
Figure 5: Schéma d'un injecteur	23
Figure 6:Schéma (en coupe) d'une colonne remplie (à gauche) et d'une colonne capillaire (à droite)	24
Figure 7:Agitateur mécanique.....	31
Figure 8:décantation.....	32
Figure 9:Filtration de l'échantillon	33
Figure 10:évaporation à sec.....	34
Figure 11:Chromatographe en phase gazeuse (GC).....	35

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Classification OMS pour estimer la toxicité aiguë des pesticides (Copplestone, 1988).....	8
Tableau II: Distribution, devenir du DDT et ses métabolites dans l'environnement (USDHHS, 1993).....	12
Tableau III: Distribution et devenir de l'Aldrine et de la Dieldrine dans l'environnement (USDHHS, 1993).	14
Tableau IV: Résultats des résidus de pesticides dans les sédiments	37

SIGLES ET ACRONYMES

Ach : Acétylcholinestérase

Ache : Enzyme acétylcholinestérase

Aprifel : Agence pour la recherche et l'information en fruits et légumes frais

BPL : Bonne Pratique de Laboratoire

CERES : Centre Régional de Recherche en ecotoxicologie et de Sécurité Environnementale

CNRC : Comité de toxicologie du National Research Council

Cofrac : Comité français d'accréditation

CONGAD : Organisations Non Gouvernemental d'Appui au Développement

CPG : Chromatographie en Phase Gazeuse (GC)

CSA : Comité Sécurité Alimentaire

CSC : Culture Science Chimie

DDD : Dichlorodiphényldichloroéthane

DDE : Dichlorodiphényldichloroéthylène

DDT : Dichloro-diphényl-trichloro-éthane

DL₅₀ : Dose Létale moyenne

DP : Poudres pour poudrage

EC : Concentrés émulsifiables

ECD : Electron Capture Détecteur

ENDA : Environnement et Développement du tiers monde

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

GR : Granulés

HCH : hexachlorocyclohexane

IRS : Programme de pulvérisation résiduelle intérieure

OMS : Organisation Mondiale pour la Santé

PCB : Polychlorure de benzyle

PNUE : Programme des nations unies pour l'environnement

POP : Polluants Organiques Persistants

ULV : Ultra bas volume

WP : Poudres mouillables

RESUME

Depuis l'époque coloniale, des pesticides organochlorés connus comme le DDT, l'Aldrine, la Dieldrine... ont été utilisés pour protéger les cultures contre les ravageurs et les vecteurs de maladies. La forte rémanence de ces matières actives qui était associée à leur efficacité, est aujourd'hui à l'origine de leur interdiction totale en agriculture et pour toute autre pratique en raison des risques encourus en santé humaine et pour l'environnement.

Pour déterminer les niveaux de contaminations du fleuve Niger (principale source d'approvisionnement en eau), notre étude porte sur la recherche de résidus de pesticides sur six échantillons composites de sédiments issus de ce fleuve particulièrement au Niger dans le département de Say. Les molécules ciblées sont le DDT, le Dicofol, le Lindane, la Dieldrine et l'Aldrine. La méthode utilisée est la chromatographie en phase gazeuse qui comprend une extraction, une séparation et une lecture avec un détecteur ECD. Après lecture, les résultats obtenus varient entre 5 et 808 mg/kg pour le Dicofol, 0,1 et 3 mg/kg pour le DDT, 0,01 et 0,5 mg/kg pour le Lindane qui ont les teneurs les plus élevées par rapport à celles de l'Aldrine allant de 0,03 à 0,3 mg/kg et de la Dieldrine qui est à l'état de traces. En effet, leur persistance et leur propagation à longue distance font que leur toxicité et leur bioaccumulation dans l'environnement constituent un danger pour la santé humaine. Cette contamination des sédiments par les organochlorés observée dans cette étude présente des risques d'exposition et d'intoxication des populations qui peuvent être source de maladies mutagènes ou cancérigènes.

Cependant, les pays concernés par le bassin du fleuve Niger devraient faire des études généralisées du bassin et des enquêtes sur l'utilisation des pesticides au environ du bassin qui sont des alternatives pour une meilleure gestion de l'eau. Pour ce, la réduction d'utilisation des pesticides est nécessaire.

Une étude sur les autres régions du fleuve Niger et sur l'eau, les poissons etc permet de connaître l'étendu de la contamination par ces organochlorés.

Mots clés : *sédiments – fleuve Niger – pesticides – chromatographie en phase gazeuse*

ABSTRACT

Since colonial times, known organochlorine pesticides like DDT, aldrin, dieldrin ... have been used to protect crops from pests and disease vectors. The strong persistence of these active ingredients which was associated with their effectiveness, is today at the origin of their total ban in agriculture and for all other practices because of the risks run in human health and by the environment.

To determine the levels of contamination of the Niger River (source of water supply), our study focuses on the search for pesticide residues on six composite samples of sediments from this river, particularly in Niger in the department of Say. The target molecules are DDT, Dicofol, Lindane, Dieldrin and Aldrine. The method used is gas chromatography which includes extraction, separation and reading with an ECD detector. After reading, the results obtained vary between 5 and 808 mg / kg for Dicofol, 0.1 and 3 mg / kg for DDT, 0.01 and 0.5 mg / kg for Lindane which have the highest contents compared to those of Aldrin ranging from 0.03 to 0.3 mg / kg and Dieldrin which is in trace amounts. Indeed, their persistence and long-range spread make their toxicity and bioaccumulation in the environment a danger to human health. This organochlorine contamination of sediments observed in this study poses risks of exposure and intoxication of populations which can be a source of mutagenic or carcinogenic diseases.

However, the countries concerned by the Niger River basin should find alternatives in order to preserve the health of the populations and better management of water. For this, reducing the use of pesticides is necessary. A study on the other compartments of the environment of the Niger river such as water, fish, algae can be beneficial as well as an assessment of the level of risk of contamination of the river basin.

Keywords: *sediments - Niger river - pesticides - gas chromatograp*

INTRODUCTION

L'essor prodigieux de l'industrie chimique au 20ème siècle a profondément et irréversiblement modifié les modes de production et de consommation tant dans les régions technologiquement et économiquement avancées que dans les régions moins nanties de la planète (Afrique). La production massive et l'usage généralisé des produits chimiques en agriculture notamment les engrais minéraux et les produits phytosanitaires ont rendu possible l'intensification de l'agriculture avec un accroissement spectaculaire des rendements des cultures.

En effet, des insecticides organochlorés dits « de première génération » comme Aldrine, Dicofol, DDT, Dieldrine, entre autres ont été massivement utilisés dans la lutte chimique contre les ravageurs des cultures et les vecteurs de maladies.

Cependant l'utilisation des pesticides dans l'agriculture a provoqué une contamination planétaire caractérisée par une présence généralisée de résidus de pesticides dans les différents milieux terrestres et aquatiques. Les sols agricoles sont suspectés d'être aujourd'hui une source importante de rejet des pesticides polluants organiques persistants (POP) dans l'environnement, entraînant la pollution de l'air du fait de leur tension de vapeur ou par la volatilisation des particules lié à l'érosion éolienne. Les résidus hydrophobes qui arrivent dans les milieux aquatiques sont adsorbés en grande partie par les sédiments. Des études ont révélé la présence de résidus d'organochlorés dans les sols agricoles, les sédiments, les eaux de surface et souterraines dans certains pays de l'Afrique au sud du Sahara tels que les lagunes de Lekki (Nigeria) et d'Ebrié (Côte d'Ivoire). De par leur persistance, ces pesticides organochlorés s'accumulent dans l'environnement et contaminent l'homme et les animaux à travers la chaîne alimentaire provoquant ainsi des pathologies diverses et autres désordres physiologiques souvent sévères d'où l'interdiction de leur utilisation (MAWUSSI, 2008).

Vue l'importance du fleuve Niger dans l'approvisionnement en eau en Afrique sud saharienne, nous nous sommes fixés comme objectif de rechercher des résidus de pesticides tels que le DDT, l'Aldrine, le Dicofol, le Lindane et la Dieldrine dans les sédiments provenant du fleuve Niger particulièrement à Say à travers une évaluation du niveau de contamination par ces pesticides interdit selon la convention de Stockholm en 2004.

De ce fait, ce document sera traité en trois parties :

- la première partie sera consacrée à la synthèse bibliographique ;
- dans la seconde partie, nous allons présenter la zone d'étude, décrire le matériel et la méthode utilisés.

- Enfin, nous allons présenter et discuter les résultats obtenus. Nous terminerons enfin par une conclusion et des perspectives.

PARTIE 1:
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Généralité sur les pesticides

1. Définition

Les pesticides sont définis comme toute substance ou association de substances destinées à repousser, détruire ou combattre les ravageurs, y compris les vecteurs de maladies humaines ou animales et espèces indésirables de plantes ou d'animaux causant des dommages ou se montrant autrement nuisibles durant la production, la transformation, le stockage, le transport ou la commercialisation des denrées, des produits agricoles, des bois et des produits ligneux, ou des aliments pour animaux, ou qui peut être administrée aux animaux pour combattre les insectes, les arachnides ou les autres endos ou ectoparasites (FAO, 1990 ; DIATTA, 1997).

Un pesticide est un produit chimique composé de :

- Matière active (ou association de plusieurs matières actives) ;
- Diluant ou charge (substance neutre destinée à réduire la concentration des matières actives) ;
- Adjuvants (généralement dépourvus d'activité biologique), qui peuvent augmenter les effets toxiques du produit (THIAM, 2004).

L'affinité du pesticide sur les corps gras d'une part et pour l'eau d'autre part commande sa pénétration dans l'organisme animal ou végétal et son transport jusqu'au site d'action (DIATTA, 1997).

2. Classification des pesticides

2.1 Selon la cible

- Acaricides : Acariens ;
- Répulsifs : mammifères de grande taille ;
- Avicides : Oiseaux (Corvicides, Corvifuges) ;
- Bactéricides : Bactéries ;
- Fongicides : Champignons ;
- Herbicides : Mauvaises herbes ;
- Insecticides : Insectes ;
- Hélicides, Molluscicides : Mollusque (escargot surtout et limaces) ;
- Nématocides : Nématodes ;
- Rodenticides : Rongeurs surtout rats et souris ;

- Termiticides : Termites (DIENE, 2017).

