



**ETUDE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA PLAINE  
D'HENAYA  
(BASSIN DE LA TAFNA - NW ALGERIEN)**

**BEMMOUSSAT A.<sup>1,3</sup>, ADJIM M.<sup>1,3</sup>, BENSAOULA F.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Département d'hydraulique, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen, Algérie

<sup>2</sup> Laboratoire 25: Promotion des Ressources Hydriques, Pédologiques et minière (Université de Tlemcen)

<sup>3</sup> Laboratoire 60 : Valorisation des ressources en eau (Université de Tlemcen)

fbensaoula@gmail.com

**RÉSUMÉ**

Située dans le bassin versant de la Tafna, au nord de la ville de Tlemcen, la plaine d'Henaya est caractérisée par un climat semi aride où se pratique une importante activité agricole. L'accroissement de la demande en eau, à des fins agricoles, a engendré une surexploitation de la nappe d'Henaya ainsi qu'un recours à l'irrigation avec les eaux non conventionnelles. Ceci expose, en plus de l'utilisation intensive d'intrants agricoles, les eaux souterraines à des risques de pollution. La caractérisation physico-chimique des points d'eau analysés dans la plaine a mis en évidence deux types de faciès avec une minéralisation élevée. Le faciès bicarbonaté représente 75% des échantillons analysés. Il provient probablement des conglomérats. Par contre, le faciès chloruré proviendrait probablement du contact avec les marnes helvétiques salines ou à l'infiltration des eaux non conventionnelles utilisées en irrigation. Les analyses révèlent des taux élevés de nitrates dépassant les normes relatives à la qualité de l'eau, qui la rendent impropre à la consommation humaine. Ces derniers sont reconnus comme indicateurs de pollutions diffuses d'origine agricole dans la région. Par ailleurs, il a été mis en évidence que l'alcalinité de tous les points d'eau analysés est supérieure à 200 mg/l en CaCO<sub>3</sub> dépassant largement les normes de qualité de l'eau d'irrigation. Il en résulte que l'eau est incrustante provoquant des risques élevés de colmatage. Il apparaît également que les eaux souterraines d'irrigation sont classés C3 – S1 dans le diagramme de Riverside

avec la caractéristique de convenir aux cultures qui présentent une bonne tolérance au sel.

**Mots clés :** Pollution agricole, Nitrates, Minéralisation, SAR, Alcalinité, Salinité.

## **ABSTRACT**

The plain of Henaya is located to the north of Tlemcen city in Tafna basin. This plain is characterized by a semi-arid climate and intensive farming activities. The high demand in water for agricultural purposes has resulted in an overexploitation of this resource as well as the use of non-conventional waters for irrigation. Thus, in addition to intensive uses of agricultural inputs the groundwater is exposed to risks of pollution. The physico-chemical characterization of waters of various supply points analyzed in the plain has shown two types of facies with high mineralization. A bicarbonated facies which would probably comes from the conglomerates represents 75% of the analyzed samples. The second one is a chlorinated facies which is likely due to the contact with the saline helvétien marls or to the infiltration of non-conventional waters used for the irrigation. The analyses have also revealed levels of nitrates exceeding the water quality standards which make these waters improper to human consumption. The former are recognized to be indicators of diffuse pollutions from an agricultural origin in the area. It was also noticed that the alkalinity of all analyzed water points is greater than 200 mg / l of CaCO<sub>3</sub> hence largely exceeding the standards of the irrigation water quality. As a result, water is encrusting causing high risks of clogging. It also appears that the ground waters for irrigation are classified C3 - S1 in the Riverside diagram with a characteristic that make them suitable for crops with a good tolerance to salt.

