

ETUDE DU POTENTIEL DE CONTAMINATION DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE DE LA REGION DE OUARGLA (SAHARA SEPTENTRIONAL EST ALGERIEN)

SLIMANI Rabia^{1*}, GUENDOZ Abdelhamid²

⁽¹⁾Université de Ouargla, Faculté des sciences de la nature et de la vie

Laboratoire. Biogéochimie des Milieux Désertiques, Ouargla 30 000, Algérie

⁽²⁾ Université de Blida, Département de Génie Rural, Route de Soumaâ, Blida, Algérie

E-mail: slm_rabia@yahoo.fr

Résumé.- La cuvette d'Ouargla (Sud Est d'Algérie), souffre actuellement de dégradation d'origine naturelle et anthropique des eaux de la nappe phréatique. Ce travail a été réalisé dans le but d'étudier la vulnérabilité et les risques de contamination de cette nappe grâce aux paramètres chimiques et cartographiques. L'étude hydro-chimique a montré que les eaux de la nappe phréatique présentent un faciès chimique dominant chloruré sodique et sulfaté sodique. La température des eaux varie entre 17,2°C et 29,4°C, le pH varie de 6,33 à 9,16 et la conductivité électrique oscille entre 1,91 et 263 dS.m⁻¹. Ces résultats traduisent une forte minéralisation des eaux de la région. Les résultats obtenus des indices de pollution organique (IPO) et indice de contamination (IC) montrent, une pollution organique qui touche plus de 64 % des points de mesures et une pollution minérale de 73 %. Le degré de vulnérabilité enregistré augmente de l'amont vers l'aval de la cuvette selon le sens d'écoulement de la nappe l'un vers le Nord (Sebkhet Safioune) et l'autre vers l'Ouest (Sebkhet Bamendil).

Mots clefs : Pollution, eaux souterraines, vulnérabilité, risque, cartographie, Ouargla.

STUDY OF POTENTIAL FOR PHREATIC AQUIFER CONTAMINATION IN THE REGION OF OUARGLA (NORTHERN SAHARA, EAST ALGERIA).

Abstract.- Ouargla's basin (Southeast of Algeria), is currently suffering from natural and anthropogenic groundwater degradation. This work was carried out in order to study the vulnerability and risk of contamination through the aquifer mapping and chemical parameters. The hydro-chemical study showed that the waters of the aquifer have a chemical facies dominant sodium chloride and sodium sulfate. The water temperature varies between 17.2°C and 29.4°C, the pH ranges from 6.33 to 9.16 and the electrical conductivity oscillates between 1.91 and 263 dS.m⁻¹. These results reflect a strong mineralization of water in the region. The results obtained of the indices of organic pollution (IPO) and contamination index (CI) show an organic pollution that affects more than 64% of the measurement points and a mineral pollution of 73 %. The degree of vulnerability recorded increase from upstream to downstream of the basin in the direction of groundwater flow toward the north (Sebkhet Safioune) and the other to the West (Sebkhet Bamendil).

Key words: Pollution, groundwater, vulnerability, risk, cartography, Ouargla.

Introduction

L'agglomération de Ouargla à l'instar des autres grandes villes algériennes, connaît un problème de pollution de son écosystème: le rejet des eaux résiduaires dans le milieu sans traitement préalable a eu des actions néfastes sur la faune, la flore, le sol et les habitants [7, 11, 18].

Les nouvelles constructions dans la cuvette de Ouargla avec une mobilisation de plus en plus importante des eaux souterraines ont contribué significativement à perpétuer ce grand problème de dégradation de cet environnement immédiat [11, 18]. Les recherches s'orientent vers des études appropriées afin d'initier une stratégie de lutte contre la dégradation de cet environnement dit «fragile». Pour faire face à cette situation, des cartes de vulnérabilité et de risque à la pollution de la nappe phréatique ont été dressées dans le but d'identifier les indices de pollution et de cartographie des zones vulnérables.