2.2 Selon la formulation

La classification selon la formulation utilise la forme de présentation des pesticides c'est-à-dire la forme sous laquelle le pesticide est commercialisé. Il s'agit de :

- Concentrés émulsifiables (EC) ;
- Poudres mouillables (WP) ;
- Poudre pour poudrage ou poudre sèche (DP) ;
- Granulés (GR) ;
- Ultra bas volume (ULV), etc. (SENE, 2008)

2.3 Selon la formule chimique

➤ Les organochlorés

Parmi les plus anciens et les plus persistants, ils sont généralement utilisés comme insecticides et/ou acaricides. Ce sont des composés possédant un ou plusieurs atomes de chlore. Ils sont peu solubles dans l'eau, solubles dans les solvants organiques, les huiles et les graisses. Enfin, ils sont très stables (à l'air, la lumière et à la chaleur) d'où leur persistance dans les sols, les eaux, les végétaux et les graisses (rémanence). Ils comprennent plusieurs groupes comme le chlorobenzène (exemple : DDT), l'hexachlorocyclohexane (exemple : Lindane), les camphènes chlorés ou cyclo diènes (exemple : Chlordane, Aldrine, Dieldrine, heptachlore) ; (DIENE, 2017).

➤ Les organophosphorés

Généralement utilisés comme insecticides. Ce sont des dérivés de l'acide phosphorique. Ils sont caractérisés par leur structure chimique appelée formule de SCHARDER (DIENE, 2017).

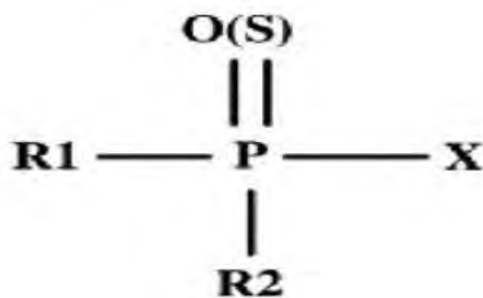


Figure 1: Formule Générale des organophosphorés

R1 et R2 sont des groupements basiques

X = groupement acide hydrolysable

S = soufre

Les composés organophosphorés appartiennent entre autres aux groupes des phosphates, des phosphonates, des thiophosphonates, des phosphoramides, etc.

Ils se situent à l'opposé des organochlorés. Ils sont hydrolysables donc biodégradables (faible rémanence). Leur faible rémanence nécessite souvent la répétition des traitements pour assurer une longue protection. Ils pénètrent facilement dans l'organisme des insectes par leur liposolubilité élevée.

Exemple : Malathion, Parathion, Fénitrothion... (DIENE, 2017).

➤ **Les carbamates**

Ce sont des insecticides dérivés de l'acide carbamique $\text{NH}_2\text{CO}_2\text{H}$, qui agissent en inhibant l'activité enzymatique de l'acétylcholinestérase, inhibition qui peut être réversible dans certains cas. Le Carbaryl est le Carbamate le plus utilisé en raison de son spectre d'action très étendu pour les contrôles des insectes et en raison de sa faible toxicité chez les mammifères.

Le Carbofuran, l'Aldicarbe, le Carbosulfan ou encore le Fénoxycarbe sont également des carbamates largement utilisés (CSA, 2004).

➤ **Les Pyréthrinoïdes**

Les pyréthrinoïdes sont synthétisées à partir du pyrèthre, alcaloïde extrait de fleurs séchées du chrysanthème: *Chrysanthemum cinerariaefolium*. Ce sont des esters d'acide chrysanthémique et pyrétique. Deux types de pyréthrinoïdes peuvent être distingués :

- Les pyréthrinoïdes photostables
- Les pyréthrinoïdes photosensibles

Les pyréthriinoïdes présentent un aspect huileux, visqueux et rarement une forme cristalline. Ce sont des composés peu volatils. La plupart d'entre eux sont stables à la lumière (DIENE, 2017).

3. Mode d'action et toxicité des pesticides

Les pesticides agissent en empoisonnant le système nerveux / entre autre de la cible et des organismes non ciblés. Le mode d'action de base de la plupart des pesticides / insecticides est l'inhibition du fonctionnement normal du système nerveux. Ces composés modifient le transfert des signaux le long des fibres nerveuses et synapses d'un nerf à l'autre ou d'un nerf à une fibre musculaire. Le transfert d'un signal le long d'un nerf se produit par des changements dans le potentiel électrique à travers la cellule nerveuse de la membrane qui est créée par le mouvement des ions à l'intérieur et à l'extérieur de la cellule. À la fin d'un nerf terminal, le signal est transféré à travers une synapse de la cellule nerveuse suivante par la libération de neurotransmetteurs tels que l'acétylcholinestérase (Ach). Différentes classes de pesticides inhibent ce processus de différentes façons mais le résultat final est une altération normale de la propagation dans le nerf (MPOFU, 2011).

Ils agissent principalement en modifiant le mouvement des ions à travers le nerf, les membranes cellulaires, ainsi que la capacité du nerf à tirer. Par exemple, les organismes exposés à de faibles doses de DDT présentent des tremblements et des décharges (surexcitation) des nerfs. Les études de DUTTA et ARENDS en 2003, ont montré une inhibition de l'acétylcholinestérase du cerveau chez les jeunes bluegills (poissons) exposés à l'endosulfane (un pesticide organochloré). Par conséquent, les pesticides organochlorés ont également le même effet que les insecticides organophosphorés et carbamates. Les Organophosphorés et carbamates exercent leur toxicité en bloquant la dégradation de l'acétylcholine (un neurotransmetteur) par l'enzyme acétylcholinestérase (Ache) à la jonction synaptique entre les cellules communicantes (MPOFU, 2011).

Un des défis auxquels font face les organismes de réglementation des pesticides est que les pesticides sont commercialisés sous différents noms commerciaux qui rendent souvent difficile l'identification ou la reconnaissance du pesticide par la simple lecture de l'étiquette. Tout de même, pour protéger le public, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a élaboré un système de classification des dangers qui sert à étiqueter les contenants de pesticides pour avertir les utilisateurs des dangers que présentent ces composés (MPOFU, 2011).

On distingue deux types de toxicités :

- **Toxicité aiguë** : liée à une très forte exposition sur un temps court, elle peut provoquer des empoisonnements, des risques cutanés ou oculaires.

Tableau I: Classification OMS pour estimer la toxicité aiguë des pesticides (Coppelstone, 1988)

Classe	Niveau de risqué	DL50 pour le rat (mg/kg de poids corporel)			
		Oral (bouche)		Cutané (peau)	
		Solide	Liquide	Solide	Liquide
Ia	Extrêmement dangereux	≤ 5	≤ 20	≤ 10	≤ 40
Ib	Très dangereux	[5-50]	[20-200]	[10-100]	[40-400]
II	Modérément dangereux	[50-500]	[200-2000]	[100-1000]	[400-4000]
III	Peu dangereux	> 500	> 2000	> 1000	> 4000
U	Sans risque dans le cadre d'une utilisation normale	> 2000	> 4000	-	-

- **Toxicité chronique** : liée à une plus faible exposition sur un temps plus long, elle peut provoquer de nombreuses maladies comme de l'asthme, des cancers, de l'infertilité, des malformations ou encore des troubles neurologiques (Alzheimer, Parkinson, autisme) (ATMO, 2019).

4. Risques liés à l'utilisation des pesticides

4.1 Contamination de l'environnement

Chaque fois qu'un pesticide est utilisé il y'a un entrainement vers l'atmosphère, à la surface du sol et un transport dans les sols. Cette contamination de l'environnement présente un danger tant pour la vie sauvage (effet écologique) que pour les hommes et les animaux (DIENE, 2017). La présence de pesticides influence directement ou indirectement la macro et la microfaune du sol (lombrics et bactéries) qui jouent un rôle important dans la fertilité des sols (NDOYE, 1998).

Lors de l'application d'un pesticide, seule une partie de la quantité employée atteint les organismes visés. Les pesticides peuvent passer dans l'air et contaminer l'atmosphère par

volatilisation, par dérive lors de l'application ou par entraînement par le vent de particules de sol contaminées (NIANG, 2001).

Les traitements par avion entraînent les pesticides dans les canaux d'irrigation et les courts d'eau. Des pollutions de nappes phréatiques ont été constatées (DIENE, 2017). Les poissons et les batraciens vivant dans les fleuves, les lacs peuvent être décimés par l'emploi des pesticides. Les sources d'eau de boisson peuvent être contaminées et cela représente de réels dangers pour l'homme (NDOYE, 1998).

4.2 Contamination de l'homme

Pour exercer son action biologique, la matière active doit atteindre un tissu ou un organe sensible. Elle doit pénétrer dans l'organisme par une voie quelconque. L'absorption du pesticide dépend beaucoup du solvant (DIENE, 2017). Il y a le nez (en inhalant de la vapeur, de la fumée ou du gaz), la bouche (avaler par mégarde ou en mangeant des fruits ou des aliments contaminés), ou la peau qui peuvent entrer en contact avec la formulation par un jet ou en marchant dans un champ récemment traité (BOLAND *et al.*, 2004).

Le consommateur est exposé aux pesticides au travers des résidus qui se retrouvent dans les denrées alimentaires primaires, dérivées ou transformées ; ces résidus constituent le passif des traitements des productions végétales par les produits phytosanitaires. Le vecteur alimentaire constitue l'essentiel de l'exposition du consommateur, l'exposition non alimentaire ne représente qu'une petite partie de l'exposition totale.

Les risques pour le consommateur sont très difficiles à évaluer car il s'agit sauf cas d'accidents à de très faibles doses ingérées de façon quasi-quotidienne pendant une très longue durée et des troubles qu'ils seraient susceptibles de provoquer sont parfois minimes et non pris en compte de sorte qu'il est très difficile voire impossible de faire le lien de cause à effet ; c'est essentiellement pour cette raison, que les enquêtes de nature épidémiologique sont très difficiles à mettre en place et sont donc extrêmement rares (CSA, 2004).

De nombreux pesticides sont des perturbateurs endocriniens. Leur toxicité ne se limite pas aux seules espèces que l'on souhaite éliminer. Ils sont notamment toxiques pour l'homme et leurs effets sur l'environnement sont nombreux. Les substances et/ou les molécules issues de leur dégradation sont susceptibles de se retrouver dans l'air, le sol, les eaux, les sédiments ainsi que dans les aliments. Elles présentent par leur migration entre ces compartiments de l'environnement, des dangers plus ou moins importants pour l'homme et les écosystèmes avec un impact à court ou à long terme (ATMO, 2019).

