

# Evaluation du risque non cancérogène lié à la consommation des eaux souterraines du Massif de Bokoya (Maroc)

**BOUAISSA Mohamed<sup>1,\*</sup>, GHARIBI Elkhadir<sup>1</sup>, GHALIT Mohammad<sup>1</sup>, BOUKICH Oualid<sup>1</sup>, TAUPIN Jean-Denis<sup>2</sup>, ELKHATTABI Jamal<sup>3</sup>**

(1) Laboratoire de Chimie Appliquée et Environnement (LCAE), Faculté des sciences d'Oujda, Oujda, Maroc.

(2) Hydrosciences, Université de Montpellier, IRD, CNRS, Montpellier, France.

(3) Laboratoire de génie civil et de géo-environnement (LGCgE), Université de Lille, Lille, France.

*E-mail de l'auteur correspondant : [mohamed.bouaissa1@gmail.com](mailto:mohamed.bouaissa1@gmail.com)*

**Mots clés :** Eaux souterraines ; Risque non cancérogène ; Rif, Bokoya ; Maroc.

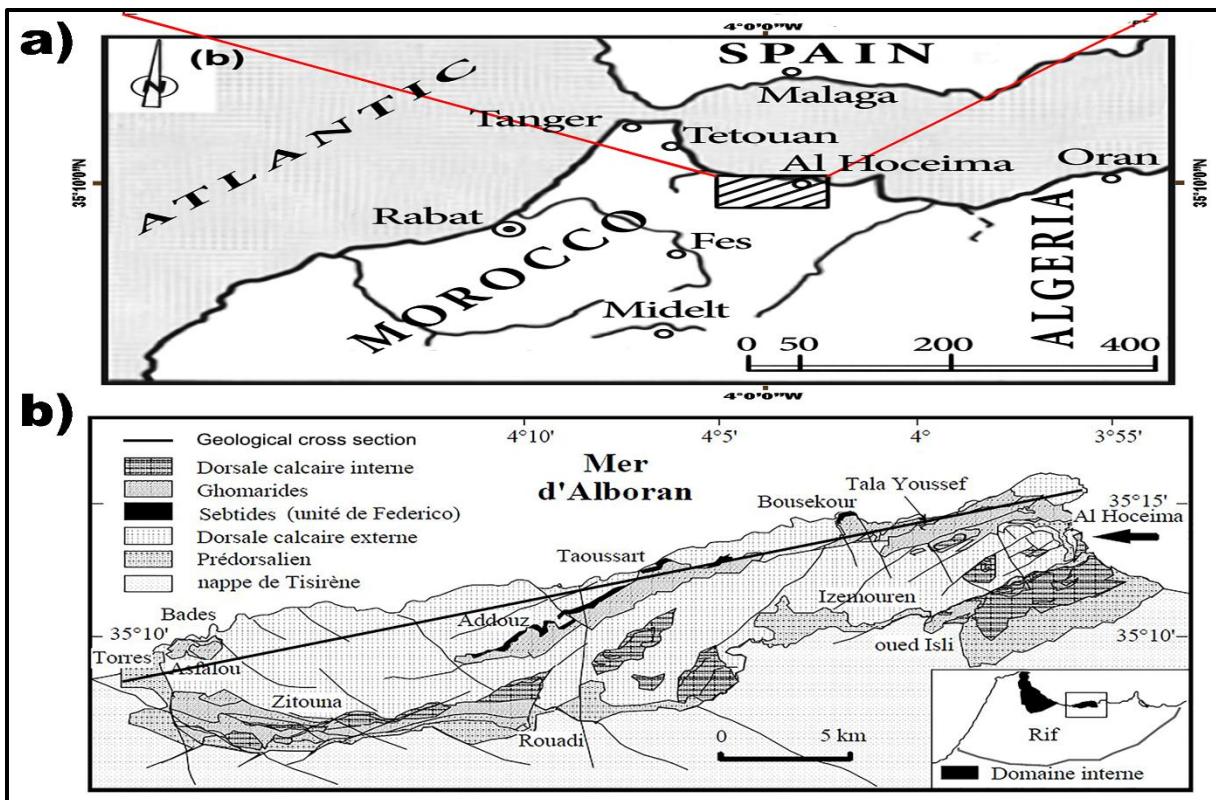
## 1. Introduction

Les nitrates sont l'un des principaux polluants environnementaux dans les eaux souterraines qui augmentent de plus en plus en relation avec l'extension d'un certain nombre d'activités anthropiques telles que, l'utilisation massive des engrains azoté, les rejets des égouts, soit domestique ou industriel, l'utilisation de fosses septiques mal isolées ainsi que les fuites dans les réseaux d'assainissement [1].

Dans la plupart des études traitant la problématique de la qualité des eaux naturelles, la concentration en nitrates souvent présent à des teneurs élevées dans les nappes doit être surveillée en raison des effets nocifs engendrés sur la santé humaine. L'exposition aux nitrates à long terme et à forte dose peut causer de graves complications pour la santé, en particulier chez les enfants, notamment touchés par la méthémoglobinémie, maladie connue aussi comme le syndrome du bébé bleu, mais aussi chez les adultes marquée par des troubles de la reproduction et la probabilité de développer un cancer gastrique [2].

