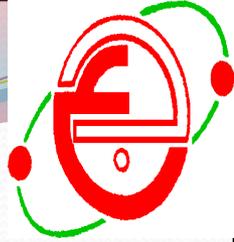




International Conference

“Groundwater, key to the Sustainable Development Goals”.

Paris, May 18-20th, 2022



UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA-

LABORATOIRE RESSOURCE EN EAU ET DÉVELOPPEMENT DURABLE.

La minéralisation des eaux peut constituer un handicap pour l'autosuffisance alimentaire : cas de l'aquifère côtier d'Annaba-Drean (E. Algérien)

Djabri, L⁽¹⁾, Bouhsina, S⁽²⁾, Bouguerra, H⁽¹⁾, Bougherira, N⁽¹⁾, Hani, A⁽¹⁾, Chaffai, H⁽¹⁾,

Laboratoire Ressource en Eau & Développement Durable. Université Badji Mokhtar Annaba-Algérie.)djabri_larbi@yahoo.fr; bouguerrahamza23@gmail.com; nabilbough@gmail.com; haniazzedine@yahoo.fr; hichamchaffai@yahoo.fr

(2) Unité de chimie environnementale et interactions sur le vivant (UCEIV) EA4492-MERI-1, 145, Avenue Maurice Schumann 59145, Dunkerque, France. bouhsina@univ-littoral.fr; saad.bouhsina@univ-littoral.fr

Plan de travail

★ Problématique, Introduction



I

Caractéristiques géographiques et géologiques



II

Les facteurs climatiques et leurs variations



III

La ressource en eau dans la zone d'étude



IV

Qualité des eaux de la zone d'étude



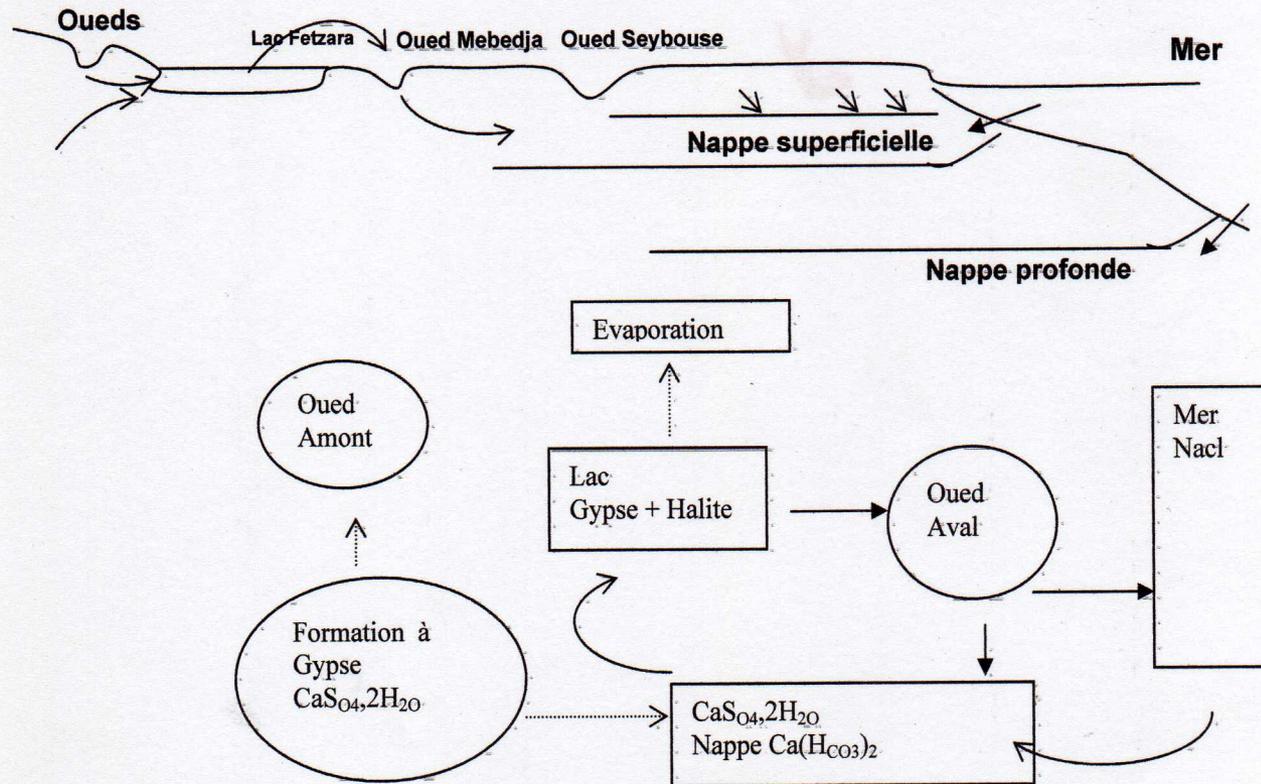
V

**Mise en évidence d'une Interférence entre des
eaux marines et eaux douces**



Conclusion

● Problématique



- La précédente figure montre l'état de la ressource en eau dans la région d'étude. Cette dernière est influencée par la présence de la mer, du lac Fetzara, des Oueds (Meboudja et Seybouse) et deux nappes la première superficielle et la seconde Profonde dans sa partie Nord et libre dans sa partie Sud.
- Ces interférences sont à l'origine de la minéralisation des eaux.

La région étudiée est à vocation agricole, les cultures pratiquées sont la tomate industrielle, la pastèque, le melon....C'est à dire des cultures dites d'été, nécessitant une irrigation intense au cours de cette période d'où une sollicitation plus accrue des nappes et des cours d'eau au cours de cette saison.

De ce fait, les agriculteurs doivent intensifier les pompages au niveau des puits et des forages.