1.- Matériel et méthodes

1.1.- Site d'étude

La zone étudiée fait partie du Bas-Sahara algérien, elle correspond à une grande dépression d'une superficie d'environ 750 km². La cuvette s'étend entre les longitudes 5° 10' et 5° 35' Est et les latitudes 31° 50' et 32° 27' Nord. Elle est située dans le lit quaternaire de la basse vallée fossile de l'oued M'ya qui draine le versant Nord du plateau de Tadmaït et se termine à sebkhat Safioune à 20 km au Nord de Ouargla [9, 14, 20] (fig. 1). Le substrat géologique est constitué de grès du Miopliocène [6, 10]. La zone d'étude est caractérisée par un climat désertique, les précipitations sont irrégulières avec une moyenne interannuelle de l'ordre de 43.6 mm [13]. Bien que les conditions climatiques soient sévères dans la zone d'étude, il existe un immense réservoir souterrain: Continental Intercalaire (CI), Complexe Terminal (CT) et une nappe phréatique peu exploitée à cause de sa forte salinité [14, 20].

1.2.- Echantillonnage et analyses

Sur le plan méthodologique, une campagne de terrain a été réalisée en novembre 2012 en période des hautes eaux et qui touchera 68 piézomètres opérationnels (figure 1). Le prélèvement dans la zone non saturée du sol s'est fait à l'aide d'un échantillonneur manuel suivant des profils verticaux entre la surface du sol et la nappe.

Les paramètres physico-chimiques de l'eau (Température, conductivité électrique, pH et salinité) sont mesurés *in situ* au moyen d'un multi-paramètre. Au laboratoire, les éléments chimiques (SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ et PO_4^-), ont été analysés par un spectrophotomètre. Le Na^+ et K^+ sont analysés par le spectrophotomètre à flamme. Le Cl^- et le Mg^{2+} ont été dosés par titrimétrie. La DBO_5 est mesurée par la méthode OXITOP [1, 21, 22].

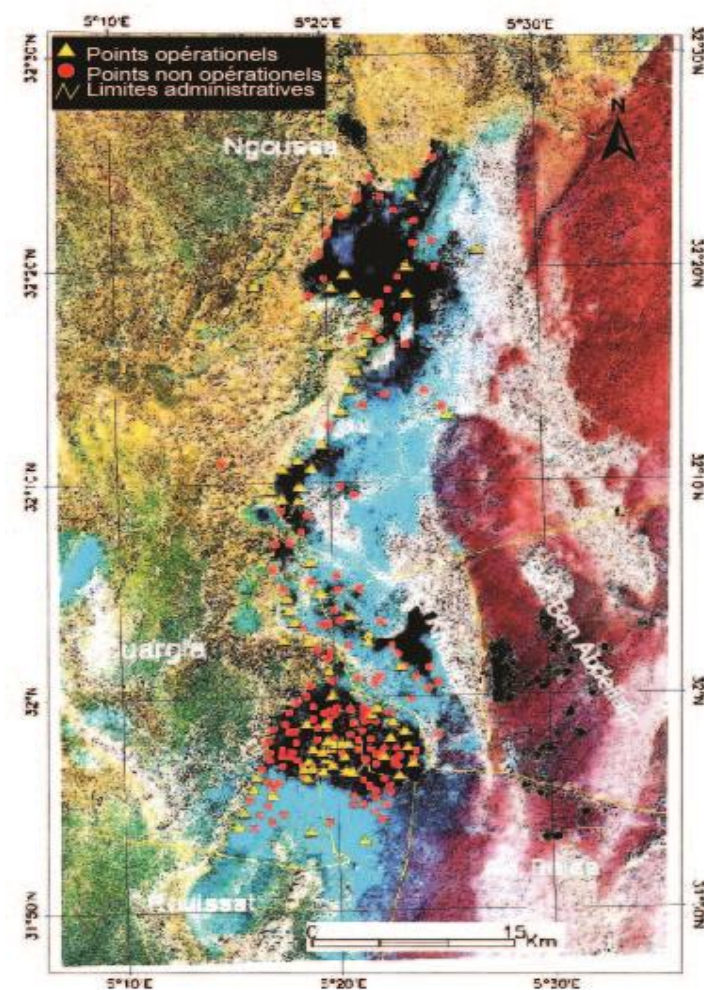


Figure 1.- Cadre de localisation de la zone d'étude et les points d'échantillonnage (EARTHSAT, 2005)

1.3.- Méthodes de calcul

Indice de pollution organique (IPO)

L'indice de pollution organique (IPO) se calcule selon la méthode de LECLERCQ et MAQUET (1987), dont le principe est de répartir les valeurs des éléments polluants en 05 classes (tab. I) et de déterminer à partir de ces propres mesures le numéro de classe correspondant pour chaque paramètre pour en faire la moyenne [2, 5, 12, 15, 16, 17, 23].

