ISSN 1813-3290, http://www.revist.ci

EFFET INDUIT DE L'UTILISATION DES PESTICIDES EN CULTURE MARAICHÈRE SUR L'ENVIRONNEMENT ET LA SANTÉ HUMAINE À DALOA, CÔTE D'IVOIRE

Kassi Alexis KOUAMÉ *, Anowa Evrade Larissa ÉBA, Serge Kouakou DEH, Boza Fulgence DÉABO et Kouassi DONGO

Université Félix Houphouët-Boigny, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM), Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eau et des Géomatériaux (LSSEG), 22 BP 582 Abidjan, Côte d'Ivoire

(reçu le 20 Septembre 2022; accepté le 07 Novembre 2022)

* Correspondance, e-mail : *kassialexiskouame@yahoo.com*

RÉSUMÉ

Malgré les mises en garde sur le danger que représentent les produits phytosanitaires pour l'environnement et la santé de l'homme, nombreux sont les maraichers qui continuent de les manipuler sans véritable moyen de protection. L'objectif de cette étude est d'évaluer les risques sanitaires et environnementaux liés à l'utilisation des pesticides à Daloa. Pour ce faire, une campagne d'échantillonnage des eaux de surface et souterraines a été menée. Les analyses *in-situ* effectuées par un multi-paramètre, montrent que les eaux de surface ont en moyenne une température de 25,7°C, un pH de 7,5 (basique), une teneur en oxygène dissous de 4,6 mg/L et une conductivité électrique de 582,2 µS/cm (forte minéralisation). Quant aux eaux souterraines, elles ont en moyenne une température de 28°C, un pH de 6,7 (acide), une teneur en oxygène dissous de 3,5 mg/L et une conductivité électrique de 539,3 µS/cm (forte minéralisation). Les analyses au laboratoire ont été faites à l'aide d'un chromatographe en phase liquide à haute performance de type SHIMADZU. Elles ont mis en évidence trois familles de pesticides : les insecticides, les herbicides et les engrais. Les Indices de Contamination Pesticide (ICP) et d'Altération Pesticides (IAP) montrent que les ressources en eaux de Daloa sont dans l'ensemble de très bonne qualité. En effet, la concentration maximale de l'aldicarbe (seule matière active détectée) est de 0,03 µg/L, inférieure à 0,1 µg/L (norme OMS). L'aldicarbe, bien que présent dans les ressources en eaux de Daloa, n'impacte pas encore leur qualité. Toutefois, l'utilisation excessive des pesticides dans les cultures maraichères peut avoir des répercussions socio-environnementales graves telles que l'intoxication des populations et la contamination des ressources en eau.

Mots-clés : *effet induit, pesticides, culture maraichère, environnement, santé humaine, ressources en eau, Daloa*.

ABSTRACT

Induced effect of pesticide use in market gardening on environment and human health in Daloa, Ivory Coast

Despite the warnings about the danger posed by phytosanitary products to the environment and human health, many market gardeners continue to handle them without any real means of protection. The aim of this study is to assess the health and environmental risks associated with pesticides use in Daloa. To achieve this, surface and groundwater sampling campaign was carried out. In-situ analyses carried out by a multi-parameter system show that surface water has an average temperature of 25.7°C, a pH of 7.5 (basic), a dissolved oxygen content of 4.6 mg/L and an electrical conductivity of 582.2 µS/cm (high mineralization). As for groundwater, it has an average temperature of 28°C, a pH of 6.7 (acidic), a dissolved oxygen content of 3.5 mg/L and an electrical conductivity of 539.3 µS/cm (high mineralization). Laboratory analyses were carried out using a SHIMADZU high-performance liquid chromatograph. Three families of pesticides were identified: insecticides, herbicides and fertilizers. The Pesticide Contamination Index (PCI) and Pesticide Alteration Index (PAI) show that Daloa's water resources have, on the whole, a very good quality. Indeed, the maximum concentration of aldicarb (the only active ingredient detected) is 0.03µg/L, less than 0.1µg/L (WHO standard). Although present in Daloa's water resources, aldicarb has not yet had an impact on their quality. However, the excessive use of pesticides in market gardening can have serious socio-environmental repercussions, such as poisoning populations and contaminating water resources.

Keywords : *induced effect, pesticides, market gardening, environment, human health, water resources, Daloa.*

I - INTRODUCTION

L'introduction des pesticides dans l'agriculture a certainement amélioré la production agricole mondiale [1]. Mais aujourd'hui, l'utilisation systématique de ces produits est fortement remise en question, avec la prise de conscience croissante des risques qu'ils peuvent engendrer pour l'environnement, voire pour la santé de l'homme [2]. En Côte d'Ivoire, les légumes et produits protéagineux occupent une place de choix dans l'alimentation où la croissance de la population urbaine entraîne une augmentation de la demande. La production légumière y a progressé de 30 % en une dizaine d'années pour atteindre 700 000 tonnes en 2001 [3]. Malheureusement, certaines maladies et des ennemis des cultures causent de dégâts considérables pouvant engendrer dans certains cas une perte en production, estimée à plus de 30 % [4]. Dans la

volonté de couvrir les besoins alimentaires des grandes zones urbaines en Côte d'Ivoire, les maraîchers utilisent davantage de produits phytosanitaires [5]. Cependant, l'utilisation de ces produits chimiques polluent l'air, perturbent l'équilibre du sol et contamine les ressources en eau [6]. Selon une mise en garde de l'OMS, plus d'un million de personnes sont victimes d'intoxication dont vingt mille cas de décès et environ 30 % des pesticides commercialisés dans les pays en développement ne sont pas conformes aux standards de qualité internationale et représentent un danger pour la santé et l'environnement [7]. Malgré tous ces dangers que peuvent entrainer ces produits, nombreux sont les cultivateurs à Daloa qui manipulent les produits phytosanitaires sans véritable moyen de protection. L'objectif de ce travail est d'évaluer les risques sanitaires et environnementaux liés à l'utilisation des pesticides dans la ville de Daloa.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