**Keywords:** Agricultural pollution, Nitrates, Mineralization, SAR, Alkalinity, Salinity.

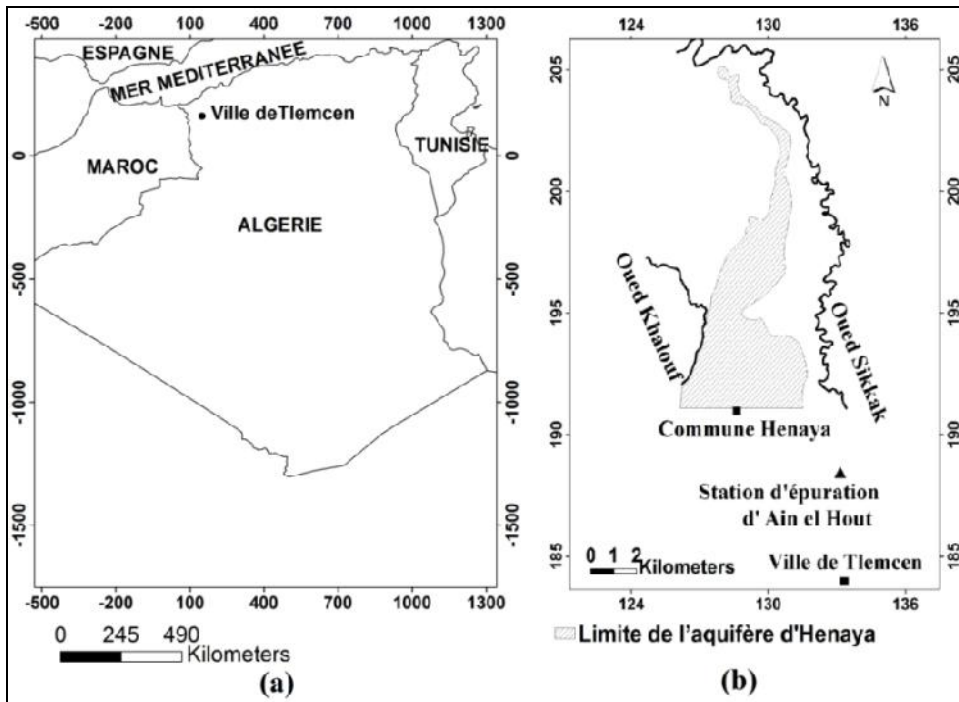
## **INTRODUCTION**

La plaine d'Henaya a connu ces dernières années un important développement agricole qui a engendré un accroissement de la demande en eau pour l'irrigation conduisant à la surexploitation de la nappe d'Henaya d'une capacité d'environ 22 millions de m<sup>3</sup> qui constitue la première source pour l'irrigation, au recours d'utilisation des eaux usées qui proviennent principalement des rejets ouest de la ville de Tlemcen et à l'irrigation avec les eaux usées traitées du périmètre équipé de 912 Ha dans la plaine d'Henaya à partir de la station d'épuration d'Ain el Houtz. L'utilisation des eaux non conventionnelles

peut engendrer un risque de contamination à la fois pour le sol, les eaux souterraines et les cultures. En effet, l'épandage des eaux usées brutes sur les sols et l'utilisation des fumiers organiques sont souvent incriminés dans la contamination microbiologique et chimique des eaux des nappes souterraines (Bolster et al., 2006; Majdoub et al., 2003). L'irrigation avec les eaux usées est strictement interdite conformément à la réglementation mise en vigueur (Loi relative à l'eau, 2005), mais son application sur terrain est difficile et en particulier dans les zones périurbaines. Par contre l'utilisation des eaux usées épurées en Algérie est autorisée pour l'irrigation de certaines cultures (Arrêté interministériel, 2012). Actuellement, le périmètre équipé de la plaine d'Henaya est compté parmi les projets pilotes à travers le territoire national concernant l'irrigation avec les eaux usées épurées. La réutilisation en irrigation de ces derniers présente de nombreux avantages mais aussi des contraintes de différents aspects social, législatif, économique, sanitaire, agronomique (Atallah, 1987), (Vaillant, 1973), (Valiron, 1983). La réutilisation des eaux usées traitées présente aussi des risques de pollution. Ceci est dû au fait que les stations d'épuration en Algérie sont réalisées avec le système d'épuration primaire et secondaire qui vise à éliminer uniquement les matières organiques par traitement biologique. Dans ce contexte la réussite de cette pratique d'irrigation est conditionnée par un suivi rigoureux de la qualité des eaux traitées et des boues produites pendant la totalité de la saison d'irrigation. La fertilisation, la protection des cultures pour l'amélioration de la production et les rejets d'élevage peuvent aussi causer la dégradation des eaux souterraines. Les produits ne se dégradent pas instantanément dans le milieu peuvent s'infiltrer dans les eaux souterraines. Notre objectif dans ce travail étant la caractérisation hydro- chimique et l'étude de la qualité d'irrigation des eaux de l'aquifère d'Henaya afin de détecter une éventuelle pollution d'origine agricole.