Tableau I.- Classes de l'indice de pollution organique d'IPO

5,0 à 4,6	pollution organique très faible	code couleur bleu
4,5 à 4,0	pollution organique faible	code couleur vert
3,9 à 3,0	pollution organique modérée	code couleur jaune
2,9 à 2,0	pollution organique forte	code couleur rouge
1,9 à 1,0	pollution organique très forte	code couleur brun

Indice de contamination (IC)

L'indice de contamination des eaux (IC) utilisant l'ensemble des éléments chimiques considérés comme étant d'origine anthropique.

$$IC = \sum [Na^+] + [SO_4^{2-}] + [Cl^-] + [NO_3^-].$$

En admettant des intervalles de classes en mg/l pour chaque élément [9, 10, 14, 15].

2.- Résultats et discussions

2.1.- Hydrochimie

Les températures des eaux de la nappe phréatique varient entre 17,2°C et 29,4°C. Il se remarque que les piézomètres dont les profondeurs sont inférieures à 5 m par rapport au niveau du sol sont plus influencés par les conditions climatiques. Ce qui correspond à l'ouverture du système aquifère, donc sa vulnérabilité vis-à-vis de la pollution est envisageable [4, 15, 16]. Il convient de souligner qu'une eau à une température située entre 25°C et 28°C constitue un bon milieu de culture pour les micro-organismes de l'environnement [3, 16, 24].

Les valeurs du pH varient entre 6,33 et 9,16, ces résultats sont comparables à ceux obtenus par SLIMANI () (6,9 < pH < 9,2) et HAMDI-AISSA (6,3 < pH < 9,5) [2 et 5]. Elles sont en général dans les normes de potabilité (6,5 > pH > 8,5 d'après OMS), sauf pour les piézomètres P163, P162, PL25 où le pH < 6.5 et le P117 avec un pH de 9,16.

La conductivité électrique des eaux de la nappe phréatiques varie entre 1,91 et 263 dS.m⁻¹. Ces résultats traduisent une forte minéralisation des eaux de la région d'après les normes ISO (tab. II). Les valeurs élevées de la conductivité (supérieures à 50 dS/m) sont localisées dans les sebkhas et les chotts, dans les régions basses où la nappe est peu profonde (l'exutoire naturel de toutes les eaux naturelles et résiduaires) où l'évaporation

est importante. La plus faible conductivité électrique est mesurée au P433 sur le flanc de la vallée de l'oued N'Sa au Nord de la Sebkhet Safioune avec une conductivité de 1,91 dS/m.

Tableau II.- Évaluation de la salinité des eaux de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla selon la norme internationale ISO 11265:1994 [8, 10]

CE	Salinité	Points
< 2,5 dS/m	non salin	P433 et P059
2,5 à 5 dS/m	légèrement salin	P40, PLX3, PLX4, P058, LTPS2, P054, PL15
5 à 10 dS/m	Salin	PL31, P117, P416, PL13, PL25, P116, P430, PL10, P057, PL28, PL41, P056, P419, PL17
10 à 20 dS/m	très salin	P413, PL03, PL32, P408, PL30, P119, P550, P506, PLSN1, PL21, P566, P006
> 20 dS/m	excessivement	pour tous les points restants

Les résultats des analyses des eaux montrent un faciès chimique chloruré-sodique et sulfaté sodique géologiquement logé dans des niveaux quaternaires sableux [7, 10, 18].

Les teneurs en chlorure et sodium atteignent 5457,2 meq.l⁻¹ et 3286,6 meq.l⁻¹ respectivement. Les sulfates atteignent des concentrations de l'ordre de 713,11 meq.l⁻¹. Le faciès géochimique est contrôlé par les minéraux évaporitiques de la série de halite, gypse, mirabilite, etc... [10].

