

UTILISATION DES SYSTEMES D'INFORMATIONS GEOGRAPHIQUES (SIG) ET INTERPOLATION POUR LA CARACTERISATION DE LA POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES EN MILIEU RURAL DE LA VILLE DE SEBAA AYOUNE (BASSIN DE SAIS, MAROC).

USE OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS (GIS) AND INTERPOLATION FOR THE CHARACTERIZATION OF GROUNDWATER POLLUTION IN RURAL AREAS OF THE CITY OF SEBAA AYOUNE (SAIS BASIN, MOROCCO).

J. ZERHOUNI^(1,*), F. RHAZI FILALI⁽¹⁾, M. NACIRI BENNANI⁽²⁾, A. EL HMAIDI⁽³⁾

¹Equipe Microbiologie et Santé: Laboratoire de Chimie Biologie Appliqué à l'Environnement, Université Moulay Ismail Faculté des Sciences, B.P. 11201, Zitoune, Meknès, Maroc.

²Equipe Matériaux et Catalyse Appliqués, Laboratoire de Chimie-Biologie Appliquées à l'Environnement, Faculté des Sciences, BP 11201, Zitoune, Meknès, Maroc.

³Equipe Sciences de l'Eau et Ingénierie de l'Environnement, Laboratoire de Géo-Ingénierie et Environnement. Département de Géologie - Faculté des Sciences, Université Moulay Ismail B.P. 11201, Zitoune, Meknès, Maroc.

Corresponding author E-mail: fouzia.filali@yahoo.fr

RESUME

La présente étude vise à cartographier, identifier et évaluer l'impact de la pollution sur la qualité des eaux souterraines en milieu rural de la ville de Sebaa Ayoune (Région Fès-Meknès, Maroc). Elle est basée sur l'utilisation des Systèmes d'Information Géographique (SIG) et sur l'évolution spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux étudiées. Afin d'atteindre cet objectif, nous avons effectué un suivi bactériologique saisonnier pour les années 2016 et 2017, et un suivi annuel pour les paramètres physicochimiques (2016-2017). Les analyses ont porté sur 6 paramètres physicochimiques (turbidité, conductivité électrique, NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-), et deux germes bactériologiques indicateurs de la pollution fécale (*Escherichia coli* et les entérocoques intestinaux). Les cartes thématiques de cette pollution montrent un état de bonne qualité pour la masse d'eau étudiée.

Mots clés : Eaux souterraines, qualité, pollution, SIG, physico-chimie, bactériologie, bassin de Sais.

SUMMARY

The purpose of this study is to map, identify and assess the impact of pollution on groundwater

quality in rural areas of the city of Sebaa Ayoune (Fez-Meknes Region, Morocco). It is based on the use of Geographic Information Systems (GIS) and the spatial-temporal evolution of the physical-chemical and bacteriological parameters of the studied waters. To achieve this goal, we conducted seasonal bacteriological monitoring for 2016 and 2017, and annual monitoring for physicochemical parameters (2016-2017). The analyses focused on 6 physico-chemical parameters (turbidity, electrical conductivity, NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-), and two bacteriological germs indicating faecal pollution (*Escherichia coli* and intestinal *Enterococci*). Thematic maps of this pollution show a good state of quality for the water mass studied.

Keywords: groundwater, quality, pollution, GIS, physico-chemistry, bacteriology, Sais basin.

1. INTRODUCTION

Le bassin de Saïs (région de Fès-Meknès) se situe entre les parallèles 335 Km et 385 Km, et les méridiens 465 Km et 545 Km. Il est limité au Nord par les rides sud-rifaines, à l'Est par la vallée de l'oued Sebou, au Sud par la limite Nord du Causse moyen-atlasique et par les affluents de l'oued Beht vers l'Ouest. Les ressources en eau souterraines de

la région contribuent au développement économique et social de la population, en assurant l'approvisionnement en eau potable (AEP) et industrielle et la satisfaction des besoins en eau des périmètres irrigués. L'alimentation en eau potable et industrielle des principales agglomérations de la région (Fès, Meknès, Taza) est assurée essentiellement par des eaux souterraines (forages et captages des sources). Au Maroc, l'insuffisance en matière d'assainissement liquide et d'épuration des eaux usées est l'une des principales causes de la dégradation de la qualité des eaux souterraines, de même, l'insuffisance voire l'absence de l'assainissement liquide notamment en milieux périurbain et rural engendre des impacts négatifs sur la santé de la population et sur leur cadre de vie (Département de l'Environnement, 2010). Vu ce constat, le présent travail essaye de déterminer la qualité des eaux souterraines de la commune rurale de la ville de Sebaa Ayoun localisée dans la région Fès-Meknès. C'est une étude basée sur les analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux souterraines et l'utilisation des Systèmes d'Information Géographique (SIG) pour la cartographie numérique et le suivi spatio-temporel de leur qualité.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1 Présentation de la zone d'étude

La ville de Sebaa Ayoun est située dans la région Nord centrale du Maroc (Région Fès-Meknès). Ses coordonnées polaires sont de 33°53' Nord de latitude et de 5°21' Ouest de longitude (DAT, 2011). Elle fait partie du plateau de Meknès dans la partie occidentale du bassin de Saïs (Fig. 1). Ce plateau contient deux formations aquifères principales:

- la nappe phréatique du Plio-Quaternaire dans laquelle les eaux circulent principalement dans les sables, les grès, les conglomérats et localement dans les calcaires lacustres attribués au Plio-Villafranchien et au Quaternaire,
- la nappe profonde du Lias, généralement en charge, présente un aquifère constitué de calcaires et calcaires dolomitiques du lias (Tabyaoui et al., 2004).

Dans le plateau de Meknès l'écoulement général de la nappe se fait du SSE vers le NNE.

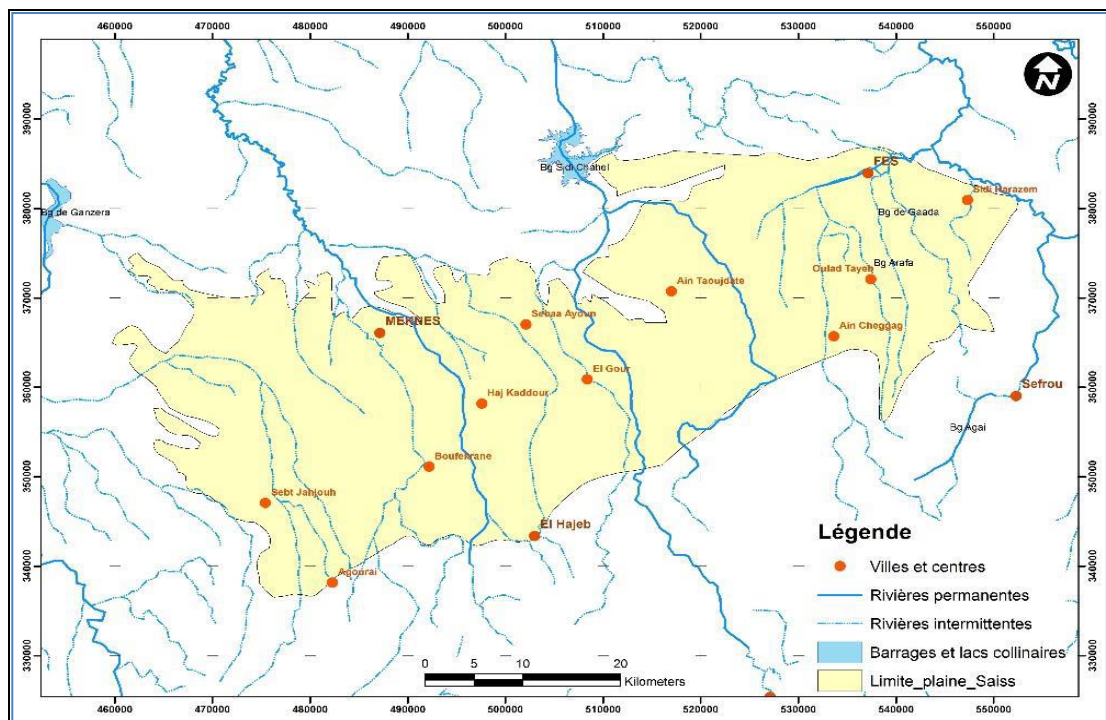


Fig. 1. Localisation de la ville de Sebaa Ayoun dans la plaine de Saïs (Aharik et El Guarouani, 2016).

Fig. 1. Location of Sebaa Ayoun city in the Saïs plain (Aharik et El Guarouani, 2016).

