

## Les impacts de l'occupation du sol sur la qualité des ressources en eau: méthodologies d'évaluation

### The Impacts of Land Use on Water Resource Quality: Evaluation Methodologies

#### تأثيرات استخدام الأراضي على جودة الموارد المائية: منهجيات التقييم

Ahmad Kamaledine (\*) أحمد كمال الدين

تاريخ القبول: 2024-9-18

تاريخ الإرسال: 2024-9-5



#### Résumé

De nos jours, la contamination de l'eau figure parmi les enjeux environnementaux les plus préoccupants à l'échelle mondiale, particulièrement face aux défis croissants du développement démographique, de l'urbanisation rapide et du changement climatique. Cependant, il serait incomplet de traiter cette problématique sans examiner les sources de cette pollution. Cet article aborde la question sous un angle géographique, en se concentrant sur les sources de contamination et les méthodologies employées pour les étudier. Nous proposons d'abord une présentation des différents types des occupations du sol qui contribuent à cette pollution. Ensuite, un état des lieux général sera dressé à partir de l'examen d'une douzaine d'études réalisées dans différentes régions du monde. Enfin, nous exposerons les approches méthodologiques adoptées dans six de ces études afin de mettre en évidence leurs différences et similitudes. L'analyse des méthodologies de ces recherches aboutira à une synthèse des tendances émergentes dans le traitement de cette problématique.

Mots clés : Pollution de l'eau, occupation du sol, méthodologies d'évaluation, impacts environnementaux, ressources en eau, urbanisation, industrialisation, activités agricoles.

\* Doctorant en géographie à l'Université Libanaise - École Doctorale des Lettres et des Sciences Humaines et Sociales (EDLSHS). Email: ahmadkamaledine@hotmail.com

طالب في المعهد العالي للدكتوراه في الجامعة اللبنانية الآداب والعلوم الإنسانية والاجتماعية - قسم الجغرافيا

**Abstract**

Water pollution is today one of the main environmental concerns globally, particularly with the growing challenges posed by demographic development, rapid urbanization, and climate change. However, it would be incomplete to address this issue without examining the sources of this pollution. This article approaches the question from a geographical perspective, focusing on the sources of contamination and the methodologies used to study them. We will first present the types of land use that contribute to water pollution. Then, a general

overview will be provided based on the analysis of a dozen studies conducted in different regions of the world. Finally, we will discuss the methodological approaches adopted in six of these studies to highlight the differences and similarities between them. The analysis of these methodologies will lead to a synthesis of emerging trends in assessing the impacts of land use on water quality.

**Keywords:** Water pollution, land use, water resources, assessment methodologies, environmental impacts, urbanization, industrialization, agricultural activities.

اثنى عشرة دراسة أجريت في مناطق مختلفة حول العالم. أخيراً، سنعرض ونحلل المنهجيات العلمية المتبعة في ست من هذه الدراسات ما سيسمح لنا بالوصول إلى استنتاجات تشتمل على الطرق والأدوات العلمية المتبعة اليوم في معالجة هذه الإشكالية. سيسمح هذه التحليل أيضاً بملاحظة أوجه التشابه والاختلاف بين مختلف المنهجيات، وتحديد الاتجاهات العامة في منهجية تقييم تأثيرات استخدام الأراضي على جودة المياه.

**الكلمات المفتاحية:** تلوث المياه، استخدام الأراضي، الموارد المائية، منهجيات التقييم، التأثيرات البيئية، التحضر، الصناعة، الأنشطة الزراعية.

**الملخص**

يعد تلوث المياه اليوم واحداً من أبرز القضايا البيئية على الصعيد العالمي، خاصة في مواجهة التحديات المتزايدة الناتجة عن النمو السكاني والعمراني، إضافة إلى قضايا التغير المناخي. ومع ذلك، فإن معالجة هذا الموضوع من غير دراسة مصادر هذا التلوث يعطي صورة غير كاملة. لذا فإننا سنقوم في هذا المقال بمعالجة هذه الإشكالية من منظور جغرافي، عبر البحث عن مصادر تلوث المياه والمنهجيات المتبعة لتقييم تأثيرها. بدايةً، سنقدم أنواع استخدامات الأراضي التي تؤدي إلى تلوث المياه، ثم سنقوم بمراجعة عامة للأدبيات المعالجة لهذه الإشكالية عبر استعراض

## 1. Introduction

L'eau est une source essentielle à la vie, occupant une place centrale au sein des sociétés humaines, de l'environnement, et des écosystèmes. Elle est essentielle pour le développement durable, l'économie, la production d'énergie, l'agriculture, et surtout pour la survie de l'humanité (FAO, 2019). Cependant, cette source vitale est aujourd'hui gravement menacée, faisant de sa dégradation l'un des enjeux majeurs de notre époque. La croissance urbaine rapide, le développement des activités industrielles et agricoles imposent une pression toujours plus forte sur les ressources en eau., compromettant leur qualité.

Ces défis sont exacerbés par le changement climatique et par l'évolution des sociétés humaines vers des modèles économiques plus exigeants en ressources en eau. Pourtant, ces ressources sont particulièrement vulnérables. Une gestion inadéquate et un aménagement inapproprié risquent d'aggraver leur détérioration, notamment par l'introduction de contaminants chimiques et microbiologiques, comme nous l'examinerons dans cet article.