II-1. Zone d'étude

L'étude est conduite dans la ville de Daloa, située au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, plus précisément entre 6º22' et 6º30' de latitude Nord et 6º49' et 6º 54' de longitude Ouest. La ville de Daloa a une population estimée à 1.430.960 habitants [8] et une superficie de 15.200 km^2 ***(Figure 1)***. Le climat est caractérisé par un régime équatorial et subéquatorial avec des températures variant de 24,65 °C à 27,75 °C en moyenne [9]. Le relief de Daloa est caractérisé par des plateaux peu élevés se situant autour de 200 à 400 m [10]. La ville de Daloa est située dans le domaine guinéen, secteur forestier mésophile situé sur la pénéplaine [11]. Daloa possède des sols ferralitiques présentant de bonnes aptitudes agricoles pour tous les types de culture [12]. Les formations géologiques de la zone d'étude appartiennent principalement au socle précambrien et se regroupent en deux grandes entités que sont les roches magmatiques et les roches métamorphiques [13]. Le réseau hydrographique est essentiellement constitué des affluents du fleuve Sassandra (Lobo, Dê et Gôré). Les eaux de surface de la ville de Daloa sont représentées par la rivière Tétégbeu et le lac Bra Kanon. Tous ces cours d'eau présentent tout le long de leur parcours de grandes plaines alluviales propices aux cultures maraîchères.

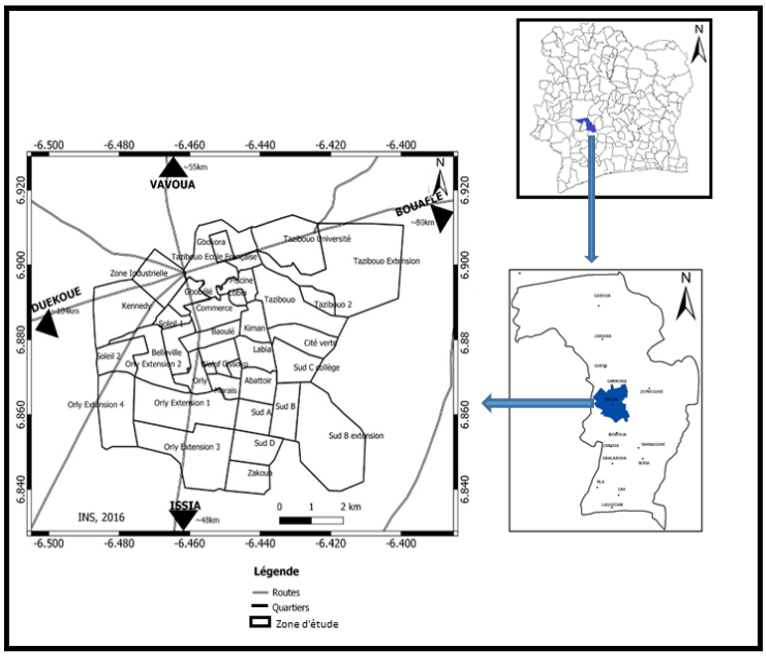

Figure 1 : *Localisation de la ville de Daloa* [14]

II-2. Matériel et Données

Le matériel utilisé dans cette étude est constitué de :

- matériel de terrain : il s'agit d'un GPS pour déterminer coordonnées géographiques des différents sites de prélèvement, un appareil photo numérique pour les prises de vue, un multi-paramètre pour les mesures *in situ* (température, pH, oxygène dissous, etc.), les outils de prélèvement des échantillons (glacière, bouteilles en polyéthylène, seau, etc.) ;
- matériel de laboratoire : l'appareil utilisé pour la quantification des matières actives des pesticides est une chaîne à Chromatographie en Phase Liquide de Haute performance (HPLC) ;
- matériel informatique constitué essentiellement de logiciels.

Les données utilisées sont des données cartographiques, des données d'analyse physico-chimiques et des données de pesticides.

II-3. Méthode d'échantillonnage

Au total douze (12) sites ont été identifiés pour le prélèvement des échantillons ***(Figure 2)***. La campagne a concerné dix (10) points d'eau dont quatre (04) points d'eau de surface et six (06) points d'eau souterraine. Huit (08) de ces échantillons ont été prélevés dans des zones situées sur les sites de cultures ou dans les environs desdits sites (100 à 200 m) et les deux (02) autres ont été

prélevés très loin (2 à 3 km) des sites de cultures. Les prélèvements des eaux souterraines (eaux de puits) ont été réalisés à l'aide d'un seau attaché au bout d'une corde. Des bouteilles de prélèvement munies d'un couvercle à vis d'une capacité de 1 litre ont été ensuite remplies pour chaque puits. Ces bouteilles ont été placées dans une glacière et transportées au laboratoire pour analyse.