La géomorphologie de la région de Sebaa Ayoun se caractérise par une structure synclinale dissymétrique d'orientation générale WSW et ENE. Sur le plan géologique elle se caractérise par un relief faiblement accidenté, formé de roches perméables et karstifiables. Ces roches jouent un grand rôle hydrogéologique dans la constitution de l'aquifère profond du bassin de cette région (Agenda 21 de Sebaa Ayoun, 2008). Le réseau hydrographique de la ville Sebaa Ayoun se compose de trois oueds: Oued Bougnaou, Oued Jdida et Oued Mahdouma. La direction principale d'écoulement de l'eau dans ces cours d'eau est de SSE vers le NNW et la pente moyenne est de 2 à 3 % en général et qui sont le plus souvent à régime temporaire (Amraoui, 2005).

Le Climat de la ville de Sebaa Ayoun est de nature semi-aride de type continental chaud en été

et froid en hiver (Agenda 21 de Sebaa Ayoun, 2008). Le plateau de Meknès a fait l'objet de plusieurs études géomorphologiques, géologiques, Hydrologiques et géophysiques (Essahlaoui, 2000 ; Essahlaoui et al., 2001 ; Tabyaoui et al., 2004 ; Amraoui, 2005 ; Harmouzi, 2010).

2.2 Sites d'échantillonnage

Notre étude s'est focalisée sur 8 puits d'eaux collectifs. Le choix de ces stations repose sur, l'effectif de la population desservie et les facteurs de risques de leur pollution tels que : l'utilisation des latrines à fosses comme système d'évacuation des excréta, la situation à proximité des terrains à vocation agricole et au décharge. La représentation spatiale des stations choisies et les facteurs de risques de leur pollution sont reportées sur la carte (Fig. 2).

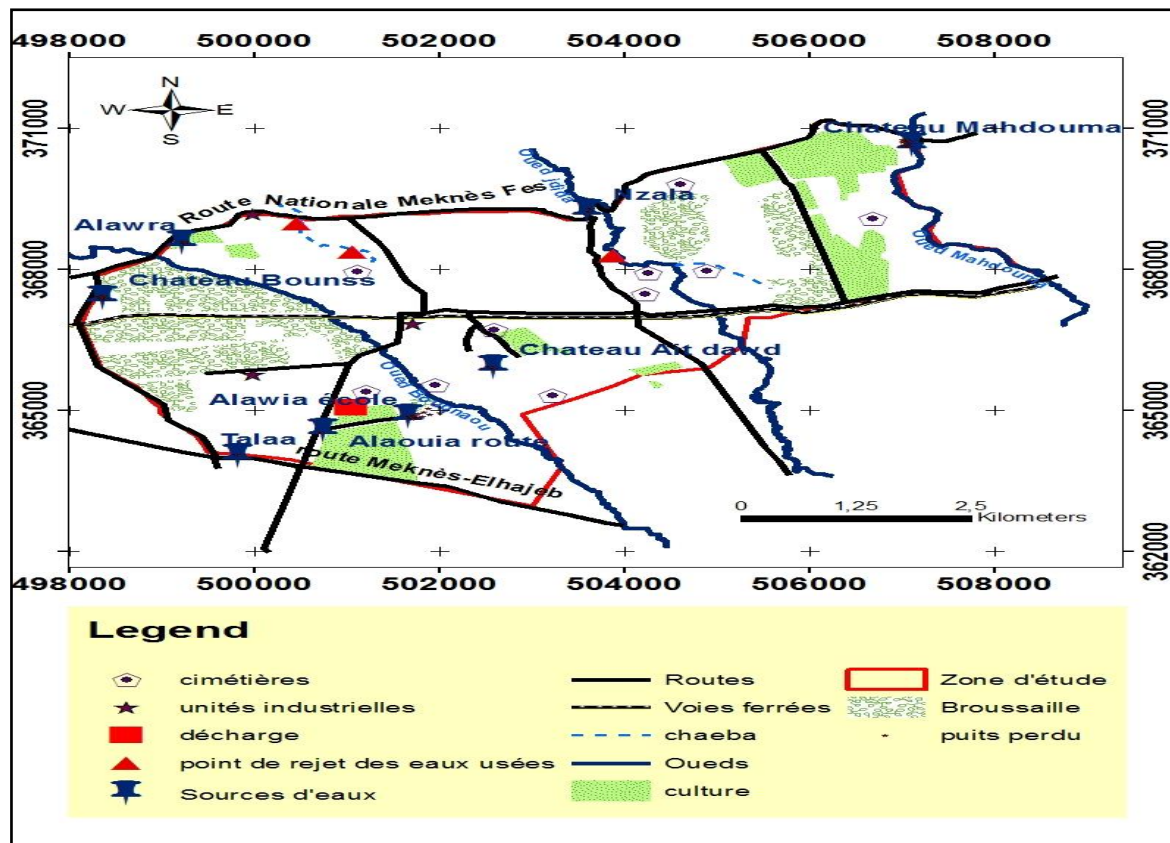


Fig. 2. Situation de la zone d'étude, des points d'eaux étudiés, et des facteurs de risque de leur pollution.

Fig. 2. Location of the study area, studied water points, and their pollution risk factors.

2.3 Méthodes

Afin de déterminer les caractéristiques bactériologiques des eaux souterraines des huit puits étudiés, nous avons effectué des échantillonnages durant la période 2016 et 2017.

La conductivité électrique a été mesurée in situ par un conductimètre portatif (Cond 340i), les autres paramètres chimiques (NO_3^- , NH_4^+ , SO_4^{2+} , Cl^- , Turbidité) ont été déterminés au laboratoire en se référant au Manuel de Rodier et al. (2009).

Cependant, l'analyse des paramètres bactériologiques a été réalisée selon les normes marocaines (NM 03.7.001 2005) appropriées [Bactéries Coliformes (*Escherichia coli*) «NM 03.7.003 », les entérocoques intestinaux « NM 03.7.006 »]. L'échantillonnage et l'acheminement des échantillons ont été effectués conformément à l'(ISO 5667-1 2006)), (ISO 5667-2 1991)) et (ISO 5667-3 2003)).

La méthode de cartographie utilisée dans ce travail est celle proposée par l'extension Geostatistical Analyst d'ArcGIS 10.2. La présente étude est constituée par une base de données descriptive et une base de données cartographique. L'idée est d'utiliser l'interpolation pour prédire les valeurs des concentrations des polluants (bactériologiques et physico-chimiques) pour les eaux souterraines et de déterminer leurs qualités en fonction de ces paramètres.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Topographie et écoulement des eaux

La carte utilisée pour modéliser le terrain est la carte topographique de Sebaa Ayoun dressée,

dessinée et publiée par la division de la Carte en 1974, avec une échelle de 1/50000. La carte (TIN: Triangulated Irregular Network) de la modélisation du terrain pour les altitudes (Fig. 3) montre que les élévations sont entre 450 m au Nord-Est et 620 m au Sud. On peut dire que les écoulements des eaux de surfaces se font du Sud vers le Nord.

La carte TIN nous permettra donc de générer la carte des pentes (Fig. 4), la carte des écoulements des eaux de surface (Fig. 5) et la carte des accumulations des écoulements (Fig. 6). Les écoulements des eaux de surfaces sont en majorité au Nord et au Nord-Ouest (Fig. 5). La carte des pentes (Fig. 4) montre une pente maximale de 44,85%, la moyenne de la région est de 2,63%. En effet, la détermination de la pente est assez importante, car elle donne une idée sur le volume de ruissellement des eaux de surfaces ; une pente forte favorise et accélère l'écoulement superficiel, tandis qu'une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie, dans le sol.

