

LES PESTICIDES DANS LES EAUX SOUTERRAINES : CAS DU SOUS BASSIN DU MASSILI AU BURKINA FASO

Traoré Hortense^{1*}, Segda Bila Gérard¹, Dipama Jean-Marie²

¹Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement (LPCE) ;

²Laboratoire Dynamique des Espaces et des Sociétés (LDES) ;

*t_hortense75@yahoo.fr

INFOS SUR L'ARTICLE

Historique de l'article:

Reçu le : 31 aout 2023

Reçu en format révisé le : 07 septembre 2023

Accepté le : 25 decembre 2023

Mots-Clés : Pesticides, Pollution, Eaux Souterraines, Contamination, Massili

Keywords : Pesticides, Pollution, Groundwater, Contamination, Massili

ABSTRACT

This study aims at contributing in the characterization of the quality of the underground waters in the Massili sub basin, through the analysis of some pesticides in 40 water samples from some shallow wells and boreholes. The gas chromatography method, using the GC-HP5 (30 m, 0.25 mm, 0.25 μ m) coupled with the mass spectrometer, and the GC- μ CDE (Optima-5MS 0,25 mm, 0,25 μ m) method, have enabled to show that 77.5% of the analyzed samples are contaminated by pesticide wastes. Penconazol, Monocrotophos, Triadimefon, Propiconazol and Cyfluthrin are the molecules that are the most frequent ones in the water samples. The total contents per polluted sample vary from 0.05 μ g l^{-1} to 0.92 μ g l^{-1} . These total contents are below that of the standards of the European Union and the World Health Organization which is 1 μ g l^{-1} . However, these underground waters need to be monitored, considering the intensity of the farming and market gardening activities carried out near them. Some traces of organochlorine such as Aldrin, Op'DDT, Cis-Heptachlor-Exo-Epoxide, 2,4'DDE, 4,4'-DDE and Endrin that are forbidden by the Rotterdam agreement, are identified in 7 water samples. The Heptachlor has been detected in the samples of Pabré Saint Joseph and Laye F1, respectively with some contents of 0.03 μ g l^{-1} and 0.043 μ g l^{-1} . These contents are slightly superior to the standard of the European Union which is 0.03 μ g l^{-1} . The results show that shallow aquifers of the Massili sub basin are exposed to pesticide pollution due to farming and market gardening activities.

RESUME

Cette étude se veut une contribution à la caractérisation de la qualité des eaux souterraines du sous bassin du Massili, par l'analyse des pesticides dans 40 échantillons d'eau de puits et de forages peu profonds. La méthode de la chromatographie en phase gazeuse, utilisant les chromatographes de type GC-HP5 (30 m, 0,25 mm, 0,25 μ m) couplé avec le spectromètre de masse, et celle du type GC- μ CDE (Optima-5MS 0,25 mm, 0,25 μ m), ont permis de montrer que 77,5% des échantillons d'eau analysés sont contaminés par des résidus de pesticides. Le Penconazol, le Monocrotophos, le Triadimefon, le Propiconazol et le Cyfluthrin sont les molécules les plus fréquentes dans les échantillons d'eau prélevés. Les teneurs totales par échantillon pollué varient de 0,05 μ g l^{-1} à 0,92 μ g l^{-1} . Ces concentrations totales sont en dessous de celle de la norme de l'Union Européenne et de l'Organisation Mondiale de la Santé qui est de 1 μ g l^{-1} . Cependant, ces eaux souterraines doivent faire l'objet de suivi, vu l'intensité des activités maraichères et agricoles menées à leur proximité. Des traces d'organochlorés tels que Aldrine, Heptachlore, Op'DDT, Cis-Heptachlore-Exo-Epoxide, 2,4'DDE, 4,4'-DDE et Endrine, interdits par la convention de Rotterdam, sont identifiées dans 7 échantillons d'eau. L'Heptachlore est détecté dans les échantillons Pabré Saint Joseph F1 et Laye F1, respectivement à des teneurs de 0,03 μ g l^{-1} et 0,043 μ g l^{-1} . Ces teneurs sont légèrement au-dessus de la norme de l'Union européenne (0,03 μ g l^{-1}), dans les échantillons Pabré Saint Joseph F1 et Laye F1, respectivement à des teneurs de 0,03 μ g l^{-1} et 0,043 μ g l^{-1} . Les résultats montrent que les nappes peu profondes du sous bassin du Massili sont exposées à la pollution aux pesticides utilisés dans les activités agricoles et maraichères.

I. INTRODUCTION

L'Afrique connaît une forte croissance de sa population, dont la majeure partie s'investit dans les activités agricoles et maraichères. Pour lutter contre les nuisibles et assurer la sécurité alimentaire, l'utilisation des pesticides est devenue une pratique courante. Force est de reconnaître que les dosages de ces intrants ne sont pas respectés, soit par ignorance ou par négligence des agriculteurs et des maraichers, ce qui a pour conséquences, la pollution de l'environnement.