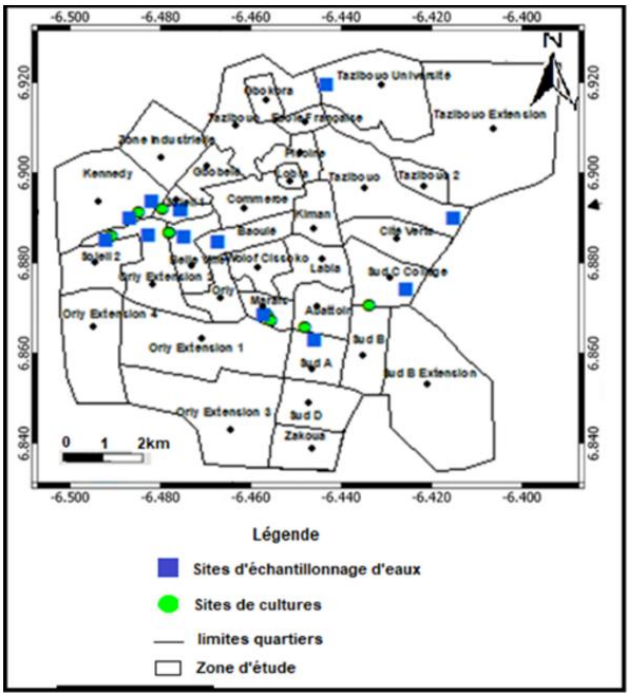

Figure 2 : *Carte des sites d'échantillonnage et de cultures maraichères*

II-4. Méthode d'analyses au laboratoire

Les analyses ont porté sur les molécules de Rezo et de K-optimal qui sont toutes deux des molécules d'insecticides figurant parmi les produits phytosanitaires recensés dans la ville de Daloa. Les molécules ont été analysées par HPLC composé d'un réservoir TRAY, d'un dégazeur DGU-20A5, d'un échantillonneur automatique SIL-20A, d'une pompe LC-20AT, d'un four de type CTO-20A et d'un détecteur UV/VIS SPD-20A utilisé pour la quantification des pesticides. Cette méthode permet la séparation, l'identification et la quantification des matières actives.

II-5. Calcul de l'Indice de Contamination des Pesticides (ICP)

La méthode « Qualité pesticides » se définit de la manière suivante [15] : pour chaque site de prélèvement, on attribue une note de 1 à 3 en fonction des

concentrations des matières actives ou substances détectées. On calcule la moyenne des notes obtenues sur l'ensemble des campagnes réalisées. La classification et la grille de degré de Qualité-pesticides sont résumées respectivement dans les ***Tableaux 1 et 2.***

Tableau 1 : *Classification et grille de degré de Qualité-pesticides*

Somme des concentrations	**Note**
< 250 µg/L	1
250 à 500 µg/L	2
> 500 µg/L	3

Tableau 2 : *Grille de degré de Qualité-pesticides* [15]

Qualité de l'eau	Très bonne	Moyenne	Très mauvaise
Moyenne des notes par site	1-1,5	1,5 - 2	2 - 3

II-6. Calcul de l'Indice d'Altération des Pesticides (IAP)

La classification des matières actives des pesticides se fait par classe d'altération ***(Tableau 3)*** selon les normes OMS [16]. L'IAP est la somme des concentrations de tous les pesticides particuliers individualisés, détectés et quantifiés [15].

Tableau 3 : *Grille de degré d'Altération Pesticides* [15]

Qualité de l'eau	Très bonne	Bonne	Mauvaise	Très mauvaise
Indice d'Altération des Pesticides (µg/L)	< 0,1	0,1- 0,5	0,5 - 5	> 5

III - RÉSULTATS

III-1. Paramètres physico-chimiques

III-1-1. Température

Les températures enregistrées dans les eaux de la ville de Daloa varient de 23,4 à 28,8 ºC. La plus basse température s'observe dans l'eau de surface (rivière R1) au quartier Fadiga (23,4 ºC) et la plus élevée s'observe dans l'eau souterraine (puits P5) au quartier Libreville (28,8 °C). Les températures des eaux de surface varient de 23,4 à 27,8 °C pour une moyenne de 25,7 °C. Celles des eaux souterraines (eaux de puits) sont comprises entre 27,2 °C et 28,8 °C avec une moyenne de 28 °C. La température des eaux de surface et souterraines de la ville de Daloa est en moyenne supérieure aux normes OMS ***(Tableau 4)***.

Tableau 4 : *Température des eaux de la ville de Daloa*

Type d'eau	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart-type
Eaux de surface	25,7	23,4	27,8	2, 2
Eaux souterraines	28	27,2	28,8	0 ,8
Normes OMS		22°C ≤ T ≤ 25°C		

III-1-2. pH

Le pH des eaux de surface est compris entre 7,1 et 8,3 avec une moyenne 7,5. Celui des eaux souterraines varie de 6,3 de 7,1 avec une moyenne de 6,72. La plus faible valeur du pH (6,29) s'observe dans le puits P4 au quartier Baoulé et la plus élevée (pH = 8,26) est enregistrée dans la rivière R1 au quartier Fadiga. Les eaux de surface de la ville de Daloa sont basiques tandis que les eaux souterraines sont acides. Ces valeurs respectent en moyenne les normes OMS ***(Tableau 5)***.

