

Contamination Agricole Des Eaux De Surface : Synthèse Bibliographique

Nonvignon Martial Fassinou*, Fadéby Modeste Gouissi, Souradjou Orou Goura, Wakili Bolatito
Yessoufou, Tayéwo Sylvain Biaou

Université de Parakou (UP), Faculté d'Agronomie (FA), Laboratoire d'Ecologie, de Santé et de Productions Animales (LESPA), BP 123 Parakou, Bénin

*Auteur correspondant : nonvignon91@gmail.com, (229) 97245892



Résumé – Cette étude examine la synthèse bibliographique sur la contamination agricole des eaux de surface suite aux activités agricoles des hommes dans leurs écosystèmes. A cet effet, 146 articles publiés en anglais et en français entre 2002 et 2022 abordant avec pertinence le thème d'étude ont été utilisés. Entre 2002 à 2022, les publications sur le sujet d'étude par an en Amérique, en Asie, en Afrique, en Europe et en Océanie montrent des pics plus élevés dans les années 2008, 2014 et 2022. De ce fait, les affiliations des principaux auteurs se retrouvent dans les Centres Nationaux de la Recherche Scientifique (CNRS). Suite aux documents dans les revues, les articles représentent 80,80% des publications. Comme sources des publications, la science de l'environnement global est plus représentée en 2016. La Science Environnementale et les Sciences Agricoles et Biologiques représentent respectivement 36,40% et 22,40% des proportions dans les domaines de publication des documents scientifiques. Le Bénin dispose des surfaces agricoles où l'agriculture diversifiée est pratiquée. L'activité agricole est ainsi une pression exercée sur l'environnement dont les surfaces cultivées reçoivent les traitements phytosanitaires qui constituent un indicateur de pression et de pollution. La gravité de la pollution doit cependant être toujours rapportée à la fonction du milieu dans lequel elle est observée. Eu égard sur ces faits, les pratiques agricoles sont responsables d'une grande partie de la pollution des eaux de surface. Ainsi, l'utilisation excessive d'engrais et des pesticides engendre la contamination des eaux de surface. L'usage de ces produits a connu un très fort développement des décennies passées, les rendant quasiment indispensables, quel que soit le niveau de développement du pays. Donc la qualité des eaux de surface représente l'état de l'environnement relatif au phénomène envisagé. De futurs travaux doivent s'orienter dans ce sens, afin d'aider la population utilisatrice des eaux de surface à prendre conscience des risques sanitaires provoqués par les contaminations agricoles.

Mots clés – Activité agricole, Contamination agricole, Eau de surface, Qualité physico-chimique des eaux, Qualité biologique des eaux

Abstract – This study examines the bibliographical synthesis on agricultural contamination of surface waters as a result of human agricultural activities in their ecosystems. For this purpose, 146 articles published in English and French between 2002 and 2022 addressing with relevance the study topic were used. Between 2002 and 2022, the publications on the study topic per year in America, Asia, Africa, Europe and Oceania show higher peaks in the years 2008, 2014 and 2022. Therefore, the main author affiliations are found in the National Centers for Scientific Research (CNRS). According to the documents in journals, articles represent 80.80% of the publications. As the sources of publications, the global environmental science is more represented in 2016. Environmental Science, Agricultural and Biological Sciences represent respectively 36.40% and 22.40% of the proportions in the fields of publication of scientific documents. The Republic of Benin has agricultural land where diversified agriculture is practiced. Agricultural activity is thus a pressure exerted on the environment whose cultivated areas receive phytosanitary treatments which constitute an indicator of pressure and pollution. However, the gravity of the pollution must always be related to the function of the environment in which it is observed. In view of these facts, agricultural practices are responsible for a large part of the pollution of surface waters. Thus, the excessive use of fertilizers and pesticides causes the contamination of surface waters. The use of these products has experienced a very strong development in the past decades, making them almost indispensable, whatever the level of development of the country. Therefore, the quality of surface water represents the state of the environment relative to the phenomenon under consideration. Future works must be oriented in this direction, in order to help the population using surface waters to become aware of the sanitary risks caused by agricultural contaminations.

Keywords – Agricultural activity, Agricultural contamination, Surface water, Water physico-chemical quality, Water biological quality.

I. INTRODUCTION

L'eau est le premier élément constitutif des êtres vivants et de leur environnement. L'avoir à disposition en quantité suffisante et en qualité contribue au bon maintien de la santé (Lagnika et al., 2014). Dans le contexte actuel de la politique de gestion durable des ressources en eau, la prédiction du risque de pollution et la protection de ces ressources sont d'une importance capitale (Dimane et al., 2017). De même, la protection des écosystèmes aquatiques est indispensable à l'équilibre écologique des populations locales (Yovo et al., 2017). En outre, la raréfaction des ressources en eau et la dégradation de leur qualité constituent un défi majeur (Josse et al., 2016). Face à cet avenir incertain en Afrique et particulièrement dans la sous-région, différents programmes nationaux et sous régionaux de la mise en place d'un observatoire des ressources en eau visent à mieux les connaître (Orou et al., 2016). Le Bénin, à l'instar des pays en développement est touché par une explosion démographique entraînant des rejets de substances polluantes dans l'environnement et notamment dans les eaux superficielles (Chouti et al., 2017). De plus, les activités anthropiques peuvent engendrer des perturbations des écosystèmes et la perte de la biodiversité associée (Branchet, 2018). Au Bénin, les ressources en eau sont soumises à diverses menaces dues à la poussée démographique qui est une crainte pour les générations futures (Dovonou et al., 2017). Ainsi, la contamination des eaux de surface dans un bassin versant est surtout due à de mauvaises pratiques agricoles (Lawani et al., 2017). Elle amène des maladies plus rares qui peuvent aussi être provoquées par l'ingestion de ses eaux contaminées (Degbey et al., 2010). L'impact de cette contamination devient de plus en plus majeur. La gestion de l'eau en tant que ressource naturelle est une question préoccupante pour de nombreux états (Dimane et al., 2017). Donc l'accès à une eau consommable constitue toujours un problème majeur dans les pays en voie de développement et d'autres pays d'Afrique (Heriarivony et al., 2015). L'objectif de la présente étude est de faire à travers une synthèse bibliographique, une analyse des données dans l'optique de fournir un document référentiel dans les mesures appropriées pour la santé de la population. Cette synthèse présente en un premier lieu, une généralité sur l'agriculture au Bénin. Ensuite nous avons l'origine et les facteurs de pollution des eaux, la qualité et la dégradation des eaux, les transferts des contaminants agricoles vers les eaux de surface, les eaux de surface et les eaux souterraines, la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de surface, les métaux lourds et les pesticides, les macroinvertébrés benthiques et enfin, de voir plus efficacement la contamination agricole des eaux de surface dans le monde.

II. MÉTHODOLOGIE

2.1. Sélection des documents

La synthèse bibliographique implique l'examen des documents selon des questions clairement formulées en utilisant des critères systématique et explicite pour sélectionner et évaluer les recherches pertinentes (Nielsen & D'haen, 2014). La sélection des articles pour cette synthèse était basée sur la date de publication (publications anciennes et récentes : De 2002 à 2022 incluses), la langue (anglaise ou française), et sur le sujet de recherche (impact de la contamination agricole sur la qualité physico-chimique et biologique des eaux de surface). Aucune limite n'a été imposée en ce qui concerne la couverture géographique des articles.

Pour obtenir les documents, une recherche a été menée sur internet à l'aide de diverses bases d'indexation qui sont : *Google Scholar*, *Scopus* et *Web of Science*. Ces trois bases d'indexations ont été retenues, car elles constituent les meilleures bases où l'on rencontre des articles de qualité (Mahmood, 2019). Les documents téléchargés en ligne ont été obtenus en utilisant la combinaison des mots clés suivants : Agriculture et contamination, qualité physico-chimique, qualité microbiologie, eau de surface et macro-invertébrés. Ces mots clés ont été utilisés d'abord en français puis traduits en anglais afin d'obtenir un maximum de document. Cette recherche effectuée sur internet entre Février 2021 et Juillet 2022 a donné lieu à une sélection de 198 articles.

Pour les 198 articles, le titre, les faits saillants de la recherche (lorsqu'ils étaient disponibles), le résumé et les mots clés ont été lus. Si le thème « contamination agricole » et « eau de surface » figuraient dans l'un d'entre eux ou si ceux-ci indiquaient d'une autre manière que la qualité des eaux de surface pouvait être traitée dans l'article, l'article est téléchargé et vérifié de manière plus approfondie. Cela a été fait en lisant l'introduction et en recherchant dans le document les thèmes « agriculture », « contamination », « eau de surface », « qualité physico-chimique et qualité de l'eau », « qualité microbiologique et qualité de l'eau » et « macroinvertébré » via l'option de recherche d'Adobe Reader. Les articles ne portant pas exclusivement sur la contamination agricole, sur la qualité physico-chimique et biologique des eaux de surface ont été ignorés, ce processus nous a permis de retenir au final 146 articles.

2.2. Révision et analyse des documents

Une grille d'analyse a été élaborée pour recenser les articles sélectionnés et documenter le processus d'examen. Les axes d'analyse portaient sur la généralité sur l'agriculture au Bénin, l'origine et facteurs de pollution des eaux, la qualité et la dégradation des eaux, les transferts des contaminants agricoles vers les eaux de surface, les eaux de surface et les eaux souterraines, la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de surface, les métaux lourds et les pesticides, les macroinvertébrés benthiques.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Généralité sur l'agriculture au Bénin

L'agriculture a toujours eu pour mission essentielle de nourrir les populations (Macary, 2013). La filière coton est l'une des filières prioritaires du secteur agricole dans la république Bénin. Qu'étant l'une des activités agricoles piliers du développement économique béninois, elle n'est pas sans impacts négatifs sur l'environnement (Houéломè et al., 2017). Elle est donc soumise à l'action des intrants agricoles, qui de par leurs effets peuvent se révéler comme une menace écologique de l'écosystème (Lawani et al., 2017). Les techniques agricoles et l'exploitation forestière participent à la destruction du couvert végétal avec une baisse de la pluviométrie (Agbanou et al., 2018). En effet, la production agricole visant une rentabilité à court terme, basée sur l'emploi massif d'intrants, ne pose pas seulement des problèmes à la société du fait de la dégradation des ressources naturelles, il conduit aussi les agriculteurs à devenir de plus en plus dépendants de facteurs de production qu'ils ne contrôlent pas et dont les cours ne cessent d'augmenter (Laurent, 2012). La pollution par les produits phytosanitaires pose un problème transdisciplinaire à l'interface de l'agriculture et de la ressource en eau (Colin, 2000). Ainsi, la qualité de ces eaux est dégradée en raison des activités anthropiques telles que l'agriculture, le changement des usages du sol, l'imperméabilisation des surfaces à l'origine d'un ruissellement plus important (Kouamé et al., 2014).