5. Polluants organiques persistants (POP)

Les polluants organiques persistants sont des composés organiques très résistants à la dégradation photolytique, biologique et chimique. Ils proviennent presque entièrement de sources anthropiques associées à la fabrication, à l'utilisation et à l'élimination de certains produits chimiques. On sait aussi qu'il existe des sources naturelles de composés organochlorés. Les polluants organiques persistants sont des composés halogénés et le plus souvent chlorés. Les liaisons carbone-chlore dans ces composés sont très stables à l'hydrolyse (STIMMAN *et al.*, 1985). Plus le nombre de substitutions de chlore et/ou de groupes fonctionnels existent dans le composé, plus ils résistent à la dégradation. L'atome de chlore attaché à un aromatique (benzène) est plus stable à l'hydrolyse que l'atome de chlore dans la structure aliphatique. Les polluants organiques persistants chlorés ont généralement des structures circulaires à chaîne ou ramifiées dans la chaîne. En raison de leur haut degré d'halogénéation, ils ont une très faible solubilité dans l'eau et sont facilement solubles dans la graisse. Étant soluble dans les lipides, ils sont capables de traverser la structure lipidique des membranes biologiques et s'accumulent dans les dépôts de graisse.

Les POP sont semi-volatils, une propriété qui les soumet à des transports de longues distances. Ces composés sont capables de se déplacer sur des régions éloignées de leur point de libération. Ils sont omniprésents, ont été mesurés sur tous les continents, sur des sites représentant tous les grands secteurs géographiques dans le monde entier (WANIA *et al.*, 1993). Ces régions comprennent les régions éloignées comme les océans ouverts, les déserts, l'Arctique et l'Antarctique où aucune source locale importante n'existe. La seule explication raisonnable de leur ubiquité est le transport à longue distance d'autres parties du monde. Une grande variété de composés organochlorés, y compris les polychlorobiphényles (PCB), dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT), toxaphène et chlorobenzènes ont été détectés chez la morue arctique, les ours polaires et les phoques annelés du centre-est du Canada Arctique (MUIR *et al.*, 1998).

Les organochlorés constituent le groupe le plus important des POP. Ces composés sont notés pour leur persistance dans l'environnement, leur longue demi-vie et leur potentiel de bioaccumulation et de bioamplification dans les organismes, une fois dispersés dans l'environnement. Douze des polluants organiques persistants appelés les « sales douzaines » sont connues par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) dans la Convention de Stockholm en 2001 comme polluants prioritaires. Les États membres de la Convention visent à éliminer ou à réduire les concentrations de ces composés dans

l'environnement. Le DDT est classé comme un composé restreint et ne peut être utilisé que pour le contrôle des vecteurs de maladie dans le Programme de pulvérisation résiduelle intérieure (IRS) lancé par l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Dans cette stratégie, le DDT est pulvérisé sur les murs et autres surfaces à l'intérieur des habitations où les moustiques anophèles femelles atterrissent et se reposent avant et après un repas de sang. La dose standard recommandée par l'OMS est de 1 - 2 g d'ingrédients actifs par mètre carré à intervalles de six mois (6). Un contact suffisant avec les surfaces pulvérisées de DDT tue les vecteurs du paludisme.

Une étude en Inde qui a évalué l'impact de l'IRS avec le DDT sur la transmission du paludisme a corroboré les résultats des études antérieures qui ont fait état de la densité des vecteurs et l'incidence du paludisme (MPOFU, 2011).

5.1 Propriété du DDT et de ses métabolites

Le dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT) est l'un des plus anciens et des plus connus des pesticides organochlorés. Il a été synthétisé pour la première fois en 1874 et ses propriétés insecticides ont été découvertes en 1939 (ROBERT *et al.*, 2000). Il a été utilisé avec succès dans la deuxième guerre mondiale pour contrôler le paludisme et le typhus parmi les troupes et les civils. Après la guerre, le DDT a été utilisé comme insecticide agricole et bientôt sa production et son utilisation ont augmenté de façon significative. Le DDT ne se produit pas naturellement, il est produit par le traitement de chloral avec du chlorobenzène en présence d'acide sulfurique comme catalyseur. C'est un solide cristallin incolore à faible odeur chimique. Le DDT de qualité technique est un mélange d'environ 85% p,p -DDT et 15% o,p -DDT. Les noms commerciaux sont Anofex, Cezarex, Chlorophénothane, Dicophane, Gesarol, Guesapon, Guesanol, Gyron, Ixodex, Neocid et Zendane. Dans l'atmosphère, environ 50 % du DDT est adsorbé par les particules et 50 % existe sous forme de vapeur (MPOFU, 2011).

Il reste dans l'atmosphère pendant une courte période, photo oxydée au dioxyde de carbone, à l'acide chlorhydrique et aux radicaux hydroxyles. Dans l'eau, il s'adsorbe sur les particules dans la colonne d'eau et se répartit dans les sédiments alors que dans les sols, le DDT s'adsorbe fortement sur ses particules. Les voies de dégradations dans l'environnement comprennent le ruissellement, la volatilisation, la photolyse, l'aérobie et la décomposition anaérobie. Il se dégrade sous deux formes supplémentaires, le DDE (dichlorodiphényldichloroéthylène) et le DDD (dichlorodiphényldichloroéthane). Le DDE est un métabolite principal du DDT et aussi la forme la plus persistante des trois composés. Bien que le DDD soit moins persistant que le DDE, il est utilisé de façon indépendante comme

pesticide dans certains cas. La figure 2 montre le processus de dégradation du DDT en DDD et en DDE par élimination de l'acide chlorhydrique et la déchloration réductrice respectivement (MPOFU, 2011).

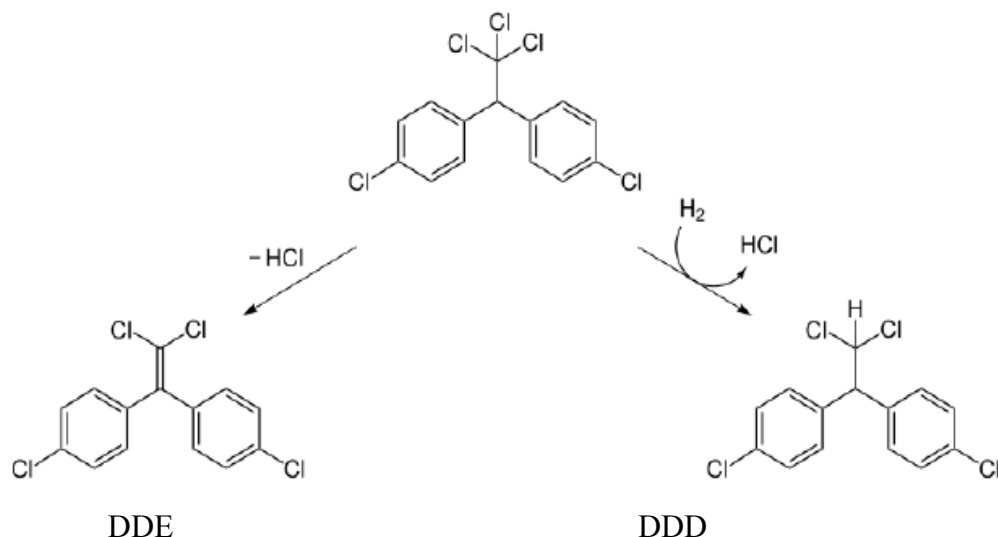


Figure 2: processus de dégradation du DDT en DDE et en DDD (Wikipedia)

L'OMS a classé le DDT comme pesticide de classe II en fonction de sa DL50 de 250 mg/kg. La distribution et le devenir du DDT et de ses métabolites sont variables dans différents environnements.

Tableau II: Distribution, devenir du DDT et ses métabolites dans l'environnement (USDHHS, 1993).

Eau	Sols	Sédiments	Air	Biote
Demi-vie : 7 à 350 jours	Demi-vie : 2 à 15 années	Demi-vie : 16,6 jours à 31,1 ans	Demi-vie : 16,6 jours à 31,3 ans	Très persistante
Principalement photolyse	Très persistant Dégradation lente	Biodégradation lente	Biodégradation Lente	

5.2 Propriété de l'Aldrine et de la Dieldrine

Les composés Aldrine et Dieldrine ont d'abord été formulés à partir d'un déchet de caoutchouc : le cyclopentadiène. Leur première production remonte à 1948 (JORGENSEN, 2001). Les deux composés sont des cyclodiènes synthétisés par la réaction Diels-Alder, d'où leurs noms. L'Aldrine et la Dieldrine existent sous forme de solides cristallins blancs, forme pure. Leurs qualités techniques contiennent au moins 85% d'Aldrine et de Dieldrine respectivement (MPOFU, 2011).

L'Aldrine a été utilisé comme insecticide dans l'agriculture, dans les fondations et dans la construction de termites. Les noms commerciaux de l'Aldrine sont : Aldrex, Octalene et Seedrin. La Dieldrine a été utilisée dans le traitement des semences et des sols agricoles. Autres utilisations de la Dieldrine comprennent la lutte contre les moustiques, la mouche tsé-tsé, le traitement vétérinaire des animaux et le traitement du bois contre les termites. Les noms commerciaux pour la Dieldrine sont Alvit, Octalox, Heod et Composé 497 (MPOFU, 2011).

L'Aldrine et la Dieldrine sont des pesticides de la classe Ib selon la classification de l'OMS. Dans l'environnement et les systèmes corporels, l'Aldrine est convertie en Dieldrine par biodégradation et c'est le composé actif c'est-à-dire qu'elle est plus toxique que l'Aldrine. En général, l'Aldrine subit une photolyse en formant la Dieldrine qui, à son tour, peut être dégradée par le rayonnement ultra-violet ou action microbienne dans la photodieldrine plus persistante. Le tableau III résume la distribution et le devenir de l'Aldrine et de la Dieldrine dans divers environnements.

Tableau III: Distribution et devenir de l'Aldrine et de la Dieldrine dans l'environnement (USDHHS, 1993).