Des études ont montré que seule une infime partie, environ 10% des pesticides mal utilisés sont profitables aux cultures (Belarbi et al., 2021) ; le reste est rejeté dans la nature (Kenko et al., 2017) et par conséquent drainé dans les eaux souterraines (Abanyie et al., 2023) ; (Gouda et al., 2018). L'utilisation de ces produits chimiques agricoles est encadrée dans l'espace du CILSS, qui dispose d'une liste globale des pesticides autorisés par le Comité Sahélien des Pesticides (CSP, 2021). Cependant, les Etats peinent à éradiquer l'application des pesticides non homologués sur les périmètres agricoles et maraichers, comme c'est le cas à Madaoua au Niger (Zabeirou, 2018), et à Dano au Burkina Faso (COMPAORE et al., 2019).

La littérature se focalise sur la double problématique du mauvais usage des pesticides chimiques et les risques sanitaires et environnementaux qui en découlent, et aborde très peu la pollution des eaux souterraines par les résidus de pesticides au Burkina Faso.

Cette étude se fixe pour objectif l'analyse des résidus de pesticides dans des échantillons d'eau de forages et de puits, afin de contribuer à la caractérisation de la qualité des eaux souterraines du sous bassin du Massili, dans la zone centrale du Burkina Faso. Pour ce faire, dans un premier temps le chromatographe en phase gazeuse HP5 couplée avec le spectromètre de masse sera utilisé pour détecter 58 types de pesticides composés des organochlorés, des organophosphorés, des pyréthrinoides et des carbamates ; et dans un second temps, le chromatographe en phase gazeuse munie d'un détecteur à capteur d'électrons GC- μ CDE, permettra de rechercher 19 types de molécules organochlorés faisant partie des plus dangereux pesticides ; et enfin, les résultats seront présentés, comparés aux normes de l'OMS et de l'UE et discutés.

II. MATERIELS ET METHODES

La méthodologie utilisée dans la présente étude comprend (i) la revue de la littérature, (ii) l'échantillonnage des eaux des puits et des forages, (iii)

l'analyse des résidus de pesticides dans les échantillons d'eau prélevés et (iv) le traitement et l'interprétation des données.

II.1. Revue de la littérature

La revue de la littérature a permis de parcourir des études antérieures menées sur les pesticides, notamment sur leur utilisation et leurs impacts sur les eaux souterraines. De cette littérature il ressort que les activités anthropiques telles que l'agriculture et le maraichage sont des facteurs majeurs qui impactent négativement la qualité des eaux souterraines en pesticides (Abanyie et al., 2023) ; (Gouda et al., 2018). Le sous bassin du Massili regroupe 4 communes urbaines et 18 communes rurales, avec une population estimée à 3.846.149 habitants en 2020 (INSD, 2022). Dans la zone d'étude, les aires de cultures annuelles représentent 63% de l'espace et les zones agricoles hétérogènes 19%, selon la base des données cartographiques de l'IGB de 2002. L'agriculture est la première source de revenu et d'occupation des populations de l'espace du Massili (Bagré et al., 2024). Elle est du type familial et traditionnel. Les pesticides sont utilisés pour lutter contre les ravageurs, afin de booster le rendement agricole. Cependant, l'application de ces intrants agricoles n'est pas sans impacts sur l'environnement (Kenko et al., 2017). Très peu d'études ont été menées sur la contamination des eaux souterraines par des résidus de pesticides dans le sous bassin du Massili. Pour contribuer à combler ce gap, notre choix s'est porté sur l'analyse des résidus de pesticides dans des eaux de puits et de forages à proximité des périmètres agricoles et maraichers de la zone d'étude. Les résultats permettront de contribuer à la caractérisation des eaux souterraines du sous bassin du Massili et de faire de recommandations par rapport à leur protection.

II.2. Echantillonnage des eaux

Au total, 40 ouvrages ont été échantillonnés sur les sites maraichers et agricoles. Les points d'eau sont présentés dans la figure 1.

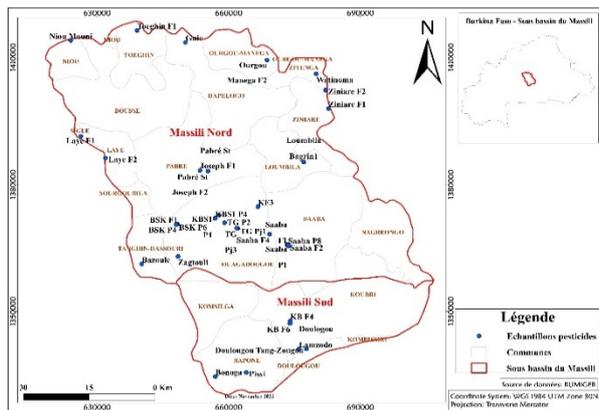


Figure 1 : Carte des points d'échantillonnage

L'eau des forages a été prélevée après un pompage d'au moins 20 litres afin de vider la tuyauterie et recueillir l'eau de la nappe. Quant à l'échantillonnage dans les puits, une puisette est descendue à l'aide d'une corde ; une fois remplie, elle est tirée et plongée à plusieurs reprises, afin d'avoir un mélange assez homogène avant le prélèvement.