Tableau 5 : *pH des eaux de la ville de Daloa*

Type d'eau	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart-type
Eaux de surface	7,5	7,1	8,3	0,7
Eaux souterraines	6,7	6,3	7,1	0 ,4
Normes OMS		6,5 ≤ pH ≤ 8,5		

III-1-3. Taux de saturation en oxygène

Le taux de saturation en oxygène mesuré dans les eaux de surface est compris entre 9,7 % et 129,1 % avec une moyenne de 59,77 %. Celui des eaux souterraines se situe entre 28,4 % et 63,9 % avec une moyenne de 45,32 %. La plus faible valeur est observée dans le lac L1 (9,7 %) au quartier Marin tandis que la valeur la plus élevée est observée dans la rivière R2 (129,1 %) au quartier Baoulé. Le taux de saturation en oxygène des eaux de la ville de Daloa respecte en moyenne les normes OMS ***(Tableau 6)***.

Tableau 6 : *Taux de saturation en oxygène des eaux de la ville de Daloa*

Type d'eau	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart-type
Eaux de surface	59,77	9,70	129,1	69 ,33
Eaux souterraines	45,32	28,4	63,9	18,58
Normes OMS		> 30 %		

III-1-4. Oxygène dissous

La valeur de l'oxygène dissous des eaux de surface est comprise entre 0,8 mg/L et 9,9 mg/L avec une moyenne de 4,6 mg/L. Celle des eaux souterraines varie

de 2,1 à 4,8 mg/L avec une moyenne de 3,5 mg/L. La plus faible valeur est observée dans le lac L1 (0,8 mg/L) au quartier Marin tandis que la valeur plus élevée s'observe dans la rivière R2 (9,9 mg/L) au quartier Baoulé. L'oxygène dissous des eaux de surface est supérieur à celui des eaux souterraines. Ces valeurs sont supérieures à 3 mg/L qui indiquent l'état naturel des eaux ***(Tableau 7)***.

Tableau 7 : *Concentration d'oxygène dissous des eaux de la ville de Daloa*

Type d'eau	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart-type
Eaux de surface	4,6	0,8	9,9	5,3
Eaux souterraines	3,5	2,1	4,8	1,3
Normes OMS		3		

III-1-5. Conductivité électrique des eaux (CE)

La conductivité électrique des eaux de surface varie de 251 à 1318 µS/cm avec une moyenne de 582,2 µS/cm. Celle des eaux souterraines est comprise entre 103,9 µS/cm et 884 µS/cm avec une moyenne de 539,3 µS/cm. La conductivité la plus faible s'observe dans le puits P6 (103,9 µS/cm) près de l'Université Lorougnon Guédé et la valeur de la conductivité la plus élevée est observée dans la rivière R1 (1318 µS/cm) au quartier Fadiga. Les eaux de surface et souterraines ont une valeur moyenne de conductivité électrique conforme à la norme OMS ***(Tableau 8)***. On note une minéralisation importante des eaux de la ville de Daloa.

Tableau 8 : *Conductivité électrique des eaux de la ville de Daloa*

Type d'eau	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart-type
Eaux de surface	582,2	251	1318	735,7
Eaux souterraines	539,3	103,9	884	344,7
Normes OMS		$180 \leq CE \leq 1100$		

III-2. Concentrations des matières actives de pesticides

Les pesticides utilisés dans la culture maraichère à Daloa appartiennent à trois (03) grandes familles chimiques : les herbicides, les insecticides et les engrais. Les insecticides sont les plus utilisés (60 %) suivis des engrais (30 %) et des herbicides (10 %) ***(Figure 3)***.

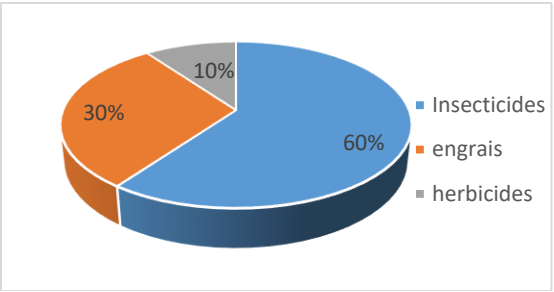

Figure 3 : *Proportion des produits phytosanitaires utilisés à Daloa*

Les résultats de l'analyse montrent que l'aldicarbe est la seule matière active de pesticides présente dans les eaux de Daloa. Les valeurs de l'aldicarbe dans l'ensemble des ressources en eau varient de 0 à 0,03 µg/L avec une moyenne de 0,007 µg/L. Ces valeurs montrent que l'utilisation de l'aldicarbe bien qu'importante dans la ville de Daloa reste encore dans la norme OMS ***(Tableau 9)***. Toutefois, la concentration de l'aldicarbe est plus élevée dans les eaux de surface que dans les eaux souterraines ***(Tableaux 10 et 11)***.

Tableau 9 : *Matières actives détectées dans les ressources en eau*

Matière actives (µg/L)	Norme OMS	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Aldicarbe	0,1µg/L	0	0,03	0,007	0,023
Simazine	0,1µg/L	0	0	0	0
Organophosphorés	0,1µg/L	0	0	0	0

Tableau 10 : *Matières actives détectées dans les eaux de surface*

Matière actives (µg/L)	Norme OMS	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Aldicarbe	0,1µg/L	0	0,03	0,013	0,017
Simazine	0,1µg/L	0	0	0	0
Organophosphorés	0,1µg/L	0	0	0	0

Tableau 11 : *Matières actives détectées dans les eaux souterraines*

Matière actives (µg/L)	Normes OMS	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Aldicarbe	0,1µg/L	0	0,018	0,0018	0,0162
Simazine	0,1µg/L	0	0	0	0
Organophosphorés	0,1µg/L	0	0	0	0

III-2-1. Indices de qualité des eaux ICP et IAP

L'Indice de Contamination Pesticides (ICP) des eaux de surface et des eaux souterraines est consigné respectivement dans les ***Tableaux 12 et 13.*** L'ICP montre que les eaux de surface et les eaux souterraines sont de très bonne qualité à l'exception du point de prélèvement P1.