## 2. Présentation de la zone d'étude

Le massif de Bokoya appartient au domaine interne de la chaîne rifaine et représente le tronçon oriental de la chaîne calcaire. Ce massif est d'une longueur de 40km et une largeur de 8Km, son altitude maximale atteint 750m. Le massif de Bokoya situé entre Al-Hoceima à l'Est et le village de Torres à l'ouest est limité par la mer d'Alboran au Nord et repose sur la nappe du Jbel Tizirène [3] (Fig. 1a).



**Fig. 1 : a)** Localisation géographique du massif de Bokoya ; **b)** schéma structurel du massif de Bokoya

Le climat sur la zone d'étude est typiquement de type méditerranéen sec, et appartient aux étages bioclimatiques méditerranéen aride à semi-aride. Les précipitations annuelles ne dépassent pas les 400mm [4].

Structuralement, le massif de Bokoya est constitué de plusieurs nappes qui sont superposées, avec de bas en haut : la semelle tertiaire, qui est commune à toutes les nappes supérieures du massif de Bokoya, composée de matériaux d'âge Eocène et Oligocène. Au-dessus se situe la dorsale calcaire externe caractérisée par des calcaires blancs du Lias, et la dorsale calcaire interne nommée Lias blanc, bien caractérisée par ses calcaires blancs massifs du Lias inférieur. Les unités Ghomarides constituent l'élément structural le plus élevé du Rif interne, leur terme paléozoïque s'échelonne du Silurien au Permien et sont complétés localement par une couverture secondaire transgressive carbonatée, ainsi que par une série tertiaire nummulitique [5]. (Fig. 1b)

### 3. Matériels et méthodes

Au total, 96 échantillons d'eaux souterraines, pendant la période humide (avril 2018) et 73 échantillons pendant la période sèche (octobre 2018) ont été collectés. Ces échantillons sont répartis entre des puits et des sources couvrant toute la zone d'étude.

Les paramètres tels que le potentiel hydrogène (pH), la conductivité électrique (C.E) et la température ( $^{\circ}\text{T}$ ) ont été déterminés sur place à l'aide d'un pH-mètre de type (HI98115) et un conductimètre de type (HI9033), les autres paramètres chimiques ont été mesurés suivant les techniques de Rodier [6].