Les échantillons ont été conditionnés dans des bouteilles en verre ambrées de 1litre, préalablement bien nettoyées, puis placés dans des glacières et transportés le même jour au laboratoire.

II.3. Analyse des résidus de pesticides dans les échantillons d'eau

Les pesticides recherchés par le GC HP5-MS (30 m, 0,25 mm, 0,25 µm) sont au nombre de 58 composés des pyrèthrinoides, des carbamates, des organophosphorés et des organochlorés. Ces pesticides sont le Methomyl, le Carbofuran, le Diflufenbutamide, le Mevinphos, le Propoxur, l'Heptenophos, l'Ethprophos, le Chlordimefon, le Monocrotophos, l'HCB*, le Diméthoate, le Beta HCB, le Quintozène, le Lindane, le Diazinon, le Chlorothalonil, le Simazine, l'Atrazine, l'Alachlore, l'Heptachlore*, l'Aldrine^d, le Triadimefon, 2 types de Dieldrine*, le Beta Endosulfan*, 2 types de l'op'DDT*, le Benalaxyl, le Propiconazol, le Pendimethalin, le Metazochlor, le Penconazol, le Thiabendazol, le Beta Endosulfab, l'Imazalil, le Pretilachlor, le Beta Endosulfan, le Benalaxyl, le Propiconazol, le 25DDT, le Propargite, le Carbosulfan,

le Tetramethrine, le Bifenthrin, le Tetramethrin, le Methoxychlor, 2 types de L-Cyhalothrin, le Mirex, l'Azinphos-Ethyl, 2 types de Permethrin, 4 types de Cyfluthrin, 3 types de Cypermethrin, l'Alpha-Cypermethrin, le Cypermethrin, le PCB N209, le Deltamethrin et l'Azoxystrobin.

Quant au GC-µCDE muni d'un détecteur à capteur d'électron, il a servi à détecter 19 pesticides organochlorés qui sont l'Apha-HCH, l'Heptachlore*, le Gamma-HCH, l'Heptachlore-exo-époxyde (cis-isomère), l'Aldrine*, l'Isobenzane, l'Apha endosulfan, le Dieldrine*, le p,p'-DDE, 2 types de l'O,p-DDE*, l'Endrine, le Beta-endosulfan*, le p,p'-DDD, l'Isodrine, l'HCB,* l'O,p-DDT*, le p, p'-DDT et le Beta-HCH.

Les pesticides analysés par les deux appareils (GC HP5-MS et GC-µCDE) sont l'HCB, l'Heptachlore, l'Aldrine, le Dieldrine, le Beta Endosulfan et l'Op'DDT

Les matériels utilisés pour les analyses sont composés de la verrerie, la laine de verre « qualité de filtre », un évaporateur sous jet d'azote, Kuderna-Danish (tube gradué pour la concentration par jet d'azote), des colonnes capillaires appropriées, un évaporateur rotatif pour la concentration par évaporation, des agitateurs vortex et des réactifs. Les réactifs sont composés essentiellement de kits d'extraction et de kits de purification.

Les étapes suivies pour l'analyse des pesticides sont l'extraction, la purification, la concentration et le dosage. Chaque molécule a un temps de rétention bien défini, qui permet de l'identifier et d'évaluer sa concentration, à partir de son pic sur le chromatogramme.

La méthode de QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe) modifiée a été utilisée avec le GC HP5-MS (30 m, 0,25 mm, 0,25 µm) après extraction liquide-liquide. La phase organique après extraction est purifiée, concentrée puis les éléments subissent une séparation et une fragmentation, enfin, l'identification, la confirmation et la quantification des molécules sont faites à partir de la bibliothèque interne qui contient les caractéristiques des cinquante-huit (58) molécules détectables par l'appareil.

La figure 2 présente les étapes du protocole des deux types de chromatographes utilisés

* Ce sont les pesticides organochlorés analysés par les deux types d'appareils GC HP5 MS et GC-µCDE