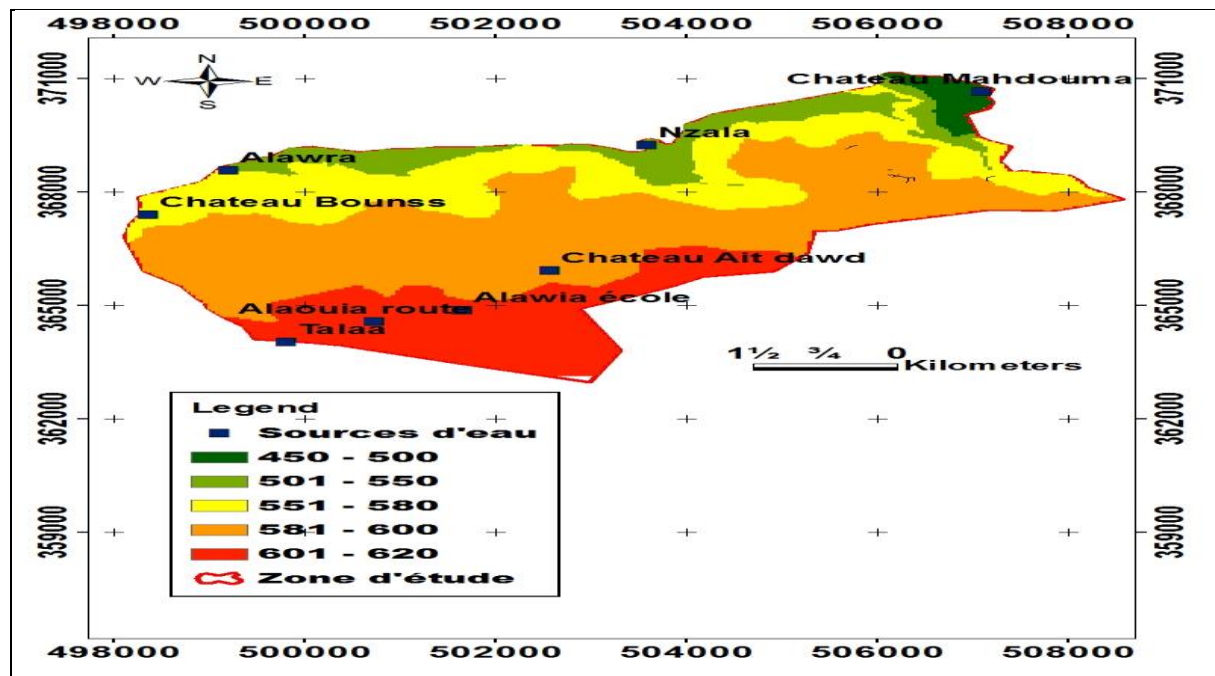


Fig. 3. Carte TIN des altitudes de la région d'étude.

Fig. 3. TIN map of the altitudes of the study area.

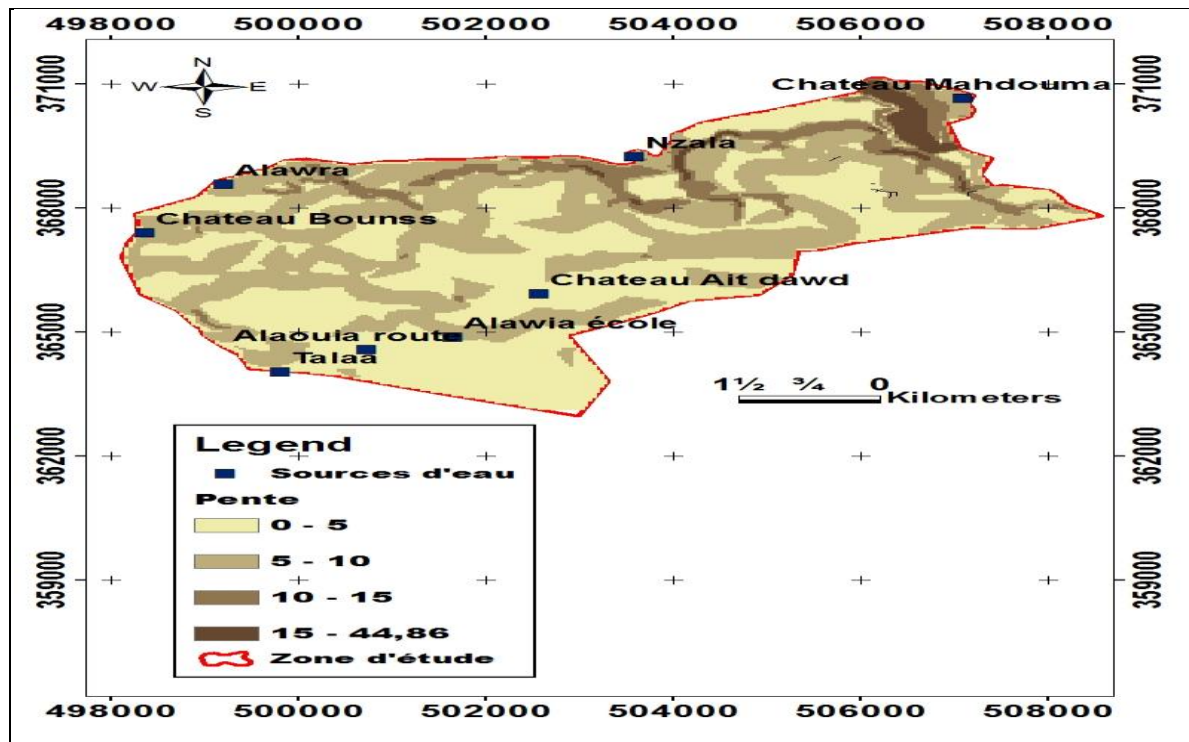


Fig. 4. Carte des pentes en pourcentage.

Fig. 4. Map of the slopes in percentage.

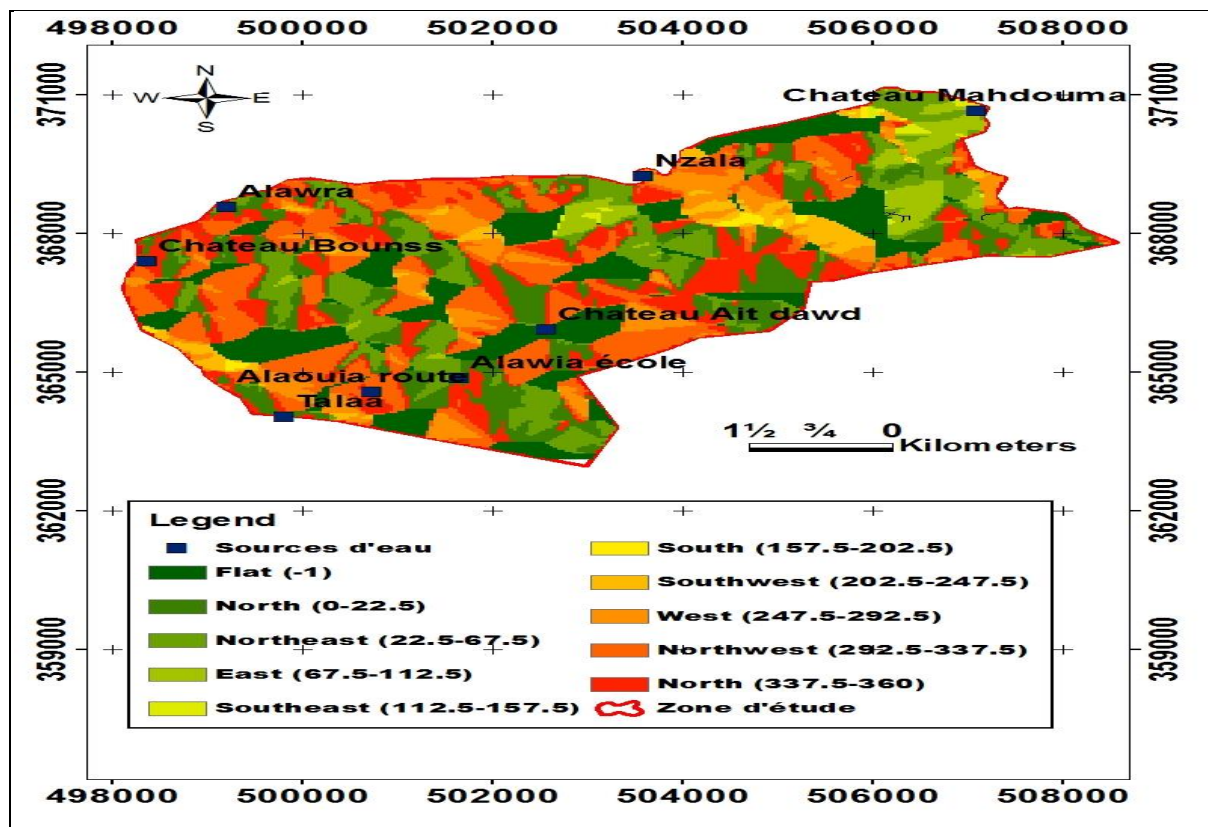


Fig. 5. Carte des écoulements d'eaux de surface du territoire.

Fig. 5. Map of surface water flows in the territory.

