

Contribution à l'Etude de la Contamination des Systèmes Aquifères de la Région de Kasserine par les Nitrates

[Contribution to the Study of Aquifers Systems Contamination by Nitrates in Kasserine Region]

Asma EL Amri¹, Lotfi Dridi¹, Yamina Barhoumi¹, and Mohsen Zairi²

¹Département du Génie des Systèmes Horticoles et du Milieu Naturel,
Université de Sousse, Institut Supérieur Agronomique, BP 47, 4042,
Chott Mariem, Tunisie

²Arrondissement des Sols, Commissariat Régional au Développement Agricole,
1200 Avenue Habib Bourguiba, Kasserine, Tunisie

Copyright © 2014 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In Tunisia, the protection of groundwater resources, widely attacked by anthropic activities, against its contamination by nitrates has prompted the state to implement a national network for monitoring groundwater quality. The present work aims the characterization of the nitric quality of five aquifers in Kasserine region (Central West of Tunisia) and the identification of potential sources of water pollution. The study involved 22 wells water surface followed during 17 years (1996-2013). The temporal variation of nitrate showed a significant contamination with a concentration greatly exceeding the recommended norm during the period 1999-2003. The latter coincides with the phase of agricultural intensification related to the non-reasoned application of fertilizer coupled with the bad irrigation management. Nevertheless, between 2004 and 2013, the contamination tends to decrease and nitrates concentrations have stabilized around the potability threshold. The results also showed that nitrates levels are related to the soil type, irrigation techniques adopted by farmers and nitrogen supply. Indeed, excessive nitrogen inputs with a coarse texture and a gravity irrigation technique tend to increase the concentration of well water by nitrates. However, correlation between nitrates, piezometry and climatic factors, particularly, the rainfall could not be highlighted in the study area.

KEYWORDS: Nitrates, non point source pollution, aquifer, Piezometry, Kasserine.

RESUME: En Tunisie, la protection des ressources hydrique souterraines, largement agressées par les activités anthropiques, contre la contamination nitrique a incité l'Etat à mettre en œuvre un réseau national de suivi de la qualité des eaux souterraines. Le présent travail vise la caractérisation de la qualité nitrique de cinq nappes phréatiques de la région de Kasserine (Centre Ouest de la Tunisie) et l'identification des causes potentielles de leur pollution. L'étude a concerné les eaux de 22 puits de surface suivis durant 17 ans (1996-2013). La variation temporelle des nitrates a montré une contamination importante avec des concentrations dépassant largement la norme durant la période 1999-2003. Cette dernière coïncide avec la phase d'intensification agricole liée aux épandages d'engrais non raisonnés conjugués à une mauvaise gestion de l'irrigation. Néanmoins, entre 2004 et 2013, la contamination a tendance à diminuer et les concentrations en nitrates se sont stabilisées aux alentours de la norme de potabilité. Les résultats ont montré également que les teneurs en nitrates sont en relation avec le type de sol, la technique d'irrigation adoptée par les exploitants des puits et l'apport azoté. En effet, des apports excessifs d'azote avec une texture grossière et une technique d'irrigation gravitaire tendent à augmenter la

concentration des eaux de puits par les nitrates. Néanmoins, aucune corrélation entre les teneurs en nitrates, la piézométrie et les facteurs climatiques, notamment, la pluviométrie n'a pu être mise en évidence, dans la région d'étude.

MOTS-CLEFS: Nitrates, pollution diffuse, nappe phréatique, piézométrie, Kasserine.

1 INTRODUCTION

Les nitrates constituent un des principaux agents chimiques responsables de la contamination des nappes phréatiques souvent plus vulnérables que les nappes captives [1]. Cette contamination constitue une problématique environnementale majeure pour la plupart des pays du monde. Elle diminue le potentiel des ressources hydriques de bonne qualité, génère un risque sanitaire pour la population rurale et compromet le développement socioéconomique du pays [2], [3] et [4]. Toutefois, et contrairement aux pays industrialisés, les eaux souterraines sont fortement sollicitées dans les pays arides et semi-arides. Dans ces pays le degré de pollution est plus sévère à cause du taux de renouvellement limité des ressources hydriques déjà rares, du taux d'évaporation élevé [5], et de l'utilisation des eaux de qualité marginale en irrigation.

Dans les zones rurales, les nitrates proviennent essentiellement des pollutions diffuses agricoles suite à l'application excessive des engrais, des fertilisants et des produits phytosanitaires sur les terres agricoles ainsi que de l'élevage intensif [6] et [7]. Selon [8], leur transfert est contrôlé par les facteurs climatologiques (importance des précipitations, leur répartition dans le temps, température, évapotranspiration), agrologiques (propriétés physico-chimiques, hydrodynamiques et microbiologiques des sols) et agronomiques (niveau de fertilisation, type de culture, travaux culturaux). Des teneurs élevées en nitrates constituent un danger potentiel en cas d'utilisation en tant qu'eau potable et leur consommation peut engendrer la méthémoglobinémie chez les nourrissons et les maladies cancérigènes chez les adultes [3] et [9].

En Tunisie, en raison de la rareté croissante des ressources hydriques et de leur utilisation à la fois pour l'irrigation et pour l'alimentation en eau potable, la problématique de la pollution des eaux souterraines a suscité un intérêt national [10]. La protection et la préservation de leur qualité figuraient parmi les principaux objectifs dans les programmes de développement durable du pays. Ainsi, des réseaux nationaux de surveillance et de suivi du niveau et des teneurs en nitrates des nappes aquifères ont été instaurés au cours de ces deux dernières décennies. Ces réseaux comptent 1200 points de contrôle et de prélèvement (puits de surface et forage) répartis comme suit : 484 au Nord, 308 au Centre et 308 au Sud.