Cette situation génère une surexploitation des nappes, allant jusqu'à la perturbation de l'équilibre de l'interface eau douce eau salée.

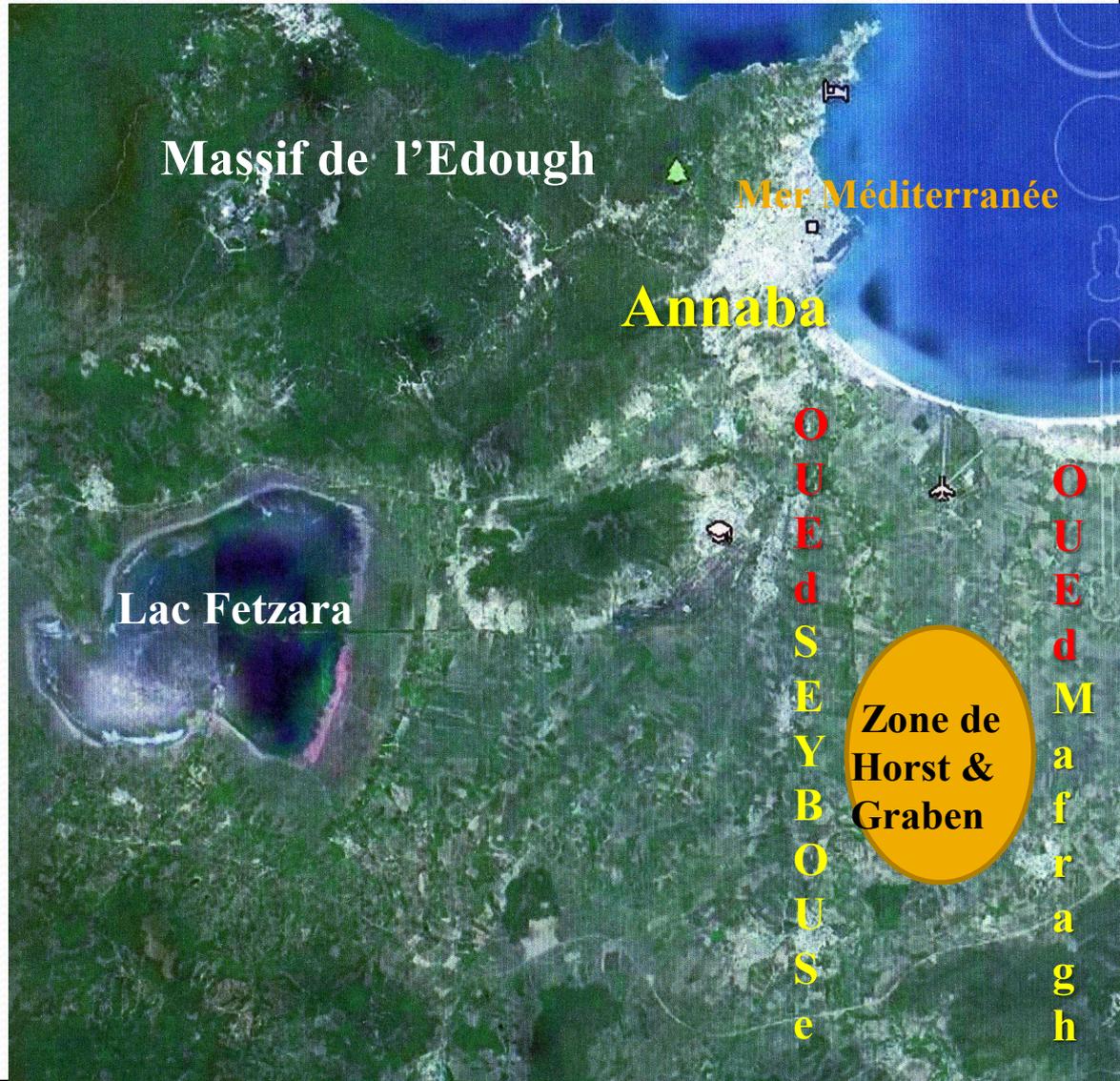
Par le biais de ce travail, nous allons essayer de démontrer l'existence d'une intrusion et déterminer les éventuelles directions préférentielles de cette intrusion.

CADRE GENERAL

Situation Géographique:

La plaine de Annaba se situe au Nord-Est de l'Algérie (fig. 1). Elle est limitée au Nord par la mer méditerranée, à l'Ouest par le massif de l'Edough particulièrement Beleita (287 m) et de Boukhadra (152 m), au Sud par la chaîne numidique orientale (1411 m) et à l'Est par l'oued Mafragh.

