

**SIMULATION DU TRANSPORT DES NITRATES DANS LES EAUX
DE L'AQUIFÈRE PLIO-QUATERNAIRE DE LA PLAÎNE DE
GHRISS (NORD-OUEST ALGÉRIEN).
SIMULATION OF NITRATE TRANSPORT IN THE GHRISS PLAIN
PLIO-QUATERNARY AQUIFER GROUNDWATER (NORTH-
WEST OF ALGERIA).**

Benkacem BEKKOUSSA : Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau, Université de Mascara, BP 763 route de Mamounia, Mascara 29000, Algérie.

Mohamed MEDDI. LGEE-Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique, BP 31, 09000.Blida. Algérie.

A. KHALDI . Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau, Université de Mascara, BP 763 route de Mamounia, Mascara 29000, Algérie.

RESUME : Les nitrates sont des éléments chimiques très solubles et très mobiles dans l'eau. Leurs présences dans les eaux souterraines avec des concentrations élevées indiquent fréquemment une contamination anthropique. Ils proviennent essentiellement de l'utilisation massive des fertilisants azotés ou des rejets urbains non épurés. Des concentrations élevées en nitrates allant jusqu'à 180 mg/l ont été observées dans quelques points du système aquifère de la plaine de Ghriss. Cette pollution nitratée risque de s'aggraver et de s'étendre si aucune disposition n'est prise. Le modèle analytique MISP, développé par le BRGM (Bureau de Recherche Géologique et Minière), a été utilisé pour la simulation du transport de nitrates dans la nappe plio-quaternaire à partir de trois zones exposées à des pollutions nitratées d'origine agricole ou urbaine. Les résultats de ces simulations montrent qu'une contamination chronique issue de la partie Sud de la plaine sera celle qui engendrera la dégradation la plus notable de la qualité des eaux de la nappe plio-quaternaire. En effet, cette simulation indique que la teneur en nitrate dans les eaux dépassera la norme de potabilité sur une distance de 16 Km après 100 ans. Spatialement le panache de pollution atteindra après 100 ans les Djebel Emfous et Bouradou qui constituent les affleurements des formations calcaréo-dolomitiques du jurassique avec des concentrations en nitrates supérieures à la norme de potabilité et allant jusqu'à 200 mg/l.

Mots clés : Simulation, Nitrates, Eau souterraine, Nappe plio-quaternaire, Plaine de Ghriss.

ABSTRACT: Nitrates are highly soluble chemical elements with highly mobility in water. Their presences in groundwater with high concentrations frequently indicate anthropic contamination. They originate essentially from the massive use of nitrogen fertilizers by the farmers and from wastewater discharge. High concentrations of nitrates reaching over than 180 mg / l were observed in some parts of the aquifer system of the Ghriss plain. This nitrate pollution can worsen and extend if no provisions are made. The MISP analytical model, developed by the BRGM (Bureau de Recherche Géologique et Minière), was used to simulate the transport of nitrates in the water of the Plio-Quaternary aquifer from three areas exposed to agricultural or urban nitrate pollution. The results of these simulations show that chronic contamination coming from the southern part of the plain should generate the most significant degradation of water quality of the Plio-Quaternary aquifer. Indeed, this simulation indicates that the nitrate concentration in water exceed the standard for drinking water over a distance of 16 km after 100 years. Spatially, the plume of pollution will reach after 100 years thel Emfous and Bouradou Mountains which are the outcrops of the Jurassic formation with nitrate concentrations exceeding the standard for drinking water reaching over than 200 mg /l.

Keywords: Simulation, Nitrates, Groundwater, Plio-quaternary aquifer, Ghriss plain.

INTRODUCTION

La plaine de Ghriss est une région à climat semi-aride, située au Nord Ouest Algérien. Elle est actuellement confrontée à un déficit en eau très préoccupant qui se répercute négativement sur son développement socioéconomique. Les eaux souterraines y constituent la seule ressource en eau potable pour une population locale estimée à plus de 320 800 habitants. Elle contribue également à l'irrigation de plus de 8000 hectares de terres agricoles (DPAT, 2005). L'intensification des activités agricoles, la croissance démographique et les conditions climatiques défavorables, à savoir une sécheresse persistante depuis plus de 30 ans et une évaporation très importante, sont des facteurs qui contribuent d'une part à la diminution des réserves du système aquifère de la plaine de Ghriss (Bekkoussa et al., 2008), et d'autre part à la dégradation de la qualité de ces eaux souterraines. En dépit des restrictions de pompage imposées par les gestionnaires de

l'eau, le niveau de la nappe Plio-Quaternaire de la plaine de Ghriiss n'a cessé de baisser entre 1970 et aujourd'hui, cette baisse atteignant près de 50 mètres pour quelques puits. Actuellement, les concentrations en sels et en quelques éléments chimiques dépassent parfois en certains points les normes internationales fixées par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) et le conseil des communautés européennes relatives aux eaux destinées à la consommation humaine. Les concentrations des nitrates dans les eaux de la nappe plio-quaternaire sont importantes, elles atteignent parfois des valeurs inquiétantes comme c'est le cas dans l'extrême sud de la plaine où elles dépassent 100 mg/l dans certains puits.