Tableau 12 : *Évaluation de la qualité des eaux de surface selon ICP*

Prélèvement	Concentration (µg/L)	ICP	Qualité de l'eau
P1	300	2	Moyenne
P2	0	1	Très bonne
P3	0	1	Très bonne
P4	21	1	Très bonne

Tableau 13 : *Évaluation de la qualité des eaux souterraines selon ICP*

Prélèvement	Concentration (µg/L)	ICP	Qualité de l'eau
P5	0	1	Très bonne
P6	0	1	Très bonne
P7	18	1	Très bonne
P8	0	1	Très bonne
P9	0	1	Très bonne
P10	0	1	Très bonne

L'Indice d'Altération Pesticides (IAP) des eaux de surface et souterraines est consigné respectivement dans les ***Tableaux 14 et 15.*** L'IAP montre également que les eaux de surface et les eaux souterraines analysées sont de très bonne qualité.

Tableau 14 : *Évaluation de la qualité des eaux de surface selon IAP*

Prélèvement	Concentration (µg/L)	IAP	Qualité de l'eau
P1	0,03	0,1	Très bonne
P2	0	0,1	Très bonne
P3	0	0,1	Très bonne
P4	0,021	0,1	Très bonne

Tableau 15 : *Évaluation de la qualité des eaux souterraines selon IAP*

Prélèvement	Concentration (µg/L)	IAP	Qualité de l'eau
P5	0	0,1	Très bonne
P6	0	0,1	Très bonne
P7	0,018	0,1	Très bonne
P8	0	0,1	Très bonne
P9	0	0,1	Très bonne
P10	0	0,1	Très bonne

Les indices (ICP et IAP) montrent que les ressources en eaux de la ville de Daloa sont dans l'ensemble de très bonne qualité. En effet, la concentration maximale de l'aldicarbe (seule matière active détectée) est de 0,03µg/L, inférieure à 0,1µg/L (norme OMS).

III-2-2. Risques sanitaires

Les risques sanitaires liés à l'utilisation des pesticides se situent à plusieurs niveaux dont :

- les sources d'approvisionnement : les maraichers achètent pour la plupart (94,74 %) leurs produits sur les marchés locaux, d'autres (33,74 %) n'ont pas de source d'approvisionnement fixe et le reste (5,26 %) les achètent avec les revendeurs ambulants ;
- le mode d'épandage : 19,8 % des maraichers utilisent le pulvérisateur à dos ou machine solo à pression entretenue et 80,2 %, l'arrosoir manuel ***(Figure 4)*** ;
- la technique de dosage : les maraichers utilisent généralement des instruments de mesure qui leur sont propres (1 à 2 fois la fermeture du flacon du produit phytosanitaire qu'ils renversent dans le pulvérisateur de 15 litres). Dans 73,68 % des cas, les cultivateurs appliquent eux-mêmes les produits phytosanitaires, parfois (à 26,32 %) ils se font aider par leurs conjoint(es) et enfants sans aucune formation préalable ;
- la gestion des résidus et emballages : 30 % des maraichers ne disposent pas d'endroit précis pour la gestion des emballages vides ; 5 % les enfouissent dans le sol, 55 % les abandonnent dans les champs, 10 % les jettent dans les rivières et enfin 10 % les jettent dans les caniveaux.

Figure 4 : *Application des pesticides à l'aide d'arrosoir*

Tous les producteurs maraichers enquêtés estiment être conscients de la dangerosité des produits utilisés pour la santé et l'environnement. Plusieurs d'entre eux souffrent de nombreux malaises liés à l'utilisation des pesticides. Malgré cela, 79 % n'utilisent pas de matériels de protection à savoir les gants, bottes, cache-nez, combinaisons, casquettes, lunettes ; seuls 21 % utilisent le matériel de protection. Parmi les maraichers, 16 % disent ressentir des malaises tels que les vertiges, les maux de tête, les ballonnements de ventre, la fatigue générale ; les autres 84 % restants n'ont ressenti aucun malaise. Après la manipulation des pesticides, les producteurs utilisent des moyens peu efficaces pour prévenir d'éventuelles maladies. A cet effet, plus de la moitié (57,8 %) des maraichers prennent une douche avec seulement du savon comme moyen d'hygiène. Le reste (42,2 %) a recours à d'autres moyens tels que les feuilles d'oignon et du lait.