3.2. Origines et facteurs de pollution des eaux : Pratiques agricoles

Les pratiques agricoles contribuent également à la pollution des eaux du complexe du fait de l'utilisation des engrais minéraux, des herbicides et des pesticides (Agbandou et al., 2018). Elle est donc soumise à l'action des intrants agricoles, qui de par leurs effets peuvent se révéler comme une menace pour l'intégrité écologique de l'écosystème (Florence et al., 2018). Ces actions anthropiques conduisent à coup sûr à une dégradation de la qualité de l'eau, une modification des peuplements et le plus souvent, une diminution de la biodiversité (Adandedjan et al., 2017). Par contre, les pesticides sont des substances chimiques très utilisées dans l'agriculture. Ils exercent une activité de contrôle contre les organismes considérés nuisibles par l'homme pour ses activités (Aikpo et al., 2017). Alors, la classe chimique des pesticides permet d'évaluer leurs propriétés physico-chimiques dont découlent leur efficacité et leur mode d'application (Branchet, 2018). Ainsi, la pression démographique sur les ressources naturelles se traduit par une production de plus en plus importante de déchets de toute nature (Ahoussi et al., 2013).

3.3. Qualité et dégradation des eaux

La qualité d'une eau se définit selon les domaines de son utilisation, c'est-à-dire les usages auxquels elle est destinée (OMS, 2006). Pour ce qui est de la consommation humaine, elle doit répondre aux règles générales d'hygiène et à toutes les mesures propres à préserver la santé de l'homme (Soncy et al., 2015). Dans le contexte actuel de la politique de gestion durable des ressources en eau, la prédiction du risque de pollution et la protection de ces ressources sont d'une importance capitale (Dimane et al., 2017). C'est une ressource naturelle précieuse et essentielle pour de multiples usages, mais sa qualité est confrontée à plusieurs problèmes dont la pollution liées aux activités anthropiques, d'où la nécessité de contribuer à l'amélioration de la qualité de l'eau de consommation (Sokegbe et al., 2017). Mais elle peut être aussi source de maladies du fait de sa pollution par des rejets industriels, des eaux usées, des déchets ménagers ou agricoles (Lagnika et al., 2014). En cela la prise en compte des conditions d'émergence et d'extension des maladies dans la mobilisation des ressources en eau, s'inscrit dans la synergie d'actions pour une gestion optimale et durable sur le plan sanitaire, humain, écologique et économique (Poda, 2007). De ce fait, la pollution est induite par les rejets industriels et également par l'intermédiaire de l'élevage et l'agriculture. Il est impératif que des mesures éducationnelles et législatives soient prises pour la protection (Adje et al., 2019). La qualité de l'eau vise la préservation de la santé de la population contre les maladies d'origine hydrique (Akatumbila et al., 2016).

3.4. Transferts des contaminants agricoles vers les eaux de surface

Le ruissellement est un processus évoqué pour certaines formes de pollution de l'eau. Il est bien identifié par les agriculteurs et ne joue un rôle qu'en périodes de crue et beaucoup plus sur certains types de surface. Il n'est pas la source d'eau majeure d'alimentation pour la rivière (Molénat et al., 2009). Les eaux chargées de contaminants solubles ruissellent en partie à la surface du sol vers l'aval du bassin versant et également s'infiltrent en sous-sol et subissent une lixiviation vers la nappe (Macary, 2013). A ces transferts de contaminants solubles, viennent s'ajouter par exemple ceux de matières particulaires qui ruissellent jusqu'au cours d'eau ou sont lessivées vers le sous-sol (Billy, 2008). En outre, les pollutions agricoles diffuses des eaux résultent de l'entraînement vers les milieux aquatiques, par les écoulements de contaminants et de nutriments dispersés (Gril & Dorioz, 2004). La figure 1 présente une synthèse des relations entre les transferts de fertilisants, de produits phytosanitaires agricoles et leurs impacts en termes de pollution des cours d'eau.

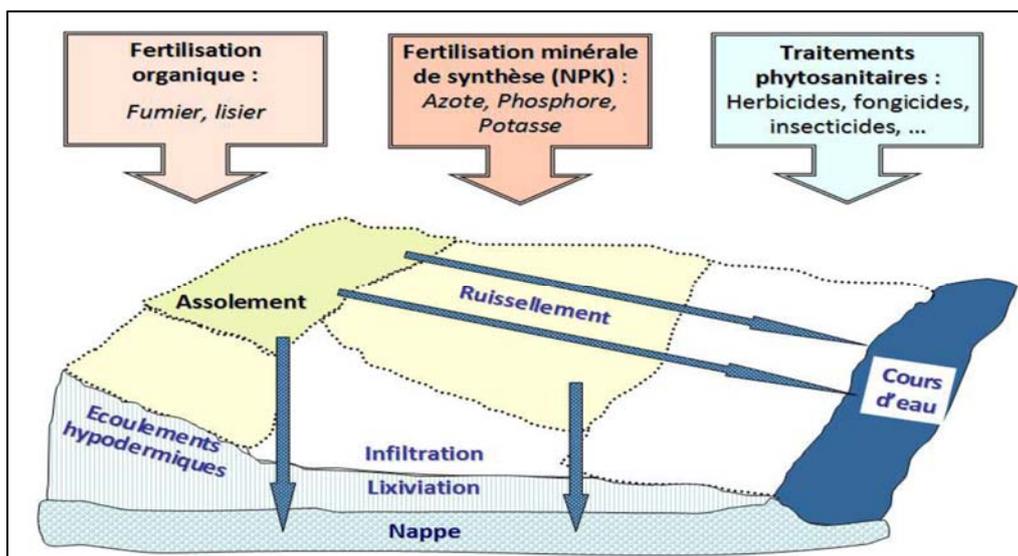


Figure 1 : Pratiques agricoles et contamination des masses d'eau (Macary, 2013).

3.5. Eaux de surface

Les eaux de surface sont exploitées à des fins diverses. Elles constituent la source la plus menacée par les activités humaines (Adjagodo et al., 2017). C'est une source de vie dans les règnes végétal et animal puis présente différentes qualités organoleptiques selon le milieu de vie (Gbohaida et al., 2016). Les eaux de surface sont le plus souvent contaminées et restent les principales sources d'eau de consommation (Maoudombaye et al., 2015). Par ailleurs, la dégradation de la qualité de ces eaux peut provenir des activités agricoles, des effluents industriels et domestiques rejetés dans le milieu récepteur sans traitement préalable (Kpidi et al., 2017). Ainsi, l'évaluation des effets des activités agricoles sur la qualité des eaux de surface implique une représentation des processus de transferts et de transformation de l'eau et des éléments qu'elle transporte (Bioteau et al., 2002). Donc, la pollution des eaux de surface par les lixiviats est due au débordement ou à l'écoulement progressif des liquides dans le réseau hydrographique (Josse et al., 2016).

3.6. Eaux souterraines

Elles constituent l'une des principales sources d'approvisionnement en eau potable de la population (Loukman et al., 2017). La croissance rapide de la population et l'extension démesurée de l'espace posent les problèmes de pénurie, de pollution des ressources en eaux souterraines (Ahoudi et al., 2015). Par ailleurs, les activités humaines exercent de nombreuses pressions polluantes, d'abord sur les eaux de surface, puis de façon différée sur les eaux souterraines (Maoudo et al., 2020). La pollution des eaux souterraines représente également l'un des aspects les plus inquiétants et l'utilisation de ces eaux à des fins alimentaires représente un danger pour la santé (Issa et al., 2015). Donc, la pollution des eaux souterraines est le résultat d'une infiltration et d'une diffusion des lixiviats en sous-sol perméable ou fissuré (Soncy et al., 2015).

3.7. Qualité physico-chimique des eaux de surface

L'étude de la qualité physico-chimique des cours d'eau permet de caractériser les éléments minéraux qui dégradent la qualité des eaux et menacent la vie aquatique (Mama, 2010). Elle doit subir diverses analyses physico-chimiques qui définiront sa qualité pour la consommation humaine afin d'éviter les risques de maladies hydriques pour les consommateurs (Gbohaida et al., 2016). Une évaluation qualitative du cours d'eau sous étude s'avère intéressante afin de suivre l'évolution de la pollution des paramètres physico-chimiques visant la préservation de la santé de la population contre les maladies d'origine hydrique (Akatumbila et al., 2016). Alors, l'accès à une eau de boisson saine est une condition indispensable, un droit humain élémentaire et une composante clé des politiques efficaces de protection sanitaire (Liferki, 2017). Ainsi, les substances d'origine naturelle peuvent s'ajouter des produits découlant de la présence humaine (phosphore, azote et microorganismes contenus dans les eaux) ou des activités industrielles et agricoles (Aikpo et al., 2015). C'est la concentration de ces éléments qui détermine la qualité d'une eau et permet de savoir si celle-ci convient ou non à un usage particulier. Ces éléments minéraux sont de nature diverse, à l'état dissout ou en suspension (Koudenoukpo et al., 2017). Enfin, les concentrations de ces éléments naturels sont conditionnées par divers facteurs tels que les paramètres climatiques, l'activité anthropique, les échanges entre aquifères et les eaux de surface (Josse et al., 2016). Les caractéristiques physico-chimiques du niveau trophique des cours d'eau permettent de caractériser les éléments minéraux qui dégradent et menacent la vie aquatique. Nous pouvons avoir :

3.7.1. Température (°C)

La température de l'eau joue un rôle important par exemple en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz dont, entre autres, l'oxygène nécessaire à l'équilibre de la vie aquatique. Par ailleurs, la température accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10 degrés Celsius (°C). L'activité métabolique des organismes aquatiques est donc également accélérée lorsque la température de l'eau s'accroît (De Villers et al., 2005).

3.7.2. Potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H⁺). L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin). La valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C. Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac qui est toxique pour les poissons (De Villers et al., 2005).

3.7.3. Conductivité Electrique (CE)

La conductivité électrique (CE) est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs. Par contre, les composés organiques sont de mauvais conducteurs. La conductivité électrique standard s'exprime généralement en millisiemens par mètre (mS/m) à 20 °C. La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 µS/cm (De Villers et al., 2005).

3.7.4. Turbidité

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité de l'eau a pour origine la présence de matières en suspension (argile, limons, particules fibreuses ou organiques, micro-organismes...), étant souvent liée à des phénomènes pluviométriques dans les eaux superficielles et dans certaines eaux souterraines (nappes peu profondes). La turbidité se mesure sur le terrain à l'aide d'un turbidimètre. Et sont exprimées en unités et correspondent à une mesure optique de passage de lumière. D'autres unités comparables sont employées, l'unité néphélométrie de turbidité ou NTU (Graindorge et Landot, 2003).