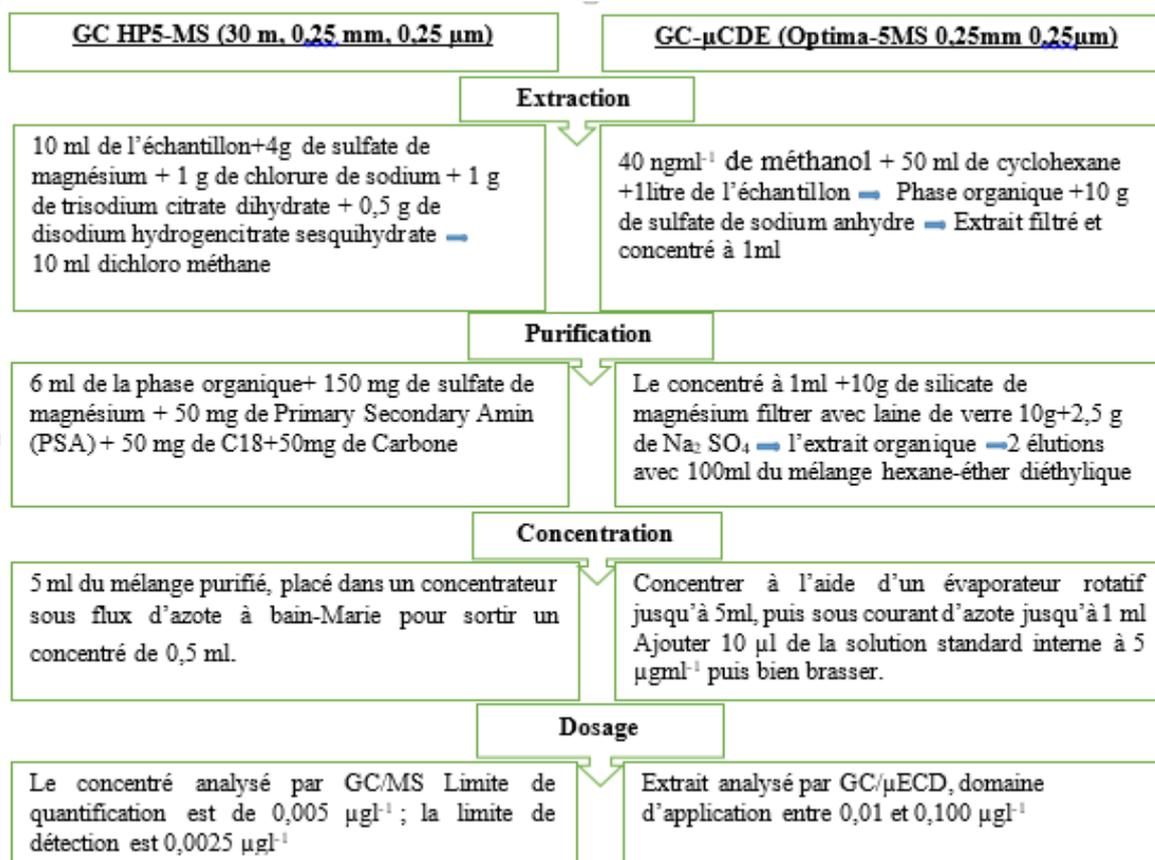


Figure 2 : Etapes du protocole des deux types de chromatographes utilisés.

II.4. Traitement et interprétation des données

Les données obtenues ont été traitées avec des logiciels Word et Excel, afin de faciliter leurs interprétations.

Les analyses sur le GCH5/MS ont été réalisées en prélevant 0,5 ml de concentré et 10 ml de prise d'essai. Nous obtenons des concentrations exprimées en mg^l⁻¹ sur le chromatogramme. Les concentrations du chromatogramme ont été multipliées par 0,05 µgl⁻¹ pour déterminer les concentrations réelles en µgl⁻¹ en utilisant la formule suivante :

$$R = C * \frac{V}{PE}$$

$$R = C * 0,05$$

R= résultat calculé (µgl⁻¹)

V= volume concentré= 0,5ml

PE= prise d'essai =10ml

C= concentration chromatogramme (mg^l⁻¹)

La limite de quantification du GCH5/MS qui est la plus petite concentration mesurable de façon satisfaisante est 0,005 µgl⁻¹.

Pour obtenir des résultats fiables, nous avons retenu les valeurs supérieures ou égales à 0,005 µgl⁻¹.

En ce qui concerne les analyses avec le GC-µCDE, les concentrations identifiées dans le blanc sont soustraites des concentrations brutes des chromatogrammes des échantillons d'eau. Les résultats corrigés obtenus sont comparés à la limite de quantification de l'appareil pour chaque type de pesticide analysé. Seules les concentrations au-dessus de la limite de quantification sont fiables et montrent la présence des résidus de pesticides. La concentration des pesticides dans les échantillons est calculée par la formule suivante :

$$Ce = Cc - Cb$$

Ce= concentration de l'échantillon (µgl⁻¹)

Cc= concentration du chromatogramme (µgl⁻¹)

Cb= concentration du blanc (µgl⁻¹)

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

L'analyse des 40 échantillons d'eau par le GC HP5 MS, avaient pour objectif la recherche de résidus de 58 pesticides, constitués d'organophosphorés, d'organochlorés, de pyréthrinoides et de carbamates.

Les résultats montrent que sur les 40 échantillons, 28 sont contaminés par au moins un des résidus de molécules de pesticides. Ces molécules sont : monocrotophos ($0,052 \mu\text{g l}^{-1}$ à $0,426 \mu\text{g l}^{-1}$), triadimefon ($0,05 \mu\text{g l}^{-1}$ à $0,123 \mu\text{g l}^{-1}$), pendimethalin ($0,072 \mu\text{g l}^{-1}$), penconazol ($0,076 \mu\text{g l}^{-1}$ à $0,340 \mu\text{g l}^{-1}$), thiabendazol ($0,06 \mu\text{g l}^{-1}$), op'DDT ($0,065 \mu\text{g l}^{-1}$ à $0,078 \mu\text{g l}^{-1}$), propargite ($0,0865 \mu\text{g l}^{-1}$), propiconazol ($0,0525 \mu\text{g l}^{-1}$ à $0,3385 \mu\text{g l}^{-1}$), cyfluthrin ($0,1345 \mu\text{g l}^{-1}$ à $0,3735 \mu\text{g l}^{-1}$) et cypermethrin $0,0615 \mu\text{g l}^{-1}$.

