



ESSAI DE CARTOGRAPHIE DU RISQUE D'INTRUSION MARINE PAR UNE APPROCHE MULTICRITERES : CAS DE LA NAPPE DE COLLO (N-E, ALGERIEN)

MULTI-CRITERIA APPROACHES FOR THE STUDY OF MARINE INTRUSION: CASE OF THE COLLO AQUIFER, NORTH-EAST ALGERIA.

*DJABRI L.¹, BOUHSINA S.², HANI A.¹, CHAFFAI H.¹, BOUGHERIRA N.¹,
ABDESLAM I.³, FEHDI CH.³, BAALI F.³*

¹ Laboratoire Ressource en Eau & Développement Durable. Université Badji Mokhtar
Annaba. Algérie.

² Unité de Chimie Environnementale et Interactions sur le Vivant (UCEIV) EA 4492,
Maison de la Recherche en Environnement Industriel, Université du Littoral Côte
d'Opale, Dunkerque, France.

³ Laboratoire Eau & Environnement. Université Larbi Tebessi, Tebessa

djabri_larbi@yayoo.fr

RESUME

La plaine de Collo, à vocation agricole, d'où la nécessité d'irriguer pour faire face aux aléas des changements climatiques particulièrement durant la saison estivale. La plaine est limitée au nord par la mer Méditerranée, ce qui l'expose à une éventuelle intrusion marine. Le but de notre travail est d'utiliser les résultats issus de la combinaison de plusieurs méthodes pour mettre en évidence une éventuelle relation entre la mer-nappe dans cette région. La plaine de Collo a une forme quadrilatérale allongée, d'une longueur de 8Km et d'une largeur de 5Km le long de la mer, avec une superficie d'environ 18Km². Elle est parcourue par les Oueds Guebli et Cherka, qui se versent dans la mer. A partir de mesures réalisées sur le terrain (piézométrie et paramètres physiques) et des analyses faites au laboratoire, nous avons réalisé notre travail.

La carte piézométrique se rapportant au mois de mai 2016, montre des écoulements multidirectionnels :

- un premier écoulement, de direction nord-sud, de la mer vers le continent dans la zone nord,
- le second, localisé au centre de la plaine et mettant en évidence un pompage au niveau des puits situés non loin des oueds.

La présence de ces écoulements, nous amène à rechercher la mise en évidence d'une probable intrusion marine. Pour répondre à cette question, nous avons utilisé le calcul du delta ionique, les rapports caractéristiques et la méthode GALDIT. Les résultats obtenus indiquent une absence de l'intrusion marine. Cependant le calcul du delta ionique montre une présence des bicarbonates, leur présence est liée aux animaux marins à coquille calcaire comme les coquillages. La carte de vulnérabilité issue de la méthode GALDIT, montre que la zone nord est sujette à une probable intrusion marine.

Mots clés : Collo, intrusion marine, Vulnérabilité, Delta ionique.

ABSTRACT

The plain of Collo, a region with agricultural vocation, from where the necessity to irrigate to face the hazards of the climatic changes particularly during the summer. The plain is limited to the north by the Mediterranean Sea, which exposes it to a possible marine intrusion. The purpose of our work is to use the results from the combination of several methods to highlight a possible relationship between the sea-groundwater levels in this region. The plain of Collo has an elongated quadrilateral shape, with a length of 8 Km and a width of 5 Km along the sea, with an area of about 18 Km². It is crossed by Wadis Guebli and Cherka, which pour into the sea. From measurements made in the field (piezometric level and physical parameters) and analyzes made in the laboratory, we realized our work. The piezometric map (of March 2016) shows multidirectional flows:

- the first flow, north-south, from the sea to the mainland in the northern zone,
- the second, located in the center of the plain and highlighting a pumping at the wells not far from the wadis.

The presence of these flows, leads us to seek the highlighting of a probable marine intrusion.

To answer this question, we used the calculation of ionic delta, characteristic ratios, and the GALDIT method. The results obtained indicate an absence of marine intrusion. However, the calculation of the ionic delta shows a presence

of bicarbonates; their presence is linked to marine animals with a calcareous shell like shellfish. The vulnerability map from the GALDIT method shows that the northern zone is subject to a probable marine intrusion.