Dans la région de Kasserine (Centre Ouest du pays), le réseau de surveillance compte 14 nappes (5 profondes et 9 phréatiques). La présente étude a pour but de diagnostiquer la qualité des eaux de 5 nappes phréatiques de cette région vis-à-vis de la pollution par l'ion nitrate. L'étude a été basée sur des données relatives à une période de 17 ans (1996-2013), en vue de préciser l'ampleur de la pollution nitrique d'une part, et d'identifier les facteurs majeurs contrôlant les sources de cette pollution, d'autre part.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 RÉGION D'ÉTUDE

La région de Kasserine est localisée au Centre Ouest de la Tunisie, soit à 286 km au Sud Ouest de la capitale Tunis. Longeant la frontière Algérienne sur environ 200 km, le gouvernorat de Kasserine est limitée par les gouvernorats d'El Kef et Siliana au Nord, Sidi Bouzid à l'Est, Gafsa au Sud et l'Algérie à l'Ouest (Fig. 1).

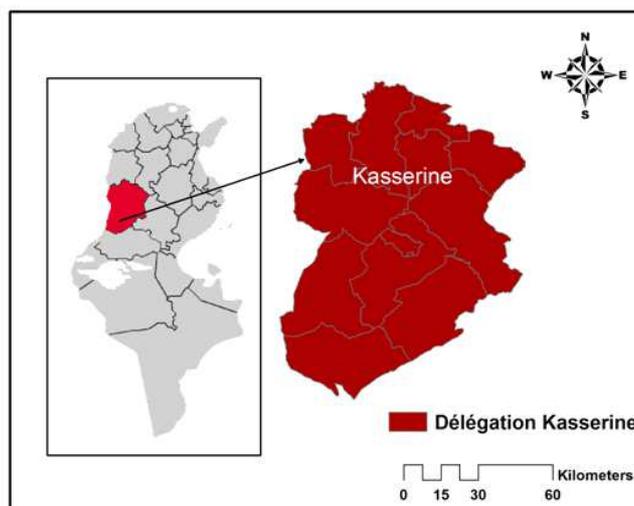


Fig. 1. Localisation de la région d'étude

Le gouvernorat de Kasserine fait partie de la région des hautes steppes de la Tunisie Centrale, zone de transition entre la Tunisie du Nord, région tellienne montagneuse froide et pluvieuse, et la Tunisie du Sud, région pré-désertique chaude et sèche. Le climat est semi aride avec une précipitation moyenne annuelle de 400 à 450 mm inégalement répartie entre les plaines et les Jebels avec une saison estivale sèche. La température varie entre un minimum de 3°C (au mois de Janvier) et un maximum de 35°C (aux mois de Juillet et Août). Les vents dominants sont le « Jebeli » en hiver, qui souffle à partir des hauteurs algériennes pour donner des températures glaciales, et le vent chaud et sec en été (à partir du mois de Mai jusqu'au mois d'Octobre) d'origine saharienne. La vitesse moyenne annuelle est d'environ 4,2 m/s.

2.1.1 GÉOLOGIE, PÉDOLOGIE ET HYDROGRAPHIE

Le relief de la région d'étude est caractérisé par un compartimentage marqué par la fréquence de fortes pentes en minichaînes montagneuses isolant des plateaux et des plaines allongées de plus en plus vastes au fur et à mesure qu'on se dirige vers l'Est. Le substratum de la région est totalement d'âge secondaire, tertiaire et quaternaire qui s'étend du trias à l'historique. La lithologie est caractérisée par la prédominance des affleurements calcaires, marneux et gypseux [11]. Les sols du gouvernorat se répartissent en sols calcimagnésiques, sols d'apport alluvial, sols iso-humiques, lithosols et régosols. Sur le plan hydrographique, le réseau traversant les vastes dépressions, est dense. Il comporte plusieurs cours d'eau dont la majorité se rattache à 3 grands bassins versants : Zeroud (coté Kairouan), Mallègue (coté EL Kef) et El Kebir (coté Gafsa), d'apport moyen annuel de 88,5 ; 26,4 et 46,72 Mm³, de façon respective. La majorité des nappes phréatiques étudiées se trouve dans le bassin versant Zeroud.

2.1.2 NAPPES D'ÉTUDE

Les cinq nappes phréatiques considérées par la présente étude sont : Ain Zayen Thmed (16,47 km²), Chereyaa (76,39 km²), Alaarich (6,49 km²), Harich (172,51 km²) et Oumlagsab (172,50 km²).

La nappe Ain Zayen Thmed se trouve dans la région de Sbiba. Le synclinal d'El Gonna se plie au pied du Jebel Mghila depuis le bassin de Sbeitla au seuil d'Ain Zayen, constituant son exutoire naturel. Cet aquifère est constitué de dépôts continentaux du Miocène qui affleure largement dans l'aire de la nappe. Les sols peu évolués d'apport occupent la partie amont de la nappe ; et en allant vers l'aval on trouve les rendzines et les sols bruns calcaires en faible quantité.

La nappe Chereyaa dite aussi la nappe du bassin de Sbeitla est logée dans les grès du Miocène. Ce complexe gréseux bénéficie d'une recharge mobilisée à partir des eaux du barrage Sfisifa. Les sols sont, essentiellement, iso-humiques et les sols bruns calcaires apparaissent en faible quantité.