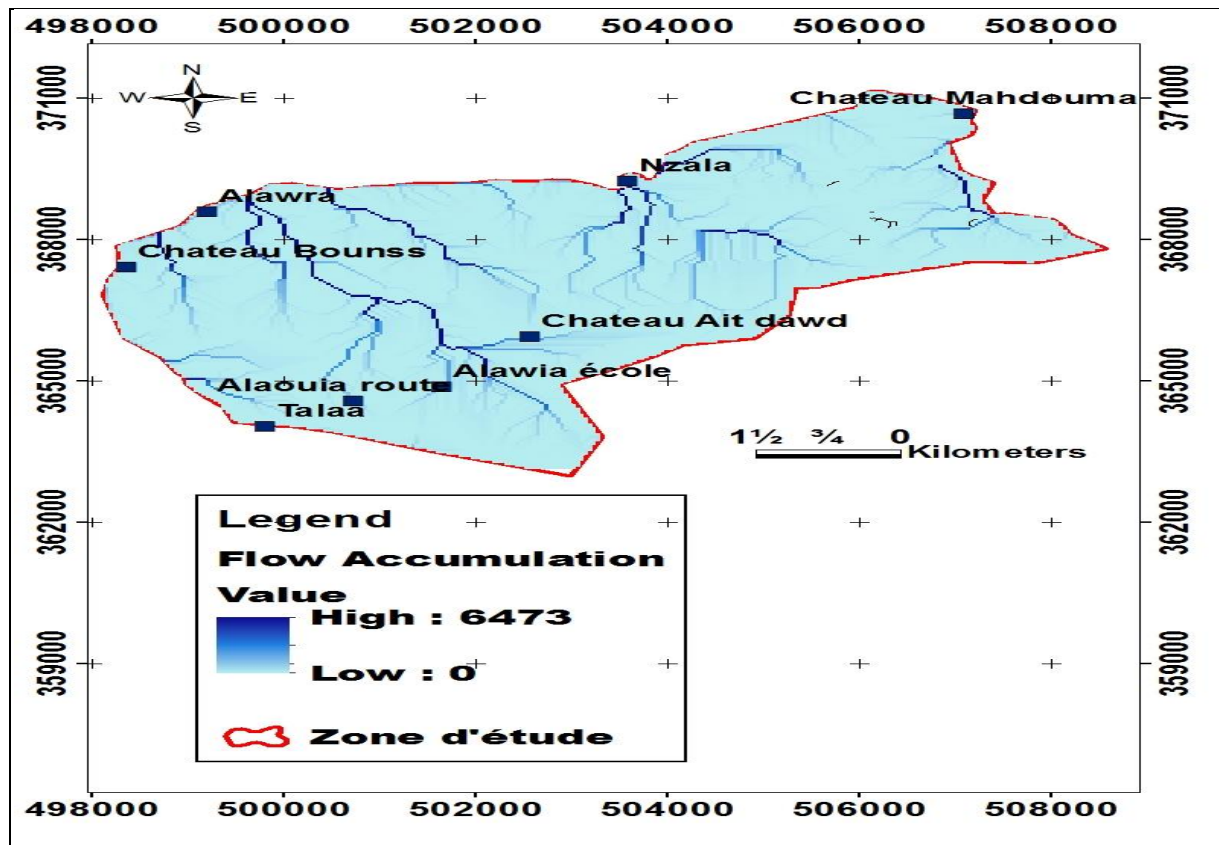


Fig. 6. La carte des accumulations des écoulements.

Fig. 6. The map of flow accumulations.

3.2 Analyses bactériologique des eaux dans la région d'étude

La carte thématique de la variation spatiale des *Escherichia coli* (Fig. 7), montre de fortes teneurs (223 UFC/100ml) au niveau de la localité Alawia école et dans les eaux du puits Alawra (200 UFC/100ml), alors que les faibles teneurs sont observées au niveau des stations Nzala et Talaa avec une concentration de 0 UFC/100ml pour ce germe. La présence de coliformes thermo tolérants ou fécaux à 44°C signale l'existence quasi certaine de la contamination fécale. En effet, l'*Escherichia coli* ne se multiplierait pas dans l'environnement, mais uniquement dans le tractus digestif de l'Homme et des animaux à sang chaud. De ce fait, il y aurait une bonne corrélation entre sa concentration et la pollution fécale (Gantzer et al.,

1998), c'est le cas des résultats signalées par (Zerhouni et al., 2018) au niveau de notre zone d'étude.

La carte thématique des *entérocoques intestinaux* (Fig. 8), montre de fortes teneurs du germe au niveau des localités Alawia école et Ait Dawd avec des concentrations de 36 UFC/100ml et 29 UFC/100ml, alors que les faibles teneurs sont observées au niveau des stations Nzala et Talaa avec une concentration de 0 UFC/100ml pour ce germe.

Selon la Norme Marocaine (NM 03.7.001 2005) et de point de vu paramètres à effet sanitaire, la présence des bactéries (*E. coli* et les *entérocoques intestinaux*) présente un risque sanitaire pour la population consommatrice de ces eaux.

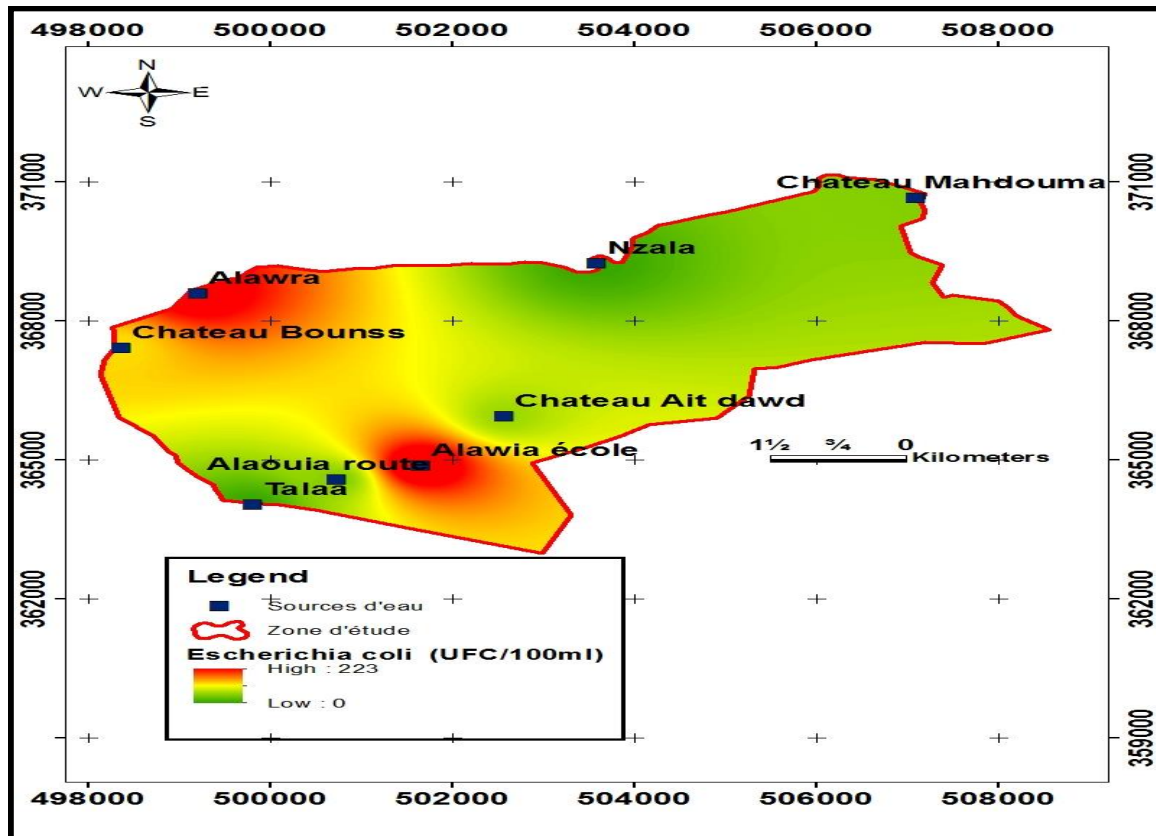
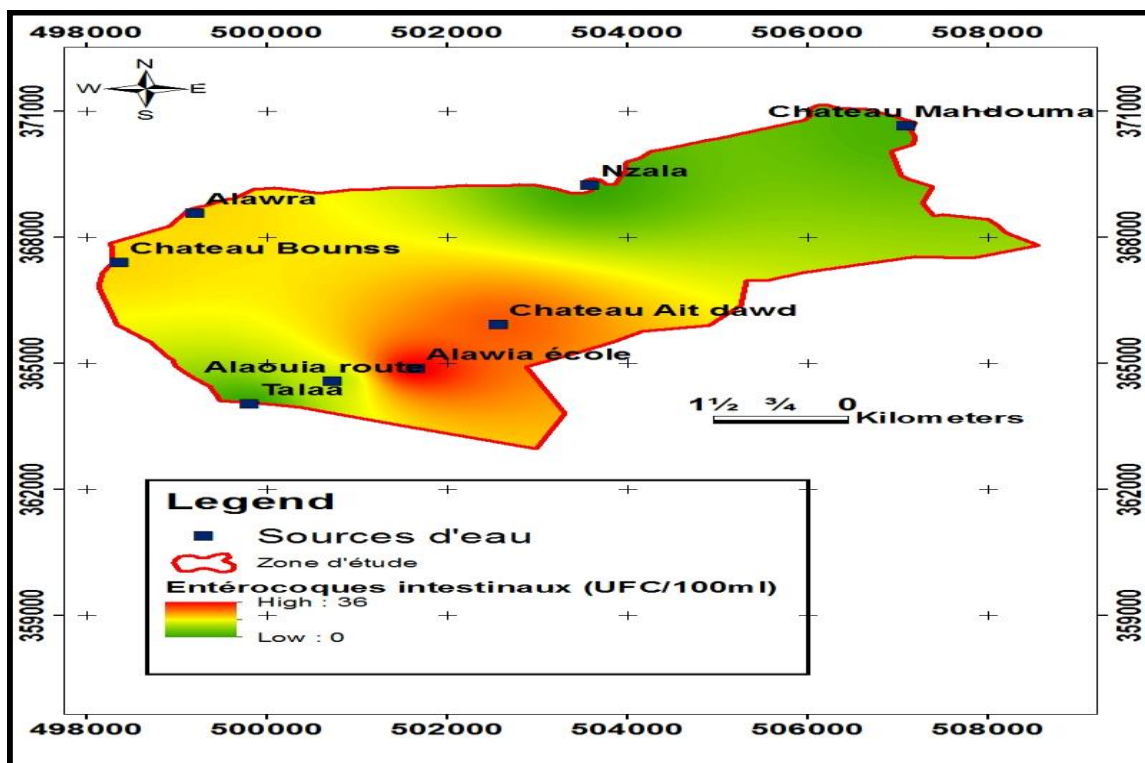
Fig. 7. Répartition spatiale d'*Escherichia Coli*.Fig. 7. Spatial distribution of *Escherichia Coli*.