Bien que de nombreuses études aient abordé la pollution de l'eau, l'examen des effets spécifiques des occupations des sols sur l'eau

demeure crucial pour approfondir notre compréhension des processus de contamination, et ainsi mieux protéger ces ressources vitales. Au-delà des sciences dures, les spécialistes en géographie et en aménagement du territoire continuent à mobiliser leurs savoir-faire, méthodes et outils afin de mesurer correctement ces risques. De nombreuses recherches traitent de l'étalement des zones urbanisées et de l'évolution des différentes modalités d'occupation du sol, les liant souvent à des problématiques environnementales, qui l'on retrouve aujourd'hui dans beaucoup d'inventaires cartographiques (Ouattara et al., 2006 ; Sarr, 2009).

Ainsi, de nombreuses études tentent d'établir le lien et les relations entre les occupations des sols et la pollution de l'eau. Chacune de ces recherches s'adapte aux spécificités des terrains étudiés, à la géologie locale, aux sources potentielles de pollution, ainsi qu'aux contextes et politiques, locales et nationales. Leur objectif est de dévoiler les liens compliqués entre les variables en jeu pour formuler des recommandations permettant la protection de cette source importante. La conduite de ces recherches requiert la construction de méthodologies scientifiques rigoureuses, capables de prendre en compte toutes les variables.

Cet article examine les impacts des types des occupations des sols sur la qualité d'eau, présente l'état de la recherche sur cette problématique et analyse les méthodologies employées pour cette évaluation. L'analyse des différentes méthodes utilisées dans diverses études menées dans des contextes variés permettra d'identifier les tendances et similitudes qui émergent dans les approches méthodologiques. Cette synthèse mettra en lumière les convergences et divergences dans les pratiques de recherche, offrant une meilleure compréhension des méthodes mises en œuvre pour évaluer ces impacts.

## 2. L'occupation du sol et ses impacts sur la qualité des ressources en eau

La contamination des ressources en eau par des polluants est principalement causée par les activités humaines, notamment dans le cas des eaux souterraines. Cependant, il est convenable de noter qu'elle peut posséder des origines non humaines. Parmi les sources naturelles, on retrouve la lixiviation des minéraux, la présence de déchets organiques, les animaux... Néanmoins, dans la majorité des cas, la contamination des eaux est liée aux activités humaines, qui peuvent être étudiées et classées en fonction des modalités des occupations des sols.

La Commission européenne définit l'occupation des sols comme la couverture (bio)physique de la surface terrestre. Elle inclue les cultures, les prairies, les forêts de feuillus ou encore les zones construites (Commission Européenne, 2018). Elle se distingue de l'utilisation des sols, qui fait référence à la dimension socio-économique, comme l'agriculture, la sylviculture ou l'utilisation à des fins récréatives ou résidentielles (Commission Européenne, 2018). Cet article se concentre sur l'étude des occupations des sols.

Il existe plusieurs légendes, possédant des différents degrés de précision pour classifier les types d'occupation des sols. Par exemple, les cartes du CNRS-Liban offrent une classification en quatre niveaux de détail, comme: Surface boisée à Forêt dense à Forêt de feuillus dense à Forêt de chênes dense. Un autre exemple détaillé est celui de Corine Land Cover, qui propose une nomenclature hiérarchisée en trois niveaux, avec 44 catégories réparties en six grands types d'occupation: territoires artificialisés, territoires agricoles, forêts et milieux semi-naturels, zones humides et surfaces en eau.

Pour déterminer les principaux types d'occupations du sol qui affectent la qualité de l'eau, on distingue principalement trois catégories: les territoires artificialisés urbains, les

territoires artificialisés industriels, et les territoires agricoles.

### 1.1. Les territoires artificialisés

L'artificialisation des sols ne se limite pas à l'urbanisation. Ce terme englobe toute surface ayant été modifiée par l'homme, qu'elle soit bâtie, revêtue (comme un parking) ou non (comme un site d'extraction de minéraux) (CEREMA Normandie-Centre, 2015). Les surfaces artificialisées incluent divers types d'espaces, tels que les zones résidentielles et leurs espaces verts, les zones industrielles et commerciales, les équipements sportifs ou de loisirs, les infrastructures de transport, les parkings, les mines, les chantiers... (INSEE, 2021).

Cette artificialisation, souvent le résultat de l'étalement de la tache urbaine et ses infrastructures, peut avoir des conséquences environnementales considérables. Nous distinguons principalement deux types d'artificialisation possédant des effets significatifs sur la ressource en eau:

- Les territoires urbains
- Les territoires industriels.

#### 1.1.1. Les territoires urbains

L'urbanisation modifie profondément les sols, notamment par la réalisation

des constructions, comme les bâtiments, les routes et toutes autres surfaces imperméables, réduisant leur capacité naturelle à absorber l'eau. Ce phénomène entraîne une conversion rapide des précipitations en ruissellement de surface (CWP, 2000). Dans les zones urbaines, le ruissellement transporte divers polluants tels que l'huile, les engrais et les produits chimiques vers les cours d'eau, causant une pollution importante des ressources en eau (Chaudhry et Malik, 2017).

