

GROUNDWATER POLLUTION RISK IN THE REGION OF BOUIRA (NORTH CENTER OF ALGERIA): ORIGIN AND CONSEQUENCES ON HEALTH

A. Rezig^{1,*}, S. Saggai¹, D. Baloul², S. Dahmani², M. Bouamria², H. Djafer Khodja²

¹Laboratoire de Génie de l'Eau et de l'Environnement en Milieu Saharien, Université Kasdi Merbah, Faculté des Sciences Appliquées, Département de Génie Civil et Hydraulique, 30000 Ouargla, Algérie

²Université Akli Mohand Oulhadj, Bouira, Algérie

Received: 15 July 2020 / Accepted: 13 September 2020 / Published online: 01 January 2021

ABSTRACT

Groundwater is often the preferred source for human consumption, irrigation and industry. In Algeria, many people count on well water for their drinking water supply and irrigation of agricultural lands; especially in rural areas, which is a strategic reserve of which quality must be assured. Groundwater protection requires the detection of origins of pollution and its consequences on the ecological system. The region of Bouira has seen water-borne diseases occurrence caused by groundwater pollution, which has led us to look for the origin of this problem. It is considered like a high-risk area because it has recorded a large number of Toxi-food collective, Viral Hepatitis A, typhoid fever and Choléra cases in 2018. The study carried out based on the potential risks to human health and the GIS for a period of eight years (from 2008 to 2015), has allowed us to the elaboration of water-borne disease mapping of the whole region and to find that the most affected municipalities are: Bouira, Sour El Ghozlene, Lakhdaria and Ain Bessem. The correlation between these diseases and the irrigated perimeters by wadis is very strong in this municipalities.

Keywords: Pollution; groundwater; Bouira; water-borne diseases; GIS; Algeria.

Author Correspondence, e-mail: amina22sba@yahoo.fr

doi: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v13i1.4>



1. INTRODUCTION

Les eaux souterraines sont considérées comme étant une source d'approvisionnement en eau grâce à leurs énormes capacités de stockage ainsi qu'à leur vulnérabilité à la pollution qui est relativement faible par rapport aux eaux de surface [1]. Leur rôle est plus important dans les pays en voie de développement à climat aride, puisque, souvent, elles constituent la seule source d'approvisionnement en eau potable ce qui est fondamental pour leur développement [2]. Elles sont devenues la seule source pour la consommation, l'agriculture et l'industrie locale dans les zones semi-arides, en raison de leurs quantités importantes et leur distribution dans la nature [3-4].

L'Algérie, à l'instar de l'ensemble des pays d'Afrique du nord, subit depuis quelques décennies une sécheresse persistante, c'est pour cette raison, qu'en matière de sécurité hydrique, la politique du pays s'est appuyée sur la protection des eaux souterraines afin d'éviter leur contamination [5] car la décontamination des nappes polluées est une opération onéreuse nécessitant beaucoup de temps et ne permettant pas par la suite de retrouver les propriétés initiales de ces eaux [6].

La protection de cette ressource devient, donc, primordiale pour éviter sa pollution qui peut engendrer de graves conséquences sur la santé publique et le développement économique d'un pays [7]. La pollution résulte essentiellement de l'activité humaine indépendamment de la détérioration naturelle liée aux facteurs géologiques [8] comme : l'agriculture, les déchets solides [9], l'extension des zones urbaines et l'industrialisation [10]. Elle a, également, été aggravée par l'utilisation excessive d'engrais [11] et l'exfiltration des eaux usées à partir des réseaux d'assainissement défectueux dans le milieu urbain [12,13].

La détermination des impacts potentiels des polluants dans l'étude de l'évaluation des risques de pollution des eaux souterraines est indispensable pour établir les stratégies de gestion et de protection [10]. Des études récentes montrent que les effluents insuffisamment traités conduisent à la pollution des eaux souterraines comme dans le cas de royaume uni [14], la Malaisie [15], la Pologne [16]. Les mêmes résultats ont été prouvés par des études menées en Algérie [17,18].

Dans cette étude nous nous intéressons aux origines et aux conséquences de cette pollution

qui touche l'être humain et abordons cette problématique dans la région de Bouira qui a connu l'écllosion de multiples foyers de maladies à transmission hydrique et qui est considérée comme étant une zone à haut risque épidémiologique [19]. Ces maladies qui sont étroitement liées à la contamination des eaux de boisson [20] tuent des millions de personnes chaque année [21]. Selon l'OMS près de deux millions de morts enregistrés dans le monde suite aux maladies hydriques [22]. Le Choléra par exemple a marqué son apparition à Bouira avec trois cas confirmés par les services du Ministère de la santé algérien durant la période allant du 07 au 31 août 2018 [23] et 03 cas d'hépatite virale A dans la commune de Ain Bessem en décembre 2019 selon la direction de la santé et de la population de la wilaya de Bouira. C'est dans cette optique que s'intègre ce travail, visant à réunir toutes les données relatives aux maladies à transmission hydrique qui ont touché la région telles que : le Choléra (Ch), la Fièvre Typhoïde (FT), les Hépatites Virales (HVA) et les Toxi-infections Alimentaires Collectives (TIAC) sur une période de huit ans allant du 1er janvier 2008 jusqu'au 31 décembre 2015 pour pouvoir dresser des cartes de répartition de ces maladies sur toute la région à l'aide d'un système d'information géographique SIG, qui présente des techniques en interpolation spatiale et contribue dans la gestion des données [24]. Cela permet de faire une corrélation entre elles et l'irrigation des périmètres agricoles par les oueds déjà contaminés par les rejets des stations d'épuration afin de découvrir l'origine de la pollution des eaux souterraines qui provoque l'apparition de ces maladies.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation de la région d'étude

La région de Bouira, est située dans le centre nord de l'Algérie, elle s'étend sur une superficie de 4 456,26 km², elle représente 0,19 % du territoire national et est divisé en 12 daïras et 45 communes et sa population compte 820 050 habitants.

Elle comporte trois sous bassins versants regroupés dans un seul appelé Bassin versant du Sahel qui appartient au grand sous bassin de la Soummam qui porte le numéro 15 selon la nomenclature de l'ANRH [25]. C'est une zone à climat semi-aride froid et pluvieux en hiver, chaud et sec en été.