Fig. 8. Répartition spatiale des entérocoques intestinaux.

Fig. 8. Spatial distribution of intestinal enterococci.

3.3 Analyses physico-chimiques des eaux de la région d'étude

Les analyses physico-chimiques montrent des concentrations satisfaisantes pour les Nitrates, les Sulfates, l'Ammonium, les Chlorures, la conductivité électrique et la turbidité pour toutes les stations étudiées, à l'exception du puits Alawia école qui montre une concentration moyenne en Ammonium de 0,62 mg/l dépassant ainsi la Norme Marocaine (0,5 mg/l). La représentation surfacique de l'ion ammonium ne représente que 3,5% de la surface du territoire (Fig. 9).

Les teneurs en nitrate (Fig. 10) sont plus importantes dans le sud-ouest avec une concentration de 29,2 mg/l; représenté par la station Alawia école. La représentation surfacique de cet ion est de 4 % de la surface totale étudiée. Pour les sulfates, l'OMS recommande comme valeur limite 250 mg/l. Les directives du Conseil des communautés européennes et la réglementation française retiennent cette dernière valeur de 250 mg/l (SO_4^{2-}), alors que la Norme Marocaine (NM 03.7.001, 2005) exige une Valeur Maximale Admissible (VMA) de 400mg/l. La carte thématique des sulfates (Fig. 11) montre des

teneurs plus importantes de 91 mg/l dans la station Alawia école.

Les teneurs en chlorures (Fig. 12), varient entre 90 mg/l et 166 mg/l. La valeur la plus élevée est enregistrée au niveau de la station Nzala. L'OMS recommande pour la teneur en chlorures dans l'eau destinée à la consommation humaine, une valeur guide de 200 mg/l pour des considérations gustatives et des risques de corrosion, alors que la Norme Marocaine (NM 03.7.001 2005) exige une Valeur Maximale Admissible (VMA) de 750 mg/l. La carte thématique de la turbidité (Fig. 13), montre que les teneurs varient entre 0,2 et 2,2 NTU, avec un maximum de 2,2 NTU enregistré au niveau du puits Alawia école. Subséquemment, les eaux de la région répondent aux Normes Marocaine et de l'OMS (<5NTU).

Les valeurs de la conductivité électrique (Fig. 14), restent inférieures à la Norme Marocaine (NM 03.7.001 2005) fixée à 2700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et de la Norme Française de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les eaux les plus minéralisées se trouvent aux Nord-Est avec une prédominance de la classe 1080 à 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Le maximum est de 1245 $\mu\text{S}/\text{cm}$ enregistré pour les eaux du puits Alawia école.

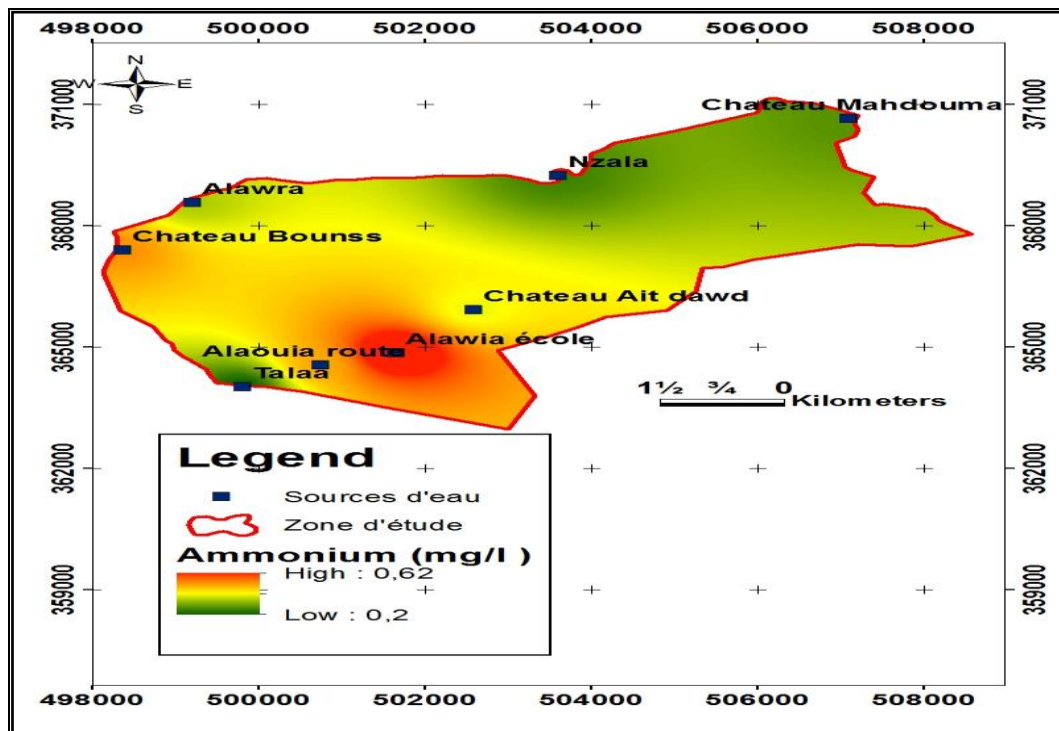


Fig. 9. Répartition spatiale d'ammonium.

Fig. 9. Spatial distribution of ammonium.

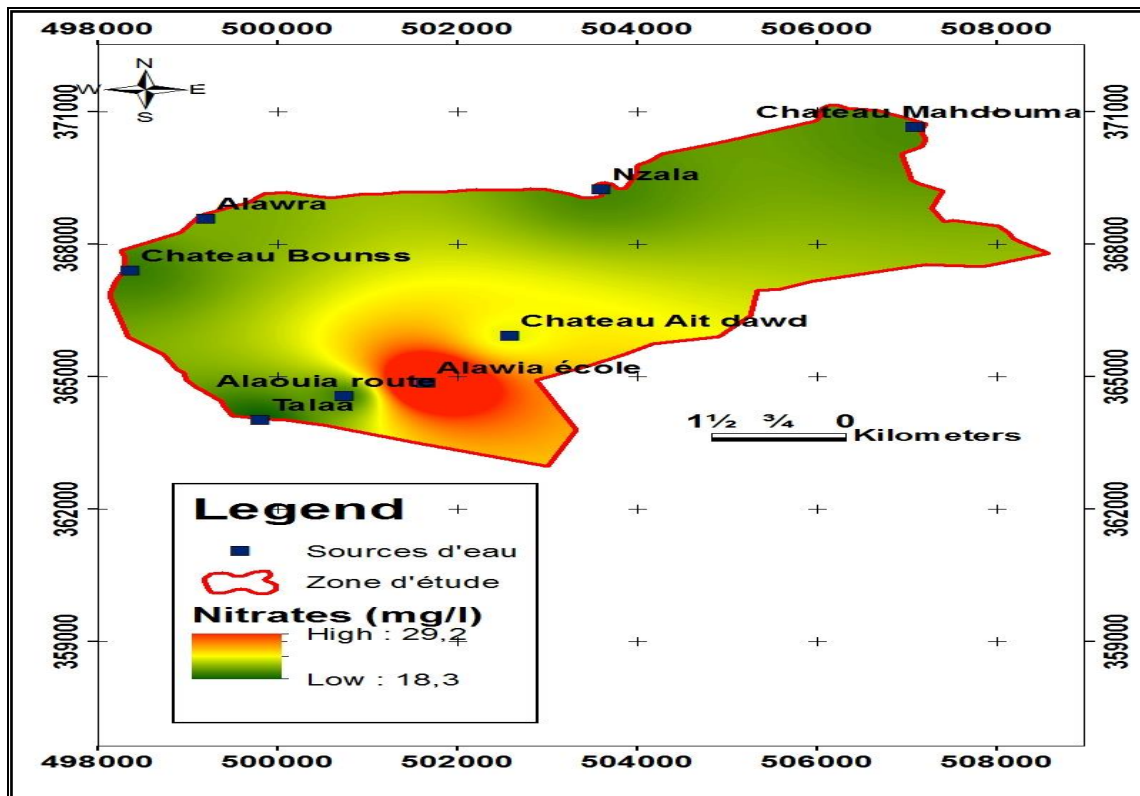


Fig. 10. Répartition spatiale des Nitrates.