Keywords: Collo, marine intrusion, Vulnerability, Ionic Delta.

INTRODUCTION

En Algérie, la zone littorale occupe 4 % de la superficie totale du pays mais plus de 85 % de la population vit sur cette frange. Cette zone, est sous pression, car la demande en eau est en perpétuelle augmentation aussi les terres destinées à l'agriculture s'amenuisent constamment car elles sont remplacées par la construction d'habitations souvent réalisées à la va vite et de manière anarchique. Dans cette zone l'industrie est constituée en grande partie par les huileries, destinées à la production de l'huile d'olives. La présence de ces facteurs, génère des polluants pouvant causer une dégradation de la ressource en eau et de l'environnement. A Collo, on dénote la présence de deux formes de pollution, la première dite naturelle et la seconde anthropique. Notons que les dégradations naturelles (inondations, sécheresse,...), sont imprévisibles et les dégâts causés ne sont connus qu'après bilan. Au contraire l'homme par la recherche de son bien-être, s'autodétruit d'où la présence des différentes sources de pollution (industrie, agriculture et urbanisation massive). Le présent travail, traite de la fragilité des zones côtières, qui à force de sollicitation sont de plus en plus vulnérables à la pollution. Le présent travail, traite de l'état de vulnérabilité des eaux à la pollution de la plaine de Collo, vis-à-vis des néo-occupations du sol. Les résultats obtenus sont issus de la compilation de plusieurs méthodes (GALDIT, Rapports, delta ionique,...), ce qui nous permet de classer les zones en fonction de leur degré de pollution marine.

CADRE DE LA ZONE D'ETUDE

Situation géographique

La plaine de Collo fait partie du sous-bassin versant constantinois. Elle est drainée par deux grands Oueds qui sont l'Oued Guebli (situé au Sud-est de la plaine et l'Oued Cherka qui se localise dans le secteur Nord-ouest de la plaine. Les deux Oueds se déversent en mer. La plaine de Collo s'étale sur huit (8) kilomètres de long et cinq (5) kilomètres de large soit 40 Km² de superficie (figure 1). Administrativement, la région étudiée est limitée: au Nord par la mer

Méditerranée, au Sud par la commune d'Ain Kachra, à l'Est par les communes de Kerkeria et à l'Ouest par la commune de Cheraia.

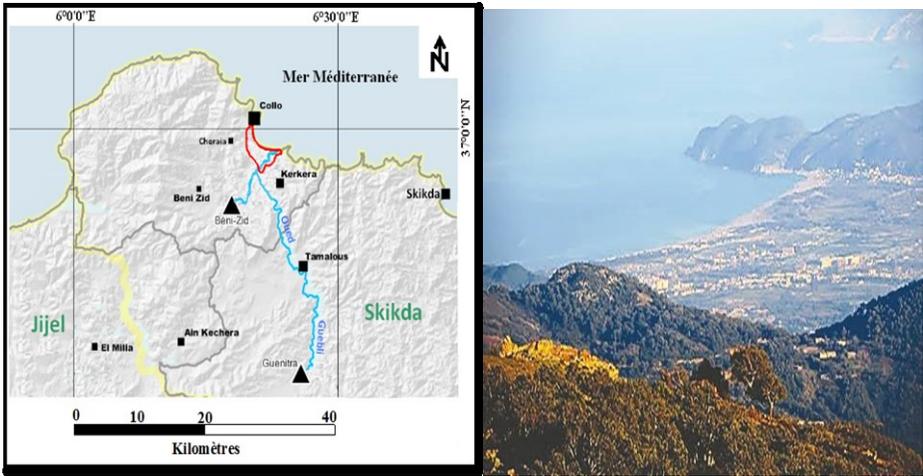


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude.