Il ressort de ce constat la nécessité de comprendre mieux les mécanismes de cette pollution et son évolution spatiale et temporelle par des simulations selon différents scénarii, afin de protéger les eaux de cet aquifère et ces consommateurs.

CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

Les études entreprises sur la région ont permis d'identifier trois aquifères interdépendants :

Aquifère des alluvions plio-quaternaires

C'est une nappe libre qui s'étend sur toute la plaine. Cet aquifère est constitué d'alluvions, de calcaires blancs altérés poreux et fissurés, de sables de désagrégation, de grès et de calcaires lacustres. Cette nappe superficielle est alimentée par l'infiltration des eaux de pluie au travers de son impluvium, à laquelle il faut ajouter les retours à la nappe dans les zones irriguées, et les apports latéraux venants de l'aquifère du jurassique au Sud et au Sud-Est, ainsi que de l'aquifère des calcaires et grès du pliocène au Nord. Son mur est constitué par des marnes. Le niveau de cette nappe varie en moyenne de -6 à -80 mètres par rapport au sol.

Aquifère des calcaires et grès du pliocène

Cet aquifère de calcaires lacustres du pliocène affleure dans les monts de Béni Chougrane au-dessus des grès de l'astien avec lesquels ils forment une même entité hydrogéologique. Elle repose sur un horizon très peu perméable formé d'argile rouge au Sud et d'une grande épaisseur de marnes vertes miocènes au Nord d'une ligne Tizi-Matimore. Le principal exutoire de cet aquifère se trouve au contact avec les formations plio-

quaternaire vers lesquelles l'eau de l'aquifère percole par drainance ascendante.

Aquifère des calcaires dolomitiques du jurassique

C'est un aquifère de type karstique relativement évolué. Les calcaires et dolomies du jurassique affleurent sur les monts de Saida d'une part, et sur les Djebels Emfous et Bouradou d'autre part. L'écoulement des eaux s'effectue en réseau karstique sous la plaine et se dirige vers la source de Ain Fekan.

MODÈLE MISP

MISP est un modèle analytique en accès libre développé par le BRGM (Guyonnet, 2008). Il calcul l'impact, sur les eaux souterraines, d'une source de pollution située au dessus d'une nappe phréatique. Le terme modèle analytique désigne un modèle qui ne nécessite pas une discrétisation spatiale du domaine simulé (un maillage), et la résolution d'une matrice d'équations. Par contre, le modèle MISP fait appel à des techniques numériques, notamment à l'inversion numérique de transformations de Laplace, à l'intégration numérique, ou à la convolution.

La principale caractéristique de MISP par rapport à des outils existants analogues, réside dans le fait que ce modèle ne fait pas appel à l'hypothèse d'une "couche de mélange" pour calculer la concentration en polluant dans l'eau souterraine à l'aplomb de la source de pollution.

Le modèle combine, par convolution, une solution analytique pour la migration verticale à travers une couche surplombant l'aquifère, avec une solution proposée par Galya (Galya, 1987), pour la migration tri-dimensionnelle à partir d'une source plane située à la surface de la nappe.

Les modèles analytiques (ou semi-analytiques), supposent presque tous l'existence d'une hypothétique "couche de mélange", située à l'aplomb de la zone source (tel que RBCA, POLLUTE, SoilRisk, HESP....). Le flux polluant émis par la source est d'abord mélangé de manière homogène et instantanée dans la couche de mélange, pour fournir une concentration à l'aplomb de la source, cette concentration devenant une condition limite pour le transport dans l'aquifère vers l'aval de la source. Le transport dans l'eau souterraine est estimé à l'aide, notamment, de la solution approchée de Domenico et Robbins (Domenico et Robbins, 1985), ou de la solution plus rigoureuse de Sagar (Sagar, 1982).

Le problème avec cette approche réside dans le fait qu'un tel mélange homogène et instantané n'existe pas dans l'eau souterraine. Le mélange est un processus graduel qui résulte de plusieurs phénomènes parmi lesquels la variation spatiale du champ des vitesses, la dispersion latérale, les effets de densité, etc.