Les molécules les plus fréquentes dans l'ensemble des échantillons analysés sont respectivement, le penconazol, le monocrotophos, le triadimefon, le propiconazol et le cyfluthrin qui sont des organophosphorés. (ZABEIROU et al., 2020) ont détecté des résidus de pendimethalin et de cypermethrin dans des aquifères captés par des puits au niveau des sites maraichers de Madaoua au Niger. Ils ont aussi identifié le glyphosate, le deltaméthrine, le lambda-cyhalothrine, l'endosulfan, le chlorpyrifos méthyle et le carbofuran sur ces-dits sites maraichers. Ces molécules ne sont pas retrouvées dans les échantillons analysés de notre zone d'étude. En outre, le monocrotophos, le triadimefon, le penconazol, le thiabendazol, le propargite, le propiconazol et le cyfluthrin qui sont assez présents dans les échantillons testés du sous bassin du Massili ne se trouvent pas dans les eaux des maraichers de Madaoua. Cette diversité de résidus de pesticides dans les eaux souterraines de ces différents sites au Burkina Faso et au Niger, pourraient s'expliquer par les variétés des pesticides de synthèse accessibles aux producteurs dans ces localités.

Les 28 échantillons positifs aux résidus de pesticides identifiés par le GC HP5 MS, ont été testés pour rechercher 19 types de pesticides organochlorés à l'aide du chromatographe GC- μCDE . Les résultats montrent la présence des pesticides organochlorés dans sept (7) échantillons d'eau.

Les pesticides organochlorés recherchés à la fois par le GC HP5 MS et le GC- μCDE sont l'heptachlore, l'aldrine, le dieldrine, le Beta-endosulfan, l'HCB et l'O,p-DDT. Aucun des appareils n'a identifié le dieldrine, le Beta-endosulfan et l'HCB dans les échantillons analysés ; cela suppose que ces molécules ne soient pas utilisées à proximité des ouvrages échantillonnés. Par contre, l'heptachlore a été détecté par le GC- μCDE dans les forages Pabré Saint Joseph F1 ($0,030 \mu\text{g l}^{-1}$) et Laye F1 ($0,043 \mu\text{g l}^{-1}$), de même que l'aldrine ($0,006 \mu\text{g l}^{-1}$) dans KBS2 P6. Le GC- μCDE est adapté à la recherche des molécules organochlorées et des halogènes, ce qui pourrait justifier l'identification de l'aldrine et de l'heptachlore par cet appareil. Il a aussi détecté le 4,4'-DDE (dichlorodiphenyldi-chloroethylene) dans Saaba P6, l'endrine ($0,006 \mu\text{g l}^{-1}$) dans Loumbila Bangrin F2, le Cis-Heptachlore-Exo-Epoxide dans Ziniaré F2 et le 2,4'-DDE (dichlorodiphenyldi-chloroethylene) dans Zagtoui. L'O,p-DDT (dichlorodiphenyltrichloroethane) a été identifié par le

GC HP5 MS dans les forages Saaba F2 ($0,078 \mu\text{g l}^{-1}$) et Zagtoui ($0,065 \mu\text{g l}^{-1}$). Cependant, contrairement au GC- μCDE , il n'a pas identifié l'heptachlore et l'aldrine.

Les pesticides organochlorés tels que le Op'DDT et l'aldrine, interdits par la Convention de Rotterdam 1998, se retrouvent dans certains échantillons prélevés dans des sites maraichers et agricoles de la zone d'étude. Des études similaires ont montré la présence de ces produits dangereux dans les eaux souterraines des sites maraichers de Madaoua au Niger (ZABEIROU et al., 2020), ainsi qu'à Xiaodian en Chine, (Zhang et al., 2013). Le DDT a été identifié dans des eaux souterraines de Offinsu au Ghana (Abanyie et al., 2023), et l'aldrine dans des puits et forages à Dankuy et Fankuy au Burkina Faso (TAPSOBA and BONZI-COULIBALY, 2006).

L'endrine ($0,011 \mu\text{g l}^{-1}$) a été détectée dans le forage Loumbila Bangrin F2. L'heptachlore qui est un organochloré très dangereux dont la concentration admise par la norme de l'UE 1998 dans l'eau potable est de $0,03 \mu\text{g l}^{-1}$, se retrouve à des teneurs légèrement élevées dans les échantillons des forages Pabré Saint Joseph F1, à $0,03 \mu\text{g l}^{-1}$ et Laye F1, à $0,043 \mu\text{g l}^{-1}$; quant au Cis-Heptachlore-Exo-Epoxide, il est identifié à une teneur de $0,015 \mu\text{g l}^{-1}$, dans le forage Ziniaré F2. (Wu et al., 2013) ont identifié dans les eaux souterraines peu profondes de la région du lac Taihu en Chine, ces mêmes types de pesticides organochlorés. Des études menées à Xiaodian en Chine ont montré que l'endrine et l'heptachlore ont contaminé des eaux souterraines par le biais de l'irrigation (Zhang et al., 2013). En outre, les résultats de recherche de (Navarrete et al., 2018), indiquent que le taux des forages le long de la rivière Pampanga aux Philippines ont été pollués par l'endrine et l'heptachlore à travers le phénomène de l'infiltration. Le 2,4'-DDE ($0,016 \mu\text{g l}^{-1}$) et le 4,4'-DDE ($0,012 \mu\text{g l}^{-1}$) sont identifiés respectivement dans les échantillons du forage Zagtoui et le puits Saaba P6. Leurs concentrations sont faibles par rapport à la norme de l'OMS et l'UE qui est de $0,5 \mu\text{g l}^{-1}$. Cependant, ces ouvrages doivent être suivis au regard de leurs emplacements sur des sites maraichers. Ces molécules de DDE se retrouvent dans les eaux souterraines des sites maraichers de Offinsu au Ghana (Abanyie et al., 2023).