La nappe Alaarich se situe dans la région de Kasserine Nord. Elle est délimitée par Oued Darb au Nord Ouest et Oued Andlou au Sud Est. Elle est logée dans une formation sablo-argileuse. Ses ressources sont renouvelées annuellement par un apport en provenance des précipitations ainsi que des écoulements permanents de l'Oued Darb au cours de la période hivernale. Les sols sont, essentiellement, peu évolués d'apport. Les sols hydromorphes apparaissent sur la rive droite et gauche d'Oued Darb.

La nappe Harich se trouvant dans la plaine de Foussana, constitue le principal aquifère des structures synclinales de la Tunisie Centrale. Cet aquifère est formé de dépôts plio-quaternaire. Sa recharge se fait à partir des lâchés du barrage Riahi dont la vanne de vidange n'est pas encore installée. Les sols sont, essentiellement, peu évolués d'apport. Des sols halomorphes et hydromorphes apparaissent le long de la rive droite d'Oued Htab.

La nappe Oumlagsab se situe sur la rive gauche d'Oued Oumlagsab commune avec le gouvernorat de Gafsa (rive gauche). Elle se trouve dans la délégation de Mejel Bel Abbas. Son alimentation est liée aux apports de crues de l'Oued Oumlagsab. Les sols dominants sont iso-humiques et bruns calcaires, les sols peu évolués et minéraux apparaissent en faible quantité.

2.2 MÉTHODOLOGIE

Le diagnostic de la contamination nitrique a été basé sur les données du réseau de surveillance de la qualité des eaux souterraines de la région de Kasserine collectées durant une période d'observation s'étalant de 1996 à 2013. Les échantillons d'eau prélevés pour l'analyse des nitrates ont été effectués, avec une périodicité trimestrielle, au droit de 22 puits de surface dont 6 appartiennent à la nappe à Ain Zayen Thmed (P164, P172, P185, P387, P388, P549), 5 à Chereyaa (P22, P33, P38, P42, P172), 3 à l'Alaarich (P76, P103, P104), 5 à l'Harich (P689, P760, P859, P917, P940), et 5 à Oumlagsab (P33, P39, P47, P65, P80) (Fig. 2).

L'évolution temporelle des nitrates a été analysée en termes de concentration moyenne annuelle pour chaque nappe et de concentration intra-annuelle pour chaque puits. Toutefois, vue la non disponibilité du matériel d'analyses au laboratoire, les concentrations des nitrates sont manquantes pour les années 2011 et 2012.

Dans le but d'identifier les sources responsables de la pollution nitrique, les facteurs pouvant influencer les concentrations en nitrates ont été analysés. Il s'agit des facteurs du milieu physique notamment les précipitations, le niveau piézométrique des nappes, les types de sol, et des pratiques agricoles particulièrement l'occupation des sols. Les données piézométriques utilisées correspondent à la période 2004-2010. Pour les données de la fertilisation azotée (minérale et organique), le mode d'irrigation et l'élevage pratiqués, une enquête a été menée auprès des agriculteurs exploitants des puits concernés.

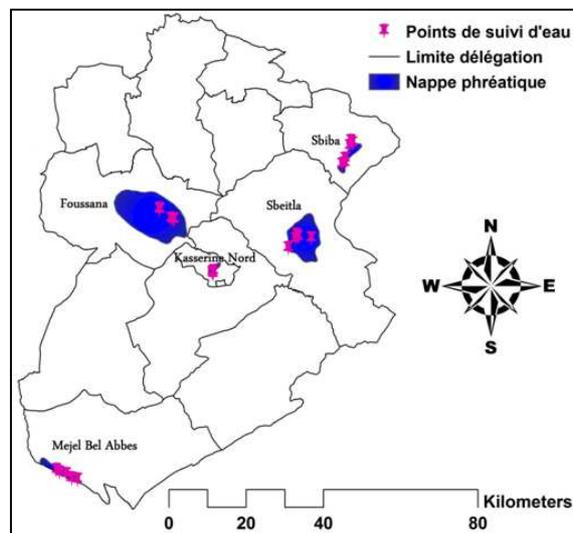


Fig. 2. Carte des points d'échantillonnage

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 EVOLUTION TEMPORELLE DES TENEURS EN NITRATES

La variation des teneurs moyennes annuelles sur la période de suivi (Fig. 3) montre une allure de distribution sensiblement identique pour les cinq nappes étudiées : des valeurs faibles ne dépassant pas la valeur admissible (à l'exception de la nappe Chereyaa) durant la période 1996-1999, puis une augmentation rapide entre les années 1999 et 2002 jusqu'à l'atteinte des valeurs maximales dépassant largement 50 mg/l, la valeur seuil fixée par l'Organisation Mondiale de la

Santé (OMS), et enfin une diminution fort importante depuis l'année 2002 pour ramener les concentrations à des valeurs inférieures à la norme.

Les concentrations moyennes maximales ont atteint les 180 et 260% la concentration admissible ; elles étaient de 131 ; 97 et 91 mg/l pour les nappes Chereyaa, Ain Zayen Thmed et Harich, de façon respective. Ces valeurs reflètent une qualité d'eau impropre à la consommation présentant des grands risques sanitaires, surtout que les exploitants ruraux s'approvisionnent directement de l'aquifère. L'intensification agricole liée à l'utilisation massive des engrais azotés et des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides, ...) peuvent expliquer en partie ces plages de fortes concentrations.