En effet, les eaux usées domestiques qui s'infiltrent dans les nappes phréatiques représentent une cause importante de pollution d'eau. Les pratiques urbaines telles que l'utilisation de fosses septiques et le stockage inadéquat de produits chimiques peuvent contribuer à cette contamination (OMS, 2017). De plus, les produits chimiques ménagers, notamment lorsqu'ils sont mal stockés, peuvent s'infiltrer dans la terre et atteindre les nappes phréatiques, ce qui altère leur qualité (Lenntech B.V., 2022). Le ruissellement urbain exacerbe ces problèmes en transportant divers polluants vers les eaux superficielles (Organisation Agiro, 2023).

#### 1.1.2. Les territoires industriels

Les zones industrielles sont souvent sources de pollution sévère. Les industries, telles que celles de l'énergie,

de la chimie ou de la métallurgie, utilisent d'importantes quantités d'eau pour diverses opérations. Lorsque cette eau, après usage, est rejetée sans traitement adéquat, elle introduit des polluants dans l'environnement.

Le transport et le stockage de matières premières et de produits intermédiaires peuvent également causer des fuites ou des débordements, contaminant les sols et les eaux environnantes. Certaines industries, notamment celles sans accès à des réseaux d'égouts municipaux, utilisent des fosses ou des réservoirs septiques, ce qui peut entraîner une contamination des nappes phréatiques (Lenntech B.V., 2022). De plus, les eaux usées industrielles, chargées de polluants comme des produits chimiques et des métaux lourds, peuvent atteindre les ressources en eau ce qui les rend impropre (Brindha et Schneider, 2019).

Les réservoirs souterrains et les cuves de stockage contenant des produits dangereux peuvent également fuir, entraînant une contamination directe des sols et des eaux souterraines (Lenntech B.V., 2022). Les activités industrielles sont souvent responsables de la libération de métaux lourds dans l'environnement, perturbant les écosystèmes aquatiques et représentant un risque pour la santé humaine (Brindha et Schneider, 2019).

Les exploitations minières contribuent également à la contamination des eaux souterraines (Devic et al., 2014).

## 1.2. Les territoires agricoles

L'agriculture, le principal consommateur mondial d'eau douce, utilise environ 70% des réserves d'eau de surface, tout en étant une source majeure de pollution de l'eau (Denchak, 2018). Les activités polluantes dans les territoires agricoles incluent principalement les fertilisants, les pesticides et les sols érodés (Keesstra et al., 2012). Ces substances atteignent les eaux superficielles par le ruissellement qui se produit après les précipitations et les inondations, et les eaux souterraines par l'infiltration dans les nappes phréatiques.

Les engrais, essentiels pour la croissance des cultures, peuvent contaminer l'eau lorsqu'ils sont mal gérés (Brindha et Schneider, 2019). Les pesticides contiennent aussi des matières chimiques pouvant persister dans l'environnement, entraînant une contamination durable des sols et des eaux (Chaudhry et Malik, 2017). Les pratiques agricoles, telles que les puits de drainage, les débordements d'engrais et de pesticides, et l'utilisation excessive de produits chimiques, contribuent également à cette pollution (Lenntech B.V., 2022).

## 2. La recherche et la méthodologie d'évaluation

L'étude des impacts des types d'occupation du sol est jouée un rôle important dans la compréhension des dynamiques de la pollution de l'eau. Bien que la recherche sur cette problématique au Liban n'ait pas encore pleinement exploré cette relation, une abondante littérature internationale existe sur le sujet.

Pour mieux appréhender l'état de recherche actuelles, nous avons sélectionné une douzaine d'études pertinentes. Ces études seront présentées et comparées d'une manière générale pour comprendre l'état de recherche scientifiques sur cette thématique.

Ensuite, nous analyserons et comparerons les méthodologies utilisées dans six de ces études. Cette analyse fournira une vue d'ensemble des méthodes employées pour aborder ces problématiques et leur adaptation aux spécificités de chaque étude. Cette étape permettra de saisir les démarches méthodologiques

nécessaires pour évaluer l'impact de l'occupation des sols sur la qualité des ressources en eau.

### 2.1. L'état général de la recherche scientifique sur les impacts de l'occupation du sol sur la qualité des ressources en eau

Les douze articles choisis sont les suivants : Brainwood et al. (2004) ; Carlson et al. (2011) ; Devic et al. (2014) ; Huang et al. (2013) ; Kandler et al. (2017) ; Malki et al. (2017) ; Nafi>Shehab et al. (2021) ; Narany et al. (2017) ; Ouyang et al. (2014) ; Rouabhia et al. (2010) ; Singh et al. (2010) ; Wafa et al. (2020). Pour les synthétiser, nous avons élaboré un tableau récapitulatif (Tab. 1). Ce tableau met en évidence les aspects essentiels de chaque étude, notamment le pays où la ressource étudiée est située, les types d'occupation du sol examinés, la présence ou non d'analyses microbiologiques et chimiques, ainsi que le type de ressources en eau évaluées.