Caractéristiques géologiques de la zone d'étude

L'étude géologique réalisée a montré que la vallée de Collo est constituée par des formations d'âge quaternaire issues d'un remplissage alluvial et présentent les caractéristiques suivantes :

- Au Sud de Koudiat Télézza, de 191m d'épaisseur, constitué par des alluvions peu épais limoneux et peu perméables.
- Au Nord de Koudiat Télézza, le remplissage varie de 15 à 25 m, formé de sables et de graviers. Ces formations reposent sur un massif de roches métamorphiques (micaschistes et gneiss du socle kabyle) au pied duquel est bâtie la ville de Collo. Sur ce socle, des sédiments marins presque entièrement argileux se sont déposés (figure 2 et 3), il s'agit d'une alternance de marnes et des grés d'âge Miocène. C'est l'époque de la mise en place des granites intrusifs de la bordure Est de la plaine de Collo.

*Essai de cartographie du risque d'intrusion marine par une approche multicritères :
Cas de la nappe de Collo (N-E, algérien)*

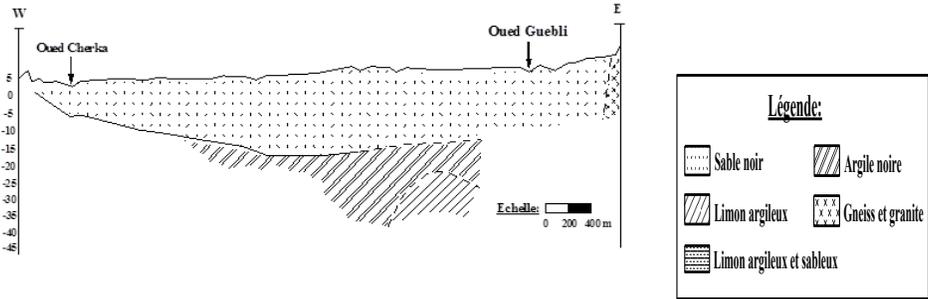


Figure 2 : Coupe géologique à travers la plaine de Collo (In Cherifa Belkartous & Sara Kezzar, 2016)

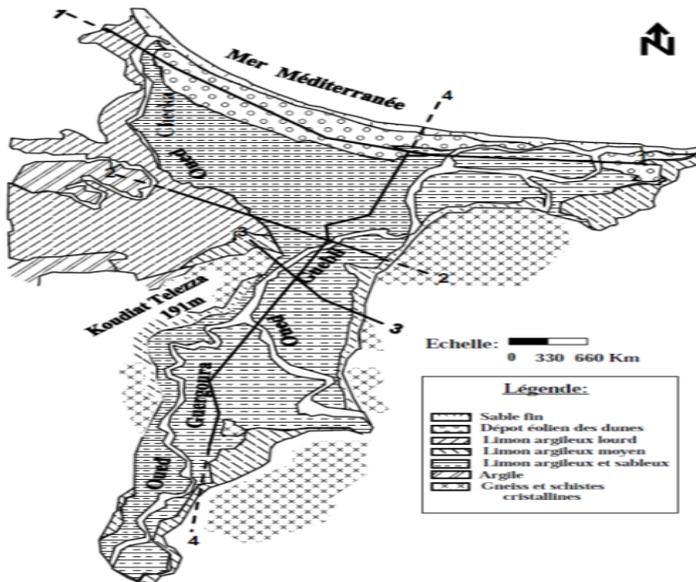


Figure 3 : Cadre géologique de la plaine de Collo

Piézométrie

La carte piézométrique issue des mesures réalisées au mois de Mars 2016 qui a porté sur plus de trente (30) puits, montre (figure 4), deux sens d'écoulement, le premier dirigé du Sud vers le Nord et le second inverse dirigé du Nord vers le Sud au niveau de la zone littorale. Ce qui indique qu'au niveau de la zone littorale, il y a un risque d'intrusion marine.