Sur les 40 échantillons analysés par GC HP5 MS et GC- μCDE , 31 échantillons soit 77,5% sont contaminés par des résidus de pesticides. Les teneurs de chaque résidu de pesticide dans les échantillons contaminés vont de $0,05 \mu\text{g l}^{-1}$ à $0,43 \mu\text{g l}^{-1}$, ce qui est inférieure à la norme de l'UE et de l'OMS qui est de $0,5 \mu\text{g l}^{-1}$.

Les échantillons d'eau les plus pollués proviennent des forages privés de faible profondeur (inférieur à 50 m). Ils contiennent plus de variétés de résidus, et ont les plus fortes concentrations totales de pesticides. Il s'agit de Bonoga ($0,92 \mu\text{g l}^{-1}$), Toéghin F1 ($0,89 \mu\text{g l}^{-1}$), KB F6 ($0,75 \mu\text{g l}^{-1}$), Zagtoui ($0,67 \mu\text{g l}^{-1}$), Saaba P10 ($0,65 \mu\text{g l}^{-1}$), Saaba F2 ($0,62 \mu\text{g l}^{-1}$) et Saaba F4 ($0,59 \mu\text{g l}^{-1}$) et Saaba F1 ($0,072 \mu\text{g l}^{-1}$).

Au total, 16 types de pesticides des groupes des organochlorés et des organophosphorés ont été identifiés dans les échantillons d'eau analysés. Les concentrations totales de pesticide par échantillon analysé varient de 0,05 µg/l à 0,92 µg/l et restent en dessous de 1µg/l, admise pour l'eau potable par l'UE l'OMS (OMS, 2019).

Cependant, au regard de l'intensité des activités maraichères et agricoles menées, et la proximité des puits et des forages pour la plupart à moins de 2 m des

cultures, des mesures doivent être prises pour le suivis de la qualité de leurs eaux.

La figure 3 présente les proportions et les types de molécules de pesticides identifiés dans les échantillons d'eau de notre étude.