Aldrine/Dieldrine			
Eau	Sol et sédiments	Air	Biote
Hydrolyse non Important	Demi-vie; 1 mois à 5 ans Époxydation de l'Aldrine à la Dieldrine	Époxydation de l'Aldrine à la Dieldrine Photo décomposition de la Dieldrine à la photo dieldrine	L'Aldrine est convertie en Dieldrine dans la plante et les tissus animaux
Persistant dans l'eau (associé à la phase particulaire)	Biodégradation (la Dieldrine est plus résistant à la dégradation que l'Aldrine)		

Des études ont montré que la Dieldrine, le DDT et ses métabolites sont quelques-uns des nombreux produits chimiques perturbant le système endocrinien (SAE) qui présentent des effets estrogéniques et anti-androgéniques. Ces effets peuvent altérer le fonctionnement du système endocrinien et, ce faisant, entraîner des effets nocifs sur la santé de l'organisme exposé (MCKINNEY et WALKER, 1994).

5.3 Propriété du Lindane

Le Lindane est l'isomère gamma de l'hexachlorocyclohexane et est communément appelé par l'hexachlorobenzène impropre. Le Lindane de qualité technique contient 99% de gamma-hexachlorocyclohexane, mais contient également 1% d'autres isomères. Le Lindane est stable en présence de lumière, de chaleur, d'air, de dioxyde de carbone et d'acides forts; cependant, il est déshalogéné en présence d'alcali (CNRC, 1982).

C'est un insecticide organochloré dont la commercialisation avait débuté en 1938. Doué d'un très large spectre d'activité insecticide vis-à-vis des insectes phytophages, des insectes vivant dans le sol et des parasites des animaux et de l'homme, il a été largement utilisé en agriculture et dans les produits pharmaceutiques pour le traitement de la gale et l'élimination des poux.

Le Lindane se présente sous la forme de cristaux blancs, inodores, très peu solubles dans l'eau, mais facilement solubles dans de très nombreux solvants organiques tels que l'acétone, les hydrocarbures aromatiques, le trichlorométhane, l'oxyde de diéthyle, le méthanol, l'éthanol (FAO/PNUE, 1996).

Le Lindane est un insecticide de contact, à action stomacale et respiratoire. Il stimule le système nerveux provoquant des convulsions de type épileptique mortelles (FAO/PNUE, 1996).

5.4 Propriété du Dicofol

Le Dicofol est un pesticide organochloré miticide et acaricide introduit commercialement en 1955. Le Dicofol est un organochloré possédant deux isomères (p,p'-dicofol et o,p'-dicofol). Le Dicofol technique est constitué de 80 à 85 % de p,p'-dicofol et 15 à 20 % d'o,p'-dicofol, ainsi que de DDT et d'autres impuretés de concentrations variables. Ses utilisations prévues englobent les fruits, les légumes, les plantes ornementales, les cultures de plein champ, le coton, les plantations de sapins de Noël, les bâtiments et les structures extérieures non agricoles. Au Sénégal, le Dicofol est utilisé sur les cultures d'oignons, de pastèques, de pommes de terre et de piments. S'agissant du mode d'action sur les organismes visés, le Dicofol stimule la transmission axonale de l'influx nerveux, que l'on pense être liée à l'inhibition des ATPases dans le système nerveux central. Les signes de toxicité sont cohérents avec une altération du système nerveux central (PNUE, 2016).

5.5 Voies de contamination par les pesticides organochlorés

Les voies de contamination des pesticides organochlorés vers les plans d'eau sont susceptibles d'être des sources non ponctuelles par ruissellement, dépôt atmosphérique et lessivage dû à des applications agricoles, de lutte antiparasitaire des vecteurs et l'élimination inappropriée des déchets. Les sédiments agissent comme un puits de polluants organiques, ce qui augmente la biodisponibilité et l'accumulation de la chaîne alimentaire en suspension. Cela expose les poissons et autres organismes aquatiques aux polluants par ingestion, absorption cutanée et par la respiration. La consommation de l'eau polluée est considérée comme l'une des voies importantes par lesquelles les humains sont exposés aux pesticides (JOHANSEN *et al.*, 1996).

Certains pays en voie de développement utilisent encore les pesticides organochlorés en raison de leur faible coût pour l'industrie, l'agriculture et la santé publique (TANABE *et al.*, 1994). L'interdiction de ces substances a été émise pour la première fois en 1993, mais certaines études ont montré que le DDT est utilisé à des concentrations les plus élevées (HUNG *et al.*, 2002). À Taiwan, une étude faite en 2003 par DOONG *et al.* a indiqué l'existence d'une variété de résidus de pesticides organochlorés dans les rivières où le DDT et les HCH étaient les composés dominants. En Allemagne, l'interdiction des pesticides organochlorés a été faite il y a de nombreuses années, mais les résidus de DDT étaient encore détectés dans les eaux du canal de nombreuses années après. Aux États-Unis, en Europe (Allemagne et Russie), Asie (Chine) et Afrique (Égypte), la présence de résidus de pesticides organochlorés a été étudiée en détail dans l'eau de surface, dans les sédiments de biote et dans la végétation (CASTILHO *et al.*, 2000; JIANG *et al.*, 2000; SAMIA *et al.*, 2000).

II. Généralités sur la sédimentologie

Dans le vocabulaire géologique, le terme « sédimentologie » est relativement récent et il n'a d'ailleurs pas été admis sans discussion. On l'emploie le plus couramment aujourd'hui dans le sens d'étude des phénomènes sédimentaires et de leurs produits : les sédiments. Mais, c'est sous la forme de roches que se présentent actuellement à l'observation les sédiments anciens, transformés par la diagenèse. Aussi rattache-t-on souvent à la sédimentologie, la description de ces roches ou pétrographie sédimentaire, bien qu'elle constitue logiquement avec l'étude des processus diagénétiques, un chapitre de la pétrologie.

À l'exemple de la volcanologie, de la pédologie et autres disciplines géodynamiques, la sédimentologie étudie des « phénomènes actuels » se déroulant encore sous nos yeux, à la surface des continents, au fond des mers et à leur frontière. Il s'agit essentiellement de l'altération et de la désagrégation par les agents météoriques et biologiques des roches cristallines et sédimentaires préexistantes, de l'ablation, du transport et du dépôt par l'eau, la glace, le vent, des matériaux ainsi libérés, leur transformation en roches sédimentaires n'étant qu'éventuelle. Outre une action puissante sur le relief, les phénomènes sédimentaires ont pour principal effet le tri plus ou moins poussé de leurs produits, lesquels diffèrent selon les milieux et les conditions d'érosion et de sédimentation que ceux-ci imposent (JAUZEIN *et al.*, 2020).

La variété des milieux continentaux (fluviaux, désertiques, glaciaires et périglaciaires, lacustres) est surtout liée aux conditions climatiques. La sédimentation marine dépend indirectement des mêmes conditions que la sédimentation continentale, mais elle est surtout liée d'une part, à l'hydrosphère et à tous les phénomènes associés (vagues, courants, etc.) et d'autre part, au relief océanique (littoral et pré continent, plaines et collines abyssales, fosses, dorsales). Par exemple, la nature (JAUZEIN *et al.*, 2020).

1. Les types de sédimentation

1.1 Sédimentation continentale et lagunaire

La surface des continents est soumise à des processus physiques et bioclimatiques qui modifient la structure et la nature des roches. Des éléments meubles sont ainsi fournis et peuvent être transportés par divers agents ; parmi ceux-ci, les deux les plus actifs sont l'eau, sous forme solide ou liquide, et l'air activé par les vents.

Statistiquement, la majeure partie des matériaux érodés parvient à la mer, mais les modalités du voyage sont complexes. C'est ainsi que de nombreux facteurs interrompent le transit et provoquent des accumulations pendant une durée plus ou moins longue. La sédimentation continentale apparaît alors comme un phénomène transitoire et les dépôts correspondants ne représentent qu'un volume négligeable par rapport à celui des sédiments marins. Pourtant l'étude des dépôts continentaux est du plus haut intérêt car ils sont les témoins d'événements qu'il convient de préciser pour parvenir à une bonne compréhension de l'histoire de la Terre (JAUZEIN *et al.*, 2020).

Les phénomènes simples dus par exemple à la gravité comme les écroulements, les affaissements de falaises, les écoulements lents des sols et les glissements de terrain fournissent des accumulations non triées, au voisinage même du point de départ. Ces dépôts, pas plus que les sols ne méritent le nom de sédiments car ils n'ont pas été pris en charge par un fluide dont ils se soient séparés pour se sédimenter (JAUZEIN *et al.*, 2020).

C'est pourquoi ne sera analysée ici que la genèse des dépôts continentaux résultant de déséquilibres dans la dynamique du transport par l'eau, la glace et le vent.

1.2 Sédimentation marine

Les océans sont les principales régions de sédimentation actuelle ; si les variations rapides de milieu qui caractérisent l'ère quaternaire introduisent dans la disposition actuelle des sédiments une variété qui avait été inconnue au cours de la plupart des périodes antérieures, les sédiments marins n'en sont pas moins beaucoup plus monotones que les sédiments continentaux et de vastes aires présentent une homogénéité remarquable quant à la composition et à l'épaisseur des dépôts (JAUZEIN *et al.*, 2020).

Les océans reçoivent des terres émergées une grande masse de sédiments, apportés soit par l'intermédiaire des eaux courantes, soit par les vents. Le mode d'introduction de ces matériaux dans le milieu océanique, ponctuel dans le premier cas, diffuse dans le second, règle la répartition des sédiments marins terrigènes. Mais une part encore plus importante des sédiments marins a été produite dans le milieu marin lui-même, soit par la précipitation chimique d'éléments dissous, soit parce que ces éléments dissous ont été extraits de l'eau de mer par des organismes vivants. Comme la plupart des éléments dissous proviennent initialement de la lithosphère, c'est presque entièrement aux dépens des continents que les océans se comblent peu à peu de sédiments. Le processus aboutirait à un nivellement général si une masse à peu près équivalente de sédiments marins n'étaient pas incorporés progressivement aux continents par le jeu des mouvements orogéniques affectant les marges continentales (JAUZEIN *et al.*, 2020).

2. Quelques données de contamination de sédiments

En Côte d'Ivoire, le 4-4 DDE, le 4-4 DDD, le 4-4 DDT et le DDT total sont dosés dans les sédiments de la lagune Ebrié à des concentrations variables de 0,1 – 149 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, 0,2 – 803 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, 0,2 – 354 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ et 1,1 - 997 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ respectivement. Les valeurs indiquées pour les sédiments de la lagune de Lekki au Nigeria sont 190 - 8480 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ de dieldrine, 0,11 - 4,9 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ de lindane, 1845 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ d'heptachlore, 347 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ d'aldrine et 7 - 1155 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ d'endosulfan. Mavura et Wangila en 2004 ont détecté dans les sédiments du Lac Nakuru au Kenya de 22 pesticides, 0,43 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ de DDT, 123 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ de DDD, 4,47 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ de DDE, 316 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ d'heptachlore et 8,26 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ d'aldrine (MAWUSSI, 2008).