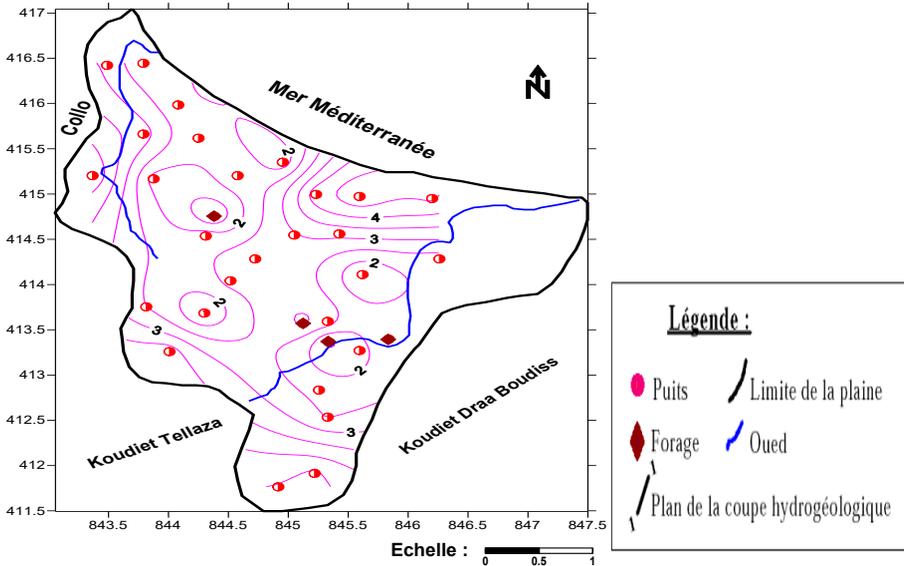


Figure 4 : Carte piézométrique mois de Mars 2016 (In Cherifa Belkartous & Sara Kezzar, 2016)

MATERIEL ET METHODES

Les méthodes d'étude de la vulnérabilité des eaux à la pollution, sont nombreuses, ce qui prête souvent à de nombreuses interrogations de la part du chercheur. Pour vérifier la fiabilité de nos résultats, nous avons utilisé plusieurs méthodes, tel que les résultats des analyses chimiques des eaux (15 échantillons ont été prélevés et analysés) de la plaine de Collo, les prélèvements ont été réalisés au mois de Mars 2016. Les résultats obtenus, nous permettrons dans une première étape d'avoir un aperçu sur la qualité des eaux de la zone d'étude, dans une seconde étape, nous appliquerons la méthode du DELTA IONIQUE, méthode spécifique à la mise en évidence d'une probable intrusion marine.

La seconde méthode testée est dite méthode GALDIT, elle combine les informations issues de six (06) paramètres traitant de la nappe d'eau et de son environnement. Cette méthode est utilisée dans le cas des zones similaires à la notre, c'est-à-dire caractérisant les zones côtières. La combinaison des six paramètres aboutira à la réalisation d'une carte de vulnérabilité des eaux à la pollution.

RESULTATS ET DISCUSSION

Pour la mise en évidence d'une probable intrusion marine, nous avons utilisé les résultats issus des analyses d'eau réalisées. Dans une première étape, nous avons calculé le rapport Cl-/CE, dont la valeur seuil est de 0.307, appliqué aux eaux de la région, nous remarquons, que la valeur du rapport Cl-/CE, oscille entre 0.004 et 0.001, on déduit que le rapport Cl-/CE, n'indique pas une intrusion marine dans cette région.

Variations des valeurs du rapport chlorure =f (conductivités) Cl /CE:

La valeur limite de ce rapport Cl-/CE, est de 0, 307, l'observation du tableau 1, montre des valeurs inférieures à la valeur limite, d'où une absence d'une intrusion marine.

Tableau 1 : Résultats de rapport Cl-/CE calculés

Puits	Distance à la mer (m)	Cl/CE	Puits	Distance à la mer (m)	Cl/CE
P1	275	0,003	P16	1675	0.001
P3	325	0,003	P19	2000	0.001
P5	250	0,002	P20	2325	0.004
P7	625	0,004	P21	750	0.002
P9	950	0,004	P22	2000	0.002
P11	1225	0,001	P23	2650	0.001
P12	1950	0,001	P27	1250	0.005
P13	1425	0,001			

Application de la méthode du delta ionique

Le calcul se base sur l'hypothèse que les chlorures sont un bon indicateur de l'intrusion marine. Ainsi, la comparaison des concentrations des eaux respectivement marines et douces permet de calculer la concentration théorique de chacun des éléments majeurs selon la relation:

$$\Delta C = [C] \text{ Réelle} - [C] \text{ Théorique}$$

Cette formule découle de :

$$[C] \text{ Théorique} = A \times [Cl-] \text{ Réelle} + B$$

$$A = ([C]_{em} - [C]_{ed}) / ([Cl-]_{em} - [Cl-]_{ed}) \text{ et } B = [C]_{em} - A [Cl-]_{em}$$

Avec : em = eau d'origine marine et ed = eau douce continentale.