3.7.5. Oxygène Dissous (OD)

L'oxygène dissous est l'un des paramètres particulièrement utile pour l'eau et constitue un excellent indicateur de sa qualité. C'est un des paramètres les plus sensibles à la pollution. L'oxygène dissous dans les eaux de surface provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. Sa valeur nous renseigne sur le degré de pollution et par conséquent sur le degré de l'autoépuration d'un cours d'eau (Kahoul et Touhami, 2014).

3.7.6. Solides Totaux Dissous (STD)

Les Solides Totaux Dissous (STD) sont des résidus totaux qui restent après évaporation d'un échantillon d'eau qui a été filtré afin d'enlever les matières solides en suspension de plus de 1 mm de grosseur. Evaluer les solides totaux dissous, consiste en une mesure de la teneur combinée de tous les minéraux et organiques des substances contenues dans un liquide en biologie moléculaire, ionisée ou micro-granulaire en suspension (Matini et al., 2009).

3.7.7. Phosphate (PO_4^{3-})

Les phosphates interviennent dans la composition de nombreux détergents. Ils doivent être dégradés et hydrolysés par les bactéries en orthophosphates pour être assimilables par les autres organismes aquatiques. Le contenu en phosphore total reprend non seulement les orthophosphates mais également les polyphosphates (détergents, rejets industriels) et les phosphates organiques. L'eutrophisation peut déjà se manifester à des concentrations relativement basses en phosphates (De Villers et al., 2005).

3.7.8. Nitrate (NO_3^-) et Nitrite (NO_2^-)

Les nitrates sont dès lors des paramètres importants pour le suivi de la qualité des eaux de surface. Les eaux naturelles non polluées contiennent généralement peu de nitrates. Les nitrates présents dans l'eau peuvent provenir de sources soit indirectes soit directes. Lors du rejet d'azote organique (protéines, acides aminés, urée...), les molécules sont tout d'abord transformées en ammonium (NH_4^+) qui est ensuite oxydé en nitrites puis en nitrates sous l'action des bactéries nitrifiantes. Les nitrites sont surtout nuisibles pour les jeunes poissons. On considère que la situation est très critique à partir d'une concentration de plus de 3 mg/L (De Villers et al., 2005).

3.7.9. Dureté Calcique (Ca^{2+})

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Il est un composant majeur de la dureté totale de l'eau. Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates et chlorure etc. les eaux de bonne qualité renferment de 250 à 350 mg/L. Les eaux qui dépassent les 500 mg/L présentent de sérieux inconvénients pour les usages domestiques et pour l'alimentation des chaudières (Sahraoui, 2015).

3.7.10. Dureté Magnésium (Mg^{2+})

Le magnésium est plus abondant après le calcium par rapport au sodium et au potassium. Le Magnésium peut avoir deux gaines : Les calcaires dolomitiques qui libèrent le magnésium par dissolution, en présence du gaz carbonique. La dissolution du MgSO_4 des terrains gypseux du Trias situés au Sud (Sahraoui, 2015).

3.7.11. Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation par voie chimique, effectuée à l'aide d'un oxydant puissant, des composés organiques présents dans l'eau. Elle permet de mesurer la teneur en matières organiques totales (excepté quelques composés qui ne sont pas dégradés), y compris celles qui ne sont pas dégradables par les bactéries. Il s'agit donc d'un paramètre important permettant de caractériser la pollution globale d'une eau par des composés organiques (De Villers et al., 2005).

3.7.12. Fer (Fe^{2+})

Le fer joue un rôle majeur en tant qu'oligoélément ou micronutriment pour de nombreuses espèces et comme élément régulant l'amplitude et la dynamique de la productivité primaire océanique, ce qui en fait une composante essentielle des cycles biogéochimiques marins et des puits de carbone marins (Belghiti et al., 2013).

3.7.13. Chlorure (Cl^-)

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux (Makhoukh et al., 2011).

3.7.14. Métaux lourds

Les métaux lourds désignent les composés métalliques qui ont une masse volumique supérieure à 4.5 g/cm³. À l'exception du mercure qui est principalement sous forme de gaz, tous les autres métaux lourds sont associés à des aérosols, c'est-à-dire des petites particules liquides et/ou solides en suspension dans l'air (Fatombi et al., 2013). Au-delà d'une certaine concentration, la plupart des métaux lourds deviennent toxiques. Il est à noter que les impacts en santé sont différents selon la forme chimique sous laquelle le métal se retrouve dans l'environnement (Adechian et al., 2015). En effet, les produits chimiques qui peuvent constituer une menace pour la vie aquatique comprennent les métaux lourds, dont certains sont hautement toxiques et sont de plus en plus utilisés dans divers secteurs de l'industrie moderne. Comme il n'y a pas de biodégradation, ces métaux ne sont souvent pas éliminés, ce qui les rend plus dangereux. De ce fait, ils finissent par se répartir dans différentes parties de l'écosystème aquatique (eau, matières en suspension, algues, poissons, sédiments, etc.), entraînant parfois une perturbation de certains équilibres biologiques (Coulibaly et al., 2009 ; El Abdallaoui et al., 2014). Les métaux lourds peuvent contaminer les eaux de surface et souterraines, et perturbant l'équilibre des écosystèmes aquatiques. Ces métaux deviennent toxiques à des concentrations élevées en raison de leur capacité à s'accumuler dans les organismes vivants (Belabed et al., 2010). Le tableau 1 illustre la liste de quelques métaux lourds.

Tableau 1 : Quelques Eléments Traces Métalliques (ETM) rencontrés dans les écosystèmes aquatiques (Tissot et al., 2004 ; Kebir, 2012 ; Boumelta et al., 2021)

Métaux lourds	Symboles	Secteurs d'activités
Plomb	Pb	Engrais, raffinage, métallurgie, imprimerie, canalisations, accumulateurs céramiques, papeterie, antirouille...
Cadmium	Cd	Insecticides, production de soufre, photographie, plastique, fongicides, peinture antialissure, céramique, verreries, cimenteries, raffinage du pétrole, engrais...
Arsenic	As	Aliments cultivés sur des terres contaminées (céréales, viandes, volailles, produits laitiers), très toxique pour les organismes aquatiques entraîne des effets néfastes à long terme...
Mercure	Hg	Bio persistants, s'accumulent dans la chaîne alimentaire, perturbent les écosystèmes, détériorent les sols, les eaux de surface, les forêts et les cultures. Certains sont cancérigènes pour l'homme.
Cuivre	Cu	Engrais, métallurgie, papeterie, raffinage, tannerie, photographie, peinture antialissure, céramique...
Chrome	Cr	Productions d'aciers, textiles, métallurgie, tannage du cuir, cimenterie, teintures et pigments...
Fer	Fe	L'inhalation de concentrations excessives d'oxyde de fer peut augmenter le risque de développement de cancer du poumon et de pneumoconiose
Zinc	Zn	Papeteries, peintures, plastiques, lubrifiants...

3.7.15. Pesticides

Selon Tournebize (2019), les transferts des pesticides se font principalement par ruissellement, quelques molécules plus solubles transférées préférentiellement dans les eaux de drainage (isoproturon cyprosulfmanide, atrazine). Les pesticides solubles se retrouvent rapidement dans les eaux de drainage non pas du fait de la présence du drain comme tuyau enterré, mais principalement du fait de la macroporosité reliant la surface du sol au tuyau (Dairon et al., 2018). Ainsi, les matières actives appartiennent à six grandes familles chimiques de pesticides à savoir les benzimidazoles, les organochlorés, les organophosphorés, les carbamates, les phthalimides et les pyréthriinoïdes (Kpan et al., 2019). Le tableau 2 illustre la liste de quelques pesticides dans l'ordre général.

Tableau 2 : Quelques pesticides rencontrés dans les écosystèmes aquatiques (Tissot et al., 2004 ; Kebir, 2012 ; Boumelta et al., 2021)

	Pesticides	Formules chimiques
Insecticides	Aldrine	$C_9H_6Cl_6O_3S$
	Alléthrine	$C_{19}H_{26}O_3$
	Bifenthrine	$C_{23}H_{22}ClFO_2$
	Trans-Chlordane	$C_{10}H_6Cl_8$
	Chlorpyrifos	$C_9H_{11}Cl_6O_3S$
	Cyfluthrine	$C_{22}H_{18}Cl_2FNO_3$
	DDD-p,p'	$C_{14}H_{10}Cl_4$
	Deltaméthrine	$C_{22}H_{19}Br_2NO_3$
	Dieldrine	$C_{12}H_8Cl_6O$
	Endosulfan-alpha	$C_9H_6Cl_6O_3S$
	Endosulfan-bêta	$C_9H_6Cl_6O_3S$
	Heptachlore	$C_{10}H_5Cl_7$
	Fanofos	$C_{10}H_{15}OPS_2$
	Profénosfos	$C_{11}H_5OBrClO_3PS$
	Pyriproxyfène	$C_{20}H_{19}NO_3$
Herbicides	Amétryne	$C_9H_{17}N_5S$
	Butachlore	$C_{17}H_{26}ClNO_2$
	Fluazifop-p-butyl	$C_{19}H_{22}OF_3NO_4$
	Oxyfluorifène	$C_{15}H_{11}ClF_3NO_4$
	Terbutryne	$C_{10}H_{19}N_5S$
Fongicides	Boscalid	$C_{18}H_{12}Cl_2N_2O$
	Difénoconazole	$C_{19}H_{17}Cl_2N_3O_3$
	Krésoxim-méthyl	$C_{18}H_{19}NO_4$
	Tébuconazole	$C_{16}H_{22}ClNO$

3.8. Qualité microbiologique des eaux de surface

La qualité microbiologique de l'eau est déterminée par l'isolement des germes bactériens de contamination fécale, considérés comme des bio-indicateurs de pollution (Mbawala et al., 2010). En effet, la gestion des eaux pose des problèmes environnementaux qui deviennent préoccupants pour la santé des populations (Gnagne et al., 2015). Par ailleurs, la consommation de ces eaux exposerait la population à des maladies d'origine microbienne (Tamungang et al., 2016). L'eau étant une ressource naturelle précieuse et essentielle pour de multiples usages, sa qualité est confrontée à plusieurs problèmes, d'où la nécessité de contribuer à l'amélioration de la qualité de l'eau de consommation (Sokegbe et al., 2017). En outre, les maladies infectieuses et parasitaires d'origine hydrique n'ont pas connu une amélioration à l'issue de cette décennie internationale (Makoutodé et al., 2010). La rivière et sa berge sont devenues un réceptacle de déchets solides et liquides jetés par les populations, de nombreuses déjections de porcs et des bœufs et enfin du trafic frauduleux des hydrocarbures (Kiossa, 2011). Enfin, ces effluents liquides et déchets solides produisent de nombreux microorganismes nocifs qui diffusent dans l'environnement hydrique, susceptibles d'engendrer des infections humaines redoutables (Saizonou et al., 2010). Parmi les facteurs responsables de ces infections, les bactéries tiennent une place non négligeable (Hounsou et al., 2010). La recherche des bactéries aérobies pourraient se développer en présence d'oxygène (Hamed et al., 2012). Nous avons :

3.8.1. Coliformes totaux

Les coliformes totaux sont utilisés depuis très longtemps comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau car ils peuvent être indirectement associés à une pollution d'origine fécale. Les coliformes totaux sont définis comme étant des bactéries en forme de bâtonnet, aérobies ou anaérobies facultatives, possédant l'enzyme β -galactosidase permettant l'hydrolyse du lactose à

35 °C afin de produire des colonies rouges avec reflet métallique sur un milieu gélosé approprié (Archibald, 2000 ; CEAEQ, 2000 ; Edberg et al., 2000).