Tab. 1 – Comparaison des études sélectionnées

Etude	Pays	Occupation du sol	Analyses microb.	Analyses chimiques	Type d'eau
Brainwood et al. (2004)	Australie	Plusieurs	Non	Oui	Superficielles
Carlson et al. (2011)	Etats-Unis	Urbain	Non	Oui	Souterraines
Devic et al. (2014)	Serbie	Plusieurs	Non	Oui	Souterraines

Huang et al. (2013)	Chine	Plusieurs	Non	Oui	Superficielles
Kandler et al. (2017)	Allemagne et Tchèque	Plusieurs	Non	Oui	Superficielles
Malki et al. (2017)	Maroc	Agricole	Non	Oui	Souterraines
Nafi'Shehab et al. (2021)	Malaisie	Plusieurs	Oui (E. Coli)	Oui	Superficielles
Narany et al. (2017)	Malaisie	Plusieurs	Non	Oui (nitrate)	Souterraines
Ouyang et al. (2014)	Etats-Unis	Plusieurs	Non	Oui	Souterraines
Rouabhia et al. (2010)	Algérie	Agricole	Non	Oui	Souterraines
Singh et al. (2010)	Inde	Plusieurs	Non	Oui	Souterraines
Wafa et al. (2020)	Afghanistan	Urbain	Oui	Oui	Souterraines

La comparaison de ces études révèle que la question est largement explorée à travers le monde. La majorité des travaux vise à évaluer les impacts de différents types d'occupation des sols. Cependant, certaines études se concentrent spécifiquement sur des zones urbaines (Wafa et al., 2020 ; Carlson et al., 2011) ou agricoles (Rouabhia et al., 2010 ; Malki et al., 2017), abordant ainsi des contextes particuliers en fixant la variable du type d'occupation du sol.

D'ailleurs, toutes ces études ont intégré des paramètres chimiques dans leurs analyses, certaines utilisant des méthodes d'analyse avancées. Cependant, à l'exception des études de Nafi'Shehab et al. (2021), qui a recherché la présence d'E. coli, et de Wafa et al. (2020), qui a analysé plusieurs marqueurs de contamination microbiologique, les autres recherches

n'ont pas examiné de paramètres microbiologiques.

Cette observation souligne une différence importante entre les pays dits «développés» et les pays dits «en développement» en ce qui concerne la nature de la contamination des ressources en eau. En effet, les infrastructures des pays «en développement» ne sont pas toujours capables à éliminer correctement les eaux usées, ce qui expose les ressources hydriques à des forts risques de pollution par des bactéries d'origine fécale. Cette pollution représente un défi majeur pour l'environnement et la santé publique.

Cette disparité entre les études des pays dits «développés» et «en développement» reflète des réalités distinctes, notamment en termes d'infrastructure. Dans les pays «développés», les infrastructures res-



ponsables de la distribution de l'eau domestique et de la collection et du traitement des eaux usées, sont généralement plus avancées. Ainsi, ces pays sont plus capables à contrôler pollution, notamment microbiologique. En revanche, des pays «en développement» comme l'Afghanistan (Wafa et al., 2020) et le Liban (Shaban, 2019 ; Dagher et al., 2021 ; Baalbaki et al., 2019 ; Halwani, 2008) continuent de lutter contre la contamination bactérienne en raison du développement urbain rapide et de l'absence ou de la vétusté des systèmes d'égouts. L'importance de ce problème a été particulièrement visible au Liban lors de l'épisode de l'épidémie de choléra survenue dans le pays entre 2022 et 2023. La propagation de cette maladie est liée à la consommation d'eau contaminée par des bactéries d'origine fécale. La majorité des cas détectés était dans des régions qui souffre de problèmes de gestion des eaux usées comme Akkar (Annexe 1).

S'agissant des types de la nature de la ressource étudiée, la plupart des articles portent principalement sur les eaux souterraines. Certaines études ont également examiné les eaux superficielles (Brainwood et al., 2004 ; Huang et al., 2013 ; Kandler et al. 2017 ; Nafi Shehab et al. ; 2021), telles que les rivières. Cela met en

lumière l'importance d'une approche globale pour la gestion des diverses sources d'eau.

Ces recherches soulignent l'importance d'inclure l'occupation du sol dans la gestion des ressources en eau. Issues de disciplines variées telles que la géographie, le génie civil, la chimie, les sciences environnementales et l'hydrologie, elles offrent une perspective multidimensionnelle. Chaque étude adapte ses méthodologies aux objectifs de recherche et aux spécificités des terrains étudiés. Ainsi, elles enrichissent notre compréhension des interactions complexes entre les occupations des sols et la pollution d'eau. Cependant, ces méthodologies partagent de nombreux points communs. Cette diversité méthodologique reste essentielle pour élaborer des stratégies de gestion durable adaptées à des contextes géographiques variés.