Pour calculer, les valeurs du delta ionique ΔC , nous avons utilisé la composition chimique standard des eaux de mer. Les concentrations exprimées en gramme/litre et en mg/l, sont reportées dans le tableau N°2, suivant.

Tableau 2 : Composition chimique standard de l'eau de mer (In Rodier, 2009).

Elément Chimique	Concentrations en g/l	Concentrations en mg/l
Calcium	0,418	418
Magnésium	1,330	1330
Sodium	11,035	11035
Potassium	0,397	397
Chlorures	19,841	19841
Sulfates	2,769	2769
Bicarbonates	0,146	146

Les résultats, obtenus après calcul sont condensés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Résultats du delta ionique.

Paramètres Puits	Distance/mer (m)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
P1	275	-0,02	-0,15	-0,04	-0,16	0,17
P3	325	-0,1	-0,04	-0,19	-0,07	0,17
P5	250	0,002	-0,1	-0,14	-0,16	0,1
P7	625	-0,15	-0,13	0,01	-0,01	0,08
P9	950	-0,18	-0,11	-0,17	-0,02	-0,18
P11	1225	-0,18	-0,13	-0,08	-0,1	0,09
P13	1425	-0,17	-0,14	-0,09	-0,11	-0,05
P21	750	-0,06	-0,04	-0,02	-0,05	0,02

Les résultats obtenus, ont conduit au digramme (figure 5). L'observation du diagramme suivant montre que les bicarbonates, indiquent des valeurs du delta ionique positives, pouvant indiquer une intrusion marine. Cette dernière s'explique par la présence des récifs marins riches en calcaire.

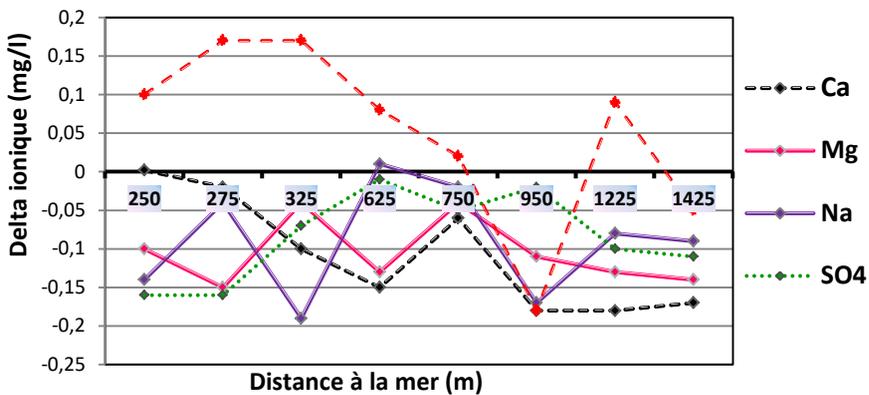


Figure 5 : Variation de la valeur du Delta ionique par rapport à la distance à la mer (In Cherifa Belkartous, Sara Kezzar, 2016).

VULNERABILITE DES EAUX A LA POLLUTION

Apports de la méthode GALDIT

La méthode GALDIT a été développée pour la première fois lors du projet "EU-India INCO-DEV COASTIN", et avait pour objectif de déterminer la vulnérabilité des aquifères côtiers à l'intrusion marine (Chachadi et Teresa, 2002 ; Chachadi, 2005 ; Chachadi et Labo-Ferreira, 2005). Cette méthode, évaluée par la formule suivante :

$$GALDIT = (1 \times G) + (3 \times A) + (4 \times L) + (2 \times D) + (1 \times I) + (2 \times T)$$

La méthode GALDIT, se base sur les informations acquises à partir des six paramètres dont la nouveauté réside dans l'utilisation d'un paramètre tenant compte de la distance de l'aquifère par rapport à la mer.