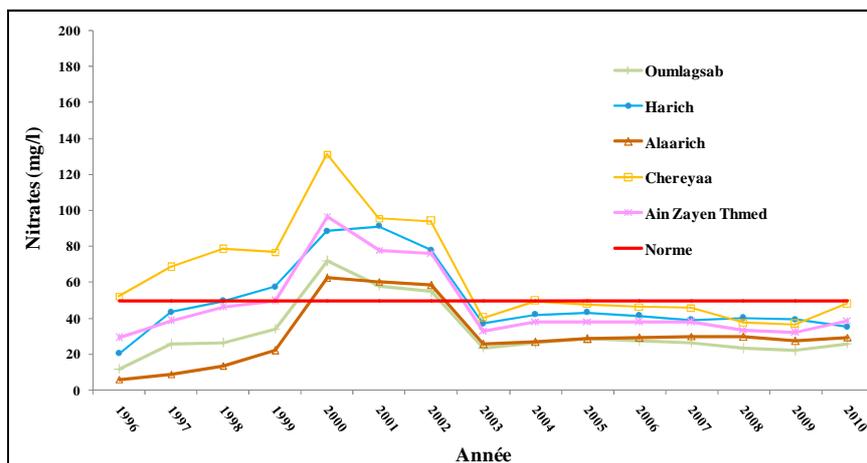


Fig. 3. Variation des concentrations nitriques moyennes annuelles

La variation intra-annuelle des concentrations en nitrates relevées dans les 22 puits en fonction du temps garde une même allure de fluctuation pour la totalité des puits de surveillance (Fig. 4). Cette dernière révèle deux périodes d'évolution, une première s'étalant de 1999 à 2002 caractérisée par une présence notable des nitrates et une deuxième, à partir de 2003, durant laquelle les concentrations ont chuté énormément pour atteindre des valeurs inférieures à la valeur seuil. Ceci est probablement en relation avec des facteurs sociaux-économiques ayant engendré une diminution de l'intensification agricole dans la région.

Les teneurs les plus élevées ont été enregistrées dans la nappe Chereyaa (Fig. 4b), avec des maximums variant de 133 (P42) à 196 mg/l (P33), qui sont trois à quatre fois la norme de l'OMS suivie par la nappe Harich (Fig. 4d) pour laquelle les maximums se trouvaient dans l'intervalle 114 mg/l (P859) et 188 mg/l (P689). Pour les autres nappes (Fig. 4a, 4c, 4e), les teneurs maximales sont relativement plus faibles et n'ont pas atteint les 125 mg/l.

Actuellement, une attention particulière doit être accordée à la nappe Chereyaa. Malgré la diminution marquée des concentrations durant la deuxième période, cette dernière reste la plus vulnérable étant donné la stabilisation des teneurs nitriques aux alentours du seuil de potabilité, notamment, dans les puits P22 (46,8 mg/l), P42 (51,3 mg/l) et P33 (54,56 mg/l). Une intensification des activités agricoles et un développement de l'élevage risque de dépasser la norme et menacer la potabilité de ses eaux. De ce fait, une étude approfondie de cette nappe permettrait de cerner les sources de contamination en vue d'adopter les mesures préventives nécessaires et d'intervenir au moment opportun.