3.8.2. *Escherichia coli*

E. coli est la seule bactérie indicatrice qui représente sans équivoque une contamination d'origine fécale animale ou humaine. Sa détection dans une eau doit être considérée comme reflétant la présence possible des germes pathogènes d'origine entérique. *E. coli* est considéré en fait comme le meilleur indicateur de contamination fécale de l'eau (Edberg et al., 2000) qui selon son origine, comporte des risques plus ou moins importants d'infection à caractère entérique.

3.8.3. Coliformes Thermotolérants

Il s'agit des coliformes possédant les mêmes caractéristiques que les coliformes totaux mais à 44 °C, ils remplacent dans la majorité des cas l'appellation "coliformes fécaux". On cite là l'exemple de *E. coli* qui produit de l'indole à partir du tryptophane, fermente le lactose ou le mannitol avec production d'acide et de gaz. Elle ne peut pas en général se reproduire dans les milieux aquatiques, leur présence dans l'eau indique une pollution fécale récente (John et Danald, 2010).

3.8.4. Entérocoques fécaux

Les entérocoques font partie d'un groupe de bactéries naturellement présentes dans la flore intestinale des animaux et des humains. Certains streptocoques fécaux sont très apparentés aux entérocoques et sont encore utilisés à titre d'indicateurs de contamination fécale (Gleeson & Gray, 1997). Ils se retrouvent habituellement dans les eaux souterraines à la suite d'une pollution d'origine fécale (Gleeson & Gray, 1997 ; Edberg et al., 2000). La très grande majorité des entérocoques, surtout ceux retrouvés en milieu naturel, ne possèdent pas un pouvoir pathogène particulier envers les humains. Ce sont plutôt des microorganismes pathogènes opportunistes infectant des personnes à risque comme les immunodéprimées (Edmond et al., 1995 ; Matini et al., 2009).

3.8.5. *Staphylococcus aureus* présumés

Les *Staphylococcus aureus* présumés trouvés dans l'eau proviennent principalement de la peau, de la bouche, du nez et de la gorge des baigneurs et occasionnellement d'une pollution fécale. Les staphylocoques pathogènes (*S. aureus*) produisent plusieurs types d'enzymes qui participent à l'invasion d'un hôte. De plus, les staphylocoques sont parmi les organismes asporulés les plus difficiles à éliminer (OMS, 2006).

3.9. Macroinvertébrés benthiques

Les macroinvertébrés benthiques sont reconnus comme de bons indicateurs de la santé des écosystèmes aquatiques en raison de leur sédentarité et de leur cycle de vie (Abahi et al., 2018). Ce sont des organismes sédentaires et diversifiés, passant une grande partie de leur cycle de vie dans l'eau et sont les meilleurs bio indicateurs (Mboye et al., 2020). Ainsi, à travers la valeur indicatrice de leur peuplement, les bio indicateurs peuvent fournir une signification écologique à une classification des communautés (Zinsou et al., 2017). Ainsi, les différentes espèces à la base de la production et de services écologiques de l'écosystème sont sous le contrôle des variables environnementales (Florence et al., 2018). Par ailleurs, les écosystèmes aquatiques abritent un ensemble diversifié d'organismes en interaction entre eux et avec leur milieu de vie. Chacun de ces organismes, à travers sa niche écologique et indépendamment de sa taille, joue un rôle spécifique dans le fonctionnement et l'équilibre de l'écosystème (Adandedjan et al., 2017). Les macroinvertébrés benthiques sont reconnus comme un outil biologique de choix. Ces organismes constituent de bons indicateurs locaux des conditions écologiques des écosystèmes aquatiques soumis aux pressions agricoles (Houélomè et al., 2017). La faune benthique suscite déjà au Bénin une attention particulière et fait objet d'étude dans nos cours d'eau.

3.10. Etude systématique du sujet entre 2002 à 2022

3.10.1. Nombre des publications par an

Le nombre des publications sur le sujet a connu une augmentation depuis l'année 2008 (figure 2). En effet, les publications des années 2022 sont majoritairement plus élevées, suivies des publications des années 2008 et 2014. La figure 2 illustre la tendance évolutive des années de publication des documents scientifiques du sujet d'étude entre 2002 à 2022.

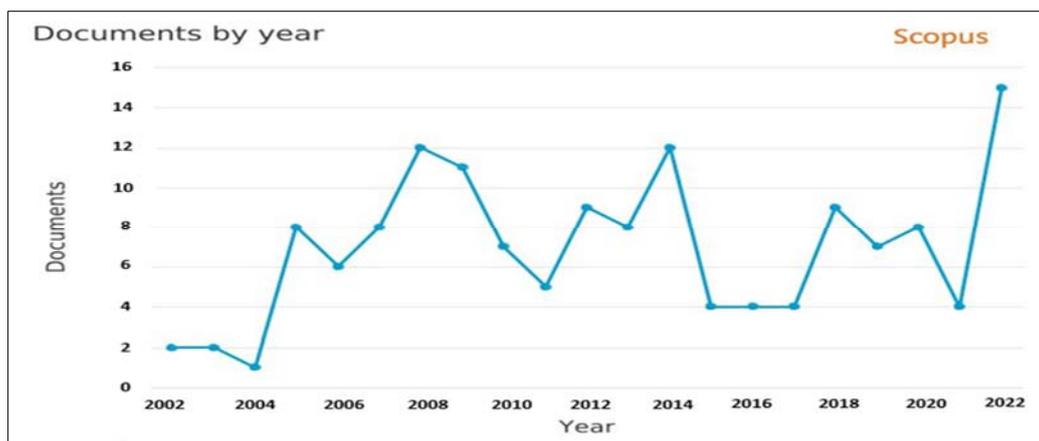


Figure 2 : Année de publication des articles du domaine d'étude entre 2002 à 2022

3.10.2. Affiliation de l'auteur principal

La classification basée sur les affiliations des auteurs a montré que les publications considérées étaient écrites surtout par des Centres Nationaux de la Recherche Scientifique (CNRS), ayant un effectif plus élevé. Ensuite les auteurs de l'enseignement supérieur avec un effectif aussi représentatif. Enfin, les Organisations Non Gouvernementale (ONG) qui sont faiblement représentées par effectif moins considérable. La figure 3 montre les affiliations de l'auteur principal du domaine d'étude.

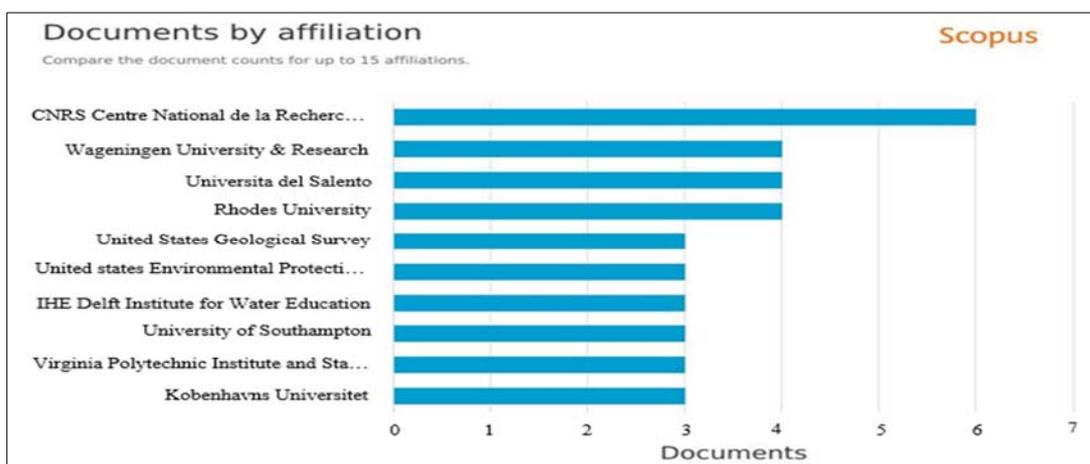


Figure 3 : Affiliation de l'auteur principal du domaine d'étude

3.10.3. Distribution géographique des publications

L'origine des articles investigués dans cette synthèse systématique est le pays ou le continent de provenance des auteurs et non le pays qui abrite les journaux qui publient ces articles. Dans notre étude, les cinq (05) continents du monde ont été considérés. Il s'agit de l'Amérique, de l'Asie, de l'Afrique, de l'Europe et de l'Océanie. Plusieurs pays Africains et Européens, dont les proportions du nombre d'article inférieures à 1% ne sont pas retenues. En outre, les articles dont les proportions sont inférieures à 1% sont exploités dans la suite de notre domaine d'étude. En Afrique, les publications venaient de South Africa (4,11%), Zimbabwe (2,05%), Ethiopie (1,37%), Ghana (1,37%) et Maroc (1,37%). Principalement en Amérique, les publications venaient de United State (19,18%). Dans l'Asie, les publications venaient principalement de l'Inde (5,48%). En Europe et en Océanie nous avons respectivement Netherlands (8,23%) et Australie (4,79%). Le tableau 3 montre de façon plus détaillée la distribution géographique des publications à la proportion exprimée en pourcentage.

Tableau 3: Distribution géographique des publications par pays et par continent

Continent	Pays	Nombre d'articles	Proportion (%)
<i>Amérique</i>	United States	28	19,18
	Canada	5	3,42
	Brésil	2	1,37
	Total Amérique	35	23,97
<i>Asie</i>	Inde	8	5,48
	Chine	6	4,11
	Bangladesh	3	2,05
	Iran	3	2,05
	Sri Lanka	2	1,37
	Total Asie	22	15,07
<i>Afrique</i>	South Africa	6	4,11
	Zimbabwe	3	2,05
	Ethiopie	2	1,37
	Ghana	2	1,37
	Maroc	2	1,37
	Total Afrique	15	10,27
<i>Europe</i>	Netherlands	12	8,23
	United Kingdom	11	7,53
	France	10	6,85
	Italie	8	5,48
	Belgium	6	4,11
	Germany	6	4,11
	Romanie	5	3,42
	Spain	4	2,74
	Portugal	3	2,05
	Luxembourg	2	1,37
Total Europe	67	45,90	
<i>Océanie</i>	Australia	7	4,79
	Total Océanie	7	4,79
Total		146	100

La représentation spatiale des différents pays suivant les proportions dans les publications sur le sujet d'étude, montre que United States occupe la première place avec 19,18%, Ensuite respectivement nous avons Netherlands (8,83%), United Kingdom (7,53%), France (6,85%), Inde (5,48%), Italie (5,48%), Australie (4,79%), Belgique (4,11%), Chine (4,11%) et Germany (4,11%), La figure 4 montre la distribution spatiale des publications par pays du domaine d'étude.