Détail des paramètres utilisés par la méthode GALDIT

Type de l'aquifère [G] : (Groundwater occurrence)

Conductivité hydraulique [A] : (Aquifer hydraulic conductivity)

Profondeur du plan d'eau [L] : (Depth of groundwater Level above sea),

Distance par rapport à la cote ou la mer [D] : (Distance from the coastline)

Impact de l'état d'intrusion marine existante [I]: (Impact of existing status of seawater intrusion)

L'épaisseur de l'aquifère [T] : (Thickness of the aquifer).

La quantification des paramètres conduit au calcul de l'indice GALDIT, qui est égal la somme des indices obtenus pour chacun des paramètres et pondéré par les poids respectifs de ces derniers. Il est calculé par la formule suivante :

$$GALDIT = (1 \times G) + (3 \times A) + (4 \times L) + (2 \times D) + (1 \times I) + (2 \times T)$$

L'indice de vulnérabilité GALDIT varie entre 13 et 130 et définit les classes de vulnérabilité avec :

-Si $I < 30 \implies$ Non vulnérable (absente).

-Si $I = 50 \text{ à } 70 \implies$ Vulnérabilité faible.

-Si $I = 70 \text{ à } 90 \implies$ Vulnérabilité moyenne.

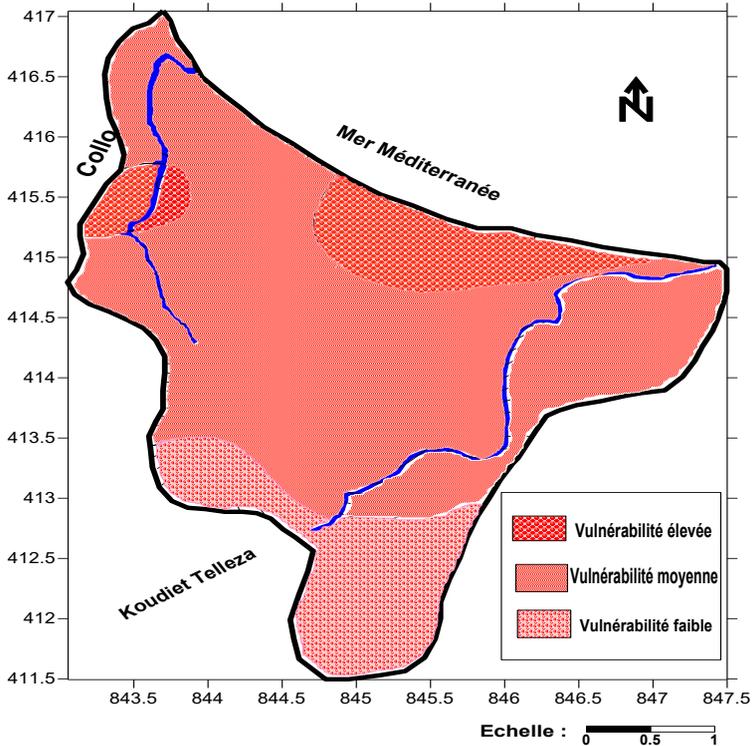
-Si $I > 90 \implies$ Vulnérabilité élevée.

Les résultats obtenus de l'indice de vulnérabilité par la méthode GALDIT sont représentés sur le tableau 4 suivant :

Tableau 4 : Résultats des indices de vulnérabilité selon la méthode GALDIT

N° puits	Indice	Vulnérabilité	N° puits	Indice	Observation
P1	95	Elevé	P16	75	Moyenne
P3	100	Elevé	P19	62	Faible
P5	75	Moyenne	P20	42	Faible
P7	92.5	Elevé	P21	70	Moyenne
P9	80	Moyenne	P22	52	Faible
P11	75	Moyenne	P23	52	Faible
P12	75	Moyenne	P27	90	Moyenne
P13	75	Moyenne			

Les indices calculés ont conduit à l'élaboration de la carte de vulnérabilité. L'observation de cette carte (figure 6), montre une domination de la classe vulnérabilité moyenne, cette classe occupe la partie Est et le centre de la plaine. La forte vulnérabilité se localise au niveau de la frange littorale particulièrement la partie Ouest, cette catégorie est également présente au niveau d'Oued Cheka, démontrant ainsi un probable échange entre l'oued et la mer au cours de la période d'étude. Au niveau de la zone sud, la vulnérabilité à la pollution est de catégorie faible, cette zone se caractérise par un éloignement par rapport à la mer. Par ailleurs, dans cette partie de la nappe les écoulements sont dirigés vers le centre de la nappe d'où un déplacement des polluants vers le centre.