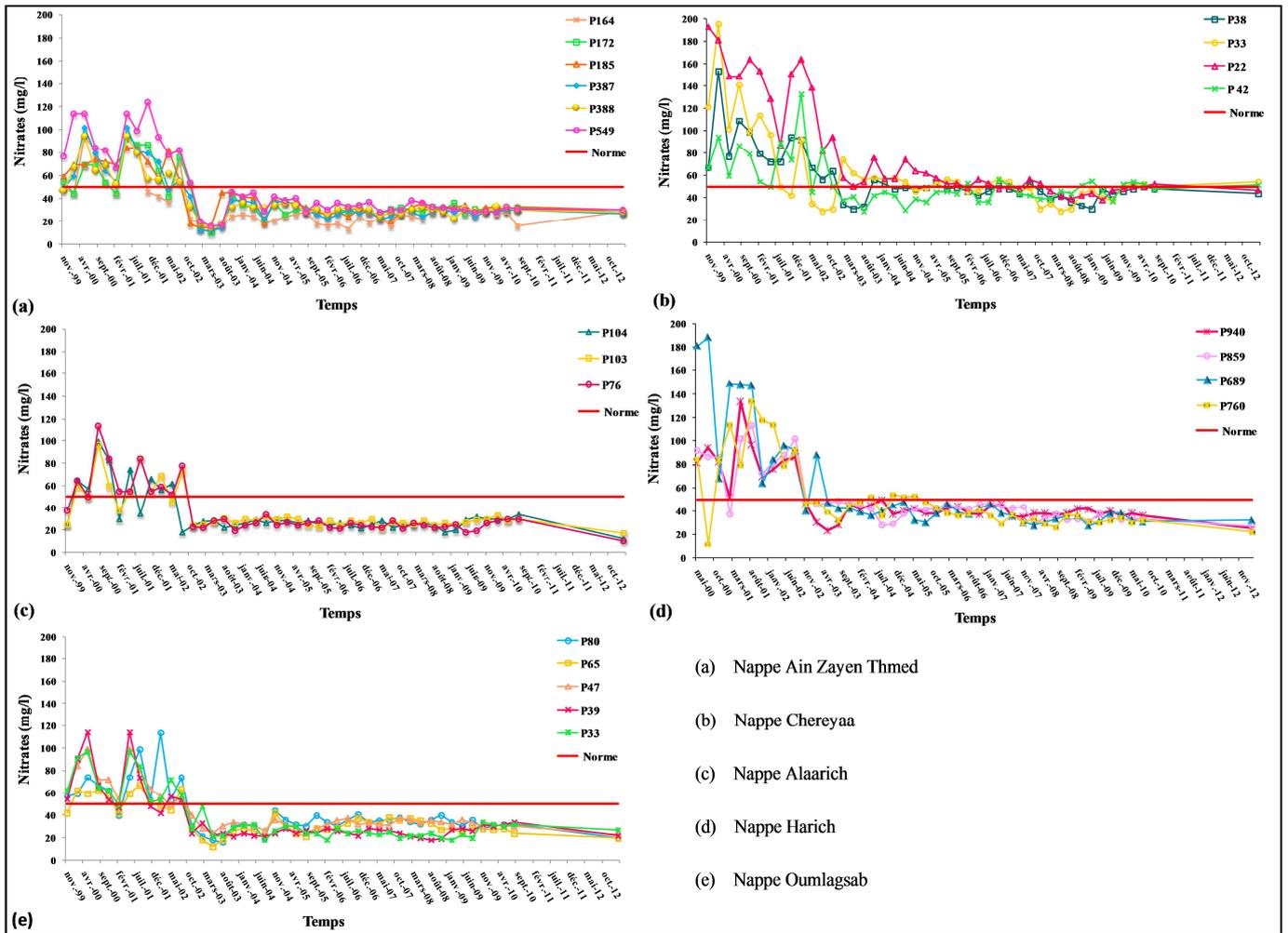


Fig. 4. Variation intra-annuelle des concentrations nitriques en fonction du temps

3.2 EVOLUTION DES TENEURS EN NITRATES EN FONCTION DE LA PLUVIOMETRIE ET DE LA PIÉZOMETRIE

L'examen des courbes de variation des teneurs en nitrates enregistrées au niveau des puits en fonction de la pluviométrie a montré l'absence d'une tendance d'évolution nette entre les deux paramètres, à l'exception des puits P33 et P38 (nappe Chereyaa) et P39 (nappe Oumlagsab). Ces derniers ont montré une tendance de diminution des nitrates avec la diminution de la pluviométrie pour la période allant de juin 2007 à juin 2008. Par ailleurs, les nitrates tendent à augmenter considérablement avec l'augmentation des précipitations (Fig. 5). Ceci pourrait être expliqué par le fait que les précipitations n'affectent pas directement les concentrations tel que démontré par les travaux de [6]. De plus, l'irrégularité de la pluviométrie de la région ne favorise pas le phénomène de dilution.

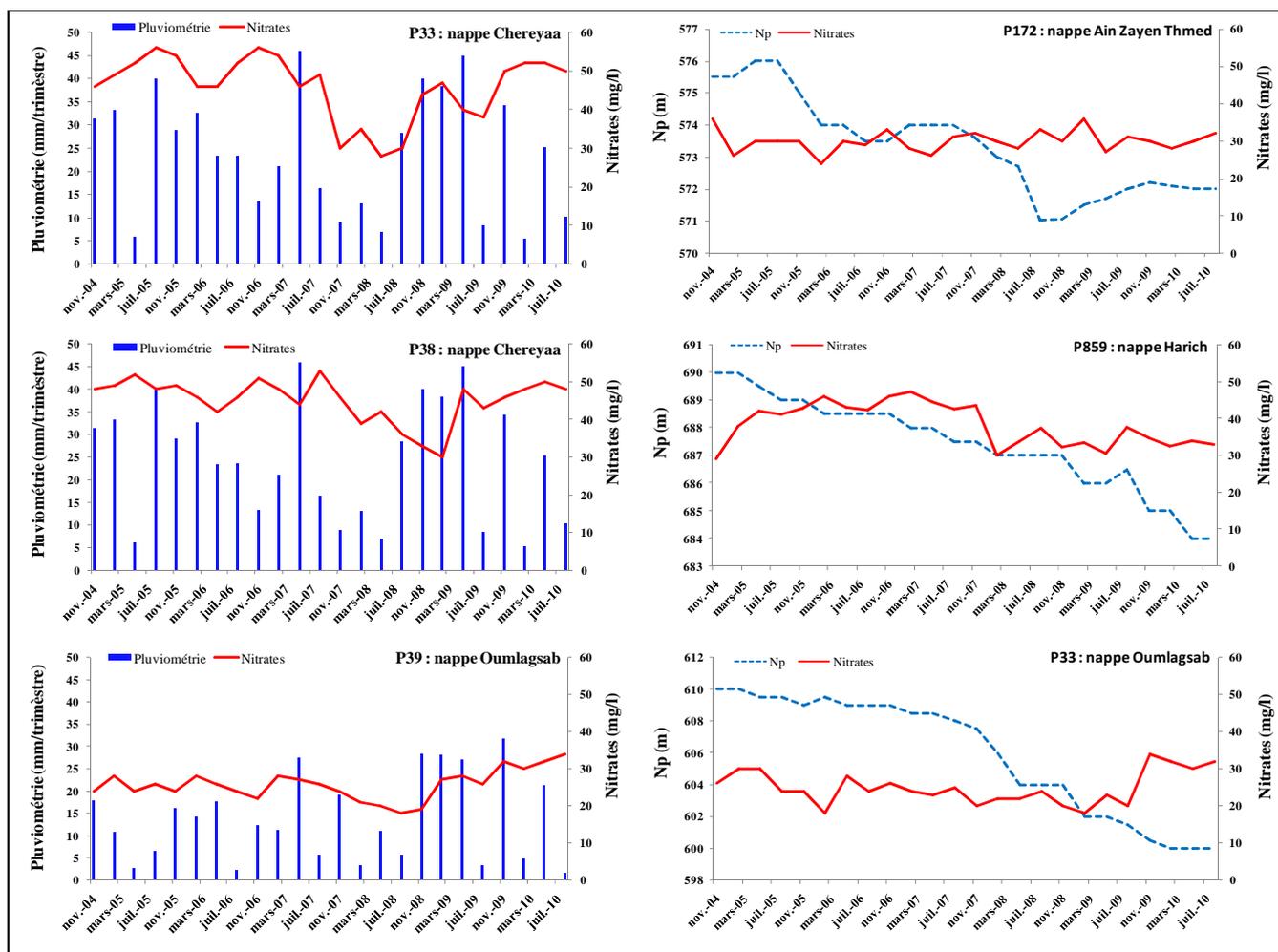


Fig. 5. Evolution des teneurs en nitrates en fonction de la pluviométrie et de la piézométrie