### 4. Résultats et discussion

Les résultats du quotient de danger (QD) calculé par l'application du modèle de l'USEPA pour les enfants vont de 0.02 à 10.62 avec une moyenne de 1.61 pour la période humide, et de 0.03 à 13.82 avec une moyenne de 1.91 pour la période sèche. Pour les femmes adultes les résultats vont de 0.02 à 9.28, avec une moyenne de 1.41 durant la période humide, le QD au niveau de la période sèche a

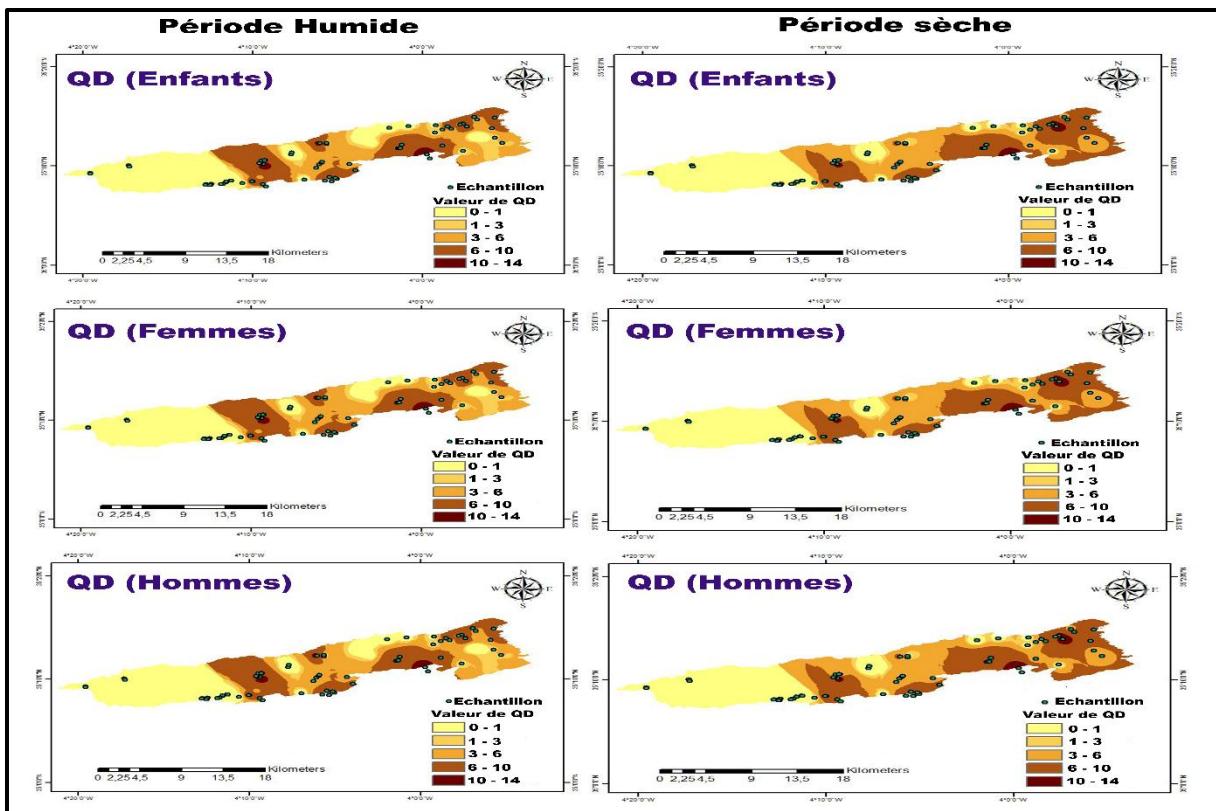
connu une augmentation remarquable et vont de 0.02 à 12.08 avec une moyenne de 1.67. Pour les hommes adultes, les résultats vont de 0.019 à 7.85 avec une moyenne de 1.19 pour la période humide, et de 0.023 à 10.22 avec une moyenne de 1.41 pour la période sèche ([Tableau 1](#)).