Risque de pollution des eaux au niveau de la plaine de Collo

La carte de risque de pollution des eaux de la nappe (figure 7), montre la juxtaposition de trois classes de risque différent :

- le risque Fort : se localise sur les berges des oueds surtout oued Guebli, ce dernier par le biais des échanges avec la nappe, permettra le transfert de polluants. Au niveau de cette zone, la présence des sables perméables accélèrent le risque de pollution.
- le risque moyen: caractérise, le centre de la plaine, cette partie de la plaine se caractérise, par :
- un niveau de la nappe est profond,
- l'inexistence des facteurs de pollution (industrie, ...). Dans cette zone le retour des eaux d'irrigation par percolation reste la source de pollution.

- le risque faible : c'est le cas la zone Sud et Sud-ouest, le toit de la nappe est semi perméable ; de ce fait le sol devient auto-épurateur, ce qui empêche la propagation du polluant.

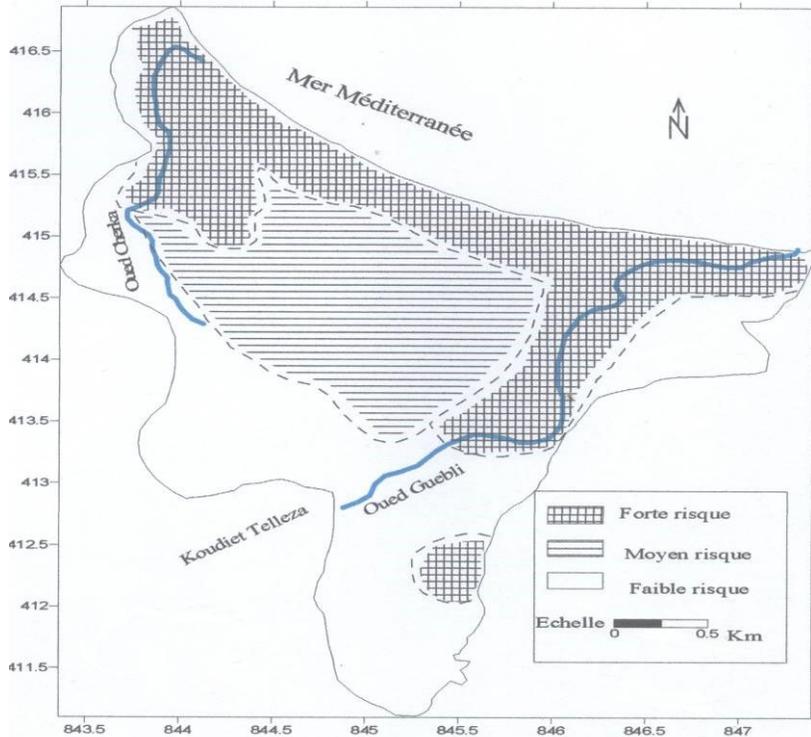


Figure 7 : Carte du risque de pollution de la nappe de Collo (In Cherifa Belkartous, Sara Kezzar 2016).

CONCLUSION

Les résultats obtenus par les différentes méthodes, montrent que les zones les plus exposées aux risques de pollution sont localisées au niveau de la zone littorale. Cependant, ce risque de pollution se trouve minimisé au cours de la période d'observation. Cette situation est engendrée par les précipitations qui diluent les eaux, ce processus est accéléré par la proximité du niveau piézométrique (moins de cinq mètres en bordure de mer) et la nature sableuse du toit de la nappe dans cette région (Cf. coupe géologique). La comparaison

des résultats obtenus à partir de la compilation des différentes méthodes utilisées corroborent l'hypothèse de l'inexistence d'une intrusion marine au cours de la période d'étude. Cependant, le risque peut apparaître au cours de la période estivale car la zone d'étude est à vocation touristique ainsi au cours de cette période il y a accroissement de la demande en eau pour l'usage en AEP et pour l'irrigation. De ce fait, l'utilisation de plusieurs méthodes devient inévitable pour pouvoir cerner les problèmes posés ou qui risquent de se poser. Les résultats obtenus permettent les lectures suivantes.