III. Présentation du fleuve Niger

1. Cadre géographique

Le fleuve Niger est le troisième fleuve le plus long d'Afrique (4200 km) après le Nil et le Congo et le quatorzième au monde : son bassin versant s'étend entre les méridiens 11°30'W et 15°0'E, du Plateau du Fouta-Djalon en Guinée au Tchad, et entre les parallèles 22°0' N et 5°0' N, des reliefs du Hoggar au Golfe de Guinée. Le Niger prend sa source sur les monts de Loma dans la dorsale du Fouta-Djalon, une région de hauts plateaux entre environ 800 et 1100 mètres d'altitude à la frontière entre Guinée et Sierra Leone. Il se dirige vers le Nord-Est et forme en saison des pluies une vaste plaine d'inondation au Mali, appelée Delta intérieur ou cuvette lacustre d'environ 50000 km² ; à la sortie du Delta intérieur, le fleuve décrit une boucle au Mali puis coule vers le Sud-Est jusqu'au Nigeria où il est rejoint par la Bénoué à Lokoja et se jette dans l'Océan Atlantique par un delta maritime de 30000 km² (ABRATE, 2007).

Le fleuve Niger traverse quatre pays (Guinée, Mali, Niger, Nigeria) mais, par ses affluents, son bassin versant intéresse aussi le Tchad, le Cameroun, le Bénin, le Burkina Faso et la Côte d'Ivoire. Neuf pays sont donc concernés par les ressources en eau du Niger ; ce sont ceux de l'Autorité du Bassin du Niger (ABN).

Un dixième pays, l'Algérie, peut être rattaché au bassin du Niger par le réseau fossile supérieur de l'Azaouagh au sud du Hoggar. Enfin, avec les incertitudes relatives au tracé de son bassin versant, deux autres pays pourraient entrer dans la liste des pays du bassin du Niger : la Mauritanie et la Sierra Leone (FERRY *et al.*, 1986).

Le débit moyen annuel du fleuve est de 45.000 millions m³, avant qu'il n'entre dans le Delta intérieur au Mali, au Sud du désert du Sahara. La plaine d'inondation du fleuve qui coule le long de la limite sud du Sahara, couvre environ 20.000 à 30.000 km². Le bassin du fleuve Niger peut être divisé en quatre grands sous - systèmes géographiquement distincts :

- la région du Haut Niger sert de château d'eau effectif pour tout le bassin, à l'exception du Bas Niger. Le niveau d'eau du fleuve fluctue en même temps que celui de ses principaux affluents que sont le Tinkisso, le Milo, le Nianadan et le fleuve Niger lui-même. La partie supérieure du bassin, d'une superficie de 140.000 km², peut contribuer à une régulation partielle des débits sur l'ensemble du fleuve (HASSANE, 2010).

- le Delta Intérieur du fleuve Niger est une vaste zone au Mali qui a connu un important développement. Elle s'étend de Ké-Macina, 200 km en aval de Bamako, à San au Sud, et à Tombouctou au Nord. Elle est composée d'un système complexe d'affluents, de lacs et de plaines d'inondation. Le Delta subit d'importants changements hydrologiques au cours de l'année mais aussi d'une année à l'autre. Les niveaux d'inondation dépendent des volumes d'eau provenant du Haut Niger et de la rivière Bani qui se jette dans le fleuve près de Mopti. Les surfaces inondées peuvent varier de 35.000 km² (1967) à moins de 9500 km² (1984) (HASSANE, 2010).
- le Moyen Niger (notre zone d'étude) s'étend de Tassaoua (Tossaye) au Mali à Malanville au Bénin, et couvre un bassin hydrographique de 900.000 km², y compris 230.000 km² de bassin inactif. Sur sa rive droite, en amont de Niamey, le fleuve reçoit des affluents prenant leur source au Burkina Faso tels que le Goroual, le Dargol et la Sirba. Entre Niamey et Malanville (336km), le fleuve reçoit les apports des rivières Goroubi, Diamangou, Tapoa et de la Mékrou qui contribuent au débit maximal en début Septembre et fin janvier (HASSANE, 2010).
- le Bas Niger est situé dans les zones humides du bassin. Le fleuve reçoit plusieurs affluents importants comme les rivières Sokoto et Kaduna et surtout, la Bénoué qui a un bassin de 450.000 km². La Bénoué prend sa source dans les montagnes de l'Adamaoua au Cameroun (et au Tchad) et, à sa confluence, la moyenne annuelle des écoulements est au moins égale à celle du fleuve Niger. A Jebba, en aval des barrages de Kainji et de Jebba, la moyenne annuelle des écoulements est de 1.454 m³/s puis culmine à 5.590 m³/s après la confluence avec la Bénoué. La moyenne annuelle des écoulements à l'embouchure est de même ampleur, les pertes ayant généralement été compensées par les apports des autres affluents (HASSANE, 2010).



Figure 3: Carte du fleuve Niger (Wikipedia)

2. Zone d'étude

Le département de Say est situé dans la partie sud de la région de Tillabéri avec une superficie de 14 430 km². Ses coordonnées géographiques sont « 13°06'00 latitude Nord et 2° 22'00 » de longitude Est. Il est entouré au Nord et à l'Est par les départements de Téra et Kollo et la commune urbaine de Niamey, au sud par le département de Boboye. C'est l'une des zones les plus arrosées du pays, caractérisée par le climat sahélien. En effet, le Niger est caractérisé par un climat essentiellement continental résultant de l'altération de l'air tropical chaud et sec du Nord-Est (Harmattan) provenant du Sahara (dû à une dépression en été et un anticyclone en hiver boréal) et de l'air équatorial maritime humide du Sud-Ouest (la mousson, provenant de l'anticyclone de Sainte Hélène). Ces deux masses d'air convergent dans la Zone de Convergence Intertropical. Cette zone de convergence engendre au sol les deux saisons principales du Niger dont la saison sèche (d'octobre à mai) et la saison des pluies (de juin à septembre). Le territoire du Niger se caractérise par la diversité des bioclimats qui détermine la distribution de la végétation. Dans la zone d'étude, les populations sont principalement des agro-pasteurs peuls, des agriculteurs gourmantchés détenteurs d'un important capital de bétails, quelques agriculteurs Zarma, Haussa et Touaregs. Pendant la saison des pluies et avec le rétrécissement des zones de parcours, les éleveurs transhument plus loin vers le Parc

National du W et les zones frontalières du Burkina Faso et du Bénin (HAROUNA *et al.*, 2017).

IV. Méthode analytique : la chromatographie en phase gazeuse

1. Définition

La chromatographie en phase gazeuse (CPG) (gas chromatography, GC, en anglais) est une technique de séparation d'un mélange de molécules volatiles, appelées ici « analytes ». Cette technique a été développée par A.J.P MARTIN et R.L.M. SYNGE, récipiendaires du Prix Nobel de chimie en 1952 pour l'invention de la chromatographie de partage (CSC, 2017).

1.1 Principe

La CPG repose sur l'équilibre de partage des analytes entre une phase stationnaire et une phase mobile gazeuse. La séparation des analytes repose sur la différence d'affinité de ces composés pour la phase mobile et pour la phase stationnaire.

Le mélange à analyser est vaporisé puis transporté à travers une colonne renfermant une substance liquide ou solide qui constitue la phase stationnaire. Le transport se fait à l'aide d'un gaz inerte, appelé « gaz vecteur », qui constitue la phase mobile. Plus la molécule a d'affinité pour la phase stationnaire, moins elle est entraînée par le gaz vecteur et donc plus elle est retenue sur la colonne. Ainsi, sur colonne polaire, les analytes apolaires sortent en premier, alors que sur colonne apolaire, les analytes polaires sortent en premier (CSC, 2017).

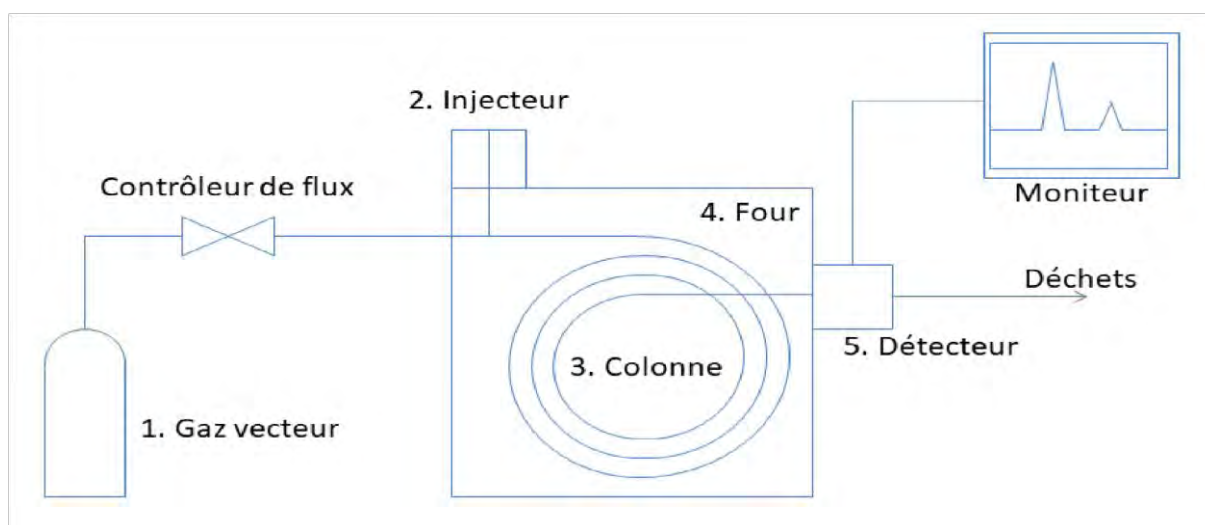


Figure 4: Schéma d'un chromatographe en phase gazeuse

1.2 Le gaz vecteur (phase mobile)

Le gaz vecteur est le gaz qui circule à l'intérieur du chromatographe entraînant les analytes à travers la colonne depuis l'injecteur jusqu'au détecteur. Son choix dépend du type de détecteur utilisé ; cela peut être par exemple de l'hélium, de l'azote, de l'argon ou de l'hydrogène. Le débit de ce gaz vecteur est de l'ordre de 30 à 40 ml/min pour les colonnes remplies et de 0,2 à 2 ml/min pour les colonnes capillaires (voir plus loin pour la description des deux types de colonne). Le débit du gaz vecteur influe sur le pouvoir de résolution du chromatographe. Deux phénomènes, la diffusion longitudinale et la résistance au transfert de masse entre les phases mobile et stationnaire ont des effets opposés sur le pouvoir de résolution de la colonne. L'opérateur choisit donc une valeur du débit afin d'optimiser le pouvoir de résolution du chromatographe (CSC, 2017).