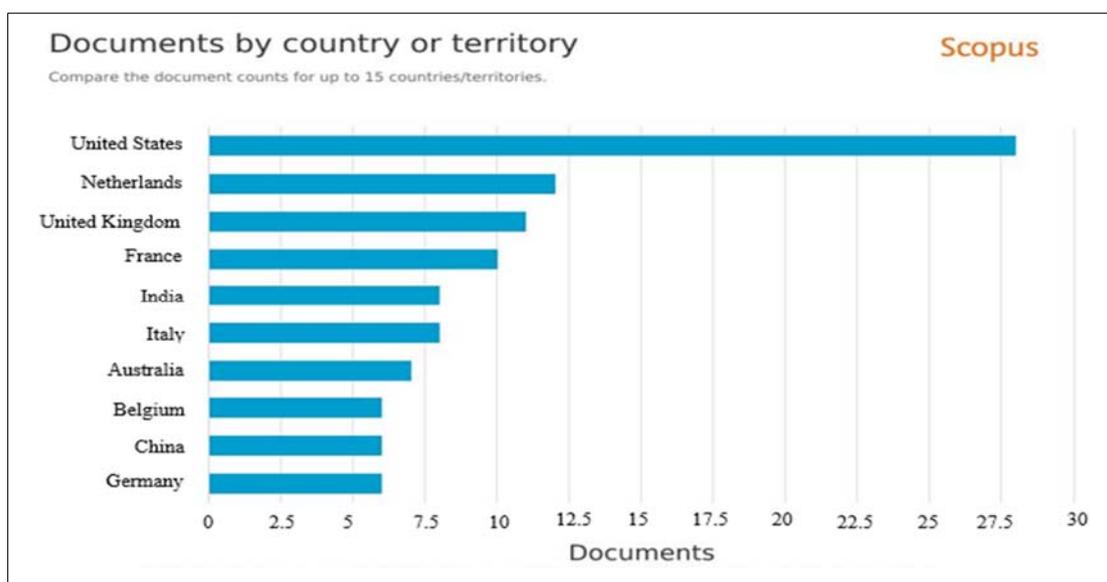


Figure 4 : Distribution spatiale des publications par pays

3.10.4. Types des documents dans les revues

Plusieurs documents proviennent des revues. Entre autre, nous avons les articles qui viennent en première position avec une proportion plus grande soit 80,80% des publications. Suite à cette proportion nous avons les Documents de conférences (10,30%), les accompagnateurs de Livre (4,80%), les papiers de Données (2,1%), les examens (1,40%) et les livres (0,70%). La figure 5 montre les différents types de document dans les revues concernant le domaine d'étude.

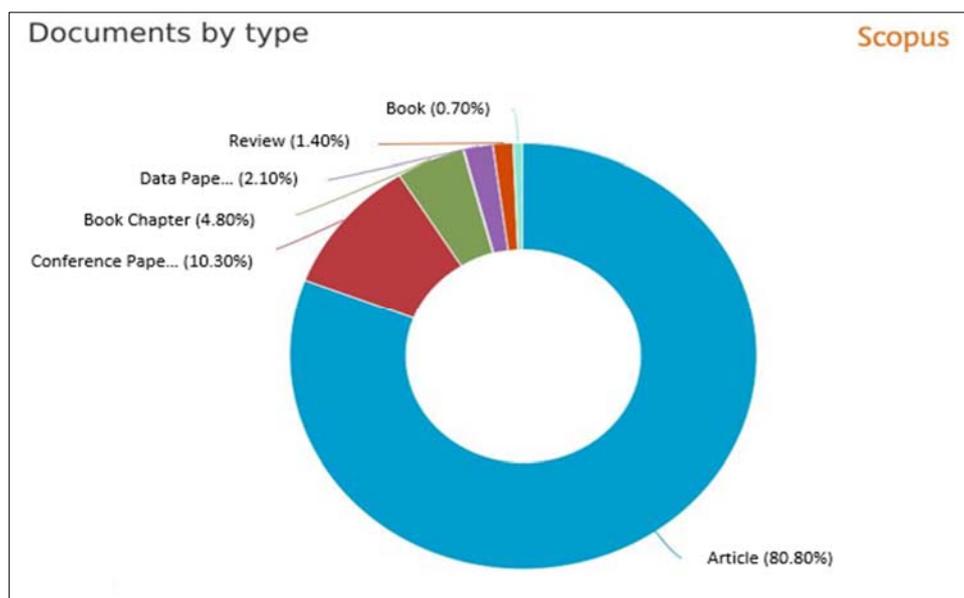


Figure 5 : Différents types de document dans les revues

3.10.5. Sources des publications de 2002 à 2022

Dans les deux décennies (2002 à 2022) passées, différentes sources relatives aux publications ont fait l'objet du présent domaine d'étude. Nous avons l'hydrobiologie qui est la plus représentée en 2009. Suite à cela, la science de l'environnement global est plus représentée en 2016, ensuite, l'Eau Suisse est plus représentée en 2021. Enfin les Indicateurs Ecologiques et la Surveillance et Evaluation de l'Environnement sont plus représentés en 2022. La figure 6 montre les sources de publication pour les deux décennies (2002 à 2022) passées du domaine d'étude.

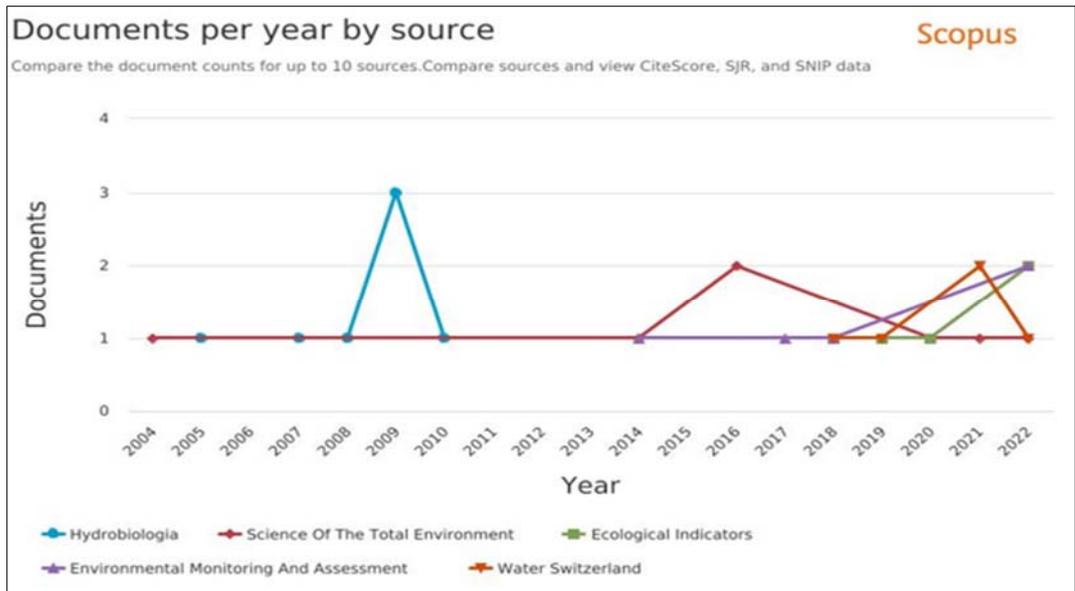


Figure 6 : Différentes sources de publication pour les deux décennies (2002 à 2022) du domaine d'étude

3.10.6. Domaines de publication des documents scientifiques

Plusieurs domaines de publication des documents scientifiques sont définis au présent sujet d'étude au plan mondial. A priori, nous pouvons avoir la Science Environnementale qui est majoritairement représentée à une proportion de 36,40%. Ensuite, les Sciences Agricoles et Biologiques (22,40%) et d'autre part les Sciences de la Terre et des Planètes (13,30%). La figure 7 montre de manière large les domaines de publication des documents scientifiques.

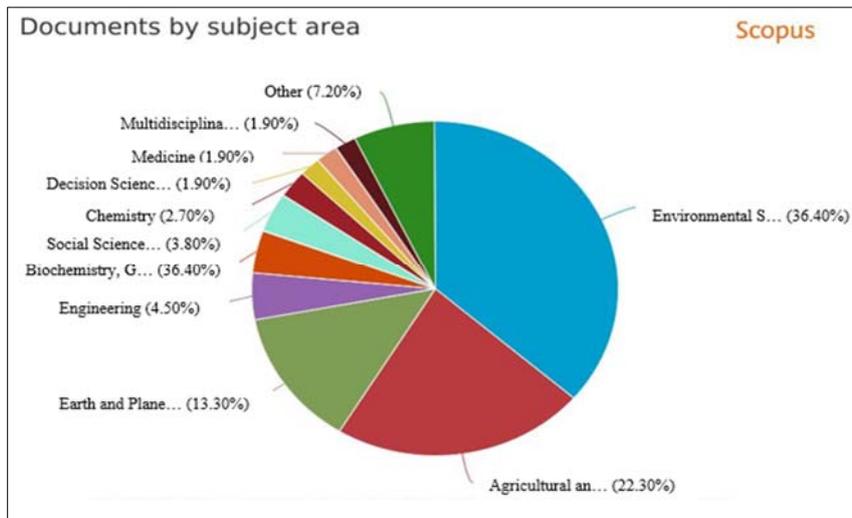


Figure 7 : Différents domaines de publication des documents scientifiques

3.10.7. Principaux auteurs : Nombre de document

Sur le plan mondial, plusieurs auteurs ont abordés le domaine de notre présente étude que cela soit dans les mêmes contextes ou autres. En effet, les auteurs les plus cités entre les années 2002 à 2022 sont : Basset A., Petre J., Sabetta L., Usseglio-Polatera P., Banks C.J., Barbone E., Bloor M.C., Galuppo N., Gheorghe S., Golumbeanu M. La figure 8 montre quelques auteurs les plus cités dans le monde relativement au domaine d'étude.