IV - DISCUSSION

IV-1. Qualité physicochimique des eaux de Daloa

Cette étude montre qu'à Daloa les eaux de surface sont basiques (pH = 7,52) tandis que les eaux souterraines sont acides (pH = 6,72). Cette acidité provient principalement de la décomposition de la matière organique végétale, avec production du CO_2 dans les premières couches du sol [16, 17]. Les eaux de surface sont plus oxygénées (4,58 mg/L) que les eaux souterraines (3,54 mg/L). L'oxygène dissous des eaux de surface provient essentiellement de l'atmosphère, de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques [18]. Malgré les températures relativement élevées (25,67°C pour les eaux de surface et 27,98°C pour les eaux souterraines), elles restent acceptables car inférieures à la température moyenne des eaux de consommation en zone tropicale humide (30°C) [7]. Par ailleurs, la présence de l'aldicarbe dans les eaux de Daloa pourrait trouver son explication dans l'utilisation abusive et fréquente des herbicides. Ce constat s'est fait aussi à Soubré dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire [19] et en France [20] où le glyphosate, l'une des molécules des herbicides est repérée comme matière active dans les ressources en eau échantillonnées. Selon l'ICP et l'IAP, l'aldicarbe bien que présent dans les ressources en eau, est inférieur à la norme OMS [7]. Au vu des échantillons prélevés, les eaux de surface sont plus contaminées que les eaux souterraines. Cette observation est similaire à celle de la région d'El Tarf (Nord-Est algérien) [21] où également, les eaux de surface sont de mauvaise qualité plus que les eaux souterraines. La contamination modérée des eaux par l'aldicarbe s'explique par le fait qu'il n'affecte pas la minéralisation de la matière organique du sol mais stimule une partie de la population microbienne dans le sol et donc favorise l'activité bactérienne du sol [22]. La présence d'aldicarbe dans les eaux échantillonnées signifie que la contrebande sur les produits phytosanitaires est importante dans

la ville de Daloa et par extension en Côte d'Ivoire où les circuits parallèles d'approvisionnement en pesticides contribuent à aggraver la pollution des eaux. C'est le cas des lagunes Potou et Aghien dans le Sud-Est du pays [23]. Au Canada, il a été aussi montré que les eaux de surface sont plus contaminées par les pesticides que les eaux souterraines [24]. Ce constat pourrait s'expliquer d'une part, par l'action du vent pour les eaux de surface [23, 25] et d'autre part, par la faible profondeur, le mauvais aménagement des puits, la mauvaise utilisation des équipements de préparation, de remplissage, de pulvérisation des produits phytosanitaires et la proximité des plantations pour les eaux souterraines. Ces observations sont similaires à celles qui stipulent que la présence des pesticides dans les eaux souterraines est due à la faible profondeur des puits (inférieure à 3 m) et à la proximité des plantations [26].

IV-2. Impact des pesticides sur la santé humaine

Les enquêtes de terrain indiquent qu'à Daloa, la culture maraichère mobilise une population à dominance jeune (18-35 ans) tout comme au Sénégal [27]. Par contre, au Nigéria la classe d'âge 26-35 ans ne représentent que 9,6 % [28] et 24,1 % au Botswana pour les 30-40 ans [29]. Les plus de cinquante (50) ans constituent une population très vulnérable aux maladies car la capacité fonctionnelle de certains organes vitaux baisse avec l'âge [30]. Le taux d'analphabétisme est très élevé chez les maraîchers de Daloa (90 %). Ils constituent une main-d'œuvre peu ou pas qualifiée [31]. C'est le même constat au Nigéria [28]. Ces auteurs ont montré que les maraîchers enquêtés sont à 77,2 % analphabètes et les 22,8 % restants ont un niveau insuffisant de compréhension. Ils ne se protègent pas correctement en raison du coût élevé du matériel de protection [32]. Or, il a été montré que le manque de matériel de protection corporelle accroît les risques d'intoxication qui, mineurs au début, peuvent devenir graves par bioaccumulation [33, 34]. Des constatations similaires ont été notées au Togo [35]. Le faible niveau d'instruction des maraîchers constitue un grand risque d'intoxication pour eux-mêmes et pour l'environnement car ils ignorent la forte toxicité des produits phytosanitaires [36 - 38]. Le nombre de maraichers qui se conforment aux règles d'hygiène est très faible. C'est le cas au Togo, où les enquêtes ont montré que 98 % des producteurs ne se conforment pas aux règles d'hygiène pendant les traitements phytosanitaires [35]. Le même constat a été fait à Abidjan (76,19 %) et sa banlieue (86,67 %) où la majorité des maraîchers ne prend aucune précaution particulière lors des traitements phytosanitaires [36]. Des cas d'hospitalisation dus à un manque de respect des mesures d'hygiène lors des épandages de ces produits ont été enregistrés chez des producteurs de maraîchers éthiopiens et ghanéens [37]. Cette étude montre que les pratiques d'utilisation des pesticides sont identiques en Côte d'Ivoire et dans de nombreux autres pays d'Afrique [6, 27, 32, 39, 40].

V - CONCLUSION

Les eaux souterraines de Daloa ont en moyenne, une température de 28°C, une teneur en oxygène dissous de 3,54 mg/L. Elles sont acides (pH = 6,7). Quant aux eaux de surface, elles ont une température de 25,7°C, une teneur en oxygène dissous de 4, 58 mg/L. Elles sont basiques (pH = 7,5). L'analyse des pesticides a mis en évidence la présence de trois familles de pesticides : les insecticides, les herbicides et les engrais. Les indices (ICP et IAP) montrent que les ressources en eaux de Daloa sont dans l'ensemble de très bonne qualité. En effet, la concentration maximale de l'aldicarbe (seule matière active détectée) est de 0,03µg/L, inférieure à 0,1µg/L (norme OMS). L'utilisation des pesticides peut avoir des répercussions socio-environnementales graves telles que l'intoxication des populations et la contamination des ressources en eau à cause du manque de matériel de protection corporelle adéquat et de l'exposition des ressources en eau aux polluants. Par conséquent, des séances de formation sur l'utilisation des pesticides doivent être organisées et un périmètre de protection doit être défini autour des points d'eau servant à l'alimentation en eau potable des populations.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Responsable du Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eau et des Géomatériaux, de l'UFR STRM de l'Université Félix Houphouët-Boigny et tous les techniciens qui ont participé à la réalisation de cette étude.