La wilaya dispose de cinq (05) nappes, à savoir : la nappe alluviale Isser avec une capacité de 8 hm³, nappe El Madjen et Bouira avec 25 hm³, nappe des Arribs avec 2,5 hm³, Nappe d'El Asnam avec 5 hm³ et enfin la nappe alluviale vallée Sahel qui a une capacité de 8 hm³. Les eaux souterraines de la wilaya de Bouira sont estimées à 48,5 Hm³ et est sont utilisées pour l'AEP, l'industrie et l'irrigation (DRE Bouira).

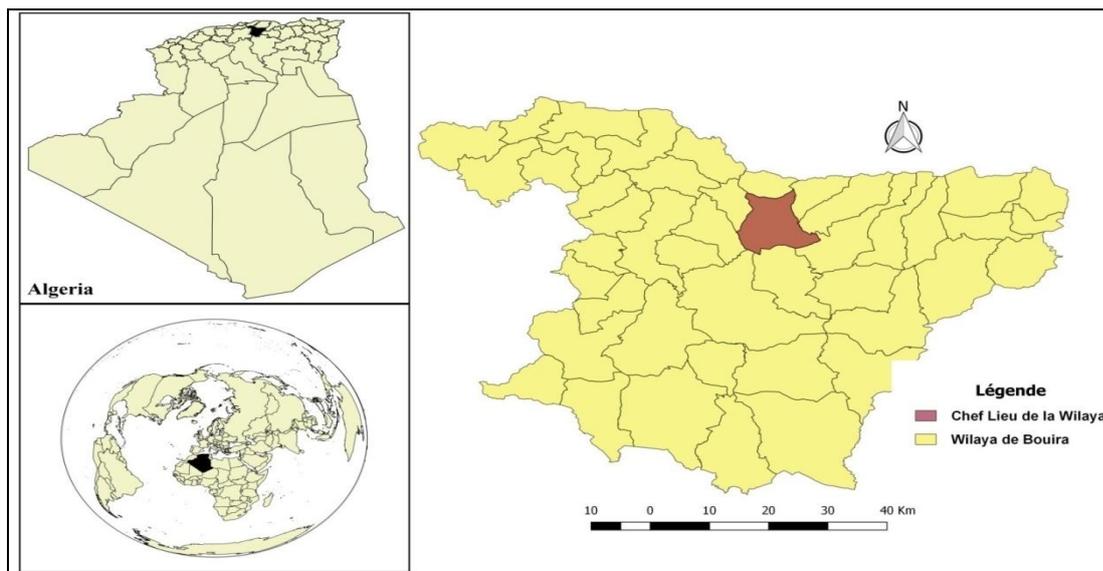


Fig.1. Localisation géographique de la wilaya de Bouira

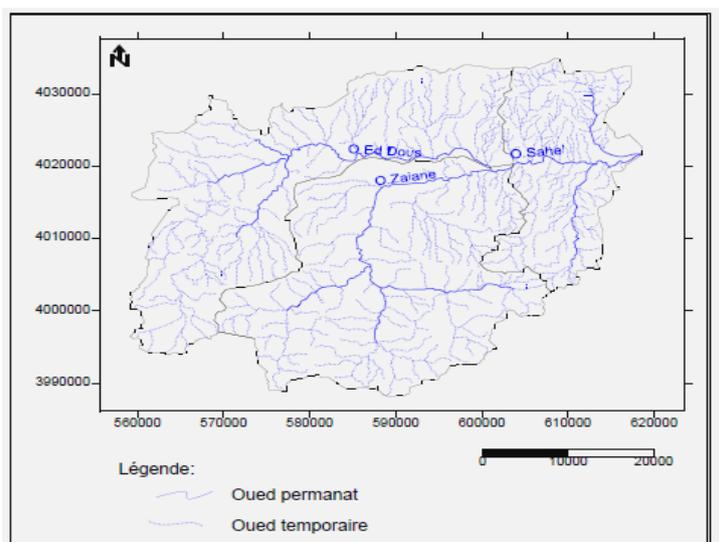


Fig.2. Réseaux hydrographiques de la wilaya de Bouira

2.2. Méthodologie de travail

Les données utilisées dans cette étude sont les statistiques des maladies à transmission hydrique (MTH) telles que : le Choléra, la Fièvre Typhoïde (FT), les Hépatites Virales (HVA) et les Toxi-infections Alimentaires Collectives (TIAC) ; qui ont été recueillies auprès de la Direction de la Santé et de la Population de la wilaya de Bouira (DSP) malgré que la quantification exacte de ces maladies reste très difficile [26], quant aux données des points de prélèvement (source, forage, puits) au niveau de la région de Bouira ,celles-ci ont été réunies, respectivement, auprès de la Direction des Ressources en Eaux (DRE) et l'Algérienne des eaux (ADE) de la même région.

Selon la DSP, près de 70% des points de prélèvement (87 forages, 890 puits et 218 sources) qui représentent l'eau souterraine dans la région de Bouira sont contaminés, contrairement à l'eau potable distribuée par les réseaux d'AEP qui est de bonne qualité bactériologique et donc non responsable de ces épidémies. La pollution des puits représente 62.03%, suivie de la pollution des sources avec 60.81% [27].

Le traitement spatio-temporel des données des maladies citées supra dans la région de Bouira nécessite un logiciel de conception des systèmes d'informations géographiques. Dans cette étude nous avons opté pour le QGIS (Version 2.18) qui dispose de fonctionnalités performantes permettant de créer des entités géométriques représentant, dans notre cas, les maladies à transmission hydrique qui sont reliées à leur description exhaustive et ce lien se fait au moyen d'un identifiant interne.

Selon la direction de la Santé et de la Population de la wilaya de Bouira (DSP), les cas enregistrés des MTH sont présentés dans le tableau I, ci-dessous. Durant la période allant de 2008 à 2015, la région de Bouira a enregistré 1328 cas de Toxi-Infections-Alimentaire Collectives (TIAC) ,804 cas d'Hépatite Virale A (HVA), 26 cas de Fièvre Typhoïde (FT) mais aucun cas de Choléra n'est enregistré par les services de la DSP. C'est pour cette raison que les données traitées par la suite concerneront uniquement la Fièvre Typhoïde (FT), les Hépatites Virales (HVA) et les Toxi-infections Alimentaires Collectives (TIAC).