## **2.2. Méthodologies d'évaluation des impacts de l'occupation des sols sur la qualité des ressources en eau**

Pour analyser les méthodologies employées dans l'évaluation des impacts de l'occupation des sols, nous avons comparé les méthodologies de six articles parmi les études précédemment mentionnées. Les articles sélectionnés sont les suivants:

- Devic, G., Djordjevic, D., et Sakan, S., (2014). «Natural and anthropogenic factors affecting the groundwater quality in Serbia». Cette étude examine les facteurs naturels et anthropiques influençant la qualité chimique des eaux souterraines en Serbie. Les auteurs ont mené des analyses chimiques détaillées pour déterminer l'influence de divers éléments sur la qualité de l'eau.
- Kandler, M., Blechinger, K., Seidler, C., Pavlů, V., Šanda, M., Doštal, T., et Štich, M., (2017). «Impact of land use on water quality in the upper Nisa catchment in the Czech Republic and in Germany». Cette étude examine les effets de l'occupation des sols sur la qualité chimique de l'eau dans le bassin versant transfrontalier de la rivière Nisa, situé à la jonction de la République tchèque, de l'Allemagne et de la Pologne. L'approche méthodologique combine des analyses chimiques avec une évaluation des changements d'occupation des sols.
- Narany, T. S., Aris, A. Z., Sefie, A., et Keesstra, S., (2017). «Detecting and predicting the impact of land use changes on groundwater quality, a case study in Northern Kelantan, Malaysia». Cette étude se concentre sur la compréhension et la prédiction des effets des occupations du sol sur la teneur en nitrates observée dans les eaux souterraines de la région septentrionale de Kelantan, en Malaisie. La méthodologie inclut des modèles prédictifs pour évaluer les scénarios futurs.
- Rouabhia, A., Baali, F., et Fehdi, C., (2010). «Impact of agricultural activity and lithology on groundwater quality in the Merdja area, Tebessa, Algeria». Cet article examine l'influence des activités agricoles et de la lithologie sur la composition chimique des eaux souterraines dans la région de Merdja, à Tébesa, en Algérie. La méthodologie repose sur des analyses chimiques approfondies combinées à des études géologiques pour comprendre les influences environnementales sur la qualité de l'eau.
- Singh, S., Singh, C., et Mukherjee, S., (2010). «Impact of land-use and land-cover change on groundwater quality in the Lower Shiwalik hills: a remote sensing and GIS based approach». Cette étude utilise la télédétection et le SIG dans l'évaluation des impacts des occupations des sols sur les ressources en eau souterraines dans

le territoire de Lower Shivalik, dans l'État du Pendjab, en Inde. La méthodologie combine des technologies de pointe pour analyser les modifications du paysage et leurs impacts.

- Wafa, W., Hairan, M. H., et Waizy, H., (2020). «The impacts of urbanization on Kabul City's groundwater quality». Cette étude explore les effets de l'urbanisation sur la pollution microbiologique, physique et chimique des ressources en eau souterraines à Kaboul, en Afghanistan. L'approche méthodologique est particulièrement complète, intégrant des analyses microbiologiques en plus des analyses chimiques et physiques.

Ces études illustrent la diversité des approches et des méthodes utilisées pour explorer les liens entre les activités humaines et la pollution d'eau. Elles couvrent un large éventail de contextes géographiques, de la Malaisie à l'Algérie, en passant par la Serbie, l'Inde, l'Afghanistan, ainsi que les régions transfrontalières entre l'Allemagne et la République

tchèque. Ce vaste éventail témoigne de l'importance internationale accordée à cette problématique.

Les études explorent une variété de paramètres et de contextes, allant des types d'occupation des sols et de leur évolution à l'urbanisation, ainsi qu'aux impacts de l'agriculture et de la lithologie. Bien que quasiment tous les articles n'utilisent que des analyses chimiques, l'étude de Wafa et al. (2020) se distingue par son approche intégrant également des analyses microbiologiques et physiques.

De plus, tandis que la plupart de ces travaux sont axés sur les eaux souterraines, l'étude de Kandler et al. (2017) élargit le champ d'analyse en se focalisant sur une rivière et son bassin versant, offrant ainsi une perspective plus complète sur la protection des ressources en eau.

La diversité des méthodologies employées offre une compréhension approfondie des interactions complexes entre les variables de la problématique. Le tableau ci-dessous (Tab. 2) synthétise les méthodologies employées dans les six études:

Tab. 2 - les méthodologies mises en œuvre dans les six études

Etude	Pays	Méthodologie
Devic et al. (2014)	Serbie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recueil des données sur la qualité chimique des eaux souterraines</li> <li>- Analyse statistique, y compris AFC et ACP.</li> <li>- Utilisation de méthodes chimiométriques, y compris CAH, DA et PCA.</li> <li>- Identification des facteurs polluant l'eau.</li> </ul>