## **LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE**

La nappe de la plaine d'Henaya (Fig.1) d'une superficie d'environ 29 Km<sup>2</sup>, se situe à une dizaine de kilomètres, au nord de la ville de Tlemcen (Nord-Ouest Algérien).

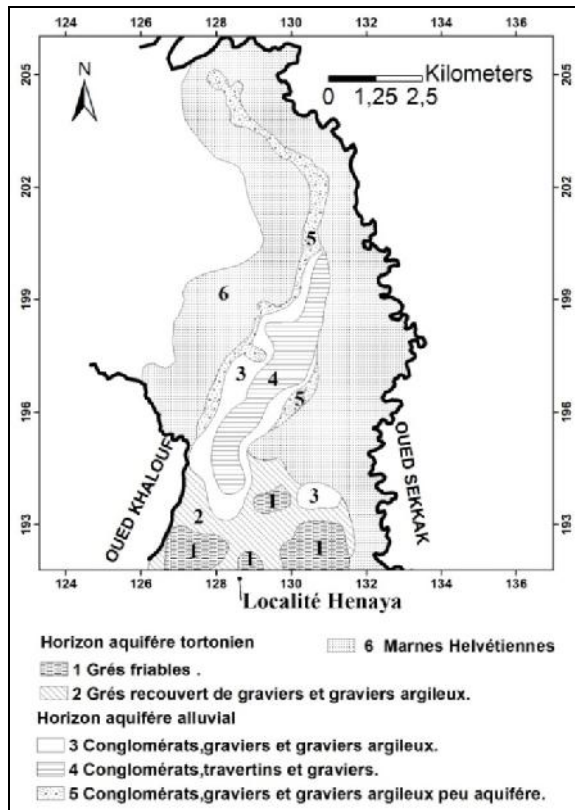


**Figure 1 :** (a) Localisation de la ville de Tlemcen, (b) Localisation de la nappe d'Henaya.

## CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

La région d'étude est constituée dans son ensemble de formations quaternaires et miocènes. Le Miocène est représenté par les marnes et grés helvétiques ainsi que les grés tortoniens. Les formations du Quaternaire recouvrent toutes les formations du Miocène à l'exception du Sud de la plaine où les grés affleurent. Les sédiments quaternaires sont variés (conglomérats, graviers, graviers argileux, argiles calcaires, croûtes calcaire et travertins).

L'étude hydrogéologique et hydrodynamique de l'aquifère à été réalisée à partir des données de sondages de reconnaissance, des puits existants, des essais par pompage et aussi par des coupes géologiques. Les horizons aquifères de la région sont les grés tortoniens et les sédiments quaternaires (Fig.2). L'écoulement de la nappe se fait du sud jusqu'à la zone de drainage au nord. Les apports proviennent du sud sans échange latérale.



**Figure 2 :** Hydrogéologie des formations aquifères (Technoexporstroy, 1971).

## ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA NAPPE D'HENNAYA

Un échantillonnage a été effectué durant la période des trois campagnes piézométriques de l'année 2011. Les mesures de température, pH et conductivité ont été réalisées in situ (Figure. 5). Les paramètres analysés sont les principaux cations, anions et les nitrates. La qualité des analyses chimiques a été contrôlée en utilisant le logiciel Diagramme développé par le laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon (France).

### CARACTERISATION HYDRO-CHIMIQUE DES FACIES

Le diagramme logarithmique de Schöeller et Berkloff nous permet de classer les eaux en familles correspondant aux principaux ions analysés (Fig.3et4).