1.3 Le système d'injection

Ce système permet à la fois l'introduction de l'échantillon dans la colonne du chromatographe ainsi que la volatilisation des analytes. La température de l'injecteur doit être réglée de manière à entraîner la vaporisation de tous les analytes de l'échantillon : elle est généralement maintenue à 50°C au-dessus de la température d'ébullition de l'analyte le moins volatil. L'introduction se fait à l'aide d'une micro seringue (le volume à injecter est généralement voisin de μL) à travers un septum (qui assure l'étanchéité) dans un liner (typiquement un tube de verre rempli d'un petit morceau de coton) (CSC, 2017).

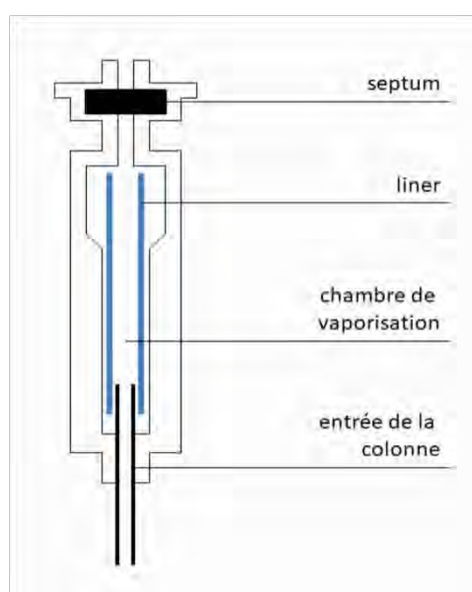


Figure 5: Schéma d'un injecteur

Certains injecteurs peuvent être munis d'une fonction « Split/ Splitless ». La fonction « split » permet de ne pas injecter la totalité de l'échantillon ; cela peut être utile dans le cas d'échantillon en solution concentrée, pour éviter de surcharger la colonne (CSC, 2017).

1.4 La colonne (phase stationnaire)

Il existe deux types de colonnes : les colonnes remplies et les colonnes capillaires. Les colonnes remplies ont un diamètre de quelques millimètres et une longueur de l'ordre du mètre. Elles sont remplies de granules de support inerte, généralement de la silice, dont la surface est imprégnée ou greffée avec la phase stationnaire. Elles sont aujourd'hui supplantées par les colonnes capillaires, dont le pouvoir de résolution est bien supérieur. Les colonnes capillaires sont de simples tubes d'acier inoxydable, de verre ou de silice fondue (matériau inerte vis-à-vis de la phase stationnaire et des échantillons) de diamètre intérieur compris entre 0,1 et 0,5 mm, et d'une longueur typique de plusieurs dizaines de mètres, pouvant aller jusqu'à 100 m. Pour tenir dans l'appareil, la colonne est enroulée, avec des spirales ayant 10 à 30 cm de diamètre. La surface interne de ce tube est recouverte d'un film de 0,1 à 5 μm d'épaisseur constitué de la phase stationnaire. Ce film est mis en place par greffage ou simple déposition, le greffage étant généralement préféré pour des raisons de stabilité thermique (CSC, 2017).

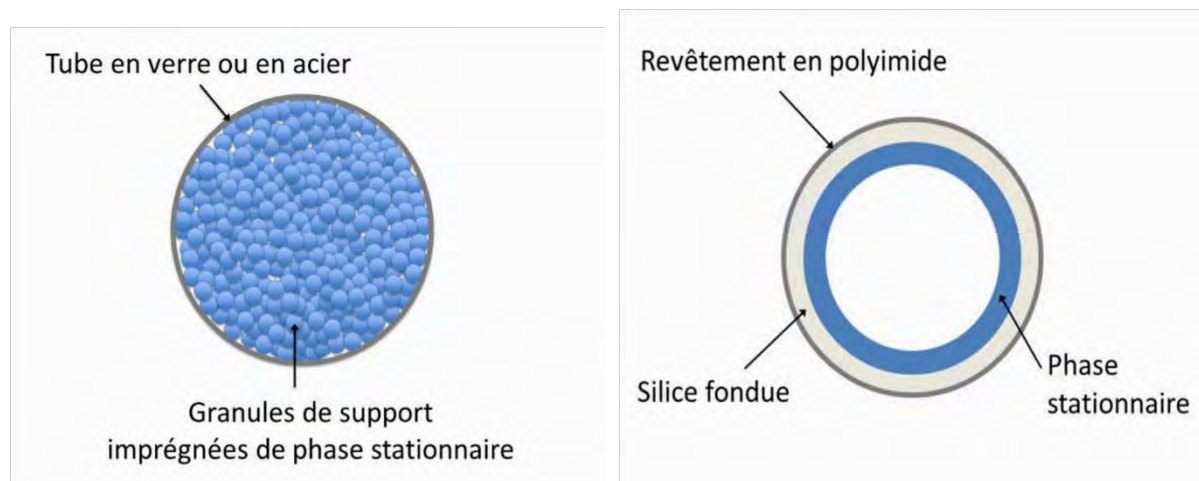


Figure 6:Schéma (en coupe) d'une colonne remplie (à gauche) et d'une colonne capillaire (à droite)

1.5 Le four

La colonne est contenue dans un four de type chaleur tournante, dont la température est précisément ajustable (typiquement entre 20 °C et 350 °C) et programmable. Les températures utilisables en pratique dépendent des domaines de stabilité en température de la colonne utilisée, et de ceux des composés analysés. Plus la température du four (et donc de la colonne) est élevée, plus les analytes se déplacent rapidement dans la colonne, mais moins ils interagissent avec la phase stationnaire, et donc moins les analytes sont séparés. Plus la température du four est basse, meilleure est la séparation des analytes mais plus longue est l'analyse. Le choix de la température est donc un compromis entre la durée de l'analyse et le niveau de séparation désiré (CSC, 2017).

1.6 Le détecteur

C'est un détecteur ECD à 250°C utilisant le mode «flux de remplissage constant» (60 ml / min de N₂ ; cela diffère selon le type de ECD). En sortie de colonne, les analytes rencontrent le détecteur, aujourd'hui généralement couplé à un enregistreur numérique du signal qui permet son traitement. Cet élément mesure en continu une grandeur proportionnelle à la quantité des différents analytes (CSC, 2017).

PARTIE 2:

EXPERIMENTALE

I. CADRE D'ETUDE : CERES-Locustox

1. Historique et Création

Le Centre Régional de Recherche en Ecotoxicologie et de Sécurité Environnementale (CERES-Locustox) est né du “Projet-LOCUSTOX”, mené sous l’égide de la FAO de 1990 à 2003 avec le financement du Royaume des Pays-Bas et de l’Etat du Sénégal et qui concernait “ l’étude des effets de la lutte chimique antiacridienne sur l’environnement”.

Dans la perspective de la pérennisation et de la consolidation des acquis scientifiques obtenus dans ce domaine, l’Etat du Sénégal avait décidé la création de la Fondation CERES-Locustox, reconnue d’utilité publique par Décret accordant la reconnaissance, placée sous la tutelle du Ministère de l’Agriculture. A côté de l’Etat du Sénégal, on note comme membres cofondateurs le Conseil des Organisations Non Gouvernemental d’Appui au Développement (CONGAD) et ENDA-Tiers Monde.

Le Centre est doté d’une expertise avérée et dispose d’un laboratoire d’analyse de résidus de pesticides accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17025 version 2005 par le Comité français d’accréditation (Cofrac).

2. Organisation et fonctionnement

Le Centre Régional de Recherche en Ecotoxicologie et de Sécurité Environnementale (CERES-Locustox) comporte quatre (4) unités et un service.

➤ Unité Chimie Environnementale :

L’Unité Chimie Environnementale (UCE) est une des unités de la fondation qui joue un rôle essentiel dans le contrôle de résidus de pesticides et leur devenir dans les zones ciblées. Elle gère en son sein le Laboratoire de Chimie Environnementale (LCE) accrédité depuis mars 2013 pour une durée de quatre ans selon la norme NF EN ISO/CEI 17025 version 2005 par le comité français d’accréditation (COFRAC) pour les “Analyses de résidus de pesticides et de contaminants organiques dans les denrées alimentaires destinées à l’homme ou aux animaux pour les matrices biologiques d’origine animal – LAB GTA 26/99-2”. La méthode d’analyse concernée est la NF EN 15662.

➤ Unité Biologie :

L'Unité Biologie réalise en laboratoire et dans le cadre de la constitution du dossier de demande d'homologation des tests de toxicité aiguë des pesticides sur les espèces indicatrices dans des zones bien définies, afin de préserver les espèces non cibles. Elle procède ainsi à travers des programmes, activités et prestations analytiques à des évaluations en grandeurs réelles des effets toxiques des polluants sur l'écosystème.

➤ Unité Qualité et Réglementation :

L'Unité Qualité et Réglementation est chargé de la mise en place et de la gestion d'un Système d'Assurance Qualité et de Management de la Qualité selon les Principes de Bonne Pratique de Laboratoire (BPL) et la norme ISO/CEI 17025 et d'en assurer son amélioration continue, objectif principal de toutes les entreprises.

➤ Unité Qualité des Eaux et des Engrais :

L'Unité Qualité des Eaux et des Engrais réalisent en laboratoire et dans le cadre de la demande de dossier d'homologation des analyses chimiques de la qualité de l'eau, de la caractérisation des eaux résiduaires et des contrôles de la qualité des engrais utilisés dans l'agriculture.

➤ Service Administratif et Service Financier :

Ces deux services sont responsables de la coordination de tous les travaux administratifs, financiers et comptables. Ils définissent et mettent en œuvre des procédures de gestion administrative, fiscales et financière en vigueur.