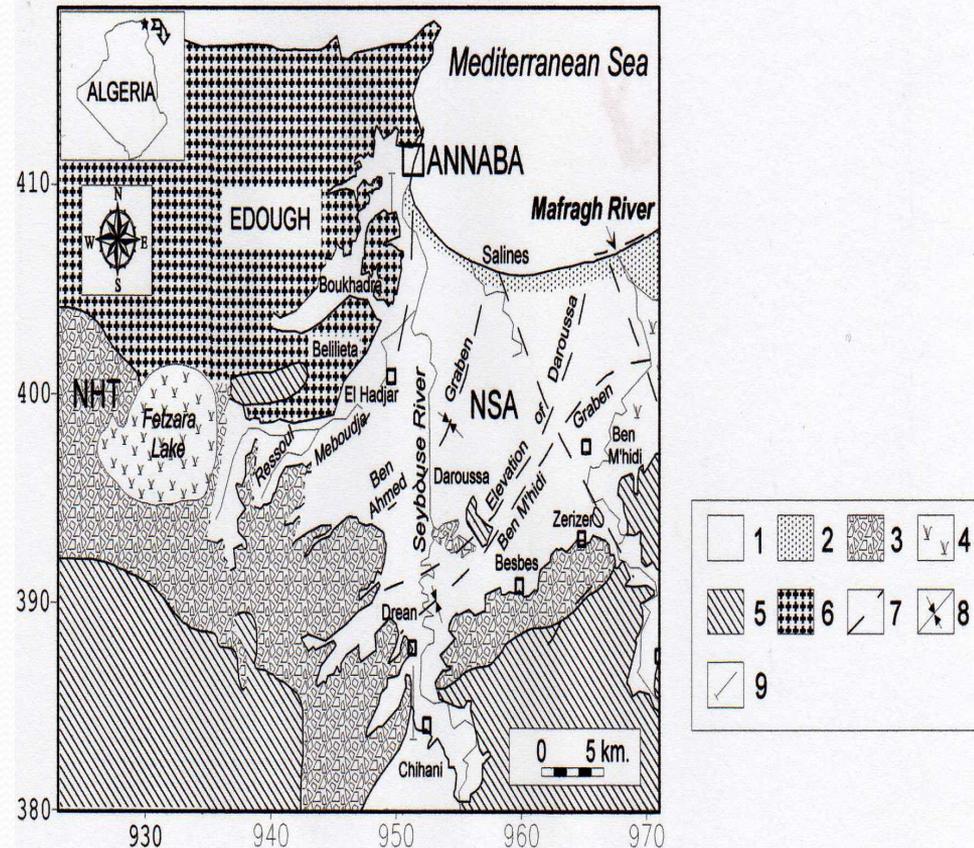
Elle recèle deux nappes d'inégales extensions. La première dite superficielle située à quelques mètres de la surface du sol, dans laquelle sont implantés des puits domestiques. La seconde dite profonde captée par des forages atteignant plus de 100 mètres de profondeurs.



Caractéristiques Géologiques de la zone d'étude et structure des aquifères

Description des formations à l'affleurement:

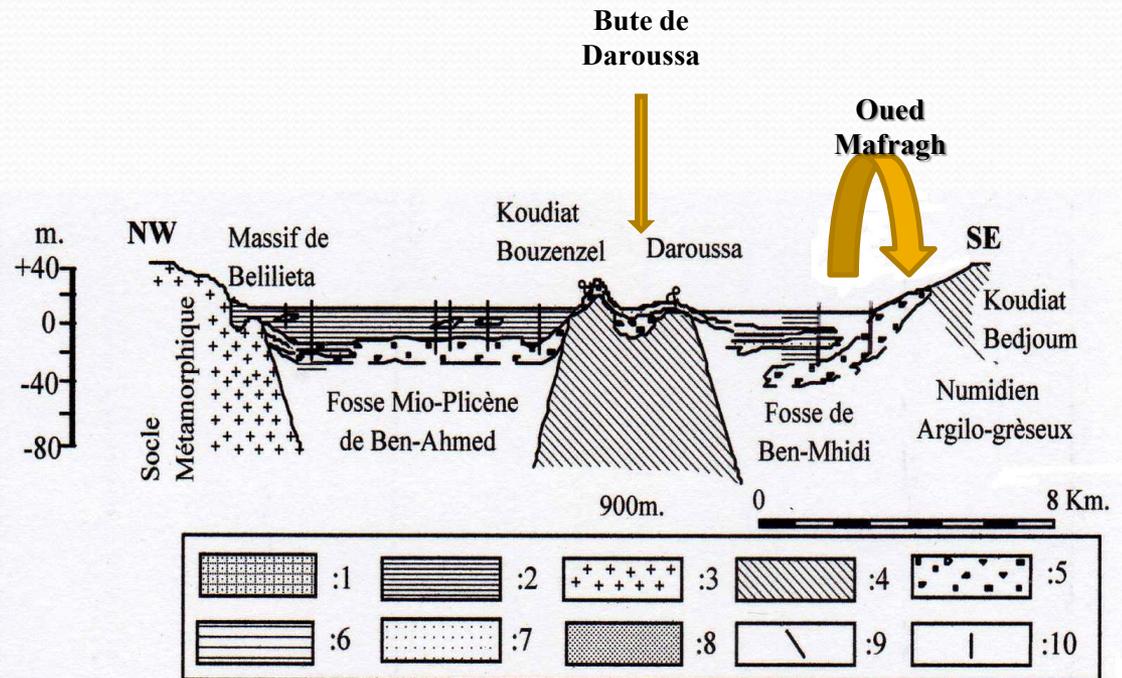
La zone d'étude se caractérise par l'affleurement de deux formations, sédimentaires et métamorphiques. Ces affleurements sont datés du Paléozoïque au Quaternaire. Les formations métamorphiques datent du Paléozoïque et affleurent dans la partie l'Ouest et constituent le massif de l'Edough, Belilieta et Boukhadra, constitué surtout de gneiss. L'âge des formations sédimentaires, s'étale du Mésozoïque au Quaternaire. Ce dernier est constitué de formations dunaires alluvionnaires formant la roche réservoir. On distingue le Quaternaire ancien (hautes terrasses): renfermant la nappe des alluvions dont le matériau est composé de sables, d'argiles, de graviers, ... Quaternaire récent: correspond à la basse et à la moyenne terrasse. Quaternaire actuel: les alluvions sont représentées par des dépôts de lit actuel de l'oued; il s'agit de sable et de cailloutis.



- 1 : Quaternaire récent et actuel; 2: Dunes; 3: Quaternaire ancien; 4: Marécage ou lac;
5: Grés et argile numidiens ; 6: Formations métamorphiques ; 7: Faille; 8: Axe des fosses.

