

# ÉTUDE DE L'ÉVOLUTION DE L'INTRUSION MARINE DANS L'AQUIFÈRE CÔTIER DE NADOR (TIPAZA, ALGERIE)

BOUDERBALA Abdelkader<sup>1\*</sup>, REMINI Boualem<sup>2</sup>, SAAED HAMOUDI Abdelamir<sup>3</sup>  
et YOUNSI Abdelkader<sup>4</sup>

1\* : *Faculté des Sciences de la Terre, Université de Khemis Miliana. E\_mail: [bouderbala.aek@gmail.com](mailto:bouderbala.aek@gmail.com)*

2 : *Faculté des Sciences de l'eau, Université Saad Dahlab, Blida. E\_mail: [reminib@yahoo.fr](mailto:reminib@yahoo.fr)*

3 : *Faculté d'architecture et de génie civil, Université Hassiba Ben Bouali, Chlef.*

4 : *Laboratoire des Géosciences et techniques de l'Environnement, Faculté des Sciences, Université Chouaib Doukkali, El Jadida, Maroc. E\_mail: [abyounsi@hotmail.com](mailto:abyounsi@hotmail.com)*

## Résumé :

L'aquifère côtier de Nador à Tipaza a constitué durant la période 1980-2000, un exemple des aquifères les plus exploités dans la région, ce qui s'est répercuté négativement sur sa qualité. Ce travail est consacré à l'étude de l'évolution de l'intrusion marine dans cette ainsi que à la délimitation de son extension à l'intérieur de cette nappe en état actuel. Des données anciennes ont été exploitées, ainsi qu'un suivi piézométrique et hydrochimique de 2008 à 2012 et une prospection géoélectrique ont été réalisés.

Les résultats de l'état piézométrique et l'hydrochimie, ont pu mettre en évidence l'existence de l'isopièze zéro à l'intérieur des terres, avec une forte minéralisation des eaux observée dans la frange côtière indiquant une contamination par l'eau marine. Les analyses physico-chimiques montrent aussi une dilution des eaux souterraines par rapport aux années quatre vingt-dix, grâce à la réduction du pompage dans cette nappe et à la fermeture de la majorité des puits situés dans la zone côtière.

L'interprétation des résultats de la prospection électrique confirme que l'origine de la salinité est due à un avancement de l'intrusion marine dans l'aquifère, avec un l'étalement à environ 2 km à l'intérieur du continent.