Dans ce cadre, la Fondation à travers son Laboratoire de Chimie Environnementale a mis à ma disposition tous les moyens matériels, financiers et humains pour la réalisation de ce travail.

3. Missions et Domaines d'activités

La mission de la Fondation se décline globalement à assurer des prestations et conseils sur les aspects scientifiques et techniques de maîtrise et de gestion des impacts négatifs des produits chimiques et biologiques (bio pesticides) dans les limites compatibles avec une bonne sécurité environnementale et sanitaire. Dans ce cadre, les activités de CERES-Locustox sont essentiellement orientées vers :

- L'étude des impacts des pesticides sur l'environnement, la santé animale et humaine (approches méthodologiques, monitoring environnemental) ;
- L'analyse des résidus de pesticides, métaux lourds, PCB et autres polluants sur les produits agricoles et halieutiques destinés à l'exportation, l'eau, le sol et les sédiments ;
- Le conseil des décideurs, distributeurs, producteurs et exportateurs sur l'usage rationnel et sécurisée des pesticides ;
- La formation des producteurs sur les méthodes alternatives à la lutte chimique classique ;
- La promotion de la qualité sanitaire (Limites maximales de résidus de pesticides) des produits agricoles ;
- La maîtrise des impacts négatifs des produits chimiques par la mise en œuvre de ses outils scientifiques d'investigation en termes de contrôle :
 - de la qualité des traitements phytosanitaires et de suivi de leur nocivité éventuelle sur l'environnement et la santé de la population ;
 - des rejets industriels conformément au code de l'environnement (Présentation et mission de CERES-Locustox).

II. Matériel et méthodes

1. Matériel

1.1 Réactifs et solvants

Les réactifs et les solvants utilisés dans cette procédure sont :

- Laine de verre (isolant thermique) ;
- Sulfate de magnésium anhydre (poudre fine, permet de retenir l'eau lors de la filtration) ;
- Acétone (solvant) ;
- Ether de pétrole (solvant d'extraction) ;
- PCB28
- Eau distillée
- Acétate d'éthyle (solvant)

1.2 Verreries

Les verreries utilisées sont :

- Ampoule à décanter, 1000ml
- Ballon, 250ml
- Entonnoir
- Becher, 600ml
- Bouteille en verre,
- Eprouvette, 100ml
- Vial, 1.5 ml
- Micropipette, 100ml

1.3 Appareillages

Les appareils utilisés sont :

- Balance de précision
- Agitateur mécanique (facilite le mélange des différents éléments) ;
- Evaporateur
- Ultra sonde
- Chromatographie en phase gazeuse avec capture d'électron

2. Méthodes

2.1 Méthode d'extraction

C'est une phase qui comprend les différentes étapes suivantes :

- Pesage de 20g de sédiments dans un tube en verre
- Dosage avec 50µl de PCB28
- Ajout de 50ml d'acétone
- Agiter pendant 30minute
- Récupération du solvant dans l'ampoule
- Ajout de 100ml d'éther de pétrole dans le même tube en verre
- Agiter pendant 30minute
- Récupération de la phase liquide dans la même ampoule
- Ajout de 300ml d'eau dans l'ampoule
- Agiter
- Eliminer l'eau

- Récupérer le solvant dans un ballon en filtrant avec la laine de verre et du sulfate de magnésium anhydre
- Evaporation à sec à 56°C (Acétone)
- Récupérer avec 1ml d'acétate d'éthyle à l'aide de l'ultra sonde



Figure 7: Agitateur mécanique



Figure 8:décantation



Figure 9: Filtration de l'échantillon



Figure 10: évaporation à sec

2.2 Méthode de lecture d'une analyse CPG

La chaîne CPG est constituée :

- d'un four porté à des températures variables (une température initiale de 75°C pendant 00min et des températures finales de 175°C, 225°C et de 310°C avec un pas de 10°C/minute, 5°C/minute et de 10°C/minute respectivement) dans lequel se trouve une colonne capillaire de type DB-XLB de diamètre 0,25mm et 30m de longueur ;
- l'hélium comme gaz vecteur ;
- d'un détecteur à capteur d'électrons (ECD) porté à 350°C ;
- d'un système d'injecteur sans division (volume injecté : 1µL).

Ces données sont programmées dans un ordinateur permettant le traitement des résultats.



Figure 11:Chromatographie en phase gazeuse (GC)

PARTIE 3 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

I. Résultats

Nous avons analysé dans le cadre de ce travail six (6) échantillons composites de sédiments prélevés à Say au niveau du fleuve Niger. Les pesticides ont été dosés par CPG. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau IV. Après analyse, nous avons noté la présence de pesticides dans les échantillons.

Le Dicofol a été détecté dans tous les échantillons à des concentrations très élevées allant de 5 à 808 mg/kg. Le Lindane a été retrouvé dans l'ensemble des échantillons à des concentrations allant de 0,01 à 0,5 mg/kg.

Le DDT a été détecté dans l'ensemble des échantillons à des teneurs élevées allant de 0,5 à 3 mg/kg. De même, l'Aldrine a été détectée à des concentrations variant de 0,03 à 0,3 mg/kg. Des traces de la dieldrine ont été retrouvées à des teneurs inférieures à 0,01 mg/kg.

Tableau IV: Résultats des résidus de pesticides dans les sédiments

Echantillons Pesticides	CS1 (mg/kg)	CS2 (mg/kg)	CS3 (mg/kg)	CS4 (mg/kg)	CS5 (mg/kg)	CS6 (mg/kg)
DDT	1	2	0.5	3	0.1	0.3
ALDRINE	0.08	0.03	0.2	0.3	0.1	0.04
DIELDRINE	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
DICOFOL	708	808	455	582	5	8
LINDANE	0.3	0.5	0.09	0.1	<0.01	0.03

CS : concentration des sédiments

II. Discussion

Après analyse, les résultats du tableau IV ont montré la présence de résidus de pesticides organochlorés à des concentrations élevées (Dicofol, Lindane, DDT, Aldrine) à l'exception de la Dieldrine qui est faible dans les échantillons de sédiments provenant du fleuve Niger. Le Dicofol a été détecté dans tous les échantillons à des concentrations très élevées allant de 5 à 808 mg/kg. Les teneurs en DDT des sédiments étudiés dans ce travail montre que le fleuve Niger est plus contaminé que la lagune de Lekki au Nigeria et la lagune d'Ebrié en Côte d'Ivoire puisque les concentrations du DDT varient entre 0.1-3mg/kg (100-3000µg/kg) alors que dans les lagunes de Lekki et d'Ebrié, elles vont respectivement de 445 à 566µg/kg et de 997µg/kg lors d'une étude fait en 2008.

Les concentrations de l'Aldrine dans les sédiments du fleuve Niger sont comprises entre 0.03-0.3mg/kg (30-300µg/kg). Ces concentrations sont inférieures à celles observées dans les sédiments de la lagune de Lekki au Nigeria 347µg/kg et supérieures à celle de la lagune Ebrié en Côte d'Ivoire 62.1µg/kg (MAWUSSI, 2008).

Pour la Dieldrine, ces concentrations sont inférieures à 0.01mg/kg (10µg/kg) dans les sédiments étudiés. Cette valeur est très faible par rapport à celles signalées au Nigeria (190–8460µg/kg) et en Côte d'Ivoire (125,8µg/kg) (MAWUSSI, 2008).

Les concentrations du Lindane retrouvées dans les échantillons sont comprises entre 0,01 et 0,5 mg/kg (10 à 500µg/kg). Elles sont très supérieures à celle retrouvée dans les sédiments de la lagune de Lekki au Nigeria 0,11 à 4,9µg/kg.

La présence du Dicofol, du Lindane et du DDT dans les sédiments provenant du fleuve Niger prouve qu'on a une zone de sédimentation favorisant l'accumulation des organochlorés néanmoins, l'Aldrine et la Dieldrine ont été retrouvées à des teneurs beaucoup plus faibles. En effet, leur persistance et leur propagation à longue distance font que leur toxicité et leur bioaccumulation dans l'environnement constituent un danger pour la santé humaine.

Des réglementations sur les pesticides concernant les sédiments devraient être faits pour diminuer la contamination de l'environnement.

CONCLUSION

Ce travail a été fait sur six échantillons composites de sédiments provenant du fleuve Niger. Afin d'évaluer le niveau de contaminations de ces pesticides tels que le DDT, l'Aldrine, la Dieldrine, le Dicofol et le Lindane par la méthode CPG. Ainsi les résultats obtenus ont révélés la présence de l'ensemble de ces pesticides dans les sédiments surtout le Dicofol qui est retrouvé à des teneurs très élevées (5-808 mg/kg), de même que le DDT (0,1-3mg/kg) et le Lindane (0,01-0,5 mg/kg).

Cette contamination des sédiments par les organochlorés observée dans cette étude présente des risques d'exposition et d'intoxication des populations. En effet, la mise en contact direct des contaminants avec les exploitants des milieux aquatiques (pêcheurs), l'ingestion de produits de la pêche et de l'eau de boisson contaminés par les résidus de pesticides organochlorés et la réintroduction de ces contaminants dans la chaîne alimentaire par les végétaux cultivés sur ces sols et avec l'eau du fleuve peuvent être source de maladies mutagènes ou cancérigènes.

Ce travail peut être élargi dans les autres régions du fleuve Niger et sur l'eau, les poissons pour connaître l'étendu de la contamination par ces organochlorés. Des études généralisées du bassin et des enquêtes sur l'utilisation des pesticides au environ du bassin sont des alternatives pour une meilleure gestion de l'eau. Pour ce, la réduction d'utilisation des pesticides est nécessaire. Des réglementations sur les pesticides concernant les sédiments devraient être faits pour préserver l'environnement et ainsi assurer l'innocuité des ressources.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] **ABRATE T. 2007.** Université Pierre et Marie Curie, Ecole des Mines de Paris & Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts. Master 2 sciences de l'Univers, Environnement, Ecologie Parcours Hydrologie-Hydrogéologie. Essai de segmentation des séries annuelles des débits du Niger aux stations de Koulikoro, Niamey et Lokoja. [En ligne]. http://m2hh.metis.upmc.fr/wp-content/uploads/arch/memoires2007/Abrate_memoire07.pdf. Consulté le 18 Novembre 2019.