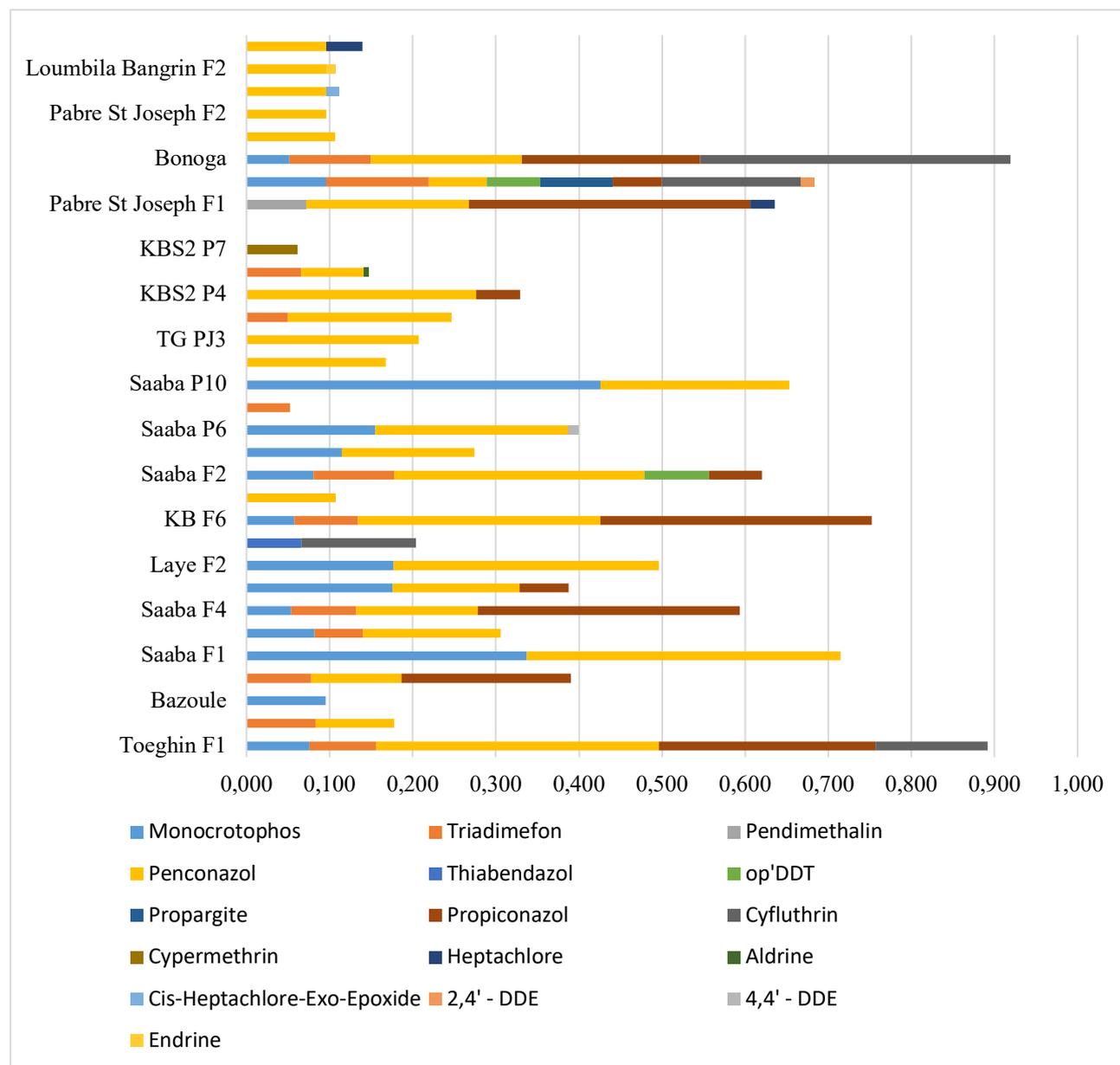


Figure 3 : Typologie des molécules de pesticides détectés par le GC HP5 MS et le GC-µCDE

Des études ont montré des concentrations totales de pesticides comprises entre 0,0094 µg/l à 0,084,01 µg/l dans des échantillons d'eaux souterraines à Xiaodian en

Chine (Zhang et al., 2013). Une partie de ces teneurs se trouve dans l'intervalle de concentration de pesticides de notre zone d'étude.

L'étude de (TAPSOBA and BONZI-COULIBALY, 2006) indique que des concentrations totales d'endosulfan et d'aldrine qui varient entre $0,12 \mu\text{g l}^{-1}$ et $1,10 \mu\text{g l}^{-1}$, dépassant la norme admise par l'OMS et l'UE, ont été trouvées dans des eaux de forages de Dankuy et Fankuy au Burkina Faso. L'endosulfan n'est pas identifié dans les échantillons d'eau de puits et de forages que nous avons analysés. (Rodríguez et al. 2014), ont détecté des pesticides organochlorés dans l'aquifère de l'Anneau des Cenotes au Yucatán au Mexique à des niveaux supérieurs à la norme admise par le pays. Ces mêmes types de pesticides ont été identifiés par (Wu et al., 2013) dans les eaux souterraines peu profondes de la région du lac Taihu en Chine.

Les échantillons d'eau contaminés du sous bassin du Massili proviennent des puits et des forages peu profonds à proximité des périmètres maraichers et agricoles. Ce sont des ouvrages qui captent les nappes d'altérites ou celles de l'arène granitique à une profondeur inférieure à 50 m. Ces nappes sont exposées aux pollutions de résidus de pesticides, ce qui nous conforte dans l'hypothèse de la nécessité du suivi de la qualité des eaux souterraines utilisées pour l'eau potable dans notre zone d'étude.

CONCLUSION

Les pesticides sont des intrants agricoles incontournables actuellement pour lutter contre les nuisibles au Burkina Faso. Ces produits chimiques ne sont pas sans impacts sur l'environnement et par conséquent sur les eaux souterraines.

Les résultats des analyses des résidus de pesticides dans 40 échantillons du sous bassin du Massili montrent que 77,5 % de ces eaux sont contaminées par au moins une molécule de pesticides. Les échantillons les plus pollués proviennent des puits et forages privés de faible profondeur. Le Penconazol, le Monocrotophos, le Triadimefon, le Propiconazol et le Cyfluthrin sont les molécules les plus fréquentes dans les échantillons d'eau. Les niveaux de contamination totale des échantillons d'eau varient de $0,05 \mu\text{g l}^{-1}$ à $0,92 \mu\text{g l}^{-1}$, et sont en dessous de la norme de $1 \mu\text{g l}^{-1}$, admise pour l'eau potable par l'OMS et l'UE. Néanmoins, les eaux polluées identifiées doivent faire l'objet de suivi, vu l'intensité des activités maraichères et agricoles à leur proximité. Des traces d'organochlorés tels que l'aldrine sont détectées dans KBS2 P6 et celles de Op' DDT dans Saaba F2 et Zagtoui ; le Cis-Heptachlore-Exo-Epoxide, le 2,4'DDE, le 4,4'-DDE et l'Endrine sont identifiés dans des échantillons d'eau de puits et de forages à des teneurs faibles. L'Heptachlore par contre, est identifié dans les forages Pabré Saint Joseph F1 et Laye F1 à des teneurs légèrement supérieures ou égales à celle de la norme de l'UE.