MISP combine une solution pour la migration verticale, par advection et diffusion-dispersion, à partir d'une source de pollution située au dessus d'une couche surplombant un aquifère, avec une solution qui calcule la migration tri-dimensionnelle dans l'aquifère de polluants émis par une source horizontale située à la surface de la nappe. Cette combinaison est effectuée à l'aide d'une convolution (ou superposition). Cette technique est particulièrement utile pour incorporer des conditions aux limites complexes dans les solutions analytiques.

La solution de Galya pour le transport dans l'aquifère considère un flux massique M qui pénètre l'aquifère à la surface de la nappe, sur une aire de longueur L dans la direction d'écoulement des eaux souterraines, et de largeur B dans la direction perpendiculaire.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

A l'issue de l'étude de la répartition spatiale des éléments physico-chimiques dans l'aquifère plio-quadernaire, trois régions présentant des concentrations élevées notamment en nitrates ont été identifiées. Ces régions sont localisées comme suit : au Nord-Est de la ville de Tighennif, au Sud-Ouest de la ville de Mascara et à l'extrême Sud de la plaine de Ghriss. De plus, ces régions sont caractérisées par un indice de vulnérabilité élevée vis-à-vis de la pollution, ce qui augmente le risque d'une contamination locale de la nappe pouvant s'étendre à des distances appréciables en cas de persistance de celle-ci.

Une simulation d'une pollution à partir de deux de ces trois parties de la plaine a été tentée en utilisant le modèle MISP, en tenant compte des caractéristiques hydrodynamiques, structurales et anthropiques de chaque partie et suivant des scénarios précis.

Simulation N°1

On admet pour la 1ère simulation une zone source de pollution continue d'origine agricole, située dans la partie Nord-Est de la plaine, d'une superficie de 400 hectares avec un flux massique (d'infiltration)

de 150 Kg/Ha/an de nitrates. On considère une concentration initiale de 50 mg/l dans la zone source et une concentration nulle dans toute la nappe. L'évolution de la contamination simulée par le modèle MISP en fonction du temps suivant l'axe du panache ($Y=0$ m), indique que le seuil de potabilité des eaux de la nappe, à savoir 50 mg/l de nitrates, est dépassé après 10 ans sur une distance de 2 Km depuis l'origine de la source et suivant le sens d'écoulement. La propagation du panache de pollution atteint 9 Km et 16 Km respectivement après un temps de simulation de 50 ans et de 100 ans.

La Figure 1 représente la distribution spatiale de la concentration des nitrates à la surface de la nappe (profondeur $Z = 0$ m) simulée par le modèle MISP après 100 ans. On constate que la migration de la pollution (concentration supérieure à la norme de potabilité à savoir 50 mg/l) est très étendue suivant la ligne principale d'écoulement. La teneur maximale en nitrate (plus de 110 mg/l) est observée au centre du panache. Cette contamination préoccupante approche une distance de 15 Km suivant la ligne d'écoulement.

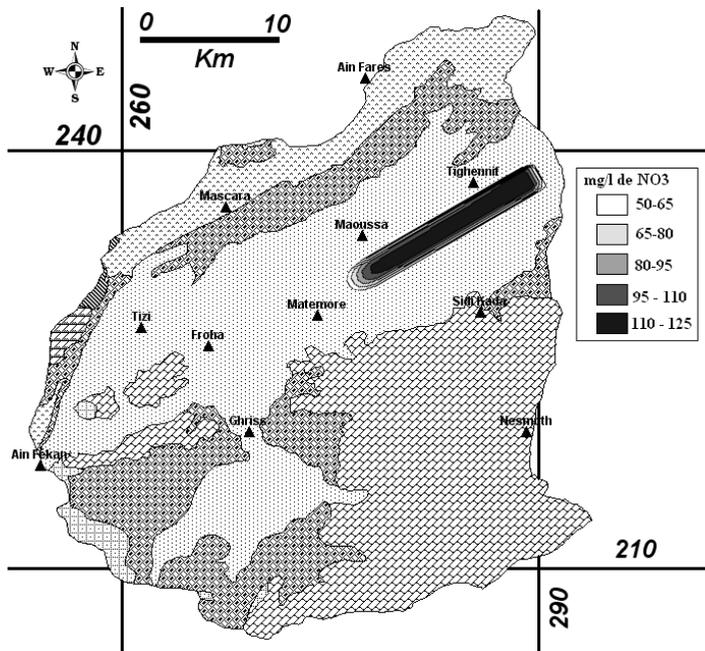


Fig. 1. Iso-teneur en nitrates dans le plan pour la simulation de pollution N°1. (T= 100 ans et Z= 0 m)

Simulation N°2

Cette simulation illustre l'impact d'une pollution d'origine agricole située à l'extrême Sud de la plaine sur la nappe superficielle. Comme pour la 1ère simulation on admet l'existence d'une zone de pollution nitratée située dans cette partie de la plaine et caractérisée par : une superficie de 400 Hectares, un flux massique ANNUEL de 150 Kg/Ha et une durée infinie (pollution chronique).