La chronique piézométrique des nappes étudiées a permis de constater un rabattement important entre les années 2004 et 2010. A titre d'indication, ce rabattement était de l'ordre de 3,5 m pour de la nappe Ain Zayen Thmed (P172), 6 m pour la nappe Harich (P859) et 9 m pour la nappe Oumlagsab (P33) (Fig. 5). Toutefois, les résultats n'ont pas permis de dégager de corrélations nettes entre les niveaux piézométriques et les concentrations nitriques enregistrés pour la totalité des puits surveillés. En effet, c'est particulièrement au droit de trois puits présentés dans la figure 5 qu'il y'avait une baisse de la piézométrie accompagnée d'une augmentation des concentrations en nitrates, durant la période 2004-2010.

3.3 EFFET DE LA TEXTURE DU SOL SUR LES TENEURS EN NITRATES

Afin d'examiner l'influence de la texture du sol sur la variation des nitrates, les points de surveillance ont été regroupés, selon la classe texturale, en trois catégories : texture fine (argileuse), moyenne (sablo-argileuse) et grossière (sableuse, sablo limoneuse). L'établissement des cartes de textures des sols par le Système d'Information Géographique (SIG) a permis de montrer, pour 16 puits de quatre nappes (exceptés ceux de la nappe Ain Zayen Thmed), que la concentration des nitrates est fortement influencée par la texture du sol (Fig. 6). En effet, les teneurs les plus faibles, se situant entre 7 et 19 mg/l, ont été observées dans les sites à texture fine (P47 de la nappe Oumlagsab et P859, P687 de la nappe Harich) étant donné leur forte microporosité capable de retenir en partie les nitrates dans le sol. Les teneurs moyennes, variant de 22 à 30 mg/l, ont été notées au niveau des sites à texture moyenne (P917, P940 et P760 de la nappe Harich ; P80, P33 et P39 de la nappe Oumlagsab et P76 de la nappe Alaarich). Par contre les concentrations les plus élevées, allant de 44 à 54 mg/l, ont été enregistrées dans les sites à texture grossière (P22, P33, P38 et P42 de la nappe Chereyaa). Ces derniers possèdent une grande macroporosité qui permet de libérer plus d'éléments dissous comme les nitrates qui seront logés dans la nappe.