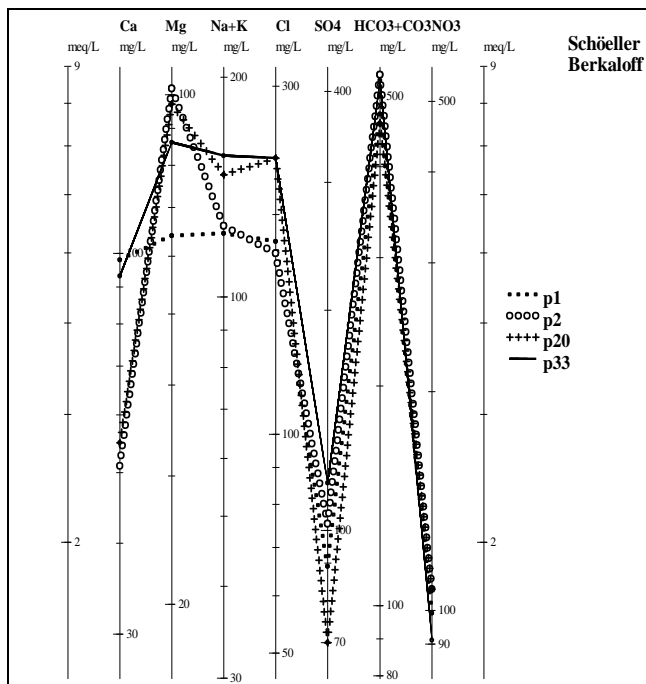
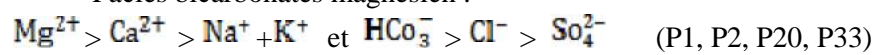


Figure 3: Classification des points d'eau P1, P2, P20, P33.

- Facies bicarbonatés magnésien :



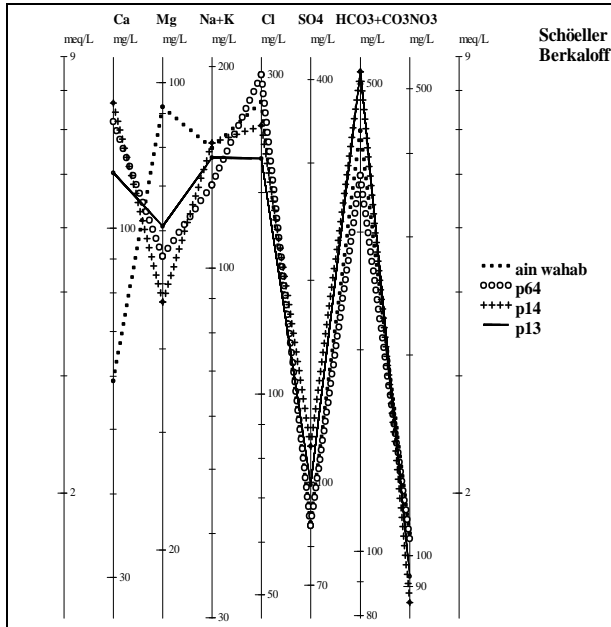
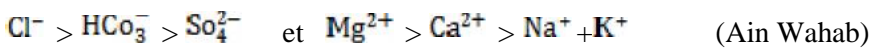
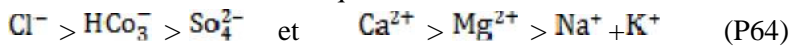


Figure 4 : Classification des points d'eau P13, P14, P64 et Ain Wahab.

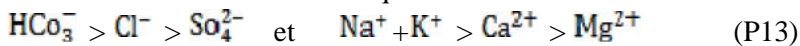
- Facies chloruré magnésien :



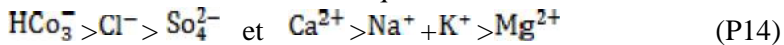
- Faciès chloruré calcique :



- Facies bicarbonatés sodique :



- Facies bicarbonatés calcique:



## ORIGINES DE LA MINÉRALISATION

La répartition spatiale de ces faciès chimiques dépend de la géologie des terrains traversés et des conditions de recharge. Les faciès bicarbonatés représentent 75% des échantillons analysés. Ils proviennent généralement de la dissolution des calcaires. Les puits (P2, P20, P1, P3, P13, P14) se trouvent aux

niveaux des formations de grés (ciment siliceux ou calcaire) et conglomérats (horizon carbonaté). Le faciès anionique chloruré (P64, AinWahab) provient probablement du contact avec les marnes helvétiques salines ou à l'irrigation avec les eaux non conventionnelles. L'hétérogénéité des faciès chimiques est liée à l'hétérogénéité des faciès lithologiques (Hayane, 1983).