Spatialement, on remarque que le panache de pollution atteint après 100 ans les Djebel Emfous et Bouradou (Fig. 2), qui constituent les affleurements des formations calcaréo-dolomitiques du jurassique avec des concentrations en nitrates supérieures à la norme de potabilité et allant jusqu'à 200 mg/l. Arrivée à cette partie de la plaine, la propagation de la contamination serait plus rapide, compte tenu de la perméabilité élevée des calcaires et dolomies du jurassique. De plus, l'aquifère du jurassique sous-jacent, connu par sa forte vulnérabilité vis-à-vis des pollutions, serait lui aussi sous la menace d'une contamination en profondeur.

Les concentrations importantes observées lors de cette simulation sont dues à la faible transmissivité des terrains. Le renouvellement des eaux dans cette partie de la plaine (connue sous le nom de plaine de Guerdjoum) est très faible et l'accumulation des nitrates issus de la contamination anthropique augmente au fur et à mesure que la pollution continue.

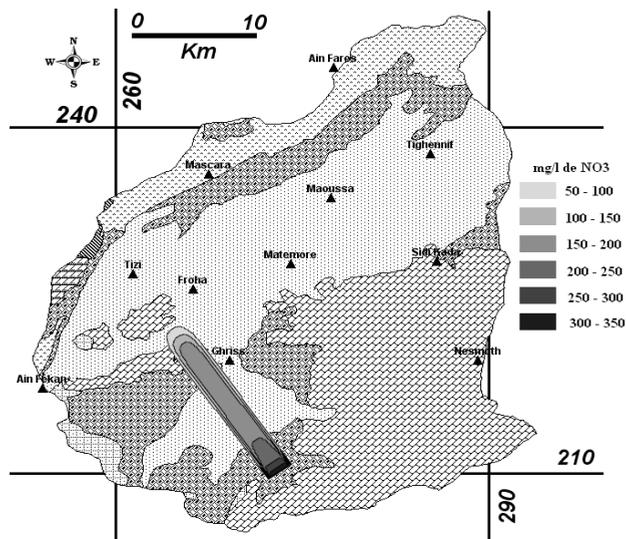


Fig. 2. Iso-teneur en nitrates dans le plan pour la simulation de pollution N°2. (T=100 ans et Z=0 m)

CONCLUSION

Les résultats des simulations montrent qu'une contamination chronique issue de la partie Sud sera celle qui engendrera la dégradation la plus notable de la qualité des eaux de la nappe plio-quaternaire. En effet, la concentration en nitrate à la surface de nappe ($Z=0\text{m}$) et suivant l'axe d'écoulement central ($Y=0\text{m}$) variera entre 400 et 200 mg/l pour une distance de 5 km à l'aval de la source et cela après 50 ans. La teneur en nitrate dans les eaux dépassera la norme de potabilité sur une distance de 16 Km après 100 ans. Spatialement, on remarque que le panache de pollution atteindra après 100 ans les Djebel Emfous et Bouradou qui constituent les affleurements des formations calcaréo-dolomitiques du jurassique avec des concentrations en nitrates supérieures à la norme de potabilité et allant jusqu'à 200 mg/l. Arrivée à cette partie de la plaine, la propagation de la contamination serait plus rapide, compte tenu de la perméabilité élevée des calcaires et dolomies du jurassique. De plus, l'aquifère du jurassique sous-jacent, connu par sa forte vulnérabilité vis-à-vis des pollutions, serait lui aussi sous la menace d'une contamination en profondeur.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bekkoussa, B., Meddi, M. & Jourde, H., (2008). Forçage climatique et anthropique sur la ressource en eau souterraine d'une région semi-aride : cas de la plaine de Ghriss, nord ouest algérien. *Revue sécheresse* (2008), Vol. 19, n°3, 173-184.
- Bekkoussa, B., (2009). Modélisation du transfert et de la propagation des nitrates dans les eaux souterraines de la plaine de Ghriss. Thèse de doctorat, UST Oran, Algérie (178p).
- DPAT, (2005). Rapport annuel de la direction de la planification et de l'aménagement du territoire de la Wilaya de Mascara. Rapport interne DPAT, Mascara, Algérie, (131 p).
- Guyonnet, D., (2008). MISP_v1. Un modèle analytique pour estimer l'impact de sources de pollution sur les eaux souterraines. Guide d'utilisation. Rapport BRGM RP-56152-FR (79 p).