RÉFÉRENCES

[1] - FAO, « Guide à l'intention des décideurs sur l'intensification durable de l'agriculture paysanne ». *Collection FAO,* (2011) 116 p.

[2] - J. M. BARBIER, A. CARPENTIER, J. N. GRIL, L. GUICHARD, P. LUCAS, S. SAVARY et M. VOLTZ, « Pesticides, agriculture et environnement : réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux », *Expertise scientifique, Collection Inra-Cemagref*, *Éditions Quæ,* (2011) 125 - 138

[3] - CNRA, « Synthèse des programmes de recherche pour l'année 2004 », Rapport final, Côte d'Ivoire, (2004) 96 p.

[4] - PAFASP, « Plan de gestion des pestes et pesticides », Rapport provisoire, Burkina Faso, (2014) 120 p.

[5] - K. L. KOUAME, F. AKAMOU, N. G. KOUASSI et S. OUEDRAOGO, « *Catalogue phytosanitaire de la Côte d'Ivoire* », Ministère de l'Agriculture de la Côte d'Ivoire, Direction de la protection des végétaux, du contrôle et de la qualité, (2011) 98 p.

[6] - I. CISSE, « Utilisation des pesticides dans le système de production horticole dans la zone des Niayes : les produits et leur impact sur la nappe phréatique », Thèse de doctorat de troisième cycle, Université Cheick Anta Diop, Dakar, (2000) 187 p.

[7] - OMS, "Guidelines for Drinking water Quality", *4th edition,* (2011) 518 p.

[8] - INS, « Recensement Général de la Population et de l'Habitat : résultats globaux » Côte d'Ivoire, (2014) 22 p.

[9] - A. M. KOUASSI, A. Y. J. GNANGOUIN, K. A. KOUAME, C. A. YAO et N. E. N'GUESSAN, « Analyse prospective des débits d'étiage dans un contexte de changements climatiques en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du n'Zo-Sassandra, Ouest de la Côte d'Ivoire », *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 40 (2022) 228 - 247

[10] - A. B. ALLOU, « Facteurs, paramètres, dynamique de distribution et genèse des dépôts de columbo-tantalite d'Issia, Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire », Thèse de doctorat, Université du Québec, Chicoutimi, (2005) 352 p.

[11] - Y. T. BROU, « Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire », Mémoire de synthèse des activités scientifiques présenté en vue de l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches, Université des Sciences et Techniques de Lille, France, (2005) 212 p.

[12] - K. E. YAO, « L'impact des unités industrielles de transformation du bois dans le développement urbain à Daloa », Thèse unique de doctorat de géographie, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, (2014) 293 p.

[13] - D. BAKA, « Géométrie, hydrodynamisme et modélisation des réservoirs fracturés du socle protérozoïque de la région d'Oumé (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire », Thèse unique, Université de Cocody, (2012) 390 p.

[14] - INS, « Recensement Général de la Population et de l'Habitat : Rapport d'activités », Côte d'Ivoire, (2016) 11 p.
[15] - P. VIOGET et A. STRAWCZYNSKI, « Pesticides dans les cours d'eau vaudois en 2002, 2003 et 2004 », Service des Eaux, des Sols et de l'Assainissement du Département de la Sécurité et de l'Environnement de Lausanne en Suisse, 8 (2005) p.
[16] - L. MATANI, J. M. MOUTOU et M. S. KONGO-MANTONO, « Evaluation hydrochimique des eaux souterraines en milieu urbain au Sud-Ouest de Brazzaville, Congo », *Afrique science,* 05 (1) (2009) 82 - 98
[17] - K. E. AHOUSSI, Y. B. KOFFI, A. M. KOUASSI, N. SORO et J. BIEMI, « Etude des caractéristiques chimiques et microbiologiques des ressources en eau du bassin versant du N'zi : cas de la commune de N'zianouan (Sud de la Côte d'Ivoire) », *International journal of biological and chimical sciences*, 6 (4) (2012) 1854 - 1873
[18] - J. DE VILLERS, M. SQUILBIN, C. YOURASSOWSKY, S. DUTRIEUX, S. ONCLINCX, M. SQUILBIN et A. THIRION, « Qualité physico-chimique des eaux de surface : cadre général », Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, Observatoire des Données de l'Environnement, (2005) 16 p.
[19] - K. T. YAO, « Hydrodynamisme de l'eau souterraine dans les aquifères de socle cristallin et cristallophyllien du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire : cas du département de Soubré. Apports de la télédétection, de la géomorphologie et de l'hydrogéochimie », Thèse de Doctorat, Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris, France, (2009) 284 p.
[20] - J. A. AL-RAJAB, « Impact sur l'environnement d'un herbicide non sélectif, le glyphosate : approche modélisée en conditions contrôlées et naturelles », Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, France, (2007) 148 p.
[21] - S. BAHROUN et B. H. KHERICI, « Evaluation de l'indice de pollution organique dans les eaux naturelles cas de la région d'El Tarf (Nord-Est Algérien) », *Larhyss Journal*, N° 09 (2011) 171 - 178
[22] - M. A. WEAVER, L. J. KRUTZ, R. M. ZABLOTOWICZ et K. N. REDDY, " *Effect of glyphosate on soil microbial communities and its mineralization in a Mississippi soil* ", *Pest Management Science*, N°63 (2007) 388 - 393
[23] - A. TRAORE, K. E. AHOUSSI, N. AKA, A. TRAORE et N. SORO, « Niveau de contamination par les pesticides des eaux des lagunes Aghien et Potou (Sud-Est de la Côte d'Ivoire) », *International Journal of Pure & Applied Biosciences*, Vol. 3, N°4 (2015) 312 - 322