Les valeurs du delta ionique, montrent une absence de l'intrusion marine, confirmant ainsi le résultat donné par les rapports caractéristiques.

La méthode GALDIT, indique la domination d'une vulnérabilité moyenne, sauf dans la partie Nord-est et au voisinage de l'Oued Charka où la vulnérabilité devient forte. Nous remarquons que la faible vulnérabilité caractérise le Sud de la plaine.

La carte de risque à la pollution montre que la partie Nord de la zone d'étude est la zone montrant un risque élevé vis-à-vis de la pollution. En effet, dans cette partie la nappe constituée par les formations de cordon sableuse qui représentent des zones très perméables.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDESLAM L., FEHDI C.H., DJABRI L. (2017). Application of drastic method for determining the vulnerability of an alluvial aquifer: Morsott - El Aouinet north east of Algeria: using ARCGIS environment, Energy Procedia 119: pp 308-317. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.07.114
- AHARREF M., BEMOUSSI A.S. (2007). Risque de pollution des eaux souterraines : Cas de la plaine du Ghar (Maroc), 7ième édition du congrès international pluridisciplinaire Qualita 2007 – Tanger (Maroc), 20, 21 & 22 Mars (2012). pp. 153-161.
- ARGAZ A. (2018). Modèle d'application ID pour la planification et l'évaluation intégrées des ressources en eau : Etude de cas du bassin de la rivière Souss au Maroc, Larhyss Journal, n°36, Décembre 2018, pp. 217-229
- BELKARTOUS CH., KEZZAR S. (2016). Evaluation de la vulnérabilité des eaux à la pollution par une approche multicritères : cas de la plaine de Collo (Est Algérien). Master d'hydrogéologie de l'université Badji Mokhtar Annaba, 70p.
- BELEKSIR M.S., CHELGHOU M. (2007). Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe alluviale de Collo, Mémoire d'ingénieur d'état, Université Annaba, 70p

- BOULABAEIZ M., (2006). Evolution des éléments chimiques et évaluation de risque des eaux souterraines à la pollution : Cas de la nappe de Collo, Nord-Est Algérien, Mémoire magister. Université Annaba, 111p.
- CHACHADI A.G. (2005). Seawater intrusion mapping using modified GALDIT indicator model-Case study in GOA, *Jalvigyan Sameeksha*. Vol. 20: pp 29-42
- CHACHADI A.G., LOBO FERREIRA J.P. (2001). Sea water intrusion vulnerability mapping of aquifers using the GALDIT method, in *Coasting. A Coastal Policy Research Newsletter*, Number 4, March 2001, New Delhi, TERI: pp. 7-9.
- CHACHADI A.G., TERESSA L. (2002). Health of the ground water regime in a coastal delta of East Godavari, Andhra Pradesh, *Coastin* 6, pp 5-7.
- DJABRI L., HABES S., LARABA A., BERTRAND C., HANI A., ZERROUKI H. (2015). La vulnérabilité des eaux des nappes à la pollution un outil d'aide à la protection de la ressource en eau : Cas de la région d'Annaba. *Symposium International : Vulnérabilité des littoraux méditerranéens face aux changements environnementaux contemporains*. Archipel de Kerkennah du 20 au 24 Octobre 2015, pp 245-249
- DJABRI L., HANI A., CHAFFAI H., HABES S., DJOUAMA MC. (2015). Etude de la vulnérabilité à la pollution un gage pour l'élaboration d'une GIRE : cas de la plaine alluviale de Tébessa. *Larhyss Journal* n° 22, juin 2015, pp. 25-34.
- REMINI B., ACHOUR B., KECHAD R. (2014). The collecting of groundwater by the qanats: a millennium technique decaying, *Larhyss Journal*, n°20, Décembre, pp. 259-277.
- RODIER J. (2009). *L'analyse de l'eau*. 9e édition. Ed :Dunod, Paris, 1600p.
- SEDRATI N., DJABRI L., CHAFFAI H. (2016). Evaluating groundwater pollution and assessing the vulnerability: case of massive dune of Bouteldja, Algeria. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)*, pp. 129-136.