Tableau 1. Maladies à transmission hydriques recensées entre 2008 et 2015 à Bouira

Année		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Nombre de cas de maladies enregistrées	Toxi-infections-Alimentaire Collectives (TIAC)	173	283	319	49	134	57	201	112
	Hépatite Virale A (HVA)	74	54	446	41	53	57	59	20
	Fièvre Typhoïde (FT)	20	1	2	0	1	0	1	1
	Choléra	0	0	0	0	0	0	0	0

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Cas des MTH enregistrés dans la région de Bouira entre 2008 et 2015

D'après la figure 3, il est constaté que les Toxi-infections-Alimentaires Collectives (TIAC) et l'Hépatite Virale A (HVA) sont les plus relevées dans cette région. Il est à noter que les cas de la Fièvre Typhoïde (FT) qui étaient au nombre de 20 en 2008 ont pratiquement disparu au cours des années subséquentes mais aucun cas de choléra n'a été enregistré durant la période 2008-2015.

3.1.1. Répartition spatio-temporelle des Toxi-infections-Alimentaire Collectives (TIAC)

Les TAC ont tendance à augmenter ou baisser tout le long de la période d'étude atteignant leur maximum en 2010 avec 319 cas et leur minimum en 2011 avec 49 cas (tab.1).

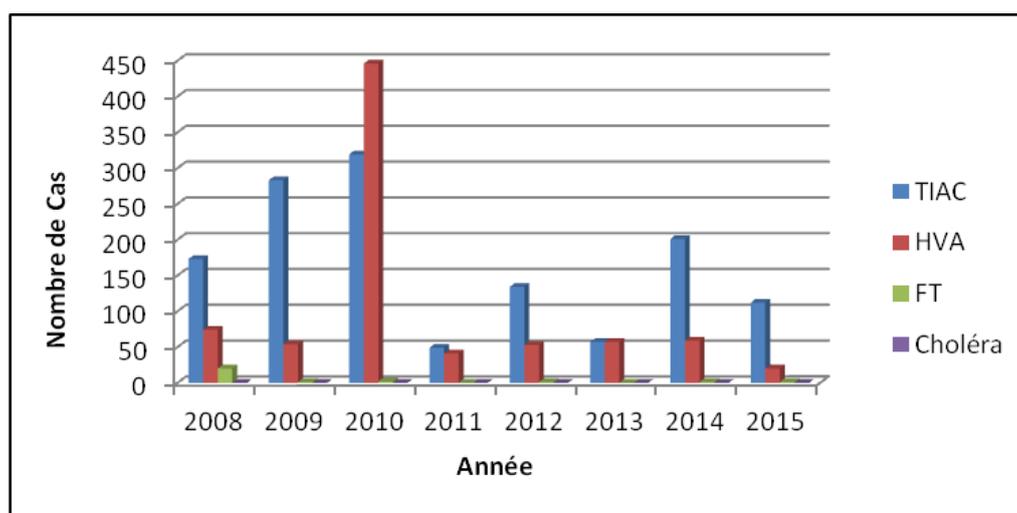


Fig .3. Evolution des MTH dans la région de Bouira entre 2008 et 2015

Les communes : Bouira, Ait Laaziz, Ain Bessem, Aghbalou, Sour El Ghozlene, Lakhdaria,

Boukram, et Aomar ont enregistré le plus grand nombre de cas des TIAC durant cette période (fig.4).

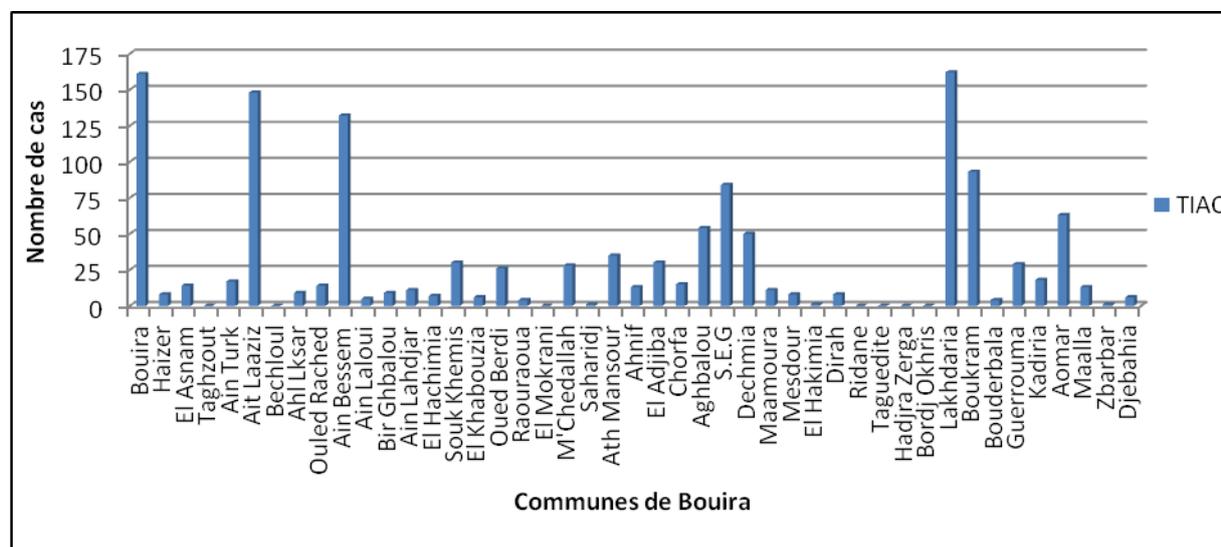


Fig.4. Répartition communale des cas de TIAC dans la région de Bouira entre 2008 et 2015

La carte de répartition spatiale des cas des TIAC enregistrés dans la région de Bouira entre 2008 et 2015 établie à l'aide du logiciel QGIS montre clairement ces communes (fig.5).

3.1.2 Répartition spatio-temporelle de l'Hépatite Virale A (HVA)

Parmi les maladies à transmission hydrique les plus fréquentes en Algérie ces dernières années on trouve l'Hypatie Virale A [28]. La localisation des HVA dans la région de Bouira est marquée beaucoup plus à Sour El Ghozlene, Lakhdaria et Bouira ville avec plus de 50 cas durant cette période ; les autres communes ont enregistré de faibles nombres (fig.6). C'est une maladie qui a diminué au fil du temps jusqu'à arriver à 20 cas en 2015

Nous remarquons ainsi que cette maladie a persisté durant la période de notre étude et a marqué son pic en 2010 avec 446 dont 386 cas concernant uniquement à Sour El Ghozlene à cause de l'épidémie qui a touché les habitants de la commune au mois d'août après qu'ils aient consommé l'eau d'un puits réalisé par les fidèles de la mosquée El Rahma située à l'Est de la même commune.