2.2.- Etude de la vulnérabilité du système à la pollution

La combinaison des cartes de divers paramètres (critères de vulnérabilité), a été réalisée à l'aide du logiciel Surfer.

L'analyse des différents paramètres de pollution et leur combinaison ont abouti à l'évaluation de l'Indice de Pollution Organique (IPO) et de l'Indice de Contamination (IC) [2, 5, 15, 17, 23].

2.2.1.- La vulnérabilité à la pollution organique

Les éléments retenus pour le calcul de l'indice de pollution organique (IPO) sont la demande biologique en oxygène, l'ammoniaque, les nitrites, les nitrates et l'ortho-phosphates (tab. III). Les résultats obtenus montrent que les valeurs d'IPO oscillent entre 1,75 et 4,25 (fig. 2).

Tableau III.- Répartition des valeurs des éléments polluants [2, 15].

Paramètres Classes	DBO ₅	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻³
1	> 15	> 6	> 150	> 900
2	10,1 – 15	2,5 – 6,0	51 – 150	251 – 900
3	5,1 – 10	1 – 2,4	11 – 50	76 – 250
4	2 – 5	0,1 – 0,9	6 – 10	16 – 75
5	< 2	< 0,1	5	15

- Il est noté quatre niveaux de l'indice de pollution organique:
- Le niveau le plus faible où la valeur d'IPO est de 4.25, correspond au Nord de la cuvette (Hassi Chega);
 - Le niveau moyen où la pollution organique est modérée, correspond au Nord-Ouest et Sud-Est de la cuvette de Ouargla;
 - L'IPO entre 2 à 2,75, indique une pollution organique forte qui domine la majorité de l'espace de la cuvette;
 - Les régions de Sebket Safioune, El-Bour et Bamendil ont une pollution organique très forte. Plus de 64 % des eaux de la nappe phréatique sélectionnés dans le cadre de cette étude présentent une pollution organique forte à très forte.