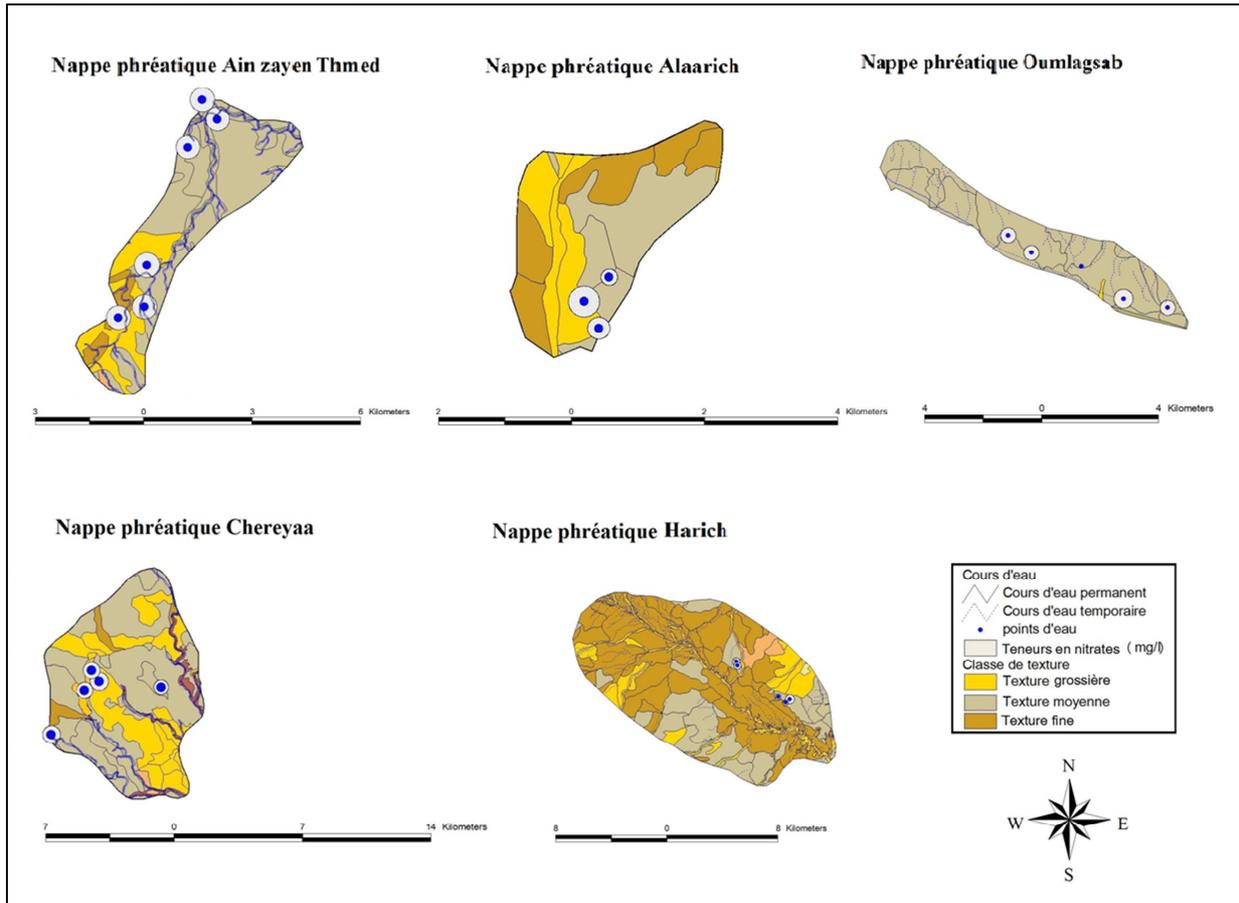


Fig. 6. Répartition des teneurs en nitrates en fonction de la texture du sol

3.4 EFFET DES APPORTS AZOTÉS SUR LES TENEURS EN NITRATES

Les résultats de l'enquête ont révélé une certaine concordance entre les nitrates se trouvant dans les eaux des puits surveillés et les apports d'engrais azotés (Fig. 7).

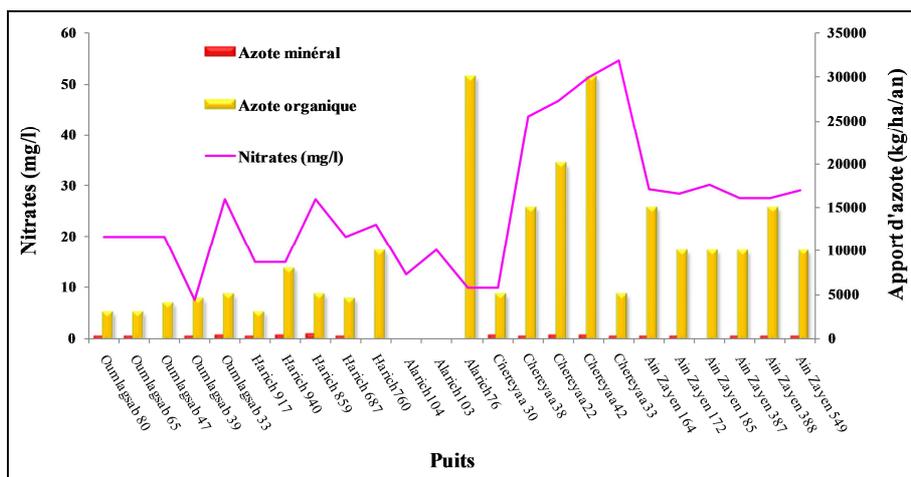


Fig. 7. Impact d'apport d'azote sur les teneurs en nitrates

Les teneurs sont d'autant plus élevées que les doses d'azote appliquées sont importantes. D'ailleurs, la pollution des nappes causée par le lessivage d'importantes quantités d'engrais azotés vers les eaux souterraines est largement appuyée

par les travaux de [12], [13] et [14]. En outre, un écart important entre l'azote minéral et organique pratiqués a été noté. Les agriculteurs appliquent des quantités annuelles énormes de fumier d'environ 30 000 kg/ha/an comparativement à celles de l'azote minéral variant de 150 à 450 kg/ha/an. De plus, l'analyse des données de l'occupation des sols durant la période 1999-2013 ont permis de révéler en partie une relation cultures-nitrates. Les sols occupés par des cultures horticoles (pomme de terre, culture maraichère, légume à feuille) ont tendance à lessiver des quantités élevées en nitrates. Par contre, pour les parcelles arboricoles (pommier, amandier, pistachier, etc.) les teneurs en nitrates sont plus faibles.

3.5 EFFET DU MODE D'IRRIGATION SUR LES TENEURS EN NITRATES

Le mode d'irrigation couplé à d'autres facteurs du milieu physique notamment les caractéristiques hydrogéologiques du sol, ainsi que le niveau de la nappe par rapport à la surface du sol peuvent limiter ou accentuer l'entraînement des polluants nitriques vers les nappes [15]. Les systèmes d'irrigation adoptés par les exploitants des puits de surface considérés par la présente étude sont le gravitaire employé pour les cultures arboricoles (pommier, figuier, amandier, pistacher, etc.); l'aspersion pour les cultures fourragères et le goutte à goutte pour l'olivier, les cultures arboricoles et maraichères. Cependant, le système d'irrigation le plus répandu au voisinage des points de surveillance est le gravitaire.

Les résultats présentés dans le Tableau 1 ont permis de révéler qu'en absence d'un système d'irrigation ou en appliquant le goutte-à-goutte, les risques de lessivage des nitrates sont faibles et les teneurs n'ont pas dépassé 41 mg/l. Par contre l'aspersion peut être un facteur de pollution des eaux souterraines mais de façon moindre que l'irrigation de surface. Au droit des parcelles utilisant cette technique, les nitrates présents dans l'eau atteignent 60 mg/l. En irrigation gravitaire, la teneur en nitrates est deux fois plus élevée qu'en goutte à goutte surtout en présence d'un sol à texture grossière tel est le cas de la nappe Chereyaa où la concentration a atteint 78 mg/l. En effet, mise à part la forte hétérogénéité de répartition de l'eau et des fertilisants apportés, le gravitaire induit des pertes importantes par drainage profond et favorise l'entraînement des nitrates et la pollution des ressources hydriques souterraines.