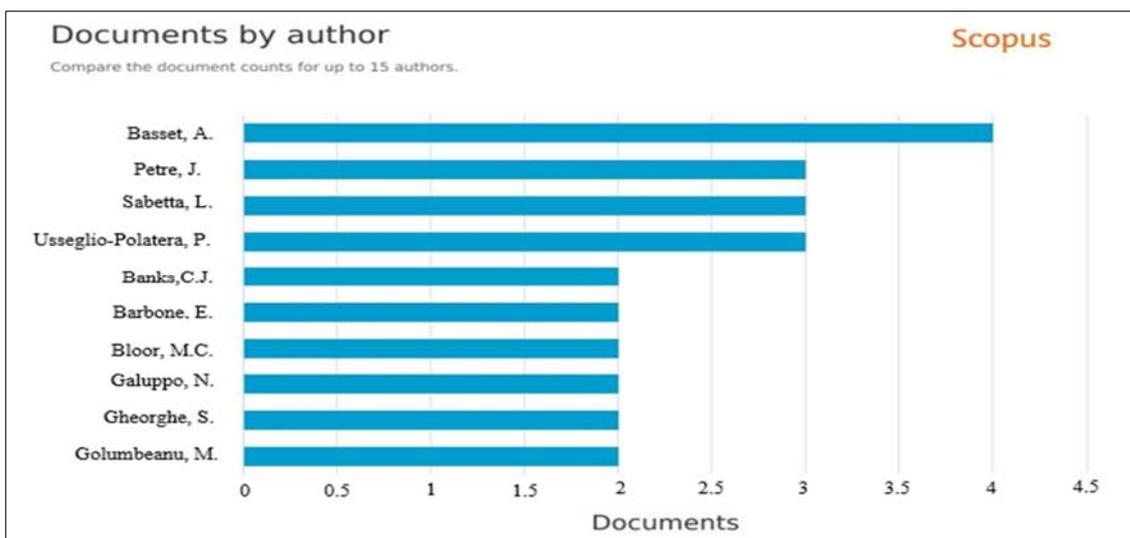


Figure 8 : Principaux auteurs du domaine d'étude sur le plan mondial

3.10.8. Structures commanditaires du financement des documents

Dans le domaine scientifique les documents sont souvent sponsorisés par plusieurs structures, dont nous avons en premier lieu la Fondation Nationale pour la Science. Ensuite, nous avons l'Agence de Protection de l'Environnement, la Recherche en Ingénierie et en Sciences Physiques, les Fonds Européens de Développement Régional. La figure 9 montre de façon ample les structures commanditaires du financement des documents.

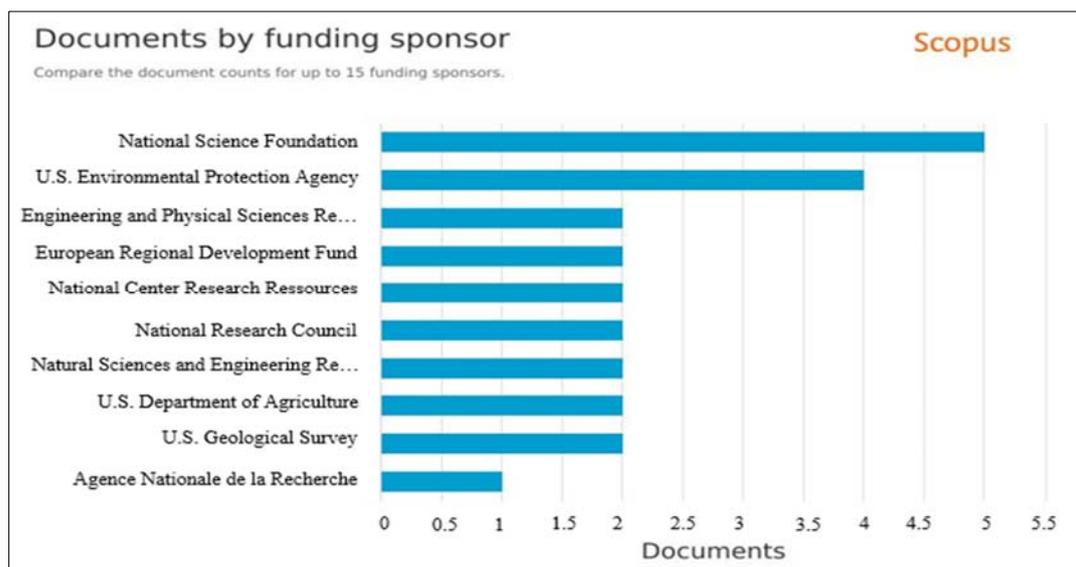


Figure 9 : Structures commanditaires du financement des documents

3.10.9. Approche systémique et gestion des ressources en eau

La gestion des eaux de surface et de ses usages s'inscrivent effectivement dans un système complexe d'influence et de relations économiques, sociales, culturelles et politiques. Cette complexité se manifeste dans les relations des paramètres de la gestion de l'eau qui existent à des échelles spatio-temporelles différentes (logique hydrologique amont-zone polluée-aval et effets de pollution des eaux de surface). Pour comprendre la nature de ces relations et identifier les facteurs déterminants d'une politique équitable et durable de l'eau, la méthode systémique nous est apparue la plus adaptée. Elle répond parfaitement à la problématique posée, car elle permet de poser les différents facteurs et processus intervenant dans le fonctionnement, la structure et l'évolution de la gestion intégrée de l'eau. Elle permet, par ailleurs, de s'interroger sur les limites spatiales et fonctionnelles du

système « gestion de l'eau » et sur les différents sous-systèmes qui le composent. La gestion des eaux de surface s'organise en fonction des ressources en eau disponibles, des besoins des usagers à satisfaire et la capacité d'exploitation de ses ressources disponibles. Quatre sous-systèmes en interactions ont été identifiés : sous-système « ressources en eau », sous-système « contamination agricole », sous-système « usages », sous-système « acteurs ». Ces quatre sous-systèmes s'inscrivent au fonctionnement, la cohérence et l'évolution du système « gestion de l'eau ». La figure 10 montre le système de gestion de l'eau de surface.

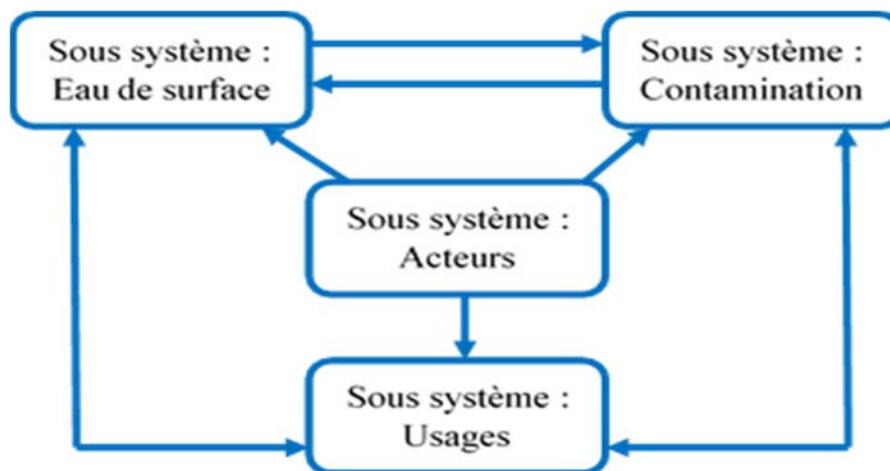


Figure 10 : Système de gestion de l'eau

Il est difficile d'étudier la dynamique du système qui demande une connaissance large sur les échanges et son environnement. C'est dans cette dynamique que l'approche bibliographique constitue un défi à notre travail de recherche.

IV. CONCLUSION

Cette synthèse bibliographique a permis de mettre en évidence les impacts de la contamination agricole des eaux de surface dans le monde et en Afrique. L'état de pollution des eaux varie d'une zone à une autre selon le degré de contamination. Ainsi, les facteurs de pollution sont principalement d'une part d'origines anthropiques et d'autre part naturelles. Dans sa globalité, les eaux de surface utilisées par la population pour des fins diverses, sont confrontées à des pollutions physiques, chimiques et Biologiques. Les informations collectées constituent une base pour une meilleure orientation des travaux de recherche sur les facteurs de pollution des eaux de surface dans son usage en plein temps et les moyens pour une meilleure remédiation. Cette synthèse bibliographique aboutira à identifier le niveau de pollution des eaux de surface à usages agricoles puis les implications des impacts de la contamination agricole des eaux de surface de l'Ouémé supérieur au Bénin.

RÉFÉRENCES

- [1]. [1] Abahi, K. S., Gnohossou, P., Akodogbo, H. H., Orou Piami, Z., Adje, D., Tchaou, C., & Okoya, J. 2018. Structure et diversité des macroinvertébrés benthiques de la partie supérieure du fleuve Ouémé au Bénin. *Afrique Science: Revue internationale des sciences et technologie* 14: 259-270.
- [2]. [2] Adandedjan, D., Makponse, E., Hinvi, L. C., & Laleye, P. 2017. Données préliminaires sur la diversité du zooplancton du lac Nokoué (Sud-Bénin). *Journal of Applied Biosciences* 115: 11476-11489.
- [3]. [3] Adechian, S., Nasser Baco, M., Akponikpe, I., Imorou Toko, I., Egah, J., & Affoukou, K. 2015. Les pratiques paysannes de gestion des pesticides sur le maïs et le coton dans le bassin cotonnier du Bénin. *[Vertigo] La revue électronique en sciences de l'environnement* 15(2). <https://doi.org/10.4000/vertigo.16534>
- [4]. [4] Adjagodo, A., Kelomè, N. C., Vissin, E. W., & Agbossou, E. 2017. Pollution Physique Et Bactériologique De L'eau Du Fleuve Dans La Basse Vallée De L'ouémé Pendant Les Périodes De Basses Et Hautes Eaux Au Bénin. *European Scientific Journal* 13(33) : 167-186.