**Tableau 1 :** Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques.

	pH	C 25°C	Ca	Mg	Na	K	HCO3	CO3	Cl	SO4	NO3	Ca+Mg	Na+K
pH	1												
C25°C	-0,15	1											
Ca	-0,32	0,34	1										
Mg	0,15	-0,27	-0,96	1									
Na	-0,75	0,43	0,19	-0,07	1								
K	-0,2	0,31	-0,55	0,66	0,29	1							
HCO3	-0,1	-0,06	-0,11	0,14	0,13	0,56	1						
CO3	0	0	0	0	0	0	0	1					
Cl	-0,48	0,53	0,41	-0,3	0,55	-0,23	-0,68	0	1				
SO4	-0,18	0,34	0,38	-0,26	0,27	0,3	0,67	0	-0,17	1			
NO3	0,45	-0,19	-0,65	0,6	-0,48	0,03	-0,59	0	0,06	-0,76	1		
Ca+Mg	-0,68	0,38	0,58	-0,34	0,43	0,08	0,05	0	0,5	0,55	-0,45	1	
Na+K	-0,75	0,43	0,16	-0,04	1	0,33	0,16	0	0,53	0,28	-0,47	0,43	1

On considère que deux variables sont suffisamment liées pour pratiquer des interpolations et extrapolations lorsque  $r = -0,75$  ou quand  $r = +0,75$ .  $r$  étant le coefficient de corrélation. En dehors de ces limites, les liaisons se dégradent rapidement pour devenir insignifiantes. L'analyse de la matrice montre qu'il s'est établi une bonne corrélation entre:

- Le calcium et magnésium.

Dans les réservoirs calcaires les eaux sont dures et moyennement à fortement minéralisées en sels de calcium et magnésium. Il ressort de cette valeur de



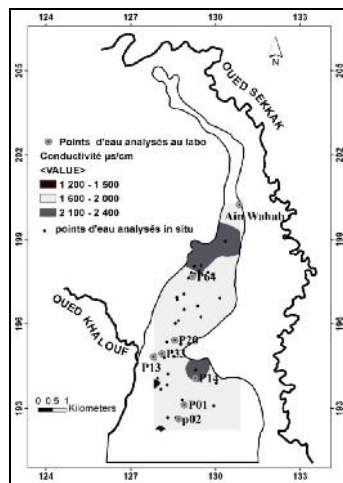
corrélation (Tableau. 1) que les couples ont une origine commune, évoluent dans le même sens et sont produits par des phénomènes naturels identiques.

- Les nitrates et les sulfates.

Cette valeur de corrélation (Tableau. 1) permet de dire que les couples ont une origine commune qui est probablement due à l'utilisation des engrais.

**MINERALISATION**

La conductivité caractérise le degré de minéralisation de l'eau (Tableau.2)



**Figure 5 :** Conductivité mesurée en juin 2011

On remarque que les échantillons analysés in situ ont une minéralisation supérieure à 1110 µS/cm, ce qui veut dire que les eaux souterraines de la plaine d'Henaya présentent une minéralisation élevée (Fig.5).

**Tableau 2:** Relation entre minéralisation et conductivité à 20°C (Rodier et al., 2009).

100 µS/cm < conductivité < 200 µS/cm	Minéralisation faible
200 µS/cm < conductivité < 333 µS/cm	Minéralisation moyenne
333 µS/cm < conductivité < 666 µS/cm	Minéralisation moyenne accentuée
666 µS/cm < conductivité < 1000 µS/cm	Minéralisation importante
conductivité > 1000 µS/cm	Minéralisation élevée

## INTERPRETATION DES RESULTATS D'ANALYSES

Les résultats révèlent que les teneurs des éléments des points d'eau analysés (Figure. 5) sont conformes aux normes de potabilité algérienne (Décret exécutif n° 11-125, 2011) mais par contre on remarque que les concentrations en nitrates dépassent les normes de consommation humaine (Fig.6).

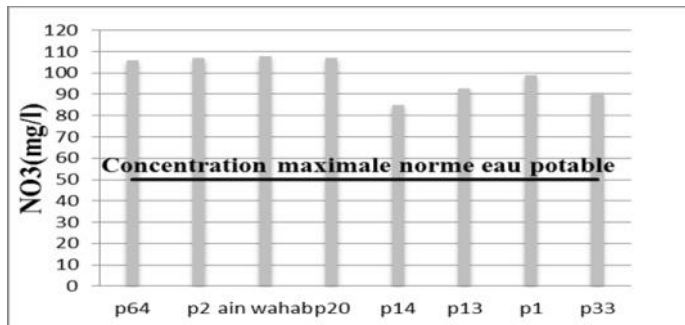


Figure 6 : Concentration en Nitrates.