**Mots clés:** Nador, intrusion marine, piézométrie, hydrochimie, prospection géoélectrique.

## 1. INTRODUCTION

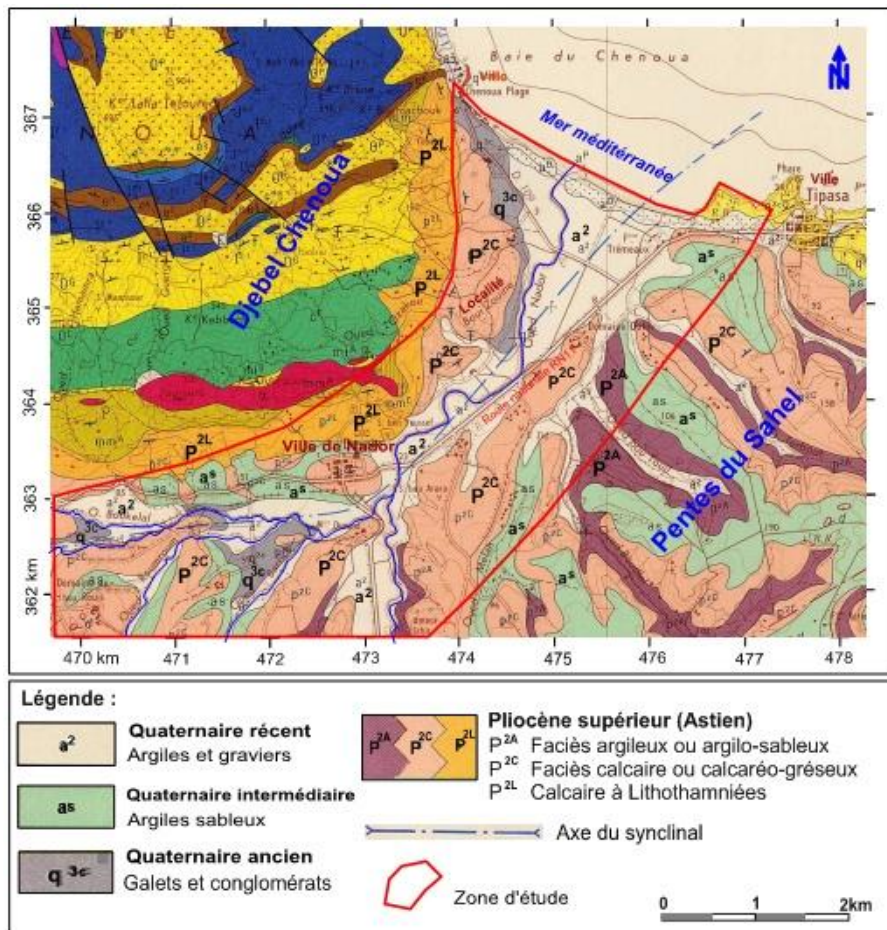
La dégradation de la qualité des eaux souterraines en zones côtières devient un sujet inquiétant, résultant de multiples actions naturelles et anthropiques (Najib 2015). La salinisation par l'intrusion marine constitue l'une des principales causes de cette dégradation dans le domaine côtier Algérien (Bouderbala 2015).

L'aquifère côtier de Nador fait partie de ces zones côtières, il est situé sur le littoral méditerranéen sous un climat semi-aride où l'on observe un essor démographique important et une forte activité agricole. L'approvisionnement en eau potable et d'irrigation se fait à partir des eaux de surface et souterraines. Ces dernières circulent à des profondeurs faibles, moins de 20 m. une surexploitation de ses eaux souterraines a perturbé l'équilibre naturel entre les eaux marines et les eaux souterraines, il en a résulté comme conséquence l'intrusion d'eau marine vers cet aquifère.

Le but de notre travail est de contribuer à comprendre les causes de salinisation des eaux souterraines dans la plaine de Nador en combinant les méthodes piézométrique et hydrochimique.

La zone d'étude fait partie de la grande unité littorale appelée le Sahel d'Alger. Elle est située à 75 km environ à l'Ouest d'Alger, limitée au Nord par la mer Méditerranée, au Sud et à l'Est par les pentes du Sahel et à l'Ouest par Djebel Chenoua (Fig. 1).

De point de vue géologique et hydrogéologique, l'aquifère est constitué par les terrains astiens et les niveaux alluviaux (gréso-conglomératiques) du Quaternaire basal. A cet effet, on l'appelle l'aquifère plio-quaternaire, dont l'épaisseur est de l'ordre de 60 m. Il s'agit d'un aquifère renfermant une nappe généralement captive au niveau de la plaine, puisqu'il est coiffé, dans son ensemble, par les terrains argileux épais et imperméables du Quaternaire récent, mais la nappe est libre dans les deux versants de la plaine où l'astien gréseux affleure. Le substratum de cet aquifère plio-quaternaire correspond aux terrains marno-argileux du Pliocène inférieur, il est fortement plissé, constituant un synclinal penté vers la mer. Cela met le biseau d'eau salée en contact direct avec les eaux souterraines et favoriserait un éventuel phénomène d'intrusion marine vers l'aquifère. L'alimentation de la nappe plio-quaternaire se fait exclusivement par l'infiltration des eaux pluviales au niveau des affleurements des terrains aquifères (Bouderbala et Remini 2014).