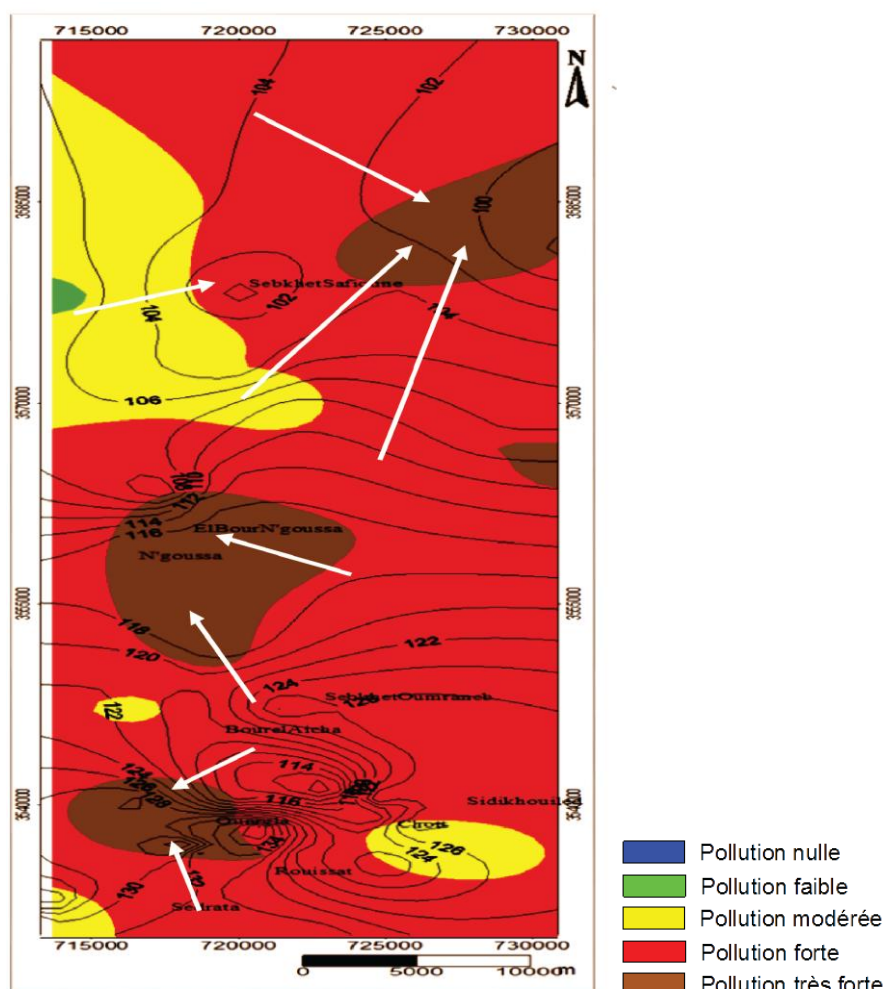


Figure 2.- Carte de répartition de l'indice de pollution organique (IPO) avec la profondeur et le sens d'écoulement de la nappe phréatique [19].

2.2.2. La vulnérabilité à la pollution minérale

Nous avons utilisé les éléments suivants pour calculer l'indice de contamination: le sodium, les chlorures, les sulfates et les nitrates (tab. IV).

Tableau IV.- Intervalle des classes pour les éléments de pollution [2, 15, 24].

Classes Paramètres	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Na ⁺	< 250	250–500	500–750	750–1000	>1000	/	/	/	/
SO ₄ ²⁻	< 250	250–500	500–750	750–1000	>1000	/	/	/	/
Cl ⁻	< 250	250–500	500–750	750–1000	>1000	/	/	/	/
NO ₃ ⁻	< 15	15–25	25–35	35–45	45–55	55–65	65–75	75–85	85–95

La carte de vulnérabilité (fig. 3) met en évidence trois zones selon le degré de pollution. La forte vulnérabilité (IC = 24) est observée en aval des écoulements à Sebkheth Safioune et à Sebkheth Bamendil, confirmant l'impact de drainage en ces endroits, où la perméabilité est importante. Ce qui peut être expliqué par deux phénomènes: l'un est naturel liée à la concentration des minéraux salins (Na⁺, Cl⁻, et SO₄²⁻) dans les exutoires naturels et qui suit le sens de l'écoulement de la nappe tel que confirmés par les travaux antérieurs [10, 11, 18]; l'autre est anthropique (NO₃⁻, SO₄²⁻) lié aux eaux usées (urbaines et agricoles) qui terminent dans les sebkhas et les chotts.

Les bordures Nord-Ouest de la cuvette de Ouargla montrent des faibles valeurs d'indice de contamination (IC = 7). Elles correspondent aux zones de parcours sans occupation anthropique et qui correspondent aussi aux points surélevés du paysage considérés comme zones d'alimentation de la nappe phréatique [18].

Conclusion

La région d'étude a plusieurs sources de pollution. Les résultats laissent apparaître :

- Une pollution organique exprimée par l'indice de pollution organique qui touche plus de 64% des points de mesures. Cette pollution est due principalement à l'action anthropique.
- Une pollution minérale où 73% des points analysés ont été classés à l'aide de l'indice de contamination comme points fortement pollués. Néanmoins, il faut noter que la pollution minérale est en partie d'origine naturelle notamment pour les SO₄²⁻, Cl⁻ et Na⁺ qui constituent les minéraux salins «salinisation primaire».

Le degré de vulnérabilité à la pollution augmente de l'amont vers l'aval (du Sud au Nord) de la cuvette, selon le sens d'écoulement de la nappe l'un vers le Nord (Sebkheth Safioune) et l'autre vers l'Ouest (Sebkheth Bamendil). Les zones à forte vulnérabilité sont enregistrées au niveau des exutoires naturels (Sebkha et Chott). Par ailleurs, l'évaluation quantitative du risque de contamination doit passer inéluctablement par l'élaboration des cartes encore plus précises qui décrivent les activités à la surface du sol.