[2] **ATMO NOUVELLE-AQUITAINE. 2019.** LA QUALITÉ DE L'AIR EN NOUVELLE-AQUITAINE. Quels sont les impacts des pesticides sur notre environnement ? [En ligne]. <https://www.atmo-nouvelleaquitaine.org/article/quels-sont-les-impacts-des-pesticides-sur-notre-environnement>. Consulté le 12 Décembre 2019.

[3] **BOLAND J., KOOMEN I., JEUDE J. & OUDEJANS J. 2004.** Les pesticides : composition, utilisation et risque. *Rev. Agrodok*. [En ligne]. N° 29. 124p. <https://www.docdeveloppement-durable.org/file/Elevages/GuidesAgrodok/Les%20pesticidescompositionutilisation%20et%20risques.pdf>. Consulté le 12 novembre 2019.

[4] **CASTILHO J. A, FENZYL N., GUILLEN S. M. & NANCIMENTO F. S. 2000.** Résidus de pesticides organochlorés et organophosphorés dans le bassin de la rivière Atoya, Chinadenga, Nicaragua. *Environ. Poll*, 110 (3), 523 - 533p.

[5] **MPOFU C. 2011.** « Assessment of organochlorine pesticide residues in Fish samples from the Okavango Delta, Botswana ». 109p. RHODES UNIVERSITE

[6] **COMITE SECURITE ALIMENTAIRE D'APRIFEL [CSA].2004.** Pesticides, Risques et Sécurité Alimentaire. Paris.216p. http://www.aprifel.com/userfiles/file/pesticides_risque_securite_a.pdf. Consulté le 04 Novembre 2019.

[7] **COMITE DE TOXICOLOGIE DU NATIONAL RESEARCH COUNCIL [CNRC]. 1982.** Une Evaluation des risques pour la santé de sept pesticides utilisés pour la lutte contre les termites. Washington (DC) : National Academies Press (Etats Unies). Lindane. 82p. Disponible sur <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK217629/>. Page consulté le 30 janvier 2020.

[8] **CULTUR SCIENCES CHIMIE. 2017.** Chromatographie. [En ligne]. <http://culturesciences.chimie.ens.fr/la-chromatographie-en-phase-gazeuse-principe-et-exemples-dapplications-12>. Consulté le 25 Novembre 2019.

[9] **DIATTA F. 1997.** «Les pesticides à usage agricoles : homologation, utilisation, réglementation cas d'usage intensif, problèmes liés à leur usage et précaution d'emploi, mesures d'accompagnement et développement de méthodes alternatives ». PAN Africa. 26p.

[10] **DIENE A. 2017.** Cours pesticides en master Chimie Biologie-Aspects Analytiques (CB2A). Université Cheikh Anta DIOP de Dakar / Département de chimie. 154p.

[11] **FERRY L, MUTHER N, COULIBALY N, MARTIN D, MIETTON M, COULIBALY Y. C, OLIVRY J.C, PATUREL J.E, BARRY M.A & YENA M. 1986.** Le Fleuve Niger de la forêt tropicale guinéenne au désert saharien, les grands traits des régimes hydrologiques.
https://www.ird.fr/content/download/43327/332701/version/1/file/fleuve_niger_forêt_au_dese rt.pdf. Consulté le 13 décembre 2019.

[12] **MAWUSSI G. 2008.** Bilan Environnemental de l'utilisation de pesticides organochlorés dans les cultures de coton, café et cacao au Togo et recherche d'alternatives par l'évaluation du pouvoir insecticide d'extraits de plantes locales contre le scolyte du café (*Hypothenemus hampei* Ferrari). [En ligne]. <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00000935/01/mawussi.pdf> consulté le 8 janvier 2020.

[13] **HASSANE Y. H. 2010.** Prolifération des plantes aquatiques envahissantes sur le fleuve Niger ; état des lieux de la pollution en azote et en phosphore des eaux du fleuve. Niger.
<https://www.memoireonline.com/10/10/4023/Proloferation-des-plantes-aquatiques-envahissantes-sur-le-fleuve-Niger-etat-des-lieux-de-la-pollu.html>. Consulté le 19 décembre 2019

[14] **DUTTA H. M & ARENDS D. A. 2003.** Effets de l'endosulfan sur l'activité de l'acétylcholinestérase cérébrale chez le crapette arlequin juvénile. Environnemental Recherche. 91,157-162p.

[15] **HUNG D. Q & THIEMANN Q. 2002.** Contamination par certains pesticides chlorés dans les eaux de surface à Hanoi, Vietnam. Chemo. 47, 357 – 367p.

[16] **JAUZEIN A, PINOT J. P & VATAN A. 2020.**
« **SÉDIMENTOLOGIE** », *Encyclopædia Universalis* [en ligne], consulté le 7 janvier 2020. <http://www.universalis.fr/encyclopedie/sedimentologie/>

[17] **JIANG X, MARTINS D, SCHRANM K. W, KETTRUP A, XU S. F & WANG L. S. 2000.** Chlorinated organic compounds (PCOCs) in water's suspended solids and sediments of the Yangtse River. Chemo. 41, 901 – 905p.

- [18] **JOHANSEN H. R, ALEXANDER J, ROSSLAND O. J, PLANTING S, LOVIK M, GAARDER P. I, GDYNIA W, BJERVE K. S & BECHER G. 1996.** PCDD, PCDF et PCB dans le sang humain en relation avec la consommation de crabes d'une région contaminée du Fjord en Norvège. *Environ. Health Perspect.* 7, 756-764p.
- [19] **JORGENSEN J. L. 2001.** Aldrine et Dieldrine : un examen de la recherche sur la production, les dépôts et le devenir dans l'environnement, la bioaccumulation, la toxicologie et l'épidémiologie aux Etats unis. *Environ. Health Perspect.* 109, 113-139p.
- [20] **MARCHAND M & MARTIN J. L. 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(1):25–39p.
- [21] **MAVURA W.J & WANGILA P. T. 2004.** Distribution of pesticide residues in various lake matrices: water, sediment, fish and algae, the case of lake Nakuru, Kenya. Inaugural conference Proceedings 8th – 11th August Arusha – Tanzania p.88-98.
- [22] **MCKINNEY J. D & WALKER C. L. 1994.** Les biphénylpolychlorés comme analogues structuraux hormonaux actifs. *Environ. Health Perspect.* 109, 209-297p.
- [23] **HAROUNA M, KONE PH, ADAKAL H, HAIDO A, BENGALY Z & SOULEY B. 2017.** Etude de la Trypanosomose Bovine dans les départements de Say ET Torodi (Niger). [En ligne]. <https://www.ajol.info/index.php/aga/article/view/163189>. Consulté le 19 Novembre 2019.
- [24] **MUIR G.C.D, NORDSTROM R.J & SIMON M. 1998.** « Contaminants organochlorés dans les chaînes alimentaires marines de l'arctique : accumulation de biphénylpolychlorés spécifiques et de composés liés au chlordane. *Environmental Science and Technology.* 22 (9), 1071-1079.
- [25] **NDOYE M. 1998.** Qualité et traitement des eaux usées domestiques et agricoles. Cours intensif. 31p.
- [26] **NIANG. A. 2001.** Utilisation des pesticides dans le delta du fleuve Sénégal : enquête auprès de 200 producteurs maraichers et riziculteurs. Thèse de doctorat en pharmacie, Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odontostomatologie/ UCAD. 102 p.
<http://www.sn/gsd/collect/butravan/index/assoc/HASHO1dd/8b98482c.dir/THM42404.pdf>.
- [27] **ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION & L'AGRICULTURE [FAO]. 1990.** Code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides. Version amendée. Rome. 39p.
- [28] **PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT [PNUE]. 2016.** Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants. [En ligne]. Douzième réunion : Projet de descriptif des risques concernant le dicofol. Rome : Comité

d'étude des polluants organiques persistants [POPRC].

47p. <http://chm.pops.int/Portals/0/download.aspx?d=UNEP-POPS-POPRC.12-2.French.pdf>. Consulté le 30 janvier 2020.

[29] PROGRAMME CONJOINT [FAO/PNUE]. 1996. Document d'orientation des décisions : information et consentement préalable. [En ligne]. Rome. 21p.

http://www.pic.int/Portals/5/DGDs/DGD_Lindane_FR.pdf. Consulté le 30 janvier 2020.

[30] ROBERT L. LIPNICK & MUIR D. C. G. 2000. Histoire des produits chimiques persistants, bio-accumulables et toxiques. ACS Symposium Series. Vol. 772.

[31] SAMIA E. K, RASHED M. M & ZAYED M. A. 2000. Monitoring of the pesticide levels in some water supplies and agricultural land in El-Haram, Giza (A. R. E). *Hazardous Waste and Hazardous Materials*, 72, 11 – 21p.

[32] SENE M. 2008. Pratiques d'utilisation des pesticides et des teneurs en résidus des produits horticoles dans la zone des Niayes de Mboro : effets éventuels sur la santé publique. 115p. Thèse de doctorat en pharmacie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar. [En ligne]. www.bu.ucad.sn. Consulté le 12 Novembre 2019

[33] STIMMAN M. W, BAILEY J. S & DEAL A. S. 1985. Study guide for agricultural pest control advisers on insects, mite and other invertebrates and their control in California, pp: 69 - 70.

[34] TANAB S, ITAWA H & TATSUKAWA R. 1994. Contamination globale par les organochlorés persistants et leur impact écotoxicologique sur les mammifères marins. *Sci Total Environ.* 40, 163-177p.

[35] THIAM A. 2004. Les pesticides chimiques : Historique, classification, mode d'action, effets toxiques PAN Africa. 12p.

[36] THIAM Mouhamed. 2017. Analyse des résidus de pesticides organophosphorés dans les produits riches en matière grasse : pirimiphosméthyle, chlorpyrifoséthyle, deux pesticides largement utilisés sur les produits végétaux à teneur de matières grasses. Rapport de stage de 3ème année cycle d'ingénieur en agro-industrie. Disponibles à la bibliothèque de CERES-Locustox.

[37] TRAORE M. 2019. Recherche de résidus de pesticides dans la chaire de poisson. Rapport de fin d'étude 3ème année de Génie des Industries Chimiques (GIC). Disponible à la bibliothèque de CERES-Locustox.

[38] WANIA F & MACKAY D. 1993. Fractionnement global et condensation à froid de faible volatilité de composés organochlorés dans les régions polaires. *Ambio.* 22, 10-8p.