Cette étude a permis de montrer que les nappes peu profondes du sous bassin du Massili sont exposées aux pollutions anthropiques telles que les pesticides. Ces contaminations sont dues aux activités agricoles et maraichères menées à proximité des ouvrages. En outre, les traces de pesticides interdits retrouvées dans certains échantillons recommandent que des mesures soient prises pour protéger les eaux souterraines, particulièrement celles utilisées pour l'approvisionnement en eau potable. Il est aussi recommandé de suivre la qualité des eaux souterraines à proximité des activités agricoles et maraichères, et de sensibiliser les populations riveraines sur le respect de la distance de servitude entre les ouvrages d'eau et les périmètres agricoles.

REFERENCES

- Abanyie, S.K., Apea, O.B., Abagale, S.A., Amuah, E.E.Y., Sunkari, E.D., 2023. Sources and factors influencing groundwater quality and associated health implications: A review. Elsevier BV.
- Bagré, M., Philippe, B., Kabore, O., Augustin, Y., Wendlassida, O., Yelezoumin, S., Corenthin, S., 2024. Modélisation Prospective De L'occupation Du Sol D'un Espace À Forte Pression Anthropique : Cas Du Bassin Versant Du Massili À Gonsé (Burkina Faso) [Prospective Modelling Of Land Use In An Area Of High Anthropic Pressure: The Case Of The Massili Catchment In Gonsé (Burkina Faso)] 42, 476–493. <https://doi.org/10.52155/ijpsat.v42.1>
- Belarbi, S., Vivier, M., Zaghouni, W., De Sloovere, A., Peulon, V.A., Cardinael, P., 2021. Comparision of new approach of GC-HRMS (Q-Orbitrap) GC-MS/MS (triple quadruple) in analyzing the pesticide residues and contaminants in complex food matrices. Elsevier.
- COMPAORE, H., ILBOUDO, S., BAMA NATI, A.D., BALIMA DAMA, M.M., 2019. Les risques sanitaires liés à l'utilisation des pesticides dans les bas-fonds rizicoles de la commune de Dano, Province du Ioba Burkina Faso. Afr. Crop Sci. J. 557–569.
- CSP, 2021. Liste globale des pesticides autorisés par le Comité Sahélien des Pesticides. CILSS 52.
- Gouda, A.I., Toko, I.I., Salami, S.D., Richert, M., Scippo, M.L., Kestemont, P., Schiffers, B., 2018. Pratiques phytosanitaires et niveau d'exposition aux pesticides des producteurs de coton du nord du Bénin. Cah. Agric.
- INSD, 2022. Cinquième Recensement Général de la Population et de l'Habitation du Burkina Faso

- SYNTHÈSE DES RÉSULTATS DÉFINITIFS (No. 5ème RGPH). MEFP.
- Kenko, N.D.B., Fai, P.A.B., Norbert, N.T., Mbida, M., 2017. Environmental and Human Health Assessment in Relation to Pesticide Use by Local Farmers and the Cameroon Development Corporation (CDC), Fako Division, South-West Cameroon. Eur. Sci. J.
- Navarrete, I.A., Tee, K.A.M., Unson, B.R.S., Hallare, A.V., 2018. Résidus de pesticides organochlorés dans les eaux de surface et les eaux souterraines le long de la rivière Pampang, Philippines. *Surveill. Éval. Environnementales*.
- OMS, 2019. Classification OMS recommandée des pesticides en fonction des dangers qu'ils présentent et Lignes directrices pour la classification.
- Rodríguez, A.G.P., Alberto, J.A.N., Sánchez, J.S., Rejón, G.J.M., Gómez, J.M., Casillas, T.A.D.V., 2014. Contamination par des pesticides organochlorés dans l'aquifère de l'Anneau des Cenotes au Yucatán, Mexique. *Water Environ. J.*
- TAPSOBA, H.K., BONZI-COULIBALY, Y.L., 2006. Production cotonnière et pollution des eaux par les pesticides au Burkina Faso. *J Soc Ouest-Afr Chim* 2006 21 87-93.
- Wu, C., Luo, Y., Gui, T., Huang, Y., 2013. Concentrations et risques potentiels pour la santé des pesticides organochlorés dans les eaux souterraines peu profondes de la région du lac Taihu, Chine. Elsevier 1047–1055.
- Zabeirou, H., 2018. Pratiques paysannes d'utilisation des pesticides sur les cultures maraichères dans le département de Madaoua, Niger. *Environ. Water Sci. Public Health Territ. Intell.*
- ZABEIROU, H., TANKARI, D.B.A., ABDOU GADO, F., GUERO, Y., HAOUGUI, A., BASSO, A., 2020. Évaluation de la contamination des eaux souterraines par les résidus de pesticides dans les jardins maraichers, département de Madaoua – Niger. *Int. J. Dev. Res.* 5.
- Zhang, C., Liao, X., Li, J., Xu, L., Liu, M., Du, B., Wang, W., 2013. Influence de l'irrigation à long terme par les eaux usées sur la distribution des pesticides organochlorés dans les systèmes sol-eaux souterraines. Elsevier 337–343.