Références bibliographiques

- [1].- Aller L., Bennett T., Lehr J. H., Petty R. J., Hackett G., 1987.- DRASTIC: a standardised system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. EPA, AdA, Oklahoma, 622 p.
- [2].- Amharref M., Assine S., Bernoussi A. et Haddouchi B., 2007.- Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines : application au cas de la plaine du Gharb. Revue des Sciences de l'Eau, 20 (2): 185-199.

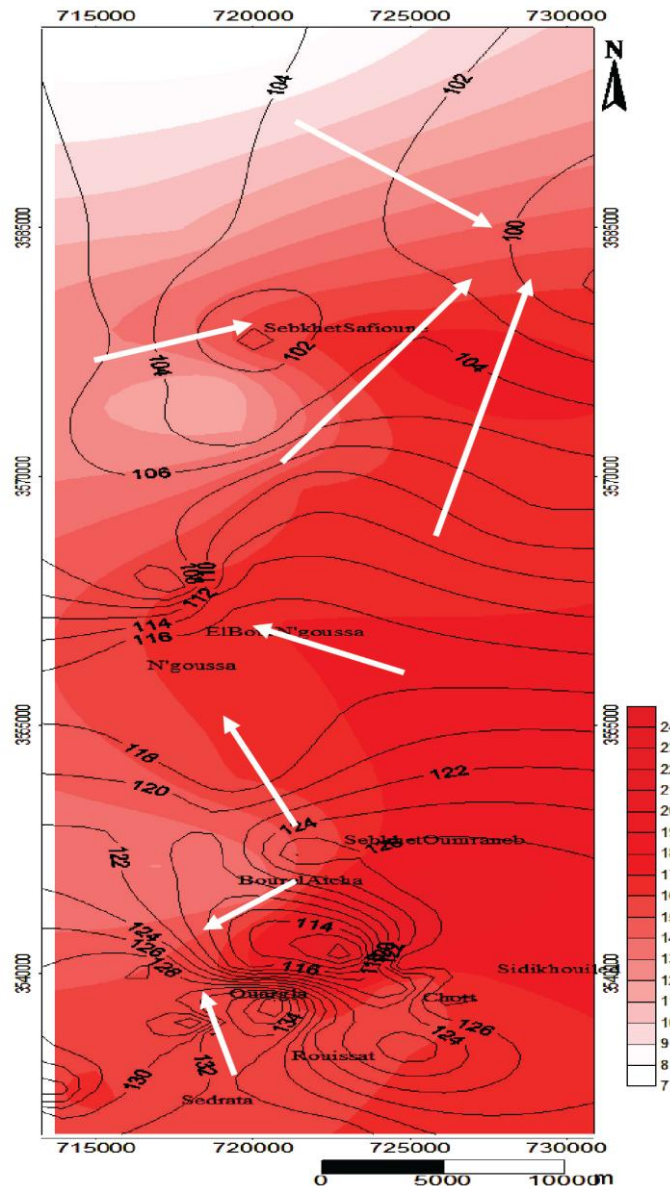


Figure 3.- Carte de répartition de l'indice de contamination (IC) avec la profondeur et le sens d'écoulement de la nappe phréatique [19].

- [3].- Babiker I. S., Mohamed M. A. A., Hiyama T., Kato K., 2005.- A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan. *Science of the Total Environment*, 345: 127-140.
- [4].- Babiker I. S., Mohamed M. A. A., Hiyama T., Kato, K., 2004.- Assessment of groundwater contamination by nitrate leaching from intensive vegetable cultivation using geographical information system. *Environment International*, 29: 1009-1017.
- [5].- Chitsazan M. et Akhtari Y., 2009.- A GIS-based DRASTIC Model for Assessing Aquifer Vulnerability in Kherran Plain, Khuzestan, Iran. *Water Resources Managemant*, 23:1137–1155.
- [6].- Cornet, A. and Gouscov, N., 1952.- Les eaux de Crétacé inférieur continental dans la

Sahara algérien (nappe dite "Albien") In "La géologie et les problèmes de l'eau en Algérie". 19^{ème} Congrès géologique international, T. II, 30 p.