SCHEMA STRUCTURAL DE LA ZONE D'ETUDE

Les résultats des études géophysique réalisées par Sonatrach (1966) et Strojexport (1975) montrent une succession de horst et grabens dans la zone d'étude. Cette alternance des formes conduit à la création de secteurs préférentiels d'écoulements. Ainsi de part et d'autre de la bute de Daroussa s'installe des plaines qui peuvent receler des nappes (Fig.2), ces dernières se prolongent en mer. Les résultats obtenus à partir des observations issues de la tectonique et la géophysique mettent en évidence l'existence de connexion hydraulique entre la mer et les nappes, avec des secteurs préférentiels, pouvant déboucher sur une invasion marine.



- 1: Argile limoneuse avec passées sableuses (nappe phréatique);
- 2: Argile détritique Plio-quaternaire; 3: Socle métamorphique (micaschistes, gneiss, cipolins); 4: Grès Numidiens;
- 5: Galets et graviers (nappe principale ou profonde);
- 6: Argile de Numidie ou du Paléocène; 7: Sable; 8: Dunes;
- 9: Failles; 10: Forages.

Caractéristiques climatiques et

Bilan D'eau

Stations Etudiées

On remarque une variabilité importante des précipitations entre la station de Seraidi et celle de Berrahal. Elle passe du simple au double presque. La station de Seraidi située en amont se caractérise par un important Ruissellement, les eaux vont alimenter la partie Ouest de zone d'étude. Par contre les eaux des autres stations vont converger vers la mer, **une partie va alimenter les aquifères.**

Station étudiée	Précipitations Moyennes (mm)
Seraidi	1000,00
Ain Berda	635,20
Chihani	618,60
El Kerma	583,70
Kef Mourad	543,70
Pont Bouchet	615,60
Salines	815,70
Berrahal	651,50

Paramètres climatiques calculés

	ETR (mm)		ETP (mm)	R (mm)	I (mm)	Excédent (mm)	Déficit agricole (mm)
	Formule de TURC	Méthode de C.W. THORNTHWAITE					
Stat. de Berrahal	593.86	449.54	917.26	108.41	129.75	238.16	467.72
Stat. des Salines	593.15	471.34	917,26	107.74	107.2	214.94	445.92

Hydrogéologie Locale

Les aquifères de la zone d'étude et leurs natures

Les études menées montrent la présence des aquifères suivants:

Nappes superficielles

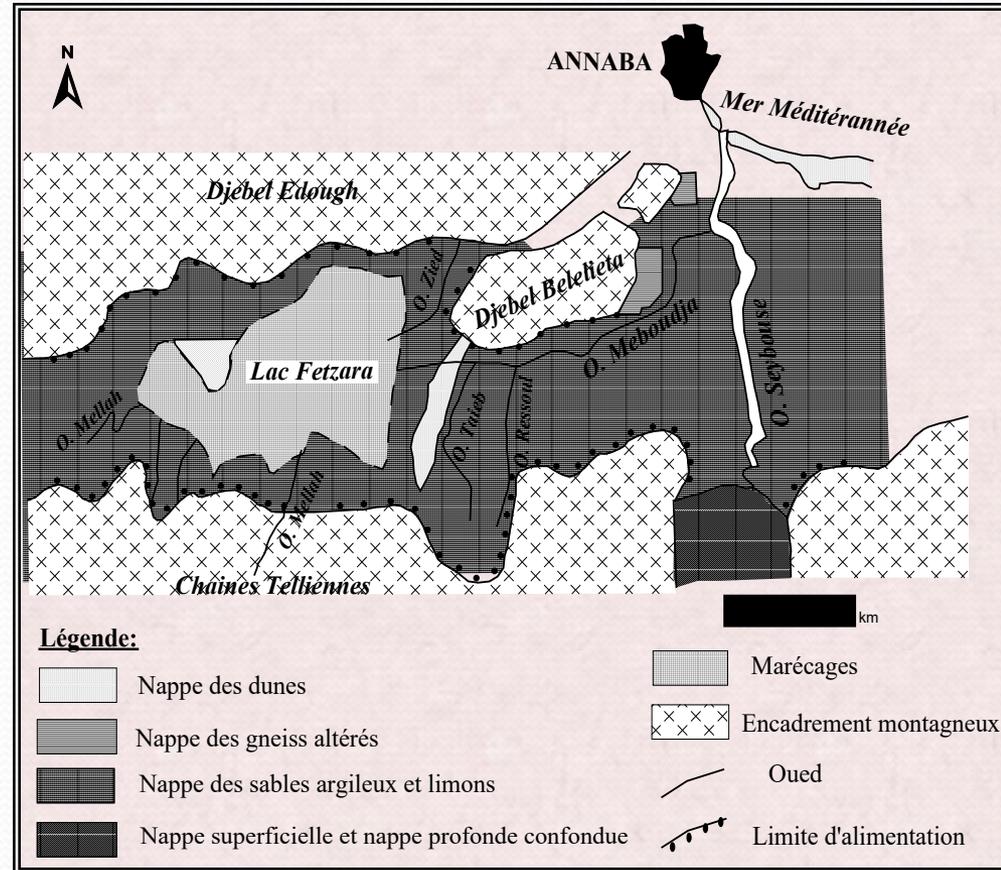
Nappe des gneiss altérés

Nappe superficielle

Nappe des cipolins

Nappes profondes

Nappe des graviers



Situation géographique des nappes superficielles de la plaine de Annaba

Notre travail portera sur la nappe superficielle et la nappe des graviers.

Cette dernière devient libre dans sa partie Sud au niveau de Dreaan.