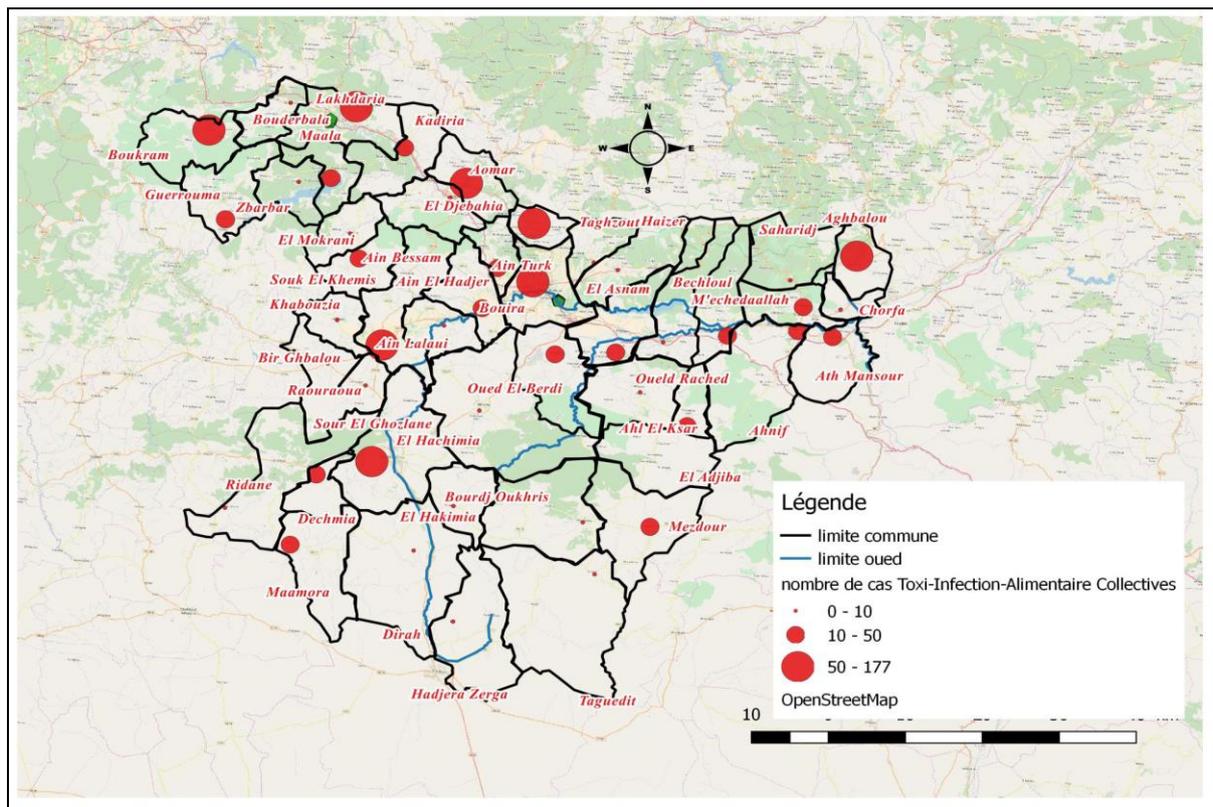


Fig.5. Répartition spatiale des TIAC dans la région de Bouira entre 2008 et 2015

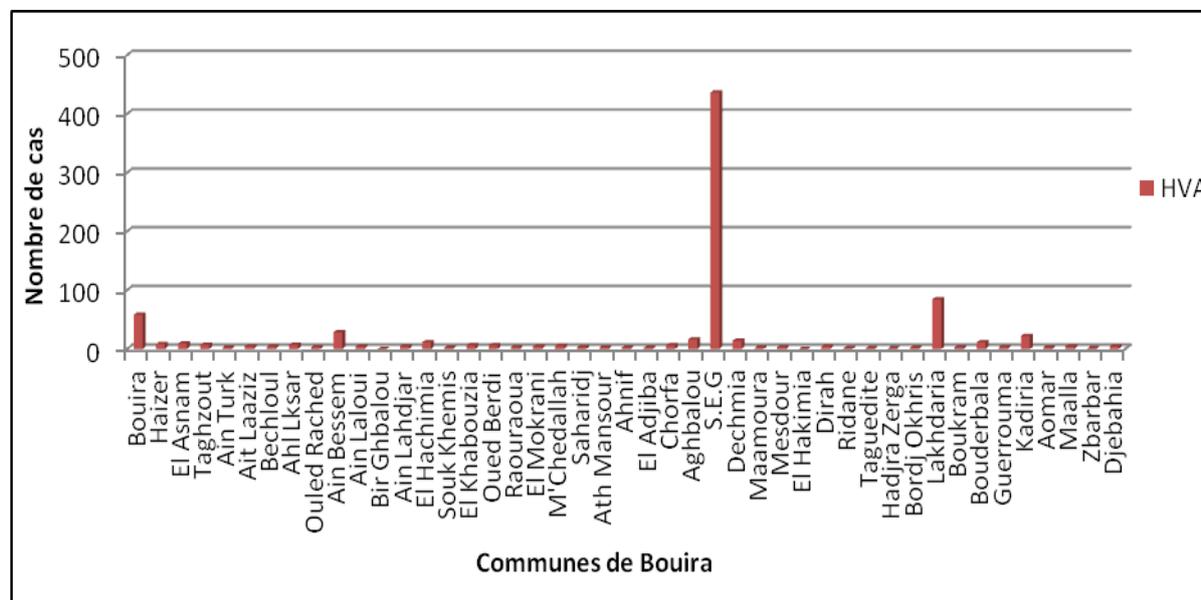


Fig.6. Répartition communale des cas de HVA dans la région de Bouira entre 2008 et 2015