- [7].- Daddi-Bouhoun M., Brinis L., Saker M. L., Cote M. et Rabier J., 2009.- Effects of hydro-edaphic environment on the rooting of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) Deglet Noor in the Ouargla Basin (south-east Algeria). *Ecologia Mediterranea*, 35: 41-48.
- [8].- Danielopol D., Griebler C., Gunatilaka A., et Notenboom J., 2003.- Present state and future prospect for groundwater ecosystems. *Environmental Conservation*, 30 (2): 0-27.
- [9].- Dubief, J. 1963.- Le climat du Sahara (the Sahara climate). Mém. Hors-série, Inst. Rech. Sah. Algérie, Tome 2, Algeries, 275 p.
- [10].- Hamdi-Aïssa, B., Valles V., Aventurier A., Ribolzi O., 2004.- Soils and brines geochemistry and mineralogy of hyper arid desert playa, Ouargla basin, Algerian Sahara. *Arid Land Research and Management*, (18): 103-126.
- [11].- Idder, T. 1998. La dégradation de l'environnement urbain liée aux excédents hydriques au Sahara Algérien. Impact des rejets d'origine agricole et urbaine et technique de remédiations proposées. L'exemple de Ouargla. Thèse Doct., Université d'Angers, 284p.
- [12].- Nguyet, V. T. M. and Goldscheider, N., 2006.- A simplified methodology for mapping groundwater vulnerability and contamination risk, and its first application in a tropical karst area, Vietnam. *Hydrogeology Journal*, 14: 1666–1675.
- [13].- ONM (Office National de Météorologie), 2012.- Bulletins mensuels de relevé des paramètres climatologiques en Algérie. Centre climatologique Ouargla, Algérie, 10 p.
- [14].- OSS (Observatoire du Sahara et du Sahel), 2003.- Système Aquifère du Sahara Septentrional. Rapport interne. Tunisie, 229p.
- [15].- Rashid, U., Izrar, A. and Fakhre A., 2009.- Mapping Groundwater Vulnerable Zones Using Modified DRASTIC Approach of an Alluvial Aquifer in Parts of Central Ganga Plain, Western Uttar Pradesh. *Journal geological society of india*, 73: 193-201.
- [16].- Rouabhia, A., Baali, F., Khreci, N., Djabri, L., 2004.- Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El Ma El Abiod (Algérie). *Sècheresse*; 15 (4): 347-52.
- [17].- Sinan, M. M., 2007.- Utilisation des SIG pour la comparaison des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des nappes à la pollution. Application à la nappe du Haouz de Marrakech (Maroc). *Ecole Hassania des Travaux Publiques*, 41 p.
- [18].- Slimani R., 2006.- Contribution à l'évaluation d'indicateurs de pollution environnementaux dans la région de Ouargla: Cas des eaux de rejets (agricoles et

- urbaines). Mém. Magister, Université Ouargla, Algérie, 98 p.
- [19].- Slimani R., Bettaybi K., Hamdi-Aïssa B., Zahroune A. et Benhmida S. 2011.- Cartographie de vulnérabilité de la nappe phréatique dans un écosystème désertique, cas de la cuvette de Ouargla (Sahara d'Algérie). Milieux poreux et géophysique. Bulletin du Groupe Francophone d'humidimètre et transferts en milieux poreux N°55. ISSN: 0997-1077.
- [20].- UNESCO, 1972.- Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional. Projet ERESS, Rapport final. Unité national d'éducation, scientifique et Culturel Organisation, Paris, 78 p.
- [21].- Vaillant M., Jouanty J. M., Devillers, J., 1995.- A multicriteria estimation of the environmental risk of chemicals with the SIRIS method. Toxicology Modeling, 1: 57-72.
- [22].- Verba J. et Zaporozec A., 1994.- Guidebook on mapping groundwater vulnerability. International Association of Hydrogeologists, vol.16, 131 p.
- [23].- Vias, J. M., Andreo, B. et Perles, M. J., 2005.- A comparative study of four schemes for groundwater vulnerability mapping in a diffuse flow carbonate aquifer under Mediterranean climatic conditions. Environ. Geol., 47: 586-595.
- [24].- Zwahlen F., 2003. Vulnerability and Risk mapping for the protection of carbonate (Karst) Aquifers. Final report, 297p.