[24] - V. TRUDEAU, M. RONDEAU et A. SIMARD, « Pesticides aux embouchures de tributaires du lac Saint-Pierre (2003-2008) », Montréal, Environnement Canada, Direction des sciences et de la technologie de l'eau, Section Monitoring et surveillance de la qualité de l'eau au Québec, (2011) 62 p.

[25] - M. ALLSOP, C. HUXDORFF, P. JOHNSTON, D. SANTILLO et K. THOMPSON, « Santé : les pesticides sèment le trouble », Laboratoires de recherches de Greenpeace, (2015) 54 p.

[26] - S. K. TRAORE, K. MAMADOU, A. DEMBELE, P. LAFRANCE, P. MAZELLIER et P. HOUENOU, « Contamination de l'eau souterraine par les pesticides en régions agricoles en Côte d'Ivoire (Centre, Sud et Sud-Ouest) », *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 08 (2006) 157 - 170

[27] - A. DIOP, « Diagnostic des pratiques d'utilisation et quantification des pesticides dans la zone des Niayes de Dakar, Sénégal », Thèse de doctorat Chimie analytique, Université Cheick Anta Diop, Sénégal, (2013) 241 p.

[28] - A. D. BANJO, S. A. AINA et O. I. RIJE, " *Farmers' knowledge and perception towards herbicides and pesticides usage in Fadama area of Okun Owa, Ogun State of Nigeria* ", *African Journal of Basic and Applied Sciences*, 2 (2010) 188 - 194

[29] - M. OBOPILE, D. C. MUNTHALI et B. MATILO, "*Farmers' knowledge, perceptions and management of vegetable pests and diseases in Botswana*", *Crop Prot,* 27 (28) (2008) 1220 - 1224

[30] - A. M. TOE, « Etude pilote des intoxications dues aux pesticides agricoles au Burkina Faso », Rapport final, Secrétariat de la Convention de Rotterdam, (2010) 103 p.

[31] - V. DIABY, A. M. ADON, M. DOSSO et A. F. YAPO, « Problématiques du cadmium en Côte d'Ivoire : Pollution environnementale et risque sanitaire », *Hal-01294085*, Vol. 2, (2017) 11 p.

[32] - S. NGOM, S. TRAORE, B. T. MAMADOU et A. MANGA, « Contamination des produits agricoles et la nappe phréatique par les pesticides dans la zone des Niayes au Sénégal », *Revue des Sciences et de la Technologie*, *25* (2012) 119 - 130

[33] - C. AHOUANGNINOU, B. E FAYOMI et M. THIBAU, « Evaluation des risques sanitaires et environnementaux des pratiques phytosanitaires des producteurs des maraichers dans la commune rurale de Tori-Bossito (Sud- Benin) », *Cahiers de l'Agriculture*, Vol. 20, N°3 (2011) 1 - 7

[34] - G. SORO, S. A. WAHABI, A. ADJIRI OI et N. SORO, « Risques sanitaires et environnementaux liés à l'usage des produits phytosanitaires dans l'horticulture à Azaguié (Sud Côte d'Ivoire) », *Journal of Applied Biosciences*, 138 (2019) 14072 - 14081

[35] - G. MAWUSSI, « Bilan environnemental de l'utilisation de pesticides organochlorés dans les cultures de coton, café, 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) », Thèse de Doctorat en sciences de la matière, Université de Toulouse, (2008) 208 p.

[36] - K. KADJO, B. OUATTARA, O. KRA et E. K. NIAMKEY, « Prévalence de l'anémie au cours de l'ulcère de buruli à l'institut Raoul Follereau en Côte d'Ivoire », *Revue Internationale des Sciences Médicales*, Vol. 11, Nº3 (2009) 26 - 28

[37] - S. WILLIAMSON, A. BALL et J. PRETTY, "Trends in pesticide use and drivers for safer pest management in four African countries", *Corp Prot*, 27 (2008) 1327 - 1334

[38] - I. CISSÉ, B. BADIANE, S. NGOM, Y. M. B. DIOP et M. SÉNE, « Usage des pesticides et risques sanitaires sur la production horticole de la zone des Niayes au Sénégal », *Revue Sénégalaise des Ressources Agricoles*, Vol. 1, (3) (2008) 19 - 26

[39] - K. R. OROU, « Influence de l'utilisation des intrants agricoles sur la qualité des ressources en eau et impacts sanitaires associés : Cas du département d'Agboville (Sud-Est de la Côte d'Ivoire) ». Thèse unique, Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, (2017) 207 p.

[40] - K. E. AHOUSSI, A. M. P. SEKA et A. TRORE, « *Evaluation de la qualité des eaux de la rivière Mé par l'utilisation des pesticides dans les pratiques agricoles* », *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 39 (2022) 351 - 363