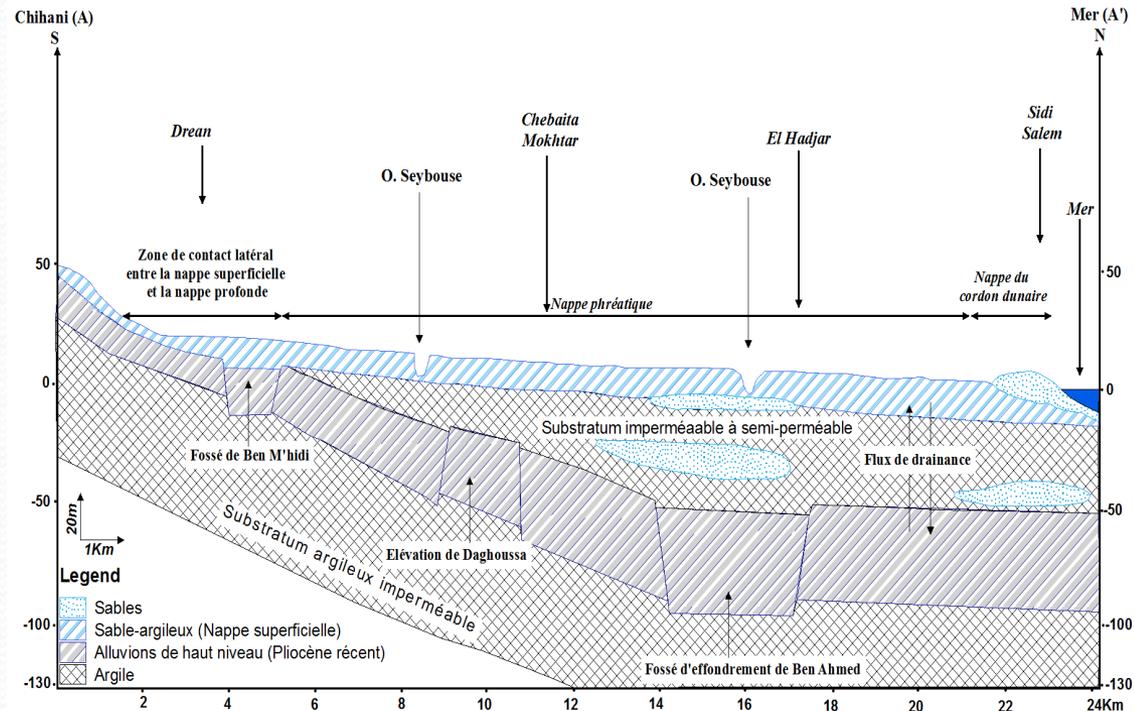
Identifications de la nappe des graviers.

La zone d'étude dans sa partie Nord, recèle deux nappes superposées.

- la première superficielle, dans laquelle sont implantés les puits domestiques,
- la seconde, captive dans sa partie nord mais devient libre dans sa partie sud (Drean), dans cette zone (sud), elle est appelée nappe de Gravier.

Elle constitue le prolongement de la nappe captive des salines. Elle est captée par les forages, dont l'eau extraite est destinée à l'AEP.

Les essais par pompage réalisés au niveau de la nappe libre donnent les caractéristiques suivantes.



Puits	Transmissivité ($m^2 \cdot s^{-1}$)	Coefficient d'emmagasinement	Epaisseur (m)	Perméabilité ($m \cdot s^{-1}$)
P1	$2 \cdot 10^{-6}$		5	$4 \cdot 10^{-7}$
P2	$8 \cdot 10^{-5}$	2 %	5	$1.6 \cdot 10^{-5}$

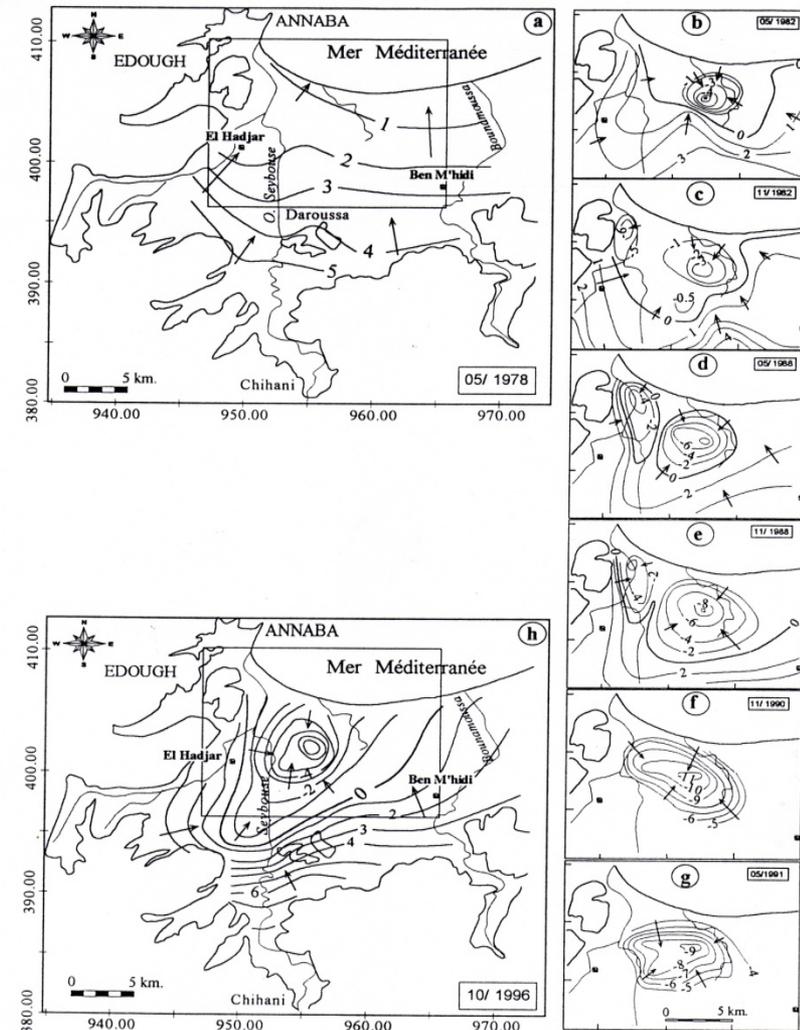
Indications concernant la NAPPE DES GRAVIERS