## ETUDE DE LA QUALITE DE L'EAU POUR L'IRRIGATION

Les principaux facteurs qui peuvent dégrader la qualité des eaux d'irrigation sont :

- La concentration en sels dissous qui peut être exprimés par la conductivité.
- La conductivité en sodium.
- Les éléments toxiques.
- L'alcalinité.
- La concentration en ions d'hydrogène.

### SALINITE

La salinité est mesurée couramment par la conductivité électrique. Les valeurs des échantillons analysés in situ (Fig. 5) sont inférieures à 3000  $\mu$  S/cm traduisant une salinité légère des eaux souterraines (Norme FAO 1996).

### SODIUM

Les teneurs élevés en sodium dans l'eau d'irrigation provoquent la détérioration de la structure du sol le rendant ainsi imperméable à l'eau et à l'air .Ce dernier a un impact direct sur la santé et la productivité des plantes par manque d'infiltration d'eau d'irrigation dans le sol. Des quantités élevées de calcium et

de magnésium par rapport au sodium accentue ce problème. Cette relation est exprimée par le SAR (ratio d'absorption en sodium).

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

Les concentrations sont exprimées en meq/l.

Les échantillons analysés ont un SAR variant entre 2,23 et 2,78 inférieur à la limite de qualité des eaux d'irrigation (Fig.7).

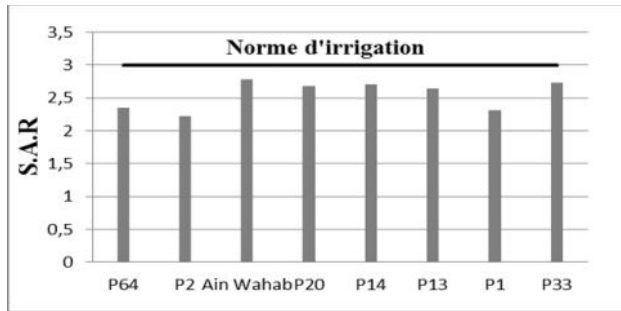


Figure 7 : SAR des échantillons analysés.

### ALCALINITE

La dureté composée des éléments de calcium et magnésium ont tendance à précipiter avec les carbonatés qui compose l'alcalinité. On remarque pour tous les points d'eau analysés une alcalinité > 200 mg/l en CaCO<sub>3</sub> (Fig.8) dépassant largement les normes de qualité de l'eau d'irrigation.

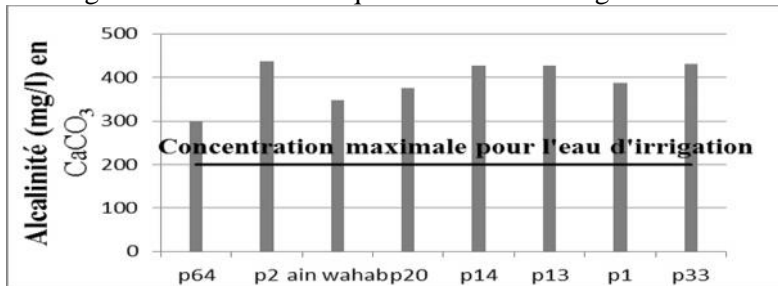


Figure 8 : Alcalinité des échantillons analysés au laboratoire.

Il en résulte que l'eau est incrustante présentant des risques élevés de colmatage des canalisations d'eau et des systèmes d'irrigation. Les teneurs élevées en calcium et magnésium variant de 510 à 590 mg/l en CaCO<sub>3</sub> causent le problème

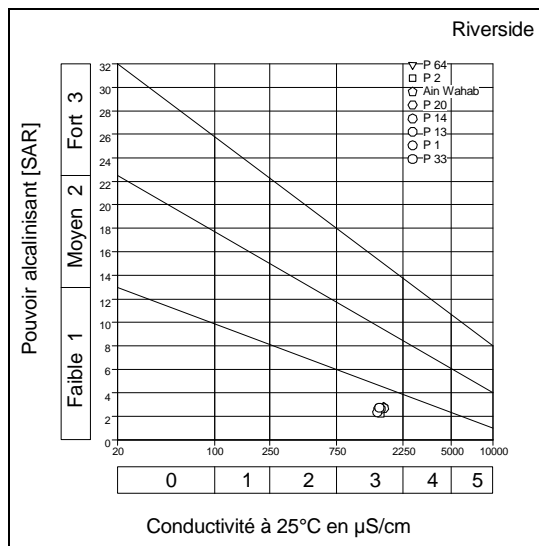
d'obturation des goutteurs par des dépôts calcaires. Dans ces conditions il est déconseillé d'utiliser le système goutte à goutte.