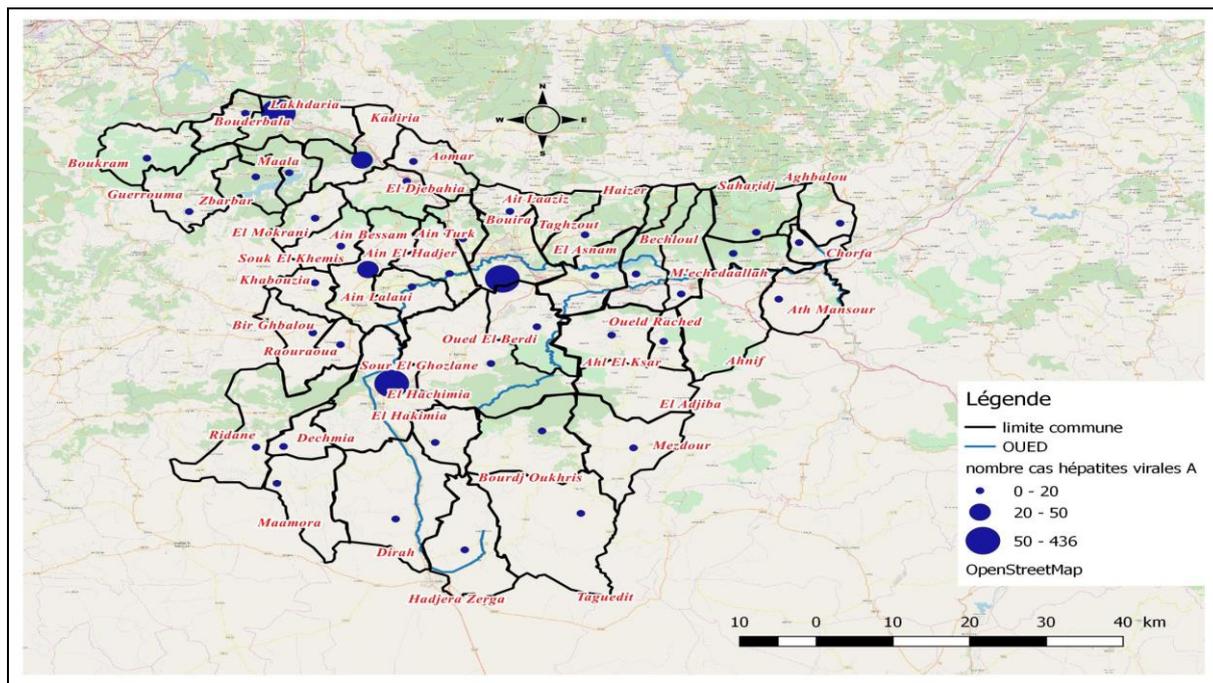


Fig.7. Répartition spatiale des HVA dans la région de Bouira entre 2008 et 2015

3.1.3 Répartition spatio-temporelle de la Fièvre Typhoïde (FT)

La Fièvre Typhoïde est la maladie qui a marqué de faibles cas dans cette région par rapport aux autres avec 26 cas tout le long de cette période, sachant que les communes les plus touchées sont : Bouira et Sour El Ghazlane avec 4 cas enregistrés (fig.8).

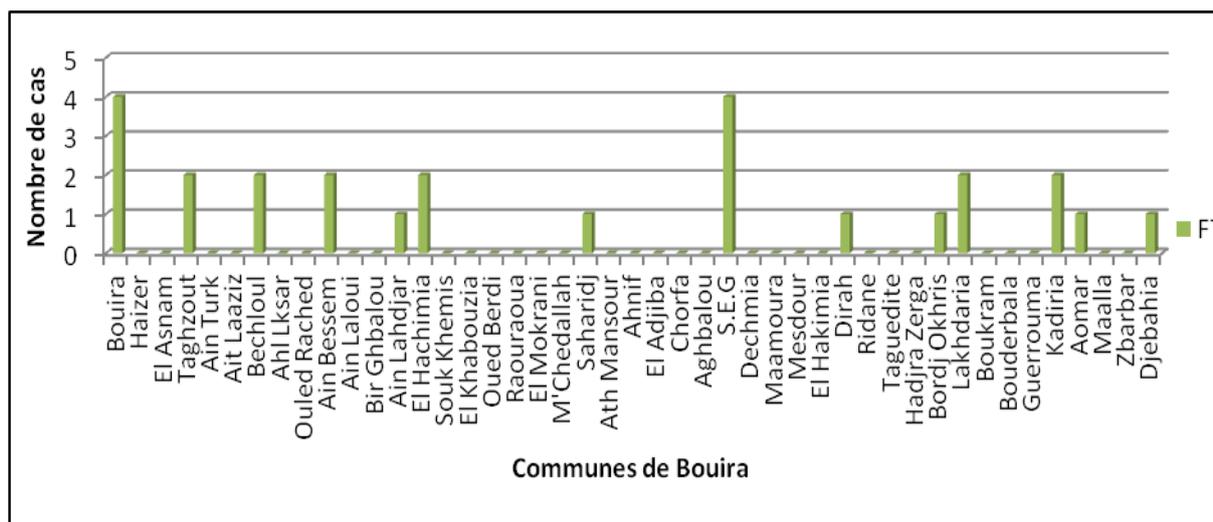


Fig.8. Répartition communale des cas de FT dans la région de Bouira entre 2008 et 2015

Le pic de cette maladie avait été atteint en 2008 avec 20 cas et le nombre des cas a ensuite diminué jusqu'à avoir un seul en 2015.

Les autres communes comme : Taghzout, Ain Bessem, Bechloul, El Hachimia, Kadiria et Lakhdaria ont enregistré 2 cas chacune par contre Ain Lahdjar, Saharidj, Dirah, Bordj Okhris, Aomar et Djebahia ont enregistré un seul cas uniquement. Les autres communes n'ont enregistré aucun cas durant cette période (fig.9).