Fig. 10. Spatial distribution of Nitrates.

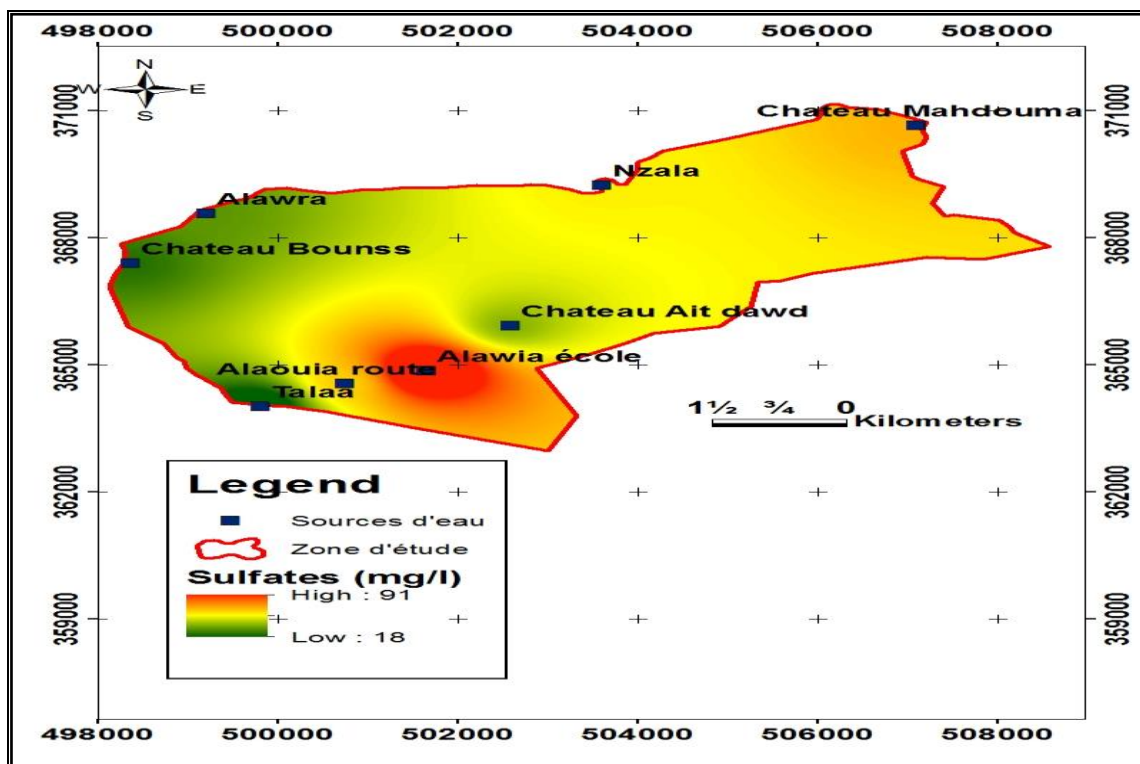


Fig. 11. Répartition spatiale des Sulfates.

Fig. 11. Spatial distribution of Sulphates.

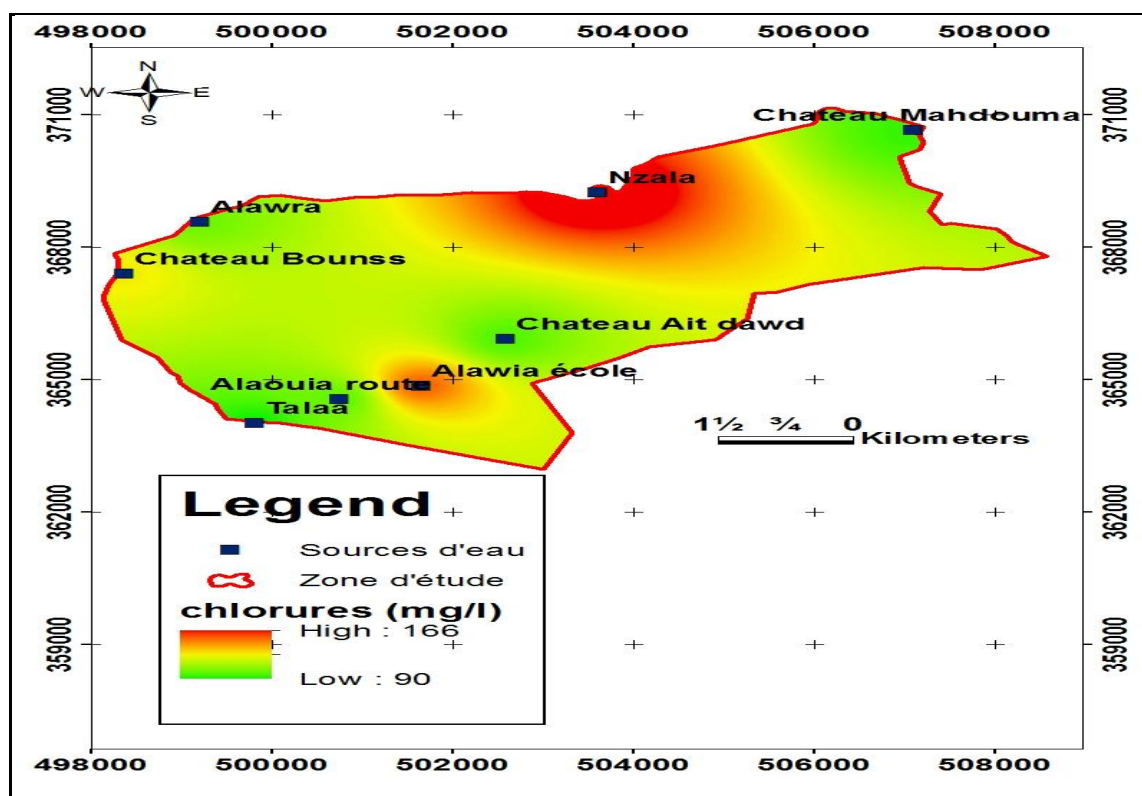


Fig. 12. Répartition spatiale des chlorures.

Fig. 12. Spatial distribution of chlorides.

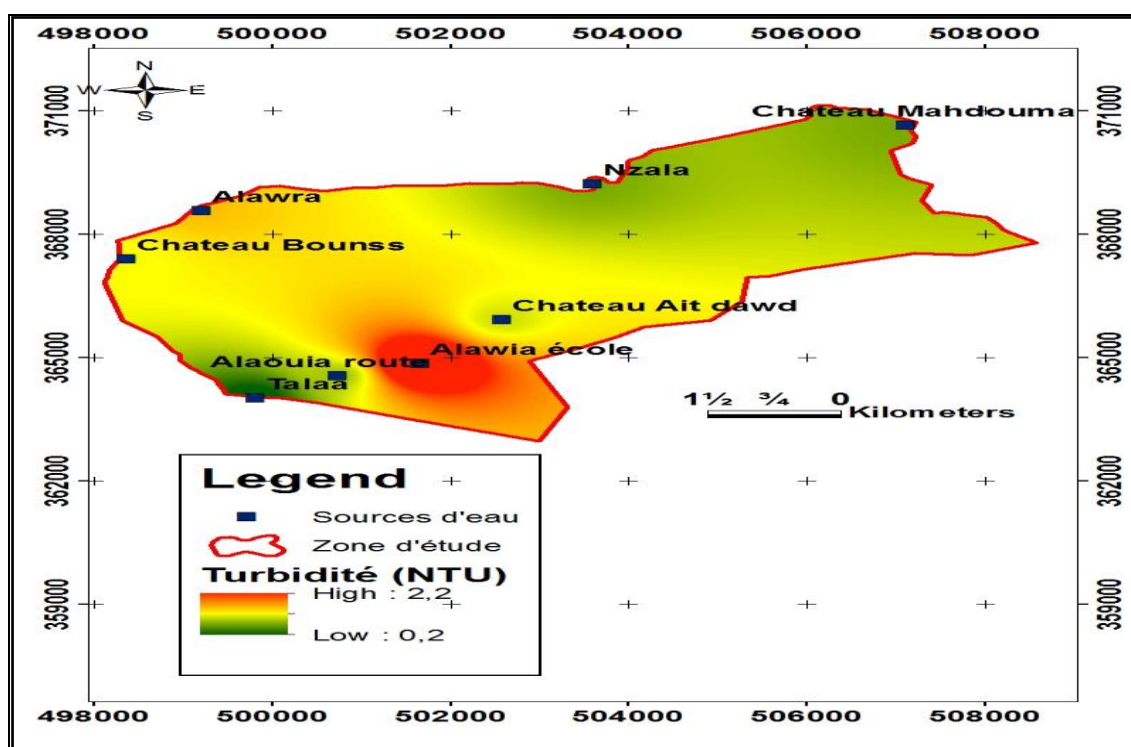


Fig. 13. Répartition spatiale de la Turbidité.