Au niveau de la nappe graviers les valeurs de **Transmissivité** les plus élevées sont situées le long de la Seybouse et les plus faibles à l'Ouest dans la région d'El-Kerma et à l'Est vers l'Oued Mafragh. Elles varient de $3 \cdot 10^{-5}$ à $1 \cdot 10^{-2}$ m²/s.

Le **coefficient d'emmagasinement** présente une valeur oscillant entre 10^{-4} - 10^{-3} dans le secteur de Dreaan-Chihani où elle devient libre.

Le dépouillement des données a également permis de définir la perméabilité de l'horizon semi-perméable qui varie de 10^{-8} à 10^{-7} m/s.

La surexploitation est mise en évidence par la chute considérable des niveaux piézométriques, allant jusqu'à atteindre des niveaux inférieurs au niveau de la mer, ce qui augure d'une invasion marine.

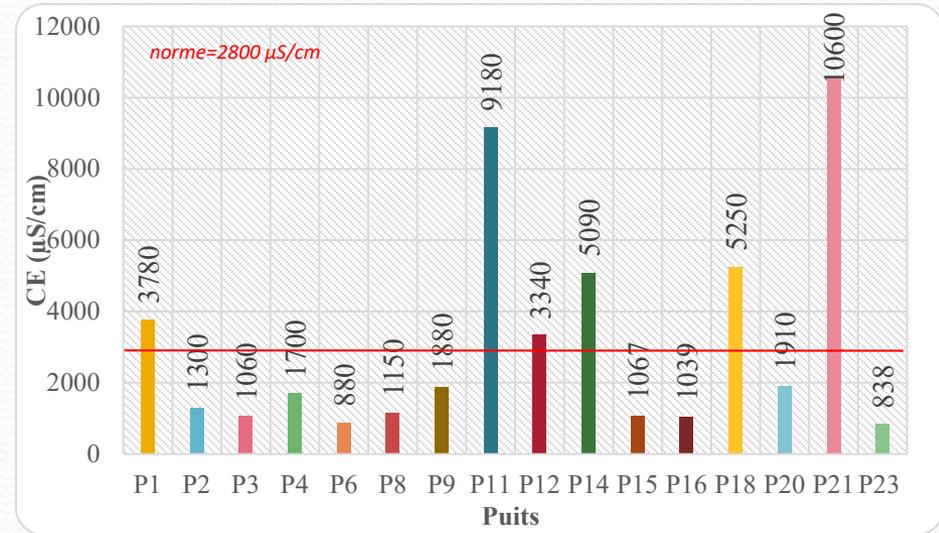
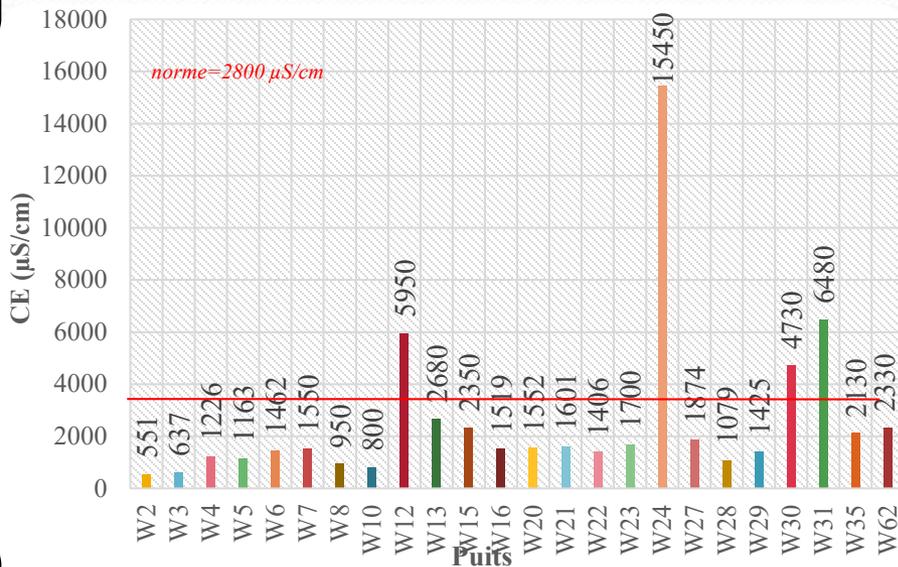


Variations des paramètres physiques.

Dans une zone agricole, la qualité des eaux demande une attention particulière car elle conditionne le rendement des cultures. Ainsi, nous donnons dans le tableau suivant des indications concernant les paramètres physiques mesurés in situ. Nous remarquons que la conductivité est élevée de ce fait les eaux doivent être utilisées de manière attentive à l'évolution de la conductivité.