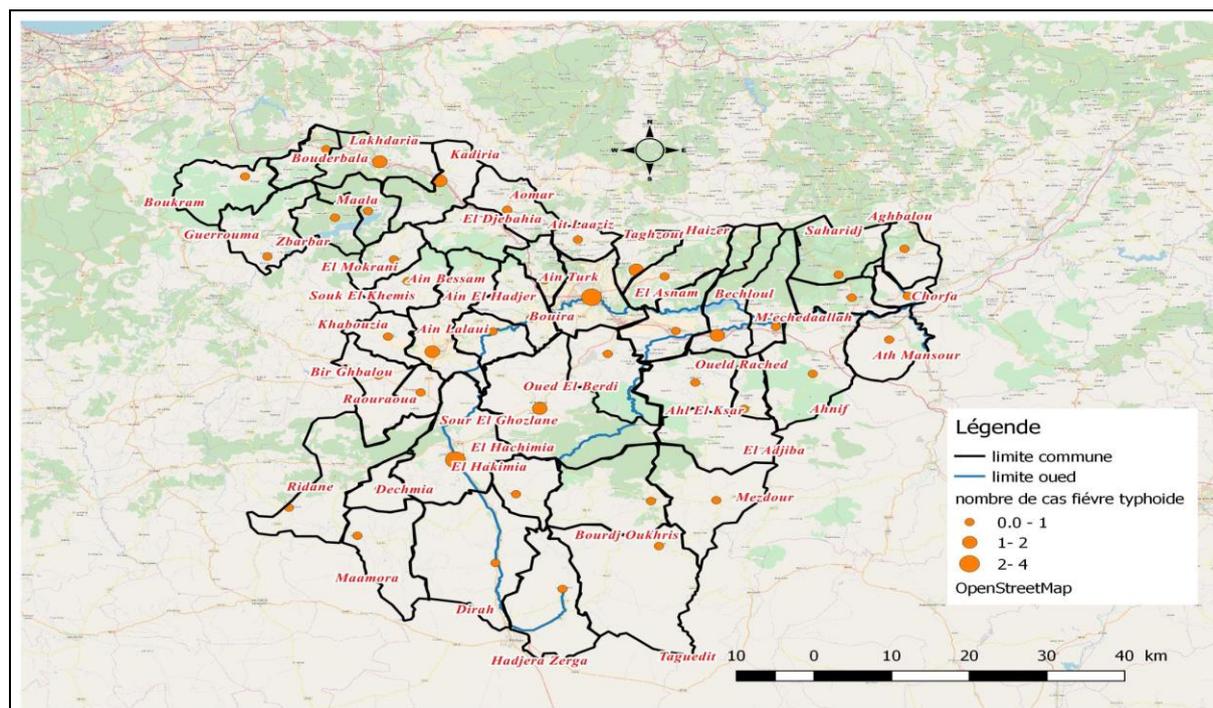


Fig.9. Répartition spatiale des cas de FT dans la région de Bouira entre 2008 et 2015

3.1.4. Répartition spatio-temporelle des maladies TIAC, HVA et FT dans la région de Bouira entre 2008 et 2015

La répartition spatio-temporelle des maladies TIAC, HVA et FT dans la région Bouira durant la période 2008 à 2015 (fig.10), a montré que les communes : Bouira, Lakhdaria, Sour El Ghozlane et Ain Bessem sont les plus touchées par ces maladies sachant qu'elles ont une forte population dépassant les 50 000 habitants chacune par rapport aux autres communes de cette région.

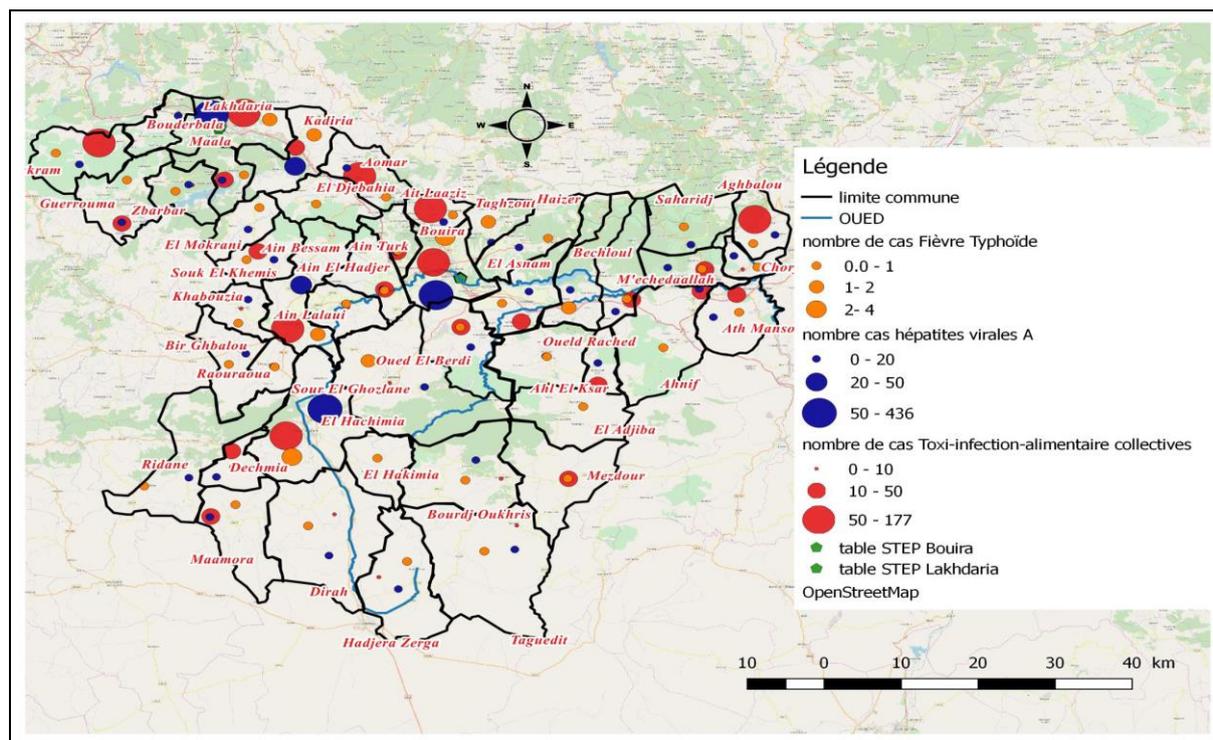


Fig.10. Communes touchées par les maladies TIAC, HVA, FT dans la région de Bouira durant la période 2008 à 2015

3.2. Corrélation entre les maladies TIAC, HVA, FT et l'irrigation par les oueds

Les communes les plus touchées par les TIAC, HVA et FT sont situées au nord centre et à l'ouest de la région (fig.10) telles que : Bouira, Sour El Ghozlene, Lakhdaria et Ain Bessem qui sont à vocation agricole souvent irriguées par les oueds, contrairement aux communes qui n'utilisent pas ce genre d'irrigation et qui sont situées dans le sud et l'est de notre zone d'étude où la répartition de ces maladies est faible. En plus de risque de pollution des eaux souterraines par l'irrigation avec le rejet des eaux résiduaire, ces eaux transportent également les engrais par infiltration vers les plans d'eaux souterrains [29,30].

La corrélation est très forte entre les périmètres irrigués par les oueds et les communes qui ont enregistré des taux élevés des maladies TIAC, HVA et FT (fig.11). Ces oueds présentent une qualité d'eau très dégradée et influe directement sur la qualité des eaux souterraines utilisées pour la consommation dans cette région, et puisque l'évaluation des risques de pollution est devenue un outil utile pour la gestion des eaux souterraines [31,32], les autorités

de la wilaya de Bouira luttent contre ces pratiques qui ont connu une diminution de 2704,5 ha de périmètres irrigués par les oueds en 2010 à 1430,75 ha en 2017 selon la DSA.