Fig. 13. Spatial distribution of Turbidity.

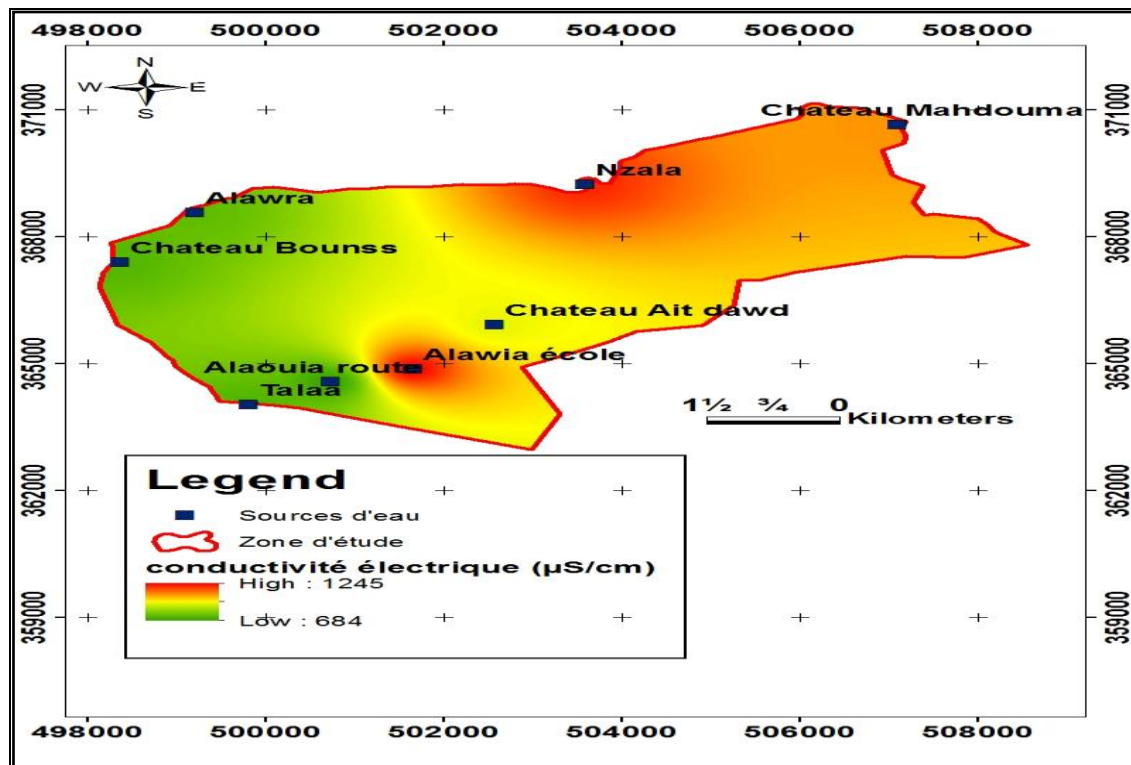


Fig. 14. Répartition spatiale de la conductivité.

Fig. 14. Spatial distribution of conductivity.

3.4 Qualité individuelle des eaux souterraines de Sebaa Ayoun pendant la période d'étude

La qualité des eaux pour les différentes stations durant la période 2016-2017 est illustrée par la carte (Fig. 15). L'appréciation de la qualité des eaux souterraines des différents points d'eaux est faite sur la base d'une grille simplifiée (Tableau 1) comportant cinq paramètres indicateurs de pollution physico-chimique et bactérienne. Ces paramètres sont : la conductivité (cond.) et les ions chlorures (Cl^-) qui renseignent sur la qualité

minéralogique des eaux ; les nitrates (NO_3^-), principal indicateur d'une pollution d'eau souterraine ; NH_4^+ : forme réduite de l'azote et les coliformes fécaux indicateurs de la pollution fécale. Les résultats montrent que tous les points d'eaux ont une qualité bonne, sauf la station Alawia école qui a une qualité moyenne (Tableau 2). L'arrêté (n° 1275-01 du 17 octobre 2002) de la loi 10-95 fixent cinq classes de qualité selon la grille ci-dessous (Tableau 1).

Tableau 1. Grille simplifiée de la qualité des eaux souterraines.

Table 1. Simplified groundwater quality grid.

Paramètres de qualité et couleurs attribuées	Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Cl^- (mg/l)	NO_3^- (mg/l)	NH_4^+ (mg/l)	Bactéries Coliformes (<i>E. coli</i>) (UFC/100ml)
Excellente	<400	<200	<5	$\leq 0,1$	≤ 20
Bonne	400-1300	200-300	5-25	0,1-0,5	20-2000
Moyenne	1300-2700	300-750	25-50	0,5-2	2000-20000
Mauvaise	2700-3000	750-1000	50-100	2-8	>20000
Très mauvaise	>3000	>1000	>100	>8	-

Tableau 2. Qualité des eaux des points de Sebaa Ayoun pendant la période d'étude.

Table 2. Water quality of the Sebaa Ayoun points during the study period.

Noms des points d'eaux	Cond ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Cl^- (mg/l)	NO_3^- (mg/l)	NH_4^+ (mg/l)	Bactéries Coliformes (<i>E. coli</i>) (UFC/100ml)	Qualité individuelle des points d'eaux
Château Bounss	721	119,4	18,3	0,46	108	Bonne
Alawra	723	98,8	16	0,32	1227	Bonne
Alawia école	1138	141,5	19,2	0,62	1221	Moyenne
Château Ait Dawd	840	92,7	19,4	0,39	157	Bonne
Château Mahdouma	980	91,5	16,3	0,28	17	Bonne
Talaa	730	90	16,3	0,21	0	Bonne
Alaouia route	684	98	18,1	0,42	0	Bonne
Nzala	1200	166	18,2	0,24	2	Bonne

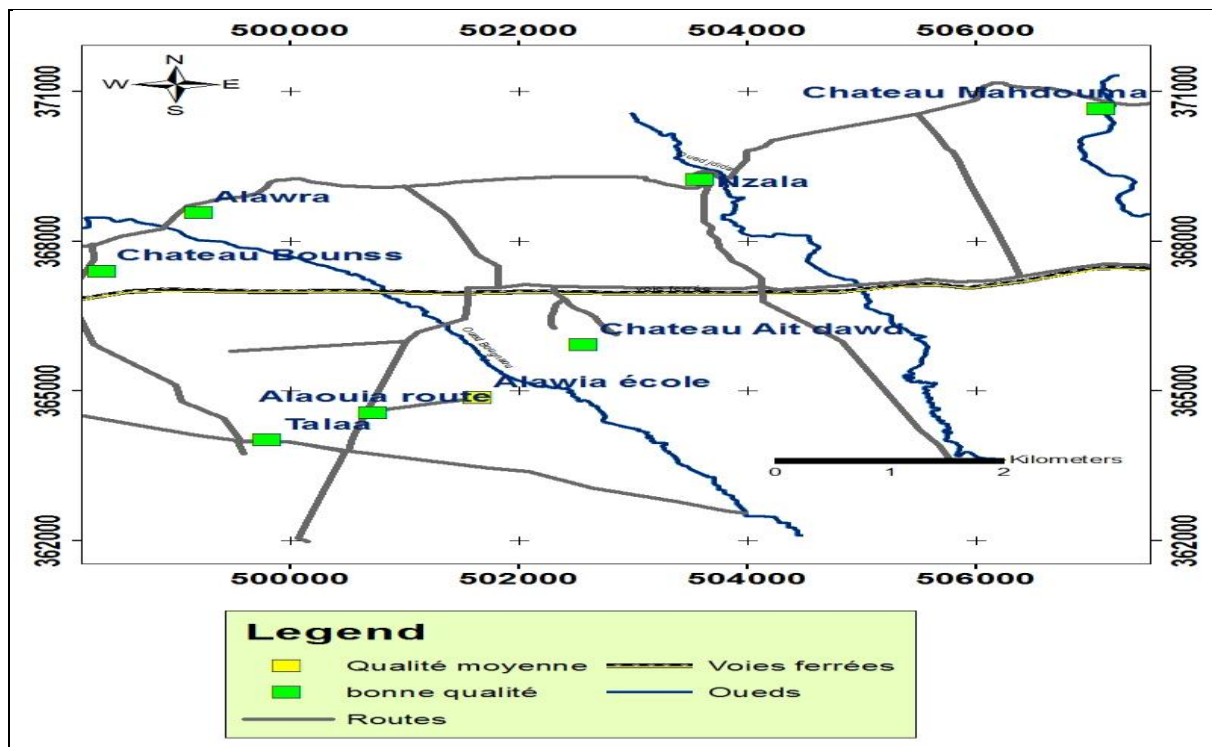


Fig. 15. Carte de la qualité individuelle des eaux des puits de Sebaa Ayoun.