Tableau 1. Systèmes d'irrigation et concentration moyenne en nitrates des points de surveillance

Nappe	Système d'irrigation	Concentration moyenne (mg/l)
Oumlagsab	Gravitaire	25 – 34
Alaarich	Pas de système d'irrigation	25 – 27
Harich	Gravitaire	36 – 51
Chereyaa	Aspersion classique	56 à 60
	Gravitaire	53 - 78
Ain Zayen Thmed	Goutte à goutte	33 – 41
	Aspersion classique	42 - 43

4 CONCLUSION

Bien que les nitrates soient naturellement présents dans certaines eaux souterraines, les fortes concentrations sont généralement le résultat indirect des activités humaines dont l'incidence peut se faire sentir à long terme. L'analyse des tendances temporelles des concentrations nitriques observées sur 17 ans a montré une forte dégradation de la qualité des eaux des puits entre 1996 et 2003 avec des teneurs excessives atteignant pour certains cas ; des valeurs trois à quatre fois la limite de potabilité. Depuis 2003, une forte diminution a été notée, et la valeur seuil de potabilité est respectée. Les tendances observées peuvent être attribuées aux variations du taux d'intensification agricole liées aux facteurs sociaux-économiques de la région. A ceci, s'ajoutent les mauvaises pratiques de la gestion agricole adoptées par les agriculteurs avec la prédominance de l'irrigation gravitaire et l'épandage des quantités importantes d'engrais pour un meilleur rendement. Ces pratiques s'éloignent largement des mesures conservatrices et préservatives des ressources déjà rares. L'impact de la texture du sol, contrairement à la pluviométrie et à la piézométrie, a pu être mis en évidence. La nature grossière du sol peut favoriser le lessivage des nitrates et accentuer le processus de pollution. A l'égard de la piézométrie, il ya lieu de souligner également que les relevés des teneurs en nitrates n'intéressent qu'un nombre réduit de puits ne permettant pas d'établir la carte piézométrique de chaque nappe. De ce fait, l'installation d'un réseau de piézomètres de plus forte densité pourrait remplacer le réseau de puits existant, pour pouvoir distinguer les zones les plus vulnérables à l'infiltration des nitrates en fonction du sens d'écoulement, qui présente le vecteur de transport des nitrates dans les eaux souterraines.

REFERENCES

- [1] V. Hallet, "Modélisation mathématique de l'évolution à long terme des teneurs en nitrates dans la nappe aquifère des craies du Crétacé de Hesbaye (Belgique)", *Revue des Sciences de l'Eau*, vol. 17, no.1, pp. 3-22, 2004.
- [2] M. Ben Abbou, M. El Haji, M. Zemzami et F. Fadil, "Détermination de la qualité des eaux souterraines des nappes de la province de Taza (Maroc)", *Larhyss Journal*, no. 16, pp. 77-90, 2013.
- [3] S. Colleen, "The effect of nitrate, nitrite and N-nitrosocompounds on human health", *Veterinary and Human Toxicology Review*, no. 35, pp. 521-538, 1993.
- [4] H. Berdai, B. Soudi et A. Bellouti, "Contribution à l'étude de la pollution nitrique des eaux souterraines en zones irriguées : Cas du Tadla", *Revue H.T.E.*, no. 128, pp. 65-87, 2004.
- [5] T. Tagma, Y. Hsissou, L. Bouchaou, L. Bouragba and S. Boutaleb, "Groundwater nitrate pollution in Souss-Massa basin (south-west Morocco)", *African Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 3, no. 10, pp. 301-309, 2009.
- [6] A. Dupuy, M. Razack et O. Banton, "Contamination nitratée des eaux souterraines d'un bassin versant agricole hétérogène", *Revue des Sciences de l'Eau*, no. 2, pp. 185-198, 1997.
- [7] N. S. Rao, "Nitrate pollution and its distribution in the groundwater of Srikakulam district, Andhra Pradesh, India", *Environmental Geology*, no. 51, pp. 631-645, 2006.
- [8] N. Boualla, "Pollution des systèmes aquifères du bassin de la sebkha d'Oran", *ScienceLib Editions Mersenne*, vol. 3, no. 110904, 2011.
- [9] A. Landreau, "La pollution des eaux par les nitrates", *Eau et Développement*, no. 10, pp. 49-58, 1990.
- [10] Direction générale des Ressources en eaux (DGRE), *Annuaire de la qualité des eaux souterraines en Tunisie*, 333p, 2008.
- [11] ARC, *Atlas du gouvernorat de Kasserine*, 88p, 2008.
- [12] F. Derradji, H. Bousnoubra, N. Kherici, M. Romeo et R. Caruba, "Impact de la pollution organique sur la qualité des eaux superficielles dans le nord-est algérien", *Sècheresse*, no. 18, pp. 23-37, 2007.
- [13] K. El Bouqdaoui, M. Aachib, M. Blaghen et S. Kholtel, "Modélisation de la pollution par les nitrates de la nappe de Berrechid, au Maroc", *Afrique SCIENCE*, vol. 05, no. 1, pp. 99-113, 2009.
- [14] A. Rouabhia, F. Baali, A. Hani et L. Djabri, "Impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux souterraines d'un aquifère en zone semi-aride", *Sècheresse*, no. 20, pp. 279-285, 2009.
- [15] N. Aghzar, H. Berdai, A. Bellouti and B. Soudi, "Groundwater nitrate pollution in Tadla (Morocco)", *Revue des Sciences de l'Eau*, vol. 15, pp. 492-495, 2002.