Extrait de la carte géologique de Tipaza 1/50.000

**Fig. 1.** Situation géographique de la zone d'étude.

## 2. MATERIELS ET METHODES

- *Méthode piézométrique* : 18 points d'eau, répartis sur toute la région étudiée ont fait l'objet des relevés piézométriques de 2008 à 2012, à raison de deux fois par an, aux mois d'avril et de septembre.

- *Méthode hydrochimique* : Des suivis périodiques d'analyses physico-chimiques (pH, conductivité électrique,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Ca}^{2+}$ ) de ces puits ont été réalisés de 2008 à 2012, à raison de deux campagnes par an (avril et septembre). Les deux premiers paramètres ont été mesurés immédiatement sur le terrain. Les autres ont été analysés au laboratoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de Blida (ANRH). La fiabilité de tous les résultats obtenus a été vérifiée à l'aide de la balance ionique de l'eau. Celle-ci montre des pourcentages compris entre -5 et +5 % (fiabilité acceptable).

- *Méthode géo-électrique* : Dans le cadre de ce travail, une étude géophysique par prospection électrique a été réalisée dans le but de confirmer les conclusions faites par les outils piézométrique et hydrochimique, sur l'extension du biseau d'eau salée à l'intérieur du continent. Au total, 47 SEV ont été réalisés avec des longueurs AB comprises entre 600 et 800 m.

### 3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

- La carte piézométrique de l'année 1995 montre des abaissements des niveaux piézométriques au voisinage des forages situés en aval et au centre de la plaine (F1, F2, F3 et F6) à cause des pompages intensifs plus particulièrement en période de déficit pluviométrique qui provoquent un abaissement de niveau de cette nappe avec un niveau piézométrique zéro (0) et mêmes des valeurs négatives ont été observées au niveau de ces puits (Fig. 2)

- L'analyse de la carte piézométrique d'avril 2012 montre que les lignes d'écoulements d'eau souterraine convergent vers l'axe du sillon synclinal qui constitue l'axe de drainage principal de la nappe plio-quadernaire. Ensuite, la nappe s'écoule du Sud Ouest vers le Nord Est, vers la Méditerranée, son exutoire naturel. Cette carte montre aussi la présence de l'isopièze 0 m à l'intérieur des terres. Ceci dénote une inversion du sens d'écoulement de la nappe qui serait dirigé de la mer vers l'aquifère, dans les secteurs situés entre l'isopièze 0 m et le rivage.