**LA CONCENTRATION EN IONS D'HYDROGENE.**

Les valeurs du pH des points d'eau analysés varient entre 7,18 et 7,26 avec de très faibles variations d'un point d'eau à un autre. Tous les échantillons analysés présentent une concentration en ions d'hydrogène circonscrite au domaine 6,5-9 respectant les normes de potabilité et la qualité de l'eau pour l'irrigation.

**CLASSIFICATION ET CARACTERISTIQUE DE L'EAU D'IRRIGATION**

La représentation graphique des échantillons analysés sur le diagramme de Riverside (US Salinity Laboratory, 1954) permet le classement (Fig.9) de l'eau d'irrigation et par conséquent des diverses utilisations (variétés des cultures) (Tableau. 3).



**Figure 9 : Diagramme Riverside**

**Tableau 3: Classification et caractéristiques de l'eau d'irrigation.**

Pt d'eau	SAR/ Conductivité	Classement	Caractéristiques
P64 P2 AinWahab	C3 – S1	Eau admissible	-Eau convenant aux plantes qui présentent une bonne tolérance au sel.

P20 P14 P13 P1 P33			-Sol bien aménagé (bon drainage). -Contrôle périodique de l'évolution de la salinité
--------------------------------	--	--	---

## CONCLUSION

L'étude physico-chimique a mis en évidence que l'eau de tous les points d'eau analysés de la nappe d'Henaya est légèrement saline, avec une minéralisation élevée. Elle est impropre à la consommation humaine par son taux élevé de nitrates. L'étude d'aptitude des eaux souterraines d'Henaya à l'irrigation nous a montré que l'eau est incrustante présentant des risques élevés de colmatage avec pour caractéristique d'utilisation de convenir aux plantes qui présentent une bonne tolérance au sel. Toutes ces conclusions traduisent une pollution diffuse des pratiques agricoles et d'élevage. Dans la plaine d'Henaya, ces derniers sont reconnus maintenant comme une source potentielle de dégradation de la qualité des eaux. Il est désormais nécessaire de pousser les recherches dans le domaine d'une éventuelle pollution en éléments toxiques.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARRETE INTERMINISTERIEL, du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation.
- ATALLAH S. (1987). La réutilisation des eaux usées traitées. Note interne, Ministère de la santé Publique, Tunisie.
- BEMMOUSSAT A. (2012). Impact de l'activité agricole sur la qualité des eaux souterraines à travers le bassin de la Tafna. Mémoire de Magistère, Université de Tlemcen.
- BOLSTER C.H., WALKER S.L., COOK K.L. (2006). Comparison of Escherichia coli and Campylobacter jejuni Transport in Saturated Porous Media. 10.2134/jeq2005.0224. J. Environ. Qual., Vol. 35, N° 4, 1018-1025.
- DECRET EXECUTIF N° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 Mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine
- FAO. (1996). La qualité d'eau dans l'irrigation. Bulletin n°29 de l'Organisation Mondiale pour l'Alimentation et l'Agriculture.
- HAYANE S. (1983). Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du bassin versant de l'Oued Sikkak (région de Tlemcen).Thèse de Doctorat, Université d'Oran.

- LOI N° 05-12, du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005 relative à l'eau. Journal officiel de la république algérienne N° 60. Art. 130.
- MAJDOUB R., COTE C., LABIDI M., GUAY K., GENEREUX M. (2003). Impact de l'utilisation des engrais de ferme sur la qualité microbiologique de l'eau souterraine. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, p. 136.
- RODIER J., LEGUBE B., MERLET N., COLL. (2009). L'Analyse de l'eau. 9e édition, Paris, Dunod.
- TECHNOEXPORSTROY.(1971). Aménagement Hydraulique de la plaine de Hennaya. Etude, Direction de l'hydraulique.
- US SALINITY LABORATORY. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agricultural Handbook No 60. USDA, 160 p.
- VAILLANT R. (1973). Protection de la qualité des eaux et maîtrise de la pollution contrôle de déversement d'eaux polluées, Edition Eyrolles.
- VALIRON F. (1983). La réutilisation des eaux usées. Document technique.