- [5]. [5] Adje, D. D., Gnohossou, P. M., Akodogbo, H. H., Gouissi, M., Abahi, S. K., & Okoya, G. J. 2019. Étude de la pollution organique de la rivière Okedama dans la Commune de Parakou. *Afrique Sci* 15: 299-305.
- [6]. [6] Agbandou, B., Houessou, D., Thoto, F., & Chabi, G. 2018. Déséquilibre écosystémique du complexe lagunaire lac Nokoué. *Centre d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable, Abomey-Calavi, Bénin* 8p.
- [7]. [7] Agbanou, T., Abdoulaye, D., Bogo, G. A. S. O., Paegelow, M., & Tente, B. 2018. Variabilité pluviométrique et son impact sur le couvert végétal dans le secteur Natitingou-Boukombé au nord-ouest du Bénin. *Afrique Science* 14(3) : 182-191.
- [8]. [8] Ahoudi, H., Gnandi, K., Tanouayi, G., & Ouro-Sama, K. 2015. Caractérisation Physico-Chimique et Etat de pollution par les éléments traces métalliques des eaux souterraines de Lomé (Sud Togo) : Cas du quartier Agoe Zongo. *LARHYSS Journal* 24: 41-56.
- [9]. [9] Ahoussi, K. E., Koffi, Y. B., Kouassi, A. M., Soro, G., & Biemi, J. 2013. Étude hydrochimique et microbiologique des eaux de source de l'ouest montagneux de la Côte d'Ivoire : Cas du village de Mangouin-Yrongouin (sous-préfecture de Biankouman). *Journal of Applied Biosciences* 63: 4703-4719.
- [10]. [10] Aikpo, F. H., Chabi, C. B., Ayi, V., Koumolou, L., Houssou, C. S., & Etorh, P. A. 2015. Evaluation de la contamination des eaux du fleuve Couffo dans la zone cotonnière de Djidja (Bénin) par les pesticides. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 9(3): 1725-1732.
- [11]. [11] Aikpo, F. H., Deguenon, Y. A., Agbandji, L., Houssou, C. S., & Etorh, P. A. 2017. Étude de la variation de la teneur en résidus de pesticides dans l'eau et les tilapias (*Tilapia guineensis*) du fleuve Couffo dans le bassin cotonnier de la commune de Djidja, Bénin. *Afrique SCIENCE* 13(6) : 87-96.
- [12]. [12] Akatumbila, L., Mabiala, M., Lubini, A., Pwema, K., & Musibono, E. A. 2016. Contribution à l'évaluation de la qualité physico-chimique de l'eau : Cas de la rivière urbaine Gombe de Kinshasa/République démocratique du Congo. *Larhyss Journal* 26: 7-29.
- [13]. [13] Archibald, F. 2000. The presence of coliform bacteria in Canadian pulp and paper mill water systems—A cause for concern? *Water Quality Research Journal* 35(1): 1-22.
- [14]. [14] Belabed, A., Moulessehoul, F. M. R., Bennabi, F., Mouhamedi, C., Saadaoui, E., Kandouci, A. B., Tanguy, M., & Fanello, S. 2010. Stratégie de dépistage des pathologies nasosinusiennes chez les travailleurs exposés aux poussières de bois dans une région du Nord-est de l'Algérie. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*, 71(4) : 653-659.
- [15]. [15] Belghiti, M. L., Chahlaoui, A., Bengoumi, D., & El Moustaine, R. 2013. Etude de la qualité physico- chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quaternaire dans la région de Meknès (Maroc). *LARHYSS Journal* 14: 21-36.
- [16]. [16] Billy, C. 2008. Transfert et rétention d'azote à l'échelle d'un bassin versant agricole artificiellement drainé [PhD Thesis]. *Thèse de doctorat, Ecole doctorale Géosciences et Ressources Naturelles* 235p.
- [17]. [17] Bioteau, T., Bordenave, P., Laurent, F., & Ruelland, D. 2002. Evaluation des risques de pollution diffuse par l'azote d'origine agricole à l'échelle de bassins versants : Intérêts d'une approche par modélisation avec SWAT®. *Ingénieries eau-agriculture-territoires*, 32: 3-12.
- [18]. [18] Boumelta, Z., Boubekour, H., Bouali, Y., & Chebab, S. E. 2021. Evaluation de la contamination métallique de certaines sources d'eau potable dans la wilaya de Jijel [Mémoire de Master]. *Université Mohamed-Seddik Benyahia-Jijel, Algerie* 80p.
- [19]. [19] Branchet, P. 2018. Caractérisation de l'impact des activités humaines sur la qualité de la ressource en eau en milieu urbain sub-saharien : Étude de la contamination du bassin versant de la Méfou (Région Centre du Cameroun) par les pesticides et les résidus pharmaceutiques [PhD Thesis]. *IMT Mines Alès*. 276p.
- [20]. [20] CEAEQ. 2000. Recherche et dénombrement des Entérocoques : Méthode par filtration sur membrane. *Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec* 23p.

- [21]. [21] Chouti, W. K., Chitou, N. E., Kelome, N., Kpako, B. B. H., Vlavonou, D. H., & Tossou, M. 2017. Caractérisation Physico-Chimique Et Étude De La Toxicité De La Lagune Côtière, De Togbin À GrandPopo (Sud-Ouest Bénin). *European Scientific Journal* 13(27) : 131-151.
- [22]. [22] Colin, F. 2000. Approche spatiale de la pollution chronique des eaux de surface par les produits phytosanitaires. Cas de l'atrazine dans le bassin versant du Sousson (Gers, France) [PhD Thesis]. *Doctorat Sciences de l'Eau, ENGREF Montpellier* 255p.
- [23]. [23] Coulibaly, B., Zoungrana, A., Mockenhaupt, F. P., Schirmer, R. H., Klose, C., Mansmann, U., Meissner, P. E., & Müller, O. 2009. Strong gametocytocidal effect of methylene blue-based combination therapy against falciparum malaria : A randomised controlled trial. *PLoS one* 4(5): e5318. doi: 10.1371/journal.pone.0005318. Epub 2009 May 5. PMID: 19415120; PMCID: PMC2673582.
- [24]. [24] Dairon, M., Parkins, J. R., & Sherren, K. 2018. Seeking common ground in contested energy technology landscapes : Insights from a Q-methodology study. In *Governing Shale Gas. Development, Citizen Participation and Decision Making in the US, Canada, Australia and Europe*; Whitton, J., Cotton, M., Charnley-Parry, I.M., Brasier, K., Eds.; Routledge: London, UK 256–271.
- [25]. [25] De Villers, J., Squilbin, M., & Yourassowsky, C. 2005. Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface. *Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement* 16p.
- [26]. [26] Degbey, C., Makoutode, M., Fayomi, B., & De Brouwer, C. 2010. La qualité de l'eau de boisson en milieu professionnel à Godomey en 2009 au Bénin Afrique de l'Ouest. *J Int Santé Trav* 1: 15-22.
- [27]. [27] Dimane, F., Haboubi, K., Hanafi, I., El Himri, A., & Andaloussi, K. 2017. Impact des facteurs de pollution sur la qualité des eaux de la zone aval de la vallée de l'Oued Nekor (Al-Hoceima, Maroc). *European Scientific Journal, ESJ* 13(3) : 43-60.
- [28]. [28] Dovonou, F. E., Alassane, A., Adjahossou, V. N., Agbodo, B., Djibril, R., & Mama, D. 2017. Impacts de l'assainissement autonome sur la qualité des eaux de puits dans la Commune de Sèmè-Podji (Sud-Bénin). *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 11(6): 3086-3099.
- [29]. [29] Edberg, S. C. L., Rice, E. W., Karlin, R. J., & Allen, M. J. 2000. Escherichia coli : The best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of applied microbiology* 88(S1): 106S-116S.
- [30]. [30] Edmond, M. B., Ober, J. F., Weinbaum, D. L., Pfaller, M. A., Hwang, T., Sanford, M. D., & Wenzel, R. P. 1995. Vancomycin-resistant Enterococcus faecium bacteremia : Risk factors for infection. *Clinical Infectious Diseases* 20(5): 1126-1133.
- [31]. [31] El Abdallaoui, M., Hasnaoui, M., & Amahmid, A. 2014. Lattice-Boltzmann modeling of natural convection between a square outer cylinder and an inner isosceles triangular heating body. *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications* 66(9): 1076-1096.
- [32]. [32] Fatombi, J. K., Avocznh, G., Topanou, N., Aminou, T., & Josse, R. G. 2013. Elimination du fer et du manganèse d'une eau de surface par les graines de Moringa oleifera. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 7(3): 1379-1391.
- [33]. [33] Florence, T., Ringo, F. A., & Expédit, V. W. 2018. Caractérisation de la vulnérabilité à la pollution d'un écosystème aquatique : La rivière Sô et son bassin versant (Sud Benin, Afrique de l'Ouest). *International Journal of Innovation and Applied Studies* 24(1): 181-195.
- [34]. [34] Gbohaida, V., Agbangnan, D. P., Ngossanga, M. B., Medoatinsa, S. E., Dovonon, L. F., Wotto, D. V., Avlessi, F., & Sohounhloue, D. C. 2016. Etude de la qualité physico-chimique de l'eau de boisson dans deux localités du Bénin : Cotonou et Dassa-Zoumè. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 10(1): 422-434.
- [35]. [35] Gleeson, C., & Gray, N. 1997. The Coliform Index and Waterborne Disease. Problems of Microbial Drinking Water Assessment. *European Water Pollution Control* 2(7): 92-93.