**Tableau 1 :** Résultats du quotient de danger QD pour les différentes catégories d'âge.

| Périodes |            | Minimum | Maximum | Moyenne | % de dépassement de la limite |
|----------|------------|---------|---------|---------|-------------------------------|
| Humide   | QD Enfants | 0.02    | 10.62   | 1.61    | 46.8                          |
|          | QD Femmes  | 0.02    | 9.28    | 1.41    | 44.7                          |
|          | QD Hommes  | 0.019   | 7.85    | 1.19    | 42.7                          |
| Sèche    | QD Enfants | 0.03    | 13.82   | 1.91    | 46.5                          |
|          | QD Femmes  | 0.02    | 12.08   | 1.67    | 46.5                          |
|          | QD Hommes  | 0.023   | 10.22   | 1.41    | 43.8                          |

l'USEPA, a fixé un maximum admissible pour le QD à 1 en terme de santé publique [[7](#)], presque la moitié des sources d'eau utilisées par la population ont des quotients QD-nitrate supérieurs à la limite acceptable et présentant donc un fort risque non cancérogène pour toutes les catégories d'âge.

Les cartes de la distribution spatiale de l'indice QD- Nitrate, pour les différentes catégories, enfants, femmes et hommes, montrent que les zones de risque sont identiques pour toutes les catégories, et indique clairement que ces zones sont centrées sur les agglomérations importantes et leur périphérie proche ([Fig. 2](#)). L'utilisation excessive des engrains, contenant des concentrations importantes en nitrates dans les activités agricoles, et l'absence de réseaux d'assainissement pour l'évacuation des eaux usées, favorisant l'utilisation de fosses septiques rudimentaires et non étanches conduit à une contamination directement de la nappe. Ces zones ne sont donc pas recommandées pour l'approvisionnement direct en eau potable à partir des puits et sources localement car ces zones présentent des menaces potentielles pour la santé de leur population.



**Fig. 2 :** distribution spatiale de QD pour les différentes catégories durant la période humide et sèche.

## 5. Conclusion

Dans cette étude, les données hydrochimiques ont été exploitées pour évaluer la qualité des eaux souterraines du massif de Bokoya, l'accent a été mis sur les risques sanitaires liés aux nitrates de ces eaux, utilisées comme eau de boisson, pour les différentes catégories d'âge, enfants, femmes adultes et hommes adultes.

L'évaluation des risques non cancérogènes liés aux nitrates révèle que presque la moitié des sources étudiées sur les deux périodes et pour toutes les catégories de population ont des quotients de danger QD-Nitrate supérieurs à la limite acceptable, De plus le QD-Nitrate est plus fort et étendu spatialement pour la période sèche.

Se faisant, les teneurs en  $\text{NO}_3^-$  dans les eaux souterraines du massif de Bokoya doivent être étroitement surveillées afin de pouvoir contrôler la propagation des polluants et les diminuer afin d'éviter la contamination de sources voisines adéquates à la consommation humaine.

## References

1. Ahada, C.P. and S. Suthar, *Groundwater nitrate contamination and associated human health risk assessment in southern districts of Punjab, India*. Environmental science and pollution research, 2018. **25**(25): p. 25336-25347.
2. Paladino, O., M. Seyedsalehi, and M. Massabò, *Probabilistic risk assessment of nitrate groundwater contamination from greenhouses in Albenga plain (Liguria, Italy) using lysimeters*. Science of the Total Environment, 2018. **634**: p. 427-438.
3. Azzouz, O., *Lithostratigraphie et tectonique des terrains paléozoïques ghomarides du massif de Bokoya (Rif Interne, Maroc)*. Thèse 3<sup>e</sup> cycle, 1992: p. 208.

4. Bouaissa, M., et al., *Assessment of medium mountain groundwater for consumption and irrigation using quality index method: application to the Bokoya Massif (Central Rif, Northern Morocco)*. Arabian Journal of Geosciences, 2021. **14**(4): p. 1-13.
5. Mourier, T., *Etude géologique et structurale du Massif de Bokoya (Rif Oriental, Maroc): Etapes de structuration de la Dorsale et tectonique longitudinale*. 1982, Université Paris-Sud, Département des Sciences de la Terre.
6. Rodier, J., *L'analyse de l'eau*. 2009.
7. USEPA, (1993). Provisional guidance for quantitative risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (Vol. 600). Environmental Criteria and Assessment Office, Office of Health and Environmental Assessment, US Environmental Protection Agency.