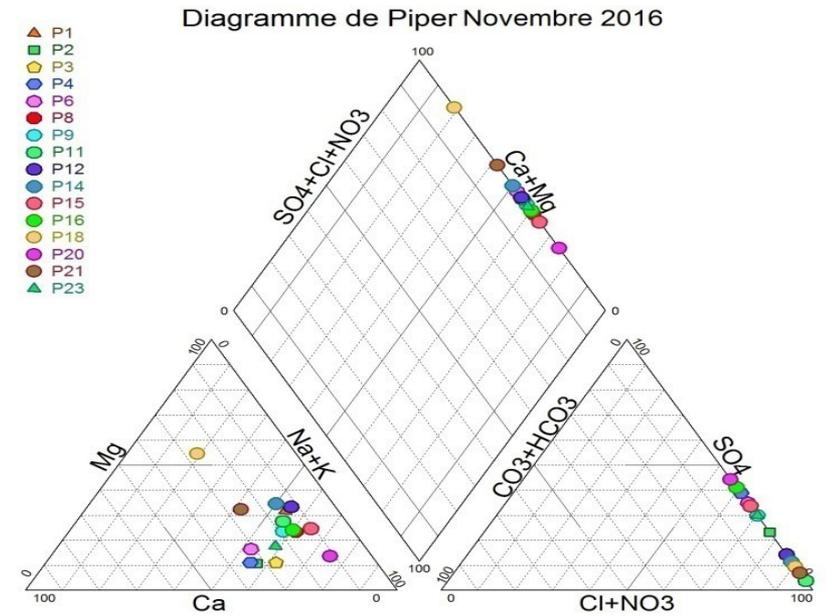
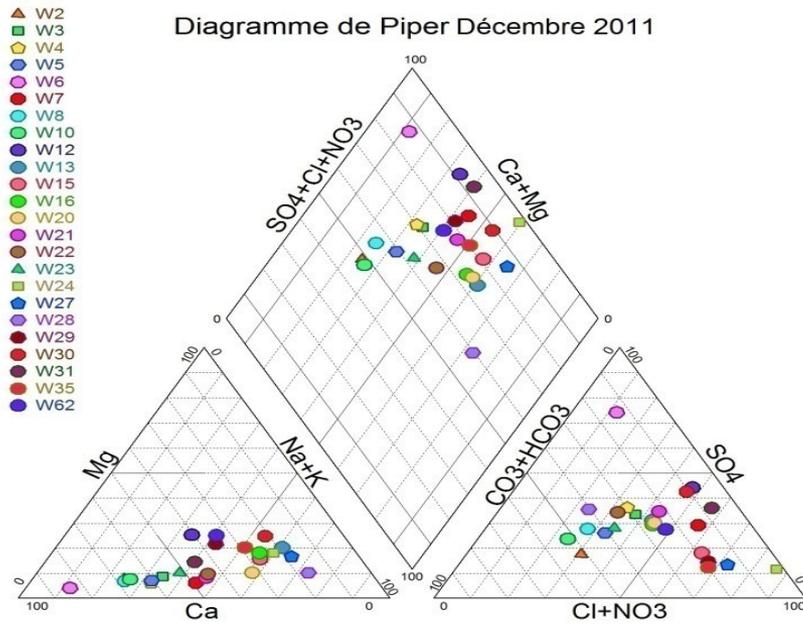
Variable	Moyenne	
	Basses eaux	Hautes eaux
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	12444.4	22100.15
Température ($^{\circ}\text{C}$)	21.986	18.759
Ph	8.03	8.064
Eh (mV)	72.267	66.404
O ₂ dissous mg/l	2.253	3.307

Variations interannuelle de la conductivité



Partant du fait que l'irrigation à partir des eaux salées, risque de compromettre le développement des plantes. Dans les zones à vocation agricole comme c'est le cas la conductivité est un paramètre important et qui doit être contrôlé régulièrement et surtout en été où l'irrigation se fait de manière régulière. Les histogrammes réalisés montrent que la conductivité peut atteindre au niveau de certains puits plus de 10 000 µS/cm. Ce qui risque de compromettre les cultures..

Variations des paramètres chimiques: le diagramme de Piper



-Eaux hyper chlorurées calciques ou hyper sulfatée calcique, (cinq échantillons) ;

-Eaux chlorurées ou sulfatées calciques ou magnésiennes, cette famille est la plus importante et est constituée (10 échantillons) ;

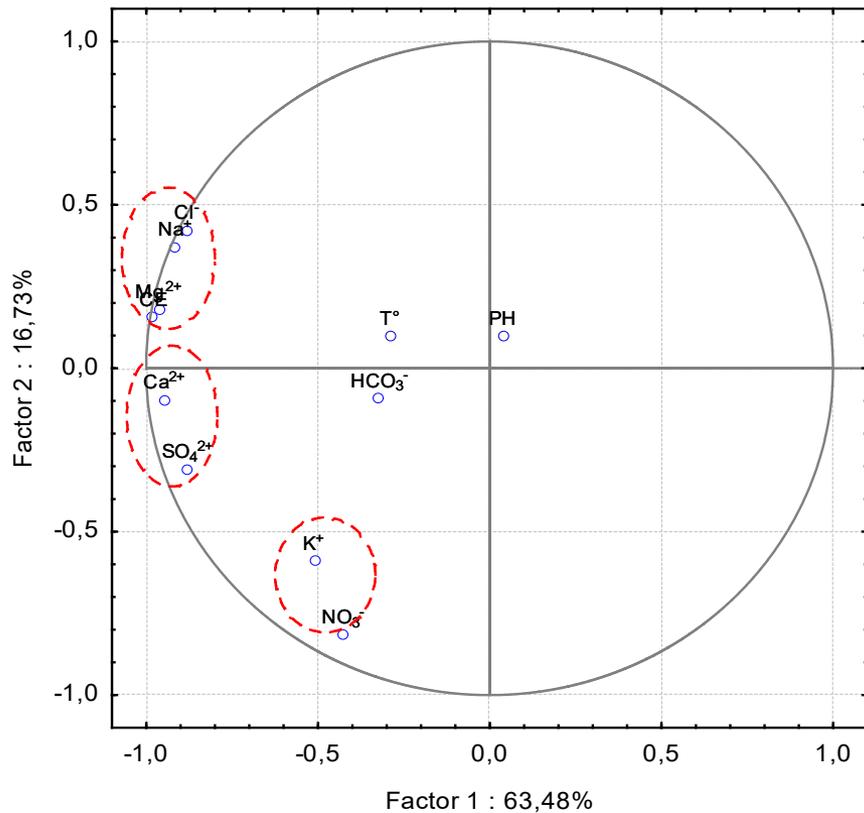
La dominance des eaux calciques.