Kandler et al. (2017)	Allemagne - Tchèque	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Collecte d'échantillons d'eau sur une année.</li> <li>- Analyses chimiques.</li> <li>- Traitement spatial des données à l'aide du SIG.</li> <li>- Analyses statistiques pour explorer les relations entre les occupations. du sol et les paramètres chimiques.</li> </ul>
Narany et al. (2017)	Malaisie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recueil des données sur les modifications de l'occupation du sol.</li> <li>- Recueil des données sur la pollution des ressources souterraines.</li> <li>- Analyse des données en utilisant des techniques de séries chronologiques et géospatiales.</li> <li>- Utilisation du modèle ARIMA pour prédire la concentration de nitrate.</li> <li>- Évaluation des résultats.</li> </ul>
Rouabhia et al. (2010)	Algérie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Enquête hydrogéologique pour comprendre la géologie et les sources de recharge.</li> <li>- Prélèvement d'échantillons d'eau souterraine et analyses chimiques.</li> <li>- Utilisation de modèles géochimiques pour simuler les processus.</li> </ul>
Singh et al. (2010)	Inde	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation de la télédétection et des SIG.</li> <li>- Classification d'images satellitaires.</li> <li>- Création de couches thématiques.</li> <li>- Évaluation multicritères pour générer une carte de potentiel en eau souterraine.</li> <li>- Analyse des évolutions de l'occupation du sol et son influence sur la pollution d'eau.</li> </ul>
Wafa et al. (2020)	Afghanistan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Collecte d'échantillons dans un quartier urbain en plein développement.</li> <li>- Analyse in-situ et ex-situ des paramètres physiques, microbiologiques et chimiques.</li> </ul>

Ces études illustrent une variété d'approches méthodologiques et d'outils utilisés pour répondre à la problématique. Néanmoins, plusieurs tendances et similitudes émergent dans les démarches adoptées:

- Une collecte de données diversifiée et approfondie, portant sur les différents types de l'occupation du sol, ou encore sur la qualité chimique des eaux souterraines, en réalisant des prélèvements sur le terrain et parfois en utilisant des bases de données. Cette étape a permis d'établir une base solide pour l'analyse ultérieure.

- Le traitement statistique des bases de données, comme l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) et l'Analyse en Composantes Principales (ACP). Les analyses statistiques permettent la détection des tendances, des corrélations et des clusters dans les ensembles de données. Ces méthodes aident à identifier les principaux facteurs polluant l'eau. On trouve également d'autres méthodes comme la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) qui a servi au classement des échantillons selon un facteur de proximité

de leurs caractéristiques. Ces exemples confirment le rôle crucial des méthodes statistiques pour comprendre les relations complexes entre les différentes variables et classer les échantillons.

- L'utilisation du SIG est courante dans l'analyse des données spatiales, telles que la distribution des phénomènes examinés. Cela montre l'importance de la cartographie et des représentations spatiales dans la compréhension des interactions entre ces phénomènes.
- Prendre en compte les aspects temporels permet le suivi des tendances à long terme de la qualité de l'eau. En examinant la manière du changement des concentrations des paramètres analysés au fil des ans en réponse aux variations de l'occupation du sol. Ainsi, les chercheurs peuvent évaluer l'efficacité des mesures mises en œuvre pour protéger les ressources en eau et anticiper les défis futurs. Cette approche a été adoptée par Narany et al. (2017) en utilisant le modèle ARIMA.
- La modélisation géochimique et géospatiale développe des outils puissants pour simuler les processus complexes qui régissent la qualité de l'eau. Ils permettent de prédire comment les

contaminants se déplacent dans les aquifères en fonction des propriétés géologiques et hydrologiques de la région, ainsi que les potentiels réactions chimiques entre l'eau et les roches. Cette méthode a été utilisée par Rouabhia et al. (2010) dans leur étude qui se distingue par la recherche des impacts de la lithologie et de l'agriculture sur les eaux souterraines.

Ces études soulignent également l'importance d'une approche multidisciplinaire pour étudier les interactions entre les occupations du sol et la pollution d'eau. Chaque étude, bien qu'adaptée à des objectifs spécifiques, partage l'objectif commun d'analyser ces interactions à travers l'utilisation de méthodes statistiques, de représentations spatiales, et d'analyses descriptives. Toutefois, elles soulignent la nécessité d'adopter des approches multidimensionnelles et adaptées aux contextes géographiques et socio-économiques spécifiques pour développer des stratégies capables à protéger durablement les ressources en eau.

Les résultats obtenus confirment les impacts significatifs des occupations des sols et des activités humaines sur la qualité d'eau. Par exemple, l'étude de Narany et al. a montré que des changements tels que la déforestation et l'expansion agricole ont augmenté

la teneur en nitrates dans les eaux souterraines. En Serbie, les pratiques agricoles et industrielles, combinées à des facteurs naturels, ont été identifiées comme des contributeurs majeurs à l'altération de la qualité des ressources d'eau. En Algérie, les activités agricoles intenses développées au-dessus de l'aquifère de la région de Merdja a entraîné des concentrations élevées de nitrates, soulignant l'impact direct des pratiques agricoles.

L'étude du bassin versant de la Nisa en Allemagne montre que les activités urbaines et agricoles avaient des effets négatifs sur l'eau de la rivière. En Inde, une dynamique similaire a été observée, l'urbanisation contribuant à la dégradation chimique de l'eau. Enfin, l'étude menée à Kaboul, en Afghanistan, a démontré que l'urbanisation rapide a remarquablement dégradé la qualité microbiologique des ressources en eau souterraine de la ville, posant ainsi un risque majeur pour la santé publique.