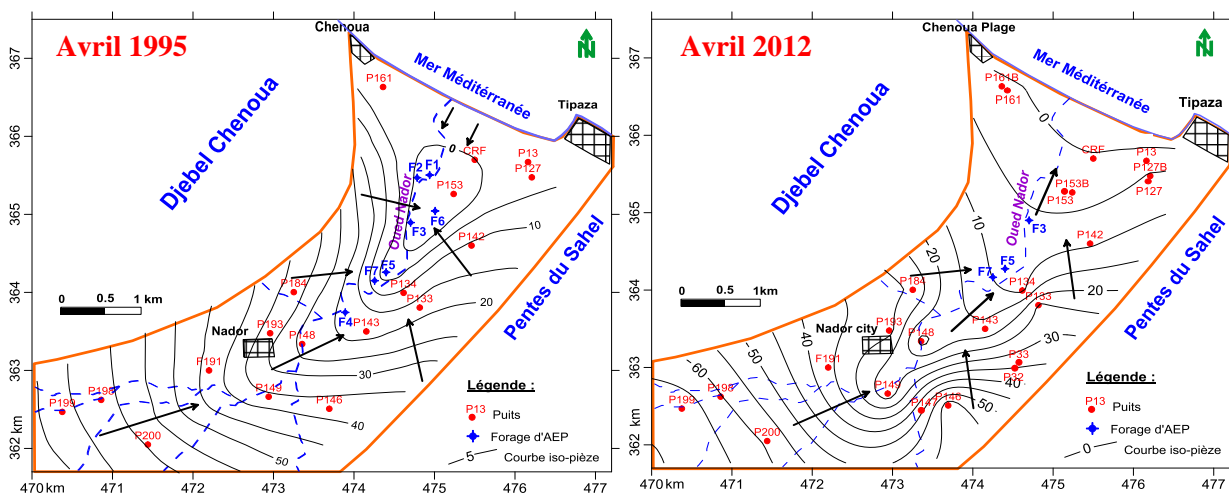


Fig. 2. Cartes piézométriques a) période d'Avril 1995 et b) période d'Avril 2012

- Les résultats d'analyse physico-chimique de la période 2012(basse et haute eaux) montrent que les conductivités électriques s'échelonnent entre 1,51 et 5,5 mS/cm, les chlorures entre 173 et 2502 mg/l, le sodium entre 97 et 1610 mg/l. Ceci montre que la minéralisation totale des eaux souterraines étudiées, est déterminée surtout par les chlorures et le sodium (faciès chloruré sodique). Sachant que l'origine principale de ces deux ions est marine, ceci semble dénoter une contamination des eaux souterraines côtières par des invasions marines.

Concernant l'aspect qualitatif des eaux souterraines, fortement utilisées dans l'alimentation quotidienne surtout des populations rurales, les analyses physico-chimiques indiquent que la majorité des puits analysés dépassent les normes OMS de potabilité : 100% des puits ont une conductivité électrique supérieure à 1,5 mS/cm, 83,4 % dépassent la norme des chlorures, 62,5 % excèdent la norme du sodium et 29,2 % dépassent la norme des nitrates. La présence de ces derniers semble indiquer une contamination de la nappe par les fertilisants azotés utilisés en agriculture. Quant à celle des chlorures et sodium, elle indique plutôt une certaine salinisation de la nappe par des entrées d'eau marine.

La consommation humaine de ces eaux chargées en sels et nitrates pourrait provoquer un certain nombre de maladies.

- L'ensemble des résultats des sondages électriques verticaux ont permis de bien étudier la structure du sous sol et bien suivre l'étalement du biseau d'eau salée à l'intérieur des terres, 11 profils géoélectriques transversaux (généralement Est-Ouest) ont été réalisés dans le cadre de ce travail. L'examen de l'ensemble des résultats montre que l'aquifère dessine une sorte de sillon synclinal d'orientation générale Sud-Nord, avec un pendage des terrains aquifères dirigé vers le Nord, vers la mer. L'analyse des résistivités réelles de la formation aquifère du Plio-quaternaire varie de l'amont vers l'aval. En amont et loin de toute infiltration des eaux marines dans l'aquifère, les résistivités sont élevées, de l'ordre de 45  $\Omega$ .m. A proximité directe de la mer, cette résistivité accuse une valeur très faible, de l'ordre de 10  $\Omega$ .m. Cela indique un mélange relativement important des eaux de la nappe avec des eaux salées, lié à des intrusions marines. Ce qui nous permet de localiser le front du biseau d'eau salée, entre les profils D et E, soit un étalement de l'ordre de 1600 m.

### **Références bibliographiques :**

Bouderbala, A., & Remini, B. (2014). Geophysical approach for assessment of seawater intrusion in the coastal aquifer of Wadi Nador (Tipaza, Algeria). *Acta Geophysica*, 62(6), 1352-1372.

Bouderbala, A. (2015). Groundwater salinization in semi-arid zones: an example from Nador plain (Tipaza, Algeria). *Environmental Earth Sciences*, 73(9), 5479-5496.

Najib, S., Fadili, A., Mehdi, K., & Riss, J. (2015) Étude de l'évolution de l'intrusion marine dans l'aquifère de la Chaouia côtière. Study of seawater intrusion evolution in the aquifer of coastal Chaouia. *Journal of SAWIS*, Volume n° 01, 5-12.