- [36]. [36] Gnagne, Y. A., Yapo, B. O., Meite, L., Kouame, V. K., Gadji, A. A., Mambo, V., & Houenou, P. 2015. Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux usées brutes du réseau d'égout de la ville d'Abidjan. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 9(2): 1082-1093.
- [37]. [37] Gril, J.-J., & Dorioz, J.-M. 2004. Des bassins versants de recherche aux bassins opérationnels : Quels bassins versants pour connaître et maîtriser les pollutions diffuses agricoles? *Ingénieries eau-agriculture-territoires* 39: 3-16.
- [38]. [38] Hamed, M., Guettache, A., & Bouamer, L. 2012. Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du Barrage Djorf-Torba Bechar. *Université de Bechar, Algérie* 134p.
- [39]. [39] Heriarivony, C., Razanamparany, B., & Rakotomalala, J. E. 2015. Caractères physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de consommation (puits) de la commune rurale d'antanifotsy, région vakinankaratra, Madagascar. *LARHYSS Journal* 24: 7-17.
- [40]. [40] Houelome, T. A., Adandedjan, D., Chikou, A., Toko, I. I., Bonou, C., Youssao, I., & Laleye, P. 2017. Caractérisation de la qualité physico-chimique des eaux de la rivière Alibori dans le bassin cotonnier du Bénin. *Afrique SCIENCE* 13 (4) : 35-49.
- [41]. [41] Hounsou, M., Agbossou, E., Ahamide, B., & Akponikpe, I. 2010. Qualité bactériologique de l'eau du bassin de l'Ouémé : Cas des coliformes totaux et fécaux dans les retenues d'eau de l'Okpara, de Djougou et de Savalou au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 4(2): 377-390.
- [42]. [42] Issa, S., Alassane, A., Natatou, I., Boukari, M., Sohounhloué, D., & Mama, D. 2015. Caractéristique hydrogéochimique des eaux souterraines des aquifères de l'Izegouandé et du Tarat au voisinage de la Somaïr à Arlit au Niger/Hydro-geochemical feature of the aquifers groundwater of Izegouande and Tarat near SomairArlit in Niger. *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie* 39: 57-63.
- [43]. [43] Graindorge, J., Landot, E. 2003. La qualité de l'eau potable, technique et responsabilités. *Paris* 168p.
- [44]. [44] John, P., & Danald, A. (2010). Microbiologie. *3ème Édition* 1216 p.
- [45]. [45] Josse, R. G., Toklo, R. M., Dossou-Yovo, P., Fatombi, J. K., Senou, S. F., & Topanou, N. 2016. Corrélation entre les résultats physico-chimiques et microbiologiques des lixiviats du lieu d'enfouissement sanitaire (LES) de Ouèssè/Ouidah et ceux des eaux souterraines et superficielles du milieu. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 10(2) : 875-883.
- [46]. [46] Kahoul, & Touhami. 2014. Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux de consommation de la Ville d'Annaba (Algérie). *Université Badji Mokhtar; Annaba, Algérie* 11(3) : 129-138.
- [47]. [47] Kebir, T. 2012. Etude de Contamination, d'Accumulation et de Mobilité de Quelques Métaux Lourds dans des Légumes, des Fruits et des sols Agricoles Situés près d'une Décharge Industrielle de l'usine Alzinc de la ville de Ghazaouet. *Thèse de Doctorat, Tlemcen: Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen* 282 p.
- [48]. [48] Kioffa, C. 2011. Biodiversité et exploitation de la rivière de la rivière Sô au Bénin. *Mémoire de fin d'étude de Master, Université d'Abomey-Calavi. Bénin* 102p.
- [49]. [49] Kouamé, A. N., Amani, M. K., Gnaboa, R., Traoré, K. S., & Houenou, P. V. 2014. Analyse de phénomènes hydrologiques dans un bassin versant urbanisé : Cas de la ville de Yamoussoukro (centre de la Côte d'Ivoire). *LARHYSS Journal* 11(1): 135-154.
- [50]. [50] Koudenoukpo, Z. C., Chikou, A., Adandedjan, D., Hazoume, R., Youssao, I., Mensah, G. A., & Laleye, A. P. 2017. Caractérisation physico-chimique d'un système lotique en région tropicale : La rivière Sô au Sud-Bénin, Afrique de l'Ouest. *Journal of Applied Biosciences* 113(1):11111-11122.
- [51]. [51] Kpan, G. K. K., Lazare Brou, Y. A. O., Diemeleou, C. A., N'guettia, R. K., Traore, S. K., & Dembele, A. 2019. Pratiques phytosanitaires en agriculture périurbaine et contamination des denrées par les pesticides : Cas des maraîchers de Port-Bouët (Abidjan). *Journal of Animal and Plant Sciences* 41(1): 6847-6863.

- [52]. [52] Kpidi, Y. H., Yapo, O. B., Ballet, T. G., & Ohou-Yao, M.-J. 2017. Variabilité journalière de la qualité physico-chimique du lac M'koa de Jacqueville (Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 11(2): 901-910.
- [53]. [53] Lagnika, M., Ibikounlé, M., Mazou, F., Sakiti, N., & Boutin, C. 2014. Diversité faunistique et qualité physico-chimique de l'eau des puits à Parakou (Bénin, Afrique de l'Ouest). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse* 150: 59-72.
- [54]. [54] Laurent, F. 2012. Agriculture et pollution de l'eau : Modélisation des processus et analyse des dynamiques territoriales [PhD Thesis]. *Université du Maine* 184p.
- [55]. [55] Lawani, A. N., Kelome, N. C., Tchibozo, M. A. D., Hounkpe, J. B., & Adjagodo, A. 2017. Effects of agricultural practices on the pollution of surface water in Benin Republic. *LARHYSS Journal* 30: 173-190.
- [56]. [56] Loukman, B., Nakolendousse, S., Nour, A. M., & Nguinambaye, M. M. 2017. Caractérisation hydrochimique de la nappe de Yao et ses environs : Relations entre eaux de surface (lac-Fitri) et eaux souterraines. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 11(3): 1336-1349.
- [57]. [57] Macary, F. 2013. *Évaluation des risques de contamination des eaux de surface sur des bassins versants agricoles. Approches multiscalaires par modélisation spatiale et analyse multicritère pour l'aide à la décision* [PhD Thesis]. Doctorat en Sciences de l'Environnement (Hydrologie, Hydrochimie, Sol, Environnement), Université de Toulouse 183p.
- [58]. [58] Mahmood, A. S. 2019. Experimental Study on Double-Pass Solar Air Heater with and without using Phase Change Material. *Journal of Engineering* 25(2): 1-17.
- [59]. [59] Makhoukh, M., Sbaa, M., Berrahou, A., & Van Clooster, M. 2011. Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc Oriental). *Int J. Chem. Sci* 5: 1276-1293.
- [60]. [60] Makoutodé, M., Diallo, F., Mongbo, V., Guévert, E., & Bazira, L. 2010. La riposte à l'épidémie de choléra de 2008 à Cotonou (Bénin). *Santé publique* 22(4): 425-435.
- [61]. [61] Mama, D. (2010). Méthodologie et résultats du diagnostic de l'eutrophisation du lac Nokoué (Bénin) [PhD Thesis]. *Université de Limoges* 177p.
- [62]. [62] Maoudo, H., Diagne, I., Ndiaye, M., & Ndiaye, B. 2020. Etude comparative de la qualité physico-chimique des eaux de puits et de forage consommées dans la commune de Sinthiou Malème dans la région de Tambacounda (Sénégal). *Int. J. Biol. Chem. Sci* 14(9): 3400-3412.
- [63]. [63] Maoudombaye, T., Ndoutamia, G., Ali, M. S., & Ngakou, A. 2015. Etude comparative de la qualité physico-chimique des eaux de puits, de forages et de rivières consommées dans le bassin pétrolier de Doba au Tchad. *LARHYSS Journal* 24: 193-208.
- [64]. [64] Matini, L., Moutou, J. M., & Kongo-Mantono, M. S. 2009. Evaluation hydro-chimique des eaux souterraines en milieu urbain au Sud-Ouest de Brazzaville, Congo. *Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie* 5(1): 82-98.
- [65]. [65] Mbawala, A., Abdou, A., & Ngassoum, M. B. 2010. Evaluation de la pollution physico-chimique et microbienne des eaux de puits de Dang-Ngaoundéré (Cameroun). *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 4(6): 1962-1975,
- [66]. [66] Mboye, B. R., Koumba, A. A., Dzavi, J., Tchinga, G., Menbohan, S. F., & Mbega, J. D. 2020. Abondance, diversité et valeur indicatrice des macroinvertébrés benthiques des cours d'eau forestier du bassin versant de la Mabounié au Gabon. *Afrique SCIENCE* 17(1): 89-103.
- [67]. [67] Liferki, M. 2017. Etude des propriétés physico-chimiques et Bactériologiques de l'eau du barrage Sidi M'hamed Ben Taiba. *Mémoire de Master Université Djilali Bounaama De Khemis Miliana, Algérie* 91p.
- [68]. [68] Molénat, J., Dorioz, J. M., Gascuel, C., & Gruau, G. 2009. Les voies de transfert : Circulations de l'eau et des polluants dans les bassins versants sur socle. *Université de Rennes, 1, Territ'Eau, Agro-Transfert Bretagne*, 9: 9 p.

- [69]. [69] Nielsen, J. Ø., & D'haen, S. A. L. 2014. Asking about climate change : Reflections on methodology in qualitative climate change research published in Global Environmental Change since 2000. *Global Environmental Change* 24: 402-409.
- [70]. [70] OMS. (2006). Guidelines for safe recreational water environments. Volume 2: Swimming pools and similar environments. *Geneva* 118p.
- [71]. [71] Orou, R. K., Soro, G., Soro, D. T., Fossou, R. M. N., Onetie, O. Z., Ahoussi, E. K., & Soro, N. 2016. Variation saisonnière de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des aquifères d'altérites du département d'Agboville (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal, ESJ* 12(17): 213.
- [72]. [72] Poda, J.-N. 2007. Les maladies liées à l'eau dans le bassin de la Volta : État des lieux et perspectives. Volta Basin Focal Project Report 4. *Montpellier, France: IRD and Colombo, Sri Lanka: CGIAR Challenge Program on Water and Food* 87p.
- [73]. [73] Sahraoui, N. 2015. Etude de la coherence entre la vulnérabilité à la pollution de la qualité des eaux souterraines plaine Khemis Miliana. *Mémoire de Master en Eau et Bioclimatique. Université Khemis Miliana* 97p.
- [74]. [74] Saizonou, M., Yehouenou, B., Bankolé, H. S., Jossé, R. G., & Soclo, H. 2010. Impacts des déchets de l'abattoir de Cotonou dans la dégradation de la qualité des eaux de la nappe phréatique. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim* 30: 79-91.
- [75]. [75] Sokegbe, O. Y., Djeri, B., Kogno, E., Kangnidossou, M., Mensah, R. T., Soncy, K., & Ameyapoh, Y. 2017. Les risques sanitaires liés aux sources d'eau de boisson dans le district n° 2 de Lomé-commune : Cas du quartier d'Adakpamé. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 11(5): 2341-2351.
- [76]. [76] Soncy, K., Djeri, B., Anani, K., Eklou-Lawson, M., Adjrah, Y., Karou, D. S., Ameyapoh, Y., & de Souza, C. 2015. Évaluation de la qualité bactériologique des eaux de puits et de forage à Lomé, Togo. *Journal of Applied Biosciences* 91(1): 8464-8469.
- [77]. [77] Tamungang, N. E. B., Biosengazeh, N. F., Alakeh, M. N., & Tameu, D. Y. 2016. Contrôle de la qualité des eaux domestiques dans le village Babessi au Nord-Ouest Cameroun. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 10(3): 1382-1402.
- [78]. [78] Tissot, S., Verrhiest, G., & Pichard, A. 2004. Seuils de toxicité aiguë en cas d'émissions atmosphériques accidentelles de substances chimiques dangereuses : Méthode de détermination et principaux résultats. *Environnement, Risques & Santé* 3(5): 304-310.
- [79]. [79] Tournebize, J. 2019. Synthèse bibliographiques des impacts du drainage agricole en contexte de marais. *[Rapport Technique] INRAE UR HYCAR* 1-31.
- [80]. [80] Yovo, F., Dimon, B., Yayi, E., Suanon, F., Agani, I., Wotto, V., Sohounhloue, D., & Eni, C. A. 2017. Caractérisation d'eaux usées des quartiers déshérités du sud du Bénin : Cas du quartier Agla. *Déchets Sciences et Techniques* 74: 1-7.
- [81]. [81] Zinsou, L. H., Agadjihouédé, H., Gnohossou, P., & Lalèyè, P. 2017. Analyse et Illustration de la valeur indicatrice des espèces macrobenthiques du Delta De l'Ouémé au Bénin. *European Scientific Journal* 13(5): 333-351.