Il convient de rappeler qu'il existe trois stations d'épuration au niveau de notre zone d'étude qui se trouvent dans les communes les plus populaires à savoir : Bouira, Sour El Ghozlene et Lakhdaria où la concentration de DBO5 dans les rejets de ces stations vers les oueds dépasse les 68 mg/l alors qu'elle ne doit pas dépasser 35 mg/l selon les normes Algériennes [33]. Quant à la commune d'Ain Bessem dont la population dépasse les 50 000 habitants rejette ses eaux usées, sans traitement, directement vers l'oued, ce qui représente une menace pour la santé publique et l'environnement ; en effet, cette situation a provoqué, (selon la DSA de Bouira), trois cas confirmés d'hépatite virale A en décembre 2019. La pollution de l'eau souterraines menace donc la santé humaine et est principalement du à l'irrigation avec des eaux résiduaires et aux activités agricoles intenses [34].

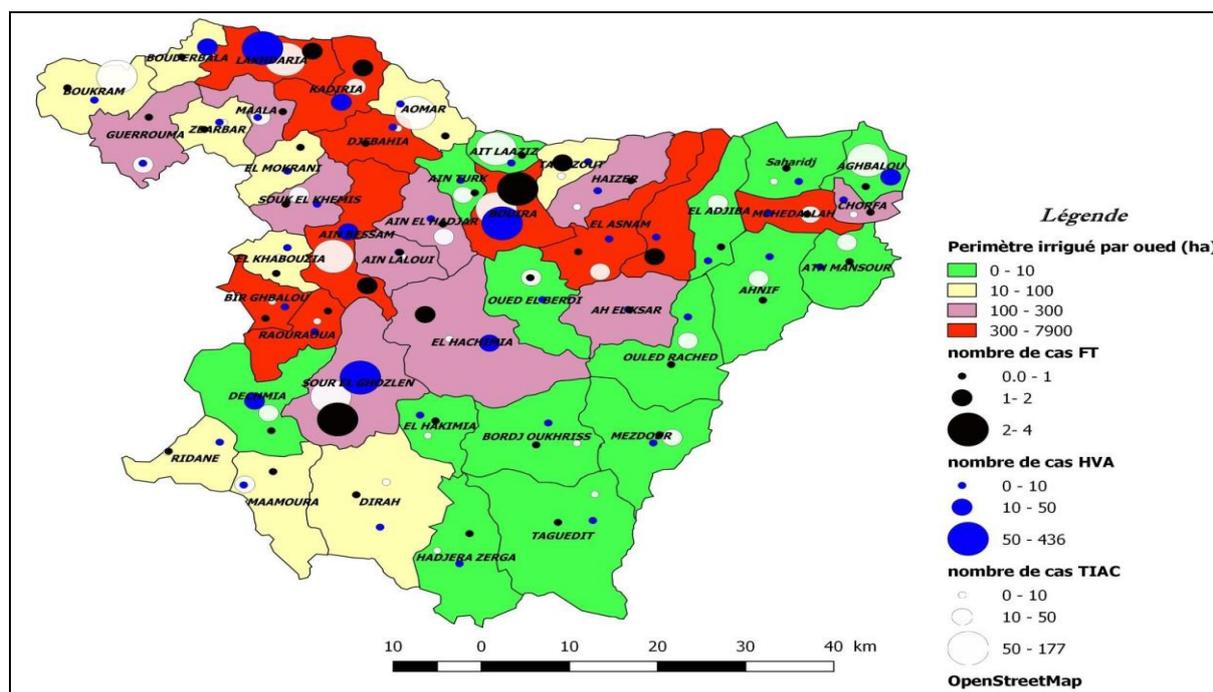


Fig.11. Corrélation entre les communes touchées par les maladies TIAC, HVA, FT et les périmètres irrigués par les oueds

4. CONCLUSION

Le présent travail porte, d'une part, sur les conséquences de la pollution des eaux souterraines dans la région de Bouira sur la santé qui se présente sous forme de maladies à transmission hydrique telles que les TIAC, HVA, FT et le choléra et d'autre part, la détermination de l'origine de cette pollution qui est l'irrigation des périmètres agricoles par les oueds ayant une qualité d'eau très dégradée. L'étude est fondée sur la situation épidémiologique de cette région sur une période de huit ans allant de 1^{er} janvier 2008 au 31 décembre 2015 et l'utilisation d'un système d'informations géographiques.

Ce travail a abouti aux constatations ci-après :

-la consommation des eaux souterraines, dans les communes citées supra, provoque les maladies TIAC, HVA et FT à cause de l'infiltration des eaux d'irrigation par les oueds dans les puits, sachant que celles-ci ont toutes des stations d'épuration qui rejettent les eaux non conformes à la réglementation Algérienne ($DBO_5 > 35\text{mg/l}$) sauf la commune d'Ain Bessem qui rejette ses eaux usées sans traitement directement vers l'oued.

-le risque des maladies TIAC, HVA et FT bien qu'ayant diminué au fil du temps persiste encore ;

-les communes les plus touchées par lesdites maladies sont celles les plus peuplées ayant plus de 50 000 habitants à savoir Bouira, Sour El Ghozlene, Lakhdaria et Ain Bessem ;

Dans ce contexte, il est recommandé :

-d'utiliser des galets de chlore dans les puits par les utilisateurs car ils sont plus efficaces que la brique poreuse qui a montré ses limites dans le traitement de l'eau ;

-d'effectuer un contrôle continu des périmètres irrigués par les autorités de la région ;

-de procéder à des analyses microbiologiques des eaux de consommation périodiquement (minimum deux fois par an) par un laboratoire accrédité ;

-de respecter les normes des rejets par les stations d'épuration.