### 3. Conclusion

Les enjeux liés à la pollution des ressources en eau sont aujourd'hui des préoccupations majeures et de plus en plus pressantes. Tandis que la demande en eau continue d'augmenter, sa qualité est gravement menacée par diverses activités humaines, en particulier dans

les territoires urbains, industriels et agricoles. Les zones urbaines contribuent à des niveaux élevés de pollution à cause du rejet de l'eau domestique et municipale sans traitement. Les activités industrielles sont aussi associées à des contaminants plus denses et plus dangereux, augmentant ainsi les risques de pollution. De leur côté, les engrais et les pesticides utilisés dans l'agriculture libèrent des matières chimiques polluantes dans l'eau.

Face à cette problématique complexe, les chercheurs de diverses disciplines s'efforcent de mieux comprendre les impacts des occupations du sol sur la qualité de l'eau. Les études examinées dans cet article révèlent une diversité d'approches méthodologiques, chacune adaptée aux optiques spécifiques de chaque discipline, à ses objectifs particuliers, ainsi qu'aux caractéristiques des territoires étudiés. Malgré leurs différences, ces recherches convergent vers une compréhension plus approfondie des relations complexes entre les types d'occupation du sol, les milieux géographiques, et la pollution d'eau. Cette convergence permet de dégager des spécificités mais aussi des tendances générales qui peuvent être appliquées à divers contextes régionaux à travers le monde.

Les avancées scientifiques ont également conduit au développement de méthodologies robustes pour répondre à cette problématique. Les méthodes employées, bien que variées, partagent des caractéristiques communes telles que l'intégration d'analyses chimiques, microbiologiques et même physiques, l'utilisation de la cartographie pour la recherche d'informations et la visualisation des dynamiques spatiales, et le recours à des méthodes statistiques sophistiquées pour établir des relations significatives entre les variables étudiées. Ces outils permettent d'identifier les principaux facteurs de pollution permettant ainsi la proposition de solutions qui s'adaptent au contexte local.

Les résultats de ces recherches montrent que les impacts des occupations des sols sur la qualité de l'eau ne se limitent pas à des contextes régionaux spécifiques, mais révèlent des tendances globales applicables à de nombreuses régions du monde. Partout où les infrastructures sont insuffisantes, les activités urbaines, industrielles et agricoles possèdent des effets considérables sur les ressources en eau. Les pollutions résultantes ont

des conséquences sanitaires majeures, notamment par la propagation de maladies hydriques, ainsi que des répercussions économiques.

Face à ces défis, une gestion intégrée et durable des activités humaines s'impose pour protéger l'eau et l'environnement. Il est crucial de développer et d'appliquer des politiques publiques efficaces et des plans directeurs rigoureux qui prennent en compte les spécificités locales tout en s'inspirant des meilleures pratiques globales. La planification urbaine durable, la réglementation rigoureuse des rejets des activités industrielles, et la mise en œuvre des pratiques agricoles responsables doivent être au cœur de ces politiques. En outre, la recherche scientifique continue à jouer un rôle essentiel en fournissant les connaissances nécessaires pour anticiper les défis futurs et développer des solutions innovantes pour la protection de l'eau et de l'environnement. Seule une politique concertée et informée pourra répondre aux enjeux actuels et assurer la protection durable de cette ressource vitale pour les générations futures.

## Bibliographie

- Commission Européenne, (2018). Archive: Occupation et utilisation des sols, [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Occupation\\_et\\_utilisation\\_des\\_sols#:~:text=I'occupation%20des%20sols%2C%20qui,des%20fins%20%C3%A9cr%C3%A9atives%20ou%20%C3%A9sidentielles](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Occupation_et_utilisation_des_sols#:~:text=I'occupation%20des%20sols%2C%20qui,des%20fins%20%C3%A9cr%C3%A9atives%20ou%20%C3%A9sidentielles).
- CEREMA Normandie-Centre, (2015). La mesure de l'étalement urbain, [http://www.etudes-normandie.fr/upload/crbn\\_cat/1/1084\\_3313\\_Mesure\\_de\\_l\\_etalement\\_urbain.pdf](http://www.etudes-normandie.fr/upload/crbn_cat/1/1084_3313_Mesure_de_l_etalement_urbain.pdf)