Fig. 15. Map of the individual water quality of the wells of Sebaa Ayoun.

3.5 Qualité globale de la masse d'eau de Sebaa Ayoun

Selon le guide technique actualisant les règles d'évaluation de l'état des eaux douces de surface de métropole (MEEDDAT, 2009), l'attribution d'une classe d'état écologique « très bon » ou « bon »,

est déterminée par les valeurs des contrôles des éléments biologiques et physico-chimiques sur les éléments de qualité pertinente pour le type de masse d'eau considérée. En particulier, lorsqu'un moins un élément de qualité biologique est en état moyen, médiocre ou mauvais, les éléments de

qualité physico-chimiques n'ont pas d'incidence sur le classement de l'état écologique. Dans ce cas, la classe d'état attribuée est celle de l'élément de qualité biologique le plus déclassant.

De plus, selon le test du critère surfacique (MEDDE, 2012), si la somme des surfaces déclarée en état médiocre est inférieure à 20% de la surface totale de la masse d'eau, alors la masse d'eau est en bon état pour ce test. L'application de ce test permet d'attribuer à la masse d'eau souterraine une qualité globale de bon état, puisque la qualité bactériologique est en bon état (Tableau 2) et la fréquence de dépassement de la valeur seuil d'ammonium (0,62mg/ml) du point d'eau surveillé Alawia école (Tableau 2) n'excède pas 20% de la surface totale de la masse d'eau souterraine étudié (Fig. 9).

3.6 Qualité des eaux destinées à l'irrigation

Selon les résultats des analyses bactériologiques (Tableau 2), les eaux des stations Alawia école et Alawra ne répondent pas aux Normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation (concentrations des bactéries coliformes supérieures à la valeur limites 1000 UFC/100ml); elles ne peuvent pas être utilisées pour l'irrigation des cultures consommées crues (PPRE, 2009).

4. CONCLUSION

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux souterraines peuvent être considérés admissibles et ne présentent aucun danger pour les consommateurs. De point de vue bactériologique, malgré le classement de ces eaux souterraines brutes en bonne qualité, elles nécessitent un traitement physique et/ou chimique pour répondre au Norme Marocaine (NM 03.7.001, 2005) des eaux destinées à la consommation humaine. En effet, les différentes cartes réalisées illustrent une répartition spatiale du degré de la pollution bactérienne et physico-chimique, et montrent une pollution bactérienne importante pour la région Sud-Ouest qui est caractérisée par une faible pente; dont l'écoulement superficiel lent contribue à l'accumulation des eaux; et donne à l'eau le temps de s'infiltrer. La géologie du territoire formé de roches perméables et karstifiables rend la nappe plus vulnérable pour différents types de pollution.

L'utilisation des puits perdus comme système d'assainissement et la proximité à la décharge peuvent être aussi des facteurs de risque de la pollution de ces eaux. De plus, les puits sont conçus sans aucune étude préalable du terrain (géologique, hydrogéologique, pente du terrain), et sans respect des périmètres de protection.

Nous espérons que les cartes thématiques réalisées auront une fonction très utile, notamment en ce qui concerne la prise de décisions pour la préservation et la protection des eaux souterraines de toute contamination et pollution anthropique.

REMERCIEMENTS

Ce travail est soutenu par le MENFPESRS et le CNRST - Rabat Maroc, dans le cadre du projet PPR2.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agenda 21 de Sebaa Ayoun (2008). Programme agenda 21 locaux ElHajeb . Etat des lieux et perspectives de la ville de Sebaa Ayoun. p 71.
- AHARIK K., EL GUAROUANI A. (2016). Application du SIG pour la gestion des ressources en eau dans la région de saïss (Maroc). The 3rd International conference of GIS User. Oujda 22-23 Novembre 2016.
- AMRAOUI F. (2005). Contribution à la connaissance des aquifères karstiques: cas du lias de la plaine du saïss et du causse moyen atlasique tabulaire (Maroc). Thèse d'Etat en Hydrogéologie, Université Hassan II Ain Chock Faculté des Sciences. Casablanca. 237p.
- DAT (2011). Direction de l'Aménagement du Territoire, Inspection Régionale de l'habitat, de l'urbanisme et de la politique de la ville Meknès-Tafilalt. Plan d'aménagement de la ville de Sebaa Ayoun. Rapport diagnostic. 43p.
- Département de l'Environnement (2010). Etat de l'Environnement du Maroc. Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Eau et de l'Environnement. Maroc, 52p.
- ESSAHLAOUI A. (2000). Contribution à la reconnaissance des formations aquifères dans le Bassin de Meknès-Fès (Maroc), Prospection

- géoélectrique, étude hydrogéologique et inventaire des ressources en eau. Université Mohammed V, Rabat, Maroc, p 258.
- ESSAHLAOUI A., SAHBI H., BAH L., EL-YAMINE N. (2001). Reconnaissance de la structure géologique du bassin de saïss occidental, Maroc, par sondages électriques. *Journal of African Earth Sciences*, 32:777–789.
 - GANTZER C., LUCENA F., SCHWARTZBROD L., JOFRE J. (1998). Indicateurs de contamination virale du milieu hydrique : mythe ou réalité ? *Virologie*. 2(2):117-25.
 - HARMOUZI O. (2010). Reconnaissance détaillée de la partie nord-est du Bassin de Saïss (MAROC): interprétation de sondages électriques verticaux par combinaison des méthodes statistique, géostatistique et d'inversion. Université Moulay Ismail, Meknès, Maroc, p 302.
 - ISO 5667-2 (1991) Qualité de l'eau - Échantillonnage — Partie 2: Guide général sur les techniques d'échantillonnage. <http://files.controlambiental5.webnode.com.co/200000144-4dfdd4f559/NTC-ISO%205667-02-1995.%20Técnicas%20generales%20de%20muestreo.pdf>.
 - ISO 5667-3 (2003) Water quality - Sampling - part 3: Guidance on the preservation and handling of water samples. <https://www.sis.se/api/document/preview/904281/>
 - ISO 5667-1 (2006) Water quality - Sampling - part 1: Guidance on the design of sampling programmes and sampling techniques. <https://www.sis.se/api/document/preview/908187/>
 - MEDDE D. (2012). Guide d'évaluation de l'Etat Chimique des masses d'eau souterraine et d'établissement des valeurs seuils. Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie Direction de l'Eau et de la Biodiversité, p 62.
 - MEEDDAT (2009). Guide technique, Evaluation de l'état des eaux douces de surface de métropole. Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire, France, p 74.
 - NM 03.7.001 (2005). Norme marocaine relative à la qualité des eaux d'alimentation humaine
 - PPRE (2009). Etablissement d'une Méthodologie pour l'élaboration du Programme de Protection de la qualité des ressources en eau .secrétariat d'état au près du Ministère de l'énergie, des mines de l'eau et de l'Environnement. Département de l'eau. Maroc. p 83.
 - RODIER J., LEGUBE B., MERLET N., BRUNET R. (2009). L'analyse de l'eau, Eaux naturelles, Eaux résiduelles, Eau de mer : Analyse de l'eau, 9ème édition, Dunod, Paris, France, 1600p.
 - TABYAOUI F.Z., SAHBI H., ELOUAZZANI A., CHADLI K., ESSAHLAOUI A., ELOUALI A., ROUAI M. (2004). Etat de la pollution par les nitrates dans les eaux de la nappe plio-quaternaire du plateau de Meknes (Maroc). *Geomaghreb*, n°2, 63-75.
 - ZERHOUNI J., RHAZI FILALI F., ABOUKACEM A., NACIRI BENNANI M. (2018). Utilisation de l'analyse en composantes principales (PCA) pour évaluer la pollution des eaux souterraines milieu rural (Sebaa Ayoun, Maroc). *Larhyss Journal*, 35, 119–132.