5. REFERENCES

[1] Kumar S., Thirumalaivasan D., Radhakrishnan N. GIS based assessment of groundwater vulnerability using drastic model. Arabian Journal for Science and Engineering., 2014, 39(1): 207-216

-
- [2] Travi Y. Hydrogéologie et hydrochimie des aquifères du Sénégal. Hydrogéochimie du fluor dans les eaux souterraines. Persée-Portail des revues scientifiques en SHS., 1993, Vol. 95
- [3] Jianmin B., Yu W., Juan Z. Arsenic and fluorine in groundwater in western Jilin Province, China: occurrence and health risk assessment. *Natural Hazards.*, 2015, 77(3): p. 1903-1914
- [4] Huan H. Comprehensive assessment of groundwater pollution risk based on HVF model: A case study in Jilin City of northeast China. *Science of the Total Environment.*, 2018, 628: 1518-1530
- [5] Rouabhia A. Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El Ma El Abiod (Algérie). *Science et Changements Planétaires/Sécheresse.*, 2004, 15(4): 347-352
- [6] Albinet M., Margat J. Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. *Bull. BRGM, 2ème série.*, 1970, 3(4): 13-22
- [7] Adimalla N., Li P. Occurrence, health risks, and geochemical mechanisms of fluoride and nitrate in groundwater of the rock-dominant semi-arid region, Telangana State, India. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal.*, 2019, 25(1-2): 81-103
- [8] Allen L. DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological settings. Oklahoma: US Environmental Protection Agency., 1987, DC 455
- [9] Canter L.W. Nitrates in Groundwater. Lewis, Boca Raton, Florida., 1997, 49:6-7
- [10] Wang G. Non-point source pollution risks in a drinking water protection zone based on remote sensing data embedded within a nutrient budget model. *Water Research.*, 2019, 157: 238-246
- [11] Shrestha S., Semkuyu D.J., Pandey V.P. Assessment of groundwater vulnerability and risk to pollution in Kathmandu Valley, Nepal. *Science of the Total Environment.*, 2016, 556: 23-35
- [12] Rezig A., Dahmani S., Bounoua R. Approche sur une modélisation du débit d'exfiltration des eaux à partir du collecteur d'assainissement et leur impact sur le sol et les eaux

souterraines. 2nd International Conference on Water Resources (ICWR) Ouargla.,2019 ,Algérie

[13] De Bénédictis J., Bertrand-Krajewski J.L. Mesurage de l'exfiltration en réseau d'assainissement par traçage artificiel au NaCl. La Houille Blanche.,2005, (5): 26-34

[14] Fylypchuk V., Induchny S., Pearce P., Fylypchuk L.,Martynov S. Application of expanded polystyrene filter for tertiary treatment of domestic waste effluent in the UK. Journal of Water and Land Development., 2017. 35(1):41-47

[15] Shirazi S.M., Adham M.I., Zardari N.H., Ismail Z., Imran H.M., Mangrio M.A. Groundwater quality and hydrogeological characteristics of Malacca state in Malaysia. Journal of Water and Land Development., 2015. 24(1):11-19

[16] Smoroń S. Quality of shallow groundwater and manure effluents in a livestock farm. Journal of Water and Land Development.,2016. 29(1):59-66

[17] Zereg S., Boudoukha A., Benaabidate L. Impacts of natural conditions and anthropogenic activities on groundwater quality in Tebessa plain, Algeria. Sustainable Environment Research., 2018. 28(6): 340-349

[18] Kendouci M.A., Kharroubi B., Mebarki S., Bendida A. Physicochemical quality of groundwater and pollution risk in arid areas: the case of Algerian Sahara. Arabian Journal of Geosciences.,2016. 9(2): 146

[19] Rezig A., Baloul D., Dahmani S., Bouamria M., Djadi M., Djafer Khodja H., Saggai S., 2019. Groundwater pollution in Bouira (Algeria): concept and impact on human health. International Conference on Sustainable Water Treatment Technologies and Environment SUST_WATER, UDES, Algeria

[20] Hasan M.K., Shahriar A., Jim K.U. Water pollution in Bangladesh and its impact on public health. Heliyon., 2019, 5(8): e02145

[21] Kibria G. Monitoring of metal pollution in waterways across Bangladesh and ecological and public health implications of pollution., 2016, Chemosphere, 165: 1-9

[22] Organization Mondiale de la Santé., 2008.- Rapport mondial sur le paludisme du 26 juin 2008. New York ., 2008

-
- [23] Institut Pasteur Algerie., 2018.- Bilan de la situation épidémiologique en Algérie du 05/09/2018
- [24] Abdennour M.A., Douaoui B.A. Contribution de la géostatistique multiparamétrique pour la cartographie de l'aptitude des eaux souterraines à l'irrigation (cas du moyen cheliff occidental). Algerian Journal of Arid Environment.,2018, Vol. 8, n°1: 104-114
- [25] Zougaghe f., Tafer m., Mouni l. Effet du climat sur les peuplements aquatiques dans le bassin versant de la Soummam (Nord de l'Algérie). International Journal for Environment & Global Climate Change.,2015 , vol 3 : (issue 2)
- [26] Cissé G. Food-borne and water-borne diseases under climate change in low-and middle-income countries: Further efforts needed for reducing environmental health exposure risks. Acta tropica.,2019, (194) :181-188
- [27] Direction de la santé et de la population de Bouira., 2016.- Archives des analyses bactériologiques des eaux souterraines durant la période (2008-2015), 2016
- [28] Kherifi W., Bekiri F. Les maladies à transmission hydrique en Algérie. Journal Algérien des Régions Arides., 2017.(14)
- [29] Gao L., Wang Z., Shan J., Chen J., Tang C., Yi M., Zhao X. Distribution characteristics and sources of trace metals in sediment cores from a trans-boundary watercourse: An example from the Shima River, Pearl River Delta. Ecotoxicology and environmental safety., 2016.(134):186-195
- [30] Dippong T., Mihali C., Hoaghia M.A.,Cical E., Cosma A. Chemical modeling of groundwater quality in the aquifer of Seini town–Someș Plain, Northwestern Romania. Ecotoxicology and environmental safety., 2019 (168) p. 88-101
- [31] Aven T.Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. European Journal of Operational Research.,2016. 253(1):1-13
- [32] Massone H.E., Barilari A. Groundwater pollution: a discussion about vulnerability, hazard and risk assessment. Hydrogeology Journal.,2020.28(2): 463-466
- [33] Décret exécutif n°06-141 du 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels - Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et populaire

[34] Shah H.A., Sheraz M., Khan A.U., Khan F.A., Shah L.A., Khan J., Khan A., Khan Z. Surface and Groundwater Pollution:The Invisible, Creeping Threat to Human Health. *Civil and Environmental Engineering.*,2020.1(16) :157-169

How to cite this article:

Rezig A, Saggai S, Baloul D, Dahmani S, Bouamria M, Djafer khodja H. Groundwater pollution risk in the region of bouira (north center of Algeria): origin and consequences on health. *J. Fundam. Appl. Sci.*, 2021, 13(1), 58-74.