- Rouabhia, A., Baali, F., et Fehdi, C., (2010). Impact of agricultural activity and lithology on groundwater quality in the Merdja area, Tebessa, Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 3(3).
- Narany, T. S., Aris, A. Z., Sefie, A., et Keesstra, S., (2017). Detecting and predicting the impact of land use changes on groundwater quality, a case study in Northern Kelantan, Malaysia. *Science of the Total Environment*, 599, 844-853.
- Chaudhry, F. N., et Malik, M. F., (2017). Factors affecting water pollution: a review. *J. Ecosyst. Ecography*, 7(1), 225-231.
- Wafa, W., Hairan, M. H., et Waizy, H., (2020). The impacts of urbanization on Kabul City's groundwater quality. *Int J Adv Sci Technol*, 29 (4), 10796-10809.
- Denchak, M., (2018). Water Pollution: Everything You Need to Know, Natural Resources Defense Council, <https://www.nrdc.org/stories/water-pollution-everything-you-need-know>
- Keesstra, S.D., Geissen, V., Mosse, K., Piirainen, S., Scudiero, E., Leištra, M., et Van Schaik, L., (2012). Soil as a filter for groundwater quality. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 4 (5), 507-516.
- Lenntech B. V., (2022). Sources de pollution des eaux souterraines, <https://www.lenntech.fr/eaux-souterraines/pollution-sources.htm>
- Devic, G., Djordjevic, D., et Sakan, S., (2014). Natural and anthropogenic factors affecting the groundwater quality in Serbia. *Science of the Total Environment*, 468, 933-942.
- CWP (Center for Watershed Protection), (2000). The Practice of Watershed Protection: Why Storm water Matters. Article 63. Maryland, U.S., 25-30.
- Nafi' Shehab, Z., Jamil, N. R., Aris, A. Z., et Shafie, N. S., (2021). Spatial variation impact of landscape patterns and land use on water quality across an urbanized watershed in Bentong, Malaysia. *Ecological indicators*, 122, 107254.
- Shaban, A., (2019). Striking Challenges on Water Resources of Lebanon. In *Hydrology-The Science of Water*. IntechOpen.
- INSEE, (2021). Artificialisation des sols - Définition - Insee, <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c2190#:~:text=Les%20surfaces%20artificialis%C3%A9es%20regroupent%201,les%20mines%2C%20d%C3%A9charges%20et%20chantiers>.
- Kandler, M., Blechinger, K., Seidler, C., Pavlů, V., Šanda, M., Doštal, T., et Štich, M., (2017). Impact of land use on water quality in the upper Nisa catchment in the Czech Republic and in Germany. *Science of the total Environment*, 586, 1316-1325.
- Organisation Agiro, (2023). Impacts de l'urbanisation sur l'eau, <https://agiro.org/apprendre/leau-expliquee/impacts-de-lurbanisation-sur-leau/>
- OMS, (2017). Directives de qualité pour l'eau de boisson: 4e éd. Intégrant le premier additif.
- Brindha, K., et Schneider, M., (2019). Impact of urbanization on groundwater quality. *GIS and geostatistical techniques for groundwater science*, 179-196.
- Singh, S., Singh, C., et Mukherjee, S., (2010). Impact of land-use and land-cover change on groundwater quality in the Lower Shivalik hills: a remote sensing and GIS based approach. *Open geosciences*, 2(2), 124-131.
- Carlson, M. A., Lohse, K. A., McIntosh, J. C., et McLain, J. E., (2011). Impacts of urbanization on groundwater quality and recharge in a semi-arid alluvial basin. *Journal of Hydrology*, 409(1-2), 196-211.
- Malki, M., Bouchaou, L., Hirich, A., Brahim, Y. A., et Choukr-Allah, R., (2017). Impact of agricultural practices on groundwater quality in intensive irrigated area of Chtouka Massa, Morocco. *Science of the Total Environment*, 574, 760-770.
- Ouyang, Y., Zhang, J. E., et Cui, L., (2014). Estimating impacts of land use on groundwater quality using trilinear analysis. *Environmental monitoring and assessment*, 186, 5353-5362.
- Huang, J., Zhan, J., Yan, H., Wu, F., et Deng, X., (2013). Evaluation of the impacts of land use on water quality: a case study in the Chaohu Lake Basin. *The Scientific World Journal*, 2013.
- Halwani, J., (2008, November). Assessment of the water situation in Lebanon. In *The 3rd International Conference on Water Resources, Arid Environments and the 1st Arab Water Forum*.
- Baalbaki, R., Ahmad, S. H., Kays, W., Talhouk, S. N., Saliba, N. A., et Al-Hindi, M., (2019). Citizen science in Lebanon-a case study for groundwater quality monitoring. *Royal Society open science*, 6(2), 181871. <https://doi.org/10.1098/rsos.181871>
- Dagher, L. A., Hassan, J., Kharroubi, S., Jaafar, H., et Kassem, I. I., (2021). Nationwide Assessment of Water Quality in Rivers across Lebanon by Quantifying Fecal Indicators Densities and Profiling Antibiotic Resistance of Escherichia coli. *Antibiotics (Basel, Switzerland)*, 10(7), 883. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10070883>
- Brainwood, M. A., Burgin, S., et Maheshwari, B., (2004). Temporal variations in water quality of farm dams: impacts of land use and water sources. *Agricultural Water Management*, 70(2), 151-175.
- FAO, (2019). Comprendre pour mieux gérer les ressources en eau, FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture - Bureau régional de la FAO pour l'Afrique, <http://www.fao.org/africa/news/detail-news/fr/c/1187380/>



- Ouattara, T., Dubois, J. M., et Gwyn, J., (2006). Méthodes de cartographie de l'occupation des terres en milieu aride à l'aide de données multi-sources et de l'indice de végétation TSAVI. Télédétection, 6(4), 291-304.
- Sarr, M. A., (2009). Cartographie des changements de l'occupation du sol entre 1990 et 2002 dans le nord du Sénégal (Ferlo) à partir des images Landsat. Cyberge: European Journal of Geography.

#### 4. Annexe

Annexe 1: Les statistiques quotidiennes du ministère de santé libanaise sur le choléra au Liban, l'exemple du 02/06/2023