-Une seule famille, celle des eaux hyper chlorurées ou sulfatées calciques.

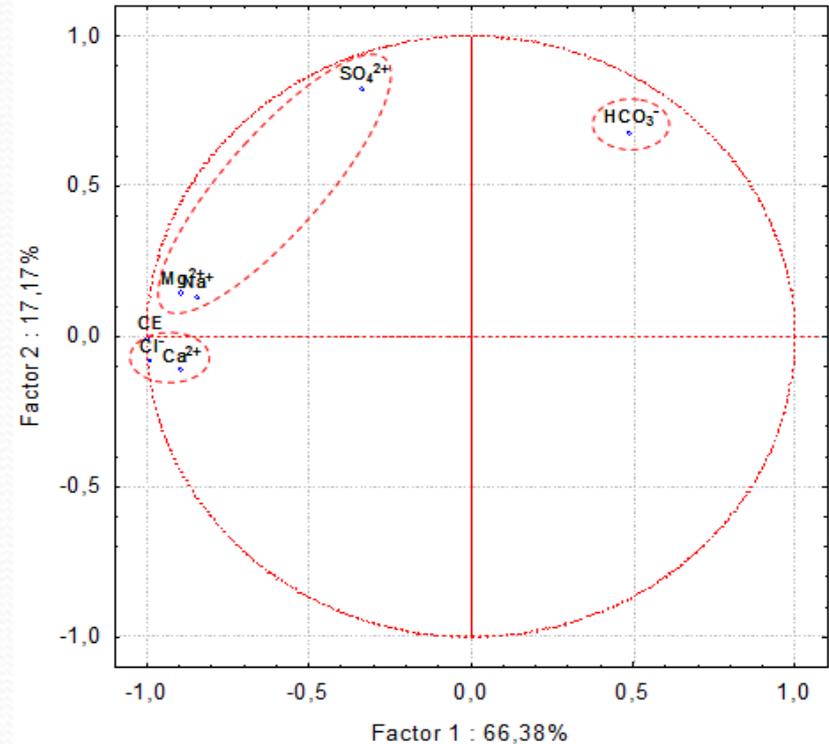
-La présence du calcium est liée au contact de l'eau avec la roche allant vers un enrichissement des eaux en calcium.

L'analyse en composantes principales ou (ACP) (2011 & 2016)

Analyse du cercle ACP-2011



Analyse du cercle ACP-2016



Observations

L'analyse des diagrammes de Piper et des cercles ACP, montre :

Piper : Entre les deux périodes considérées, on remarque qu'on passe d'une eau caractérisée par une qualité hétérogène lors de la première vers une qualité homogène (eaux chlorurées ou sulfatées calciques. Ce changement, serait, liée au fait qu'au cours de cette période la recharge de la nappe est importante et les apports se font à partir de la zone amont dont les eaux sont riches en calcium et dans ces cas même (bordure de mer), l'apport est supérieur aux extractions par pompage ralentie les échanges entre la mer et la nappe.

En fait l'eau des nappes alluviales a une qualité qui dépend de celle de la nappe qui l'approvisionne et de celle de des Oueds.

L'ACP : L'analyse en composantes principales, montre la présence d'affinité ente les familles d'eau pouvant provoquer la salinité des eaux observée au cours des périodes considérées.

Origines probables de la salinité des eaux

La zone d'étude est côtière de ce fait la composition chimique pourra être influencée par la mer. Nous, allons étudier l'impact de la mer sur la qualité des eaux .

Résultats issus des rapports caractérisant l'intrusion

Les analyses chimiques constituent un moyen efficace pour l'explication des origines de diverses pollutions. Cependant pour approcher ces problèmes le scientifique doit choisir les meilleurs paramètres pour convaincre et s'auto convaincre. Pour la mise en évidence d'une probable intrusion marine, nous avons axés notre travail sur l'utilisation des rapports caractéristiques:

Pour l'eau de mer:

* $Mg^{2+}/Ca^{2+} = 4.5$

* $SO_4^{2-}/Cl^- = 0.1$

* $Cl^- / \text{Conductivité} < 0.307$.

RESULTATS

Les rapports obtenus pour la plaine d'Annaba, oscillent entre 3 et 0.3 pour les cations ; par contre le rapport (SO_4/Cl) vari entre 0.2 et 2. Comparé aux valeurs limites, les rapports anioniques sont supérieurs aux valeurs limites. Par contre, les valeurs des cations ne montrent pas les mêmes tendances en raison sans doute d'une compétition entre Mg, Ca et Na, causé par l'échange de base (Djabri 2007)

La majorité des échantillons analysés, soit 29 sur un ensemble de 41, c'est-à-dire 70%, présentent des valeurs inférieures à 0.37, ce qui laisse supposer une contamination marine. Le rapport Br/Cl, constitue, un autre indicateur de la pollution marine. Afin de mieux visualiser les relations nappe mer, nous avons réalisé le graphe Br/Cl= fonction de la distance par rapport à la mer.

Interprétation du graphe Br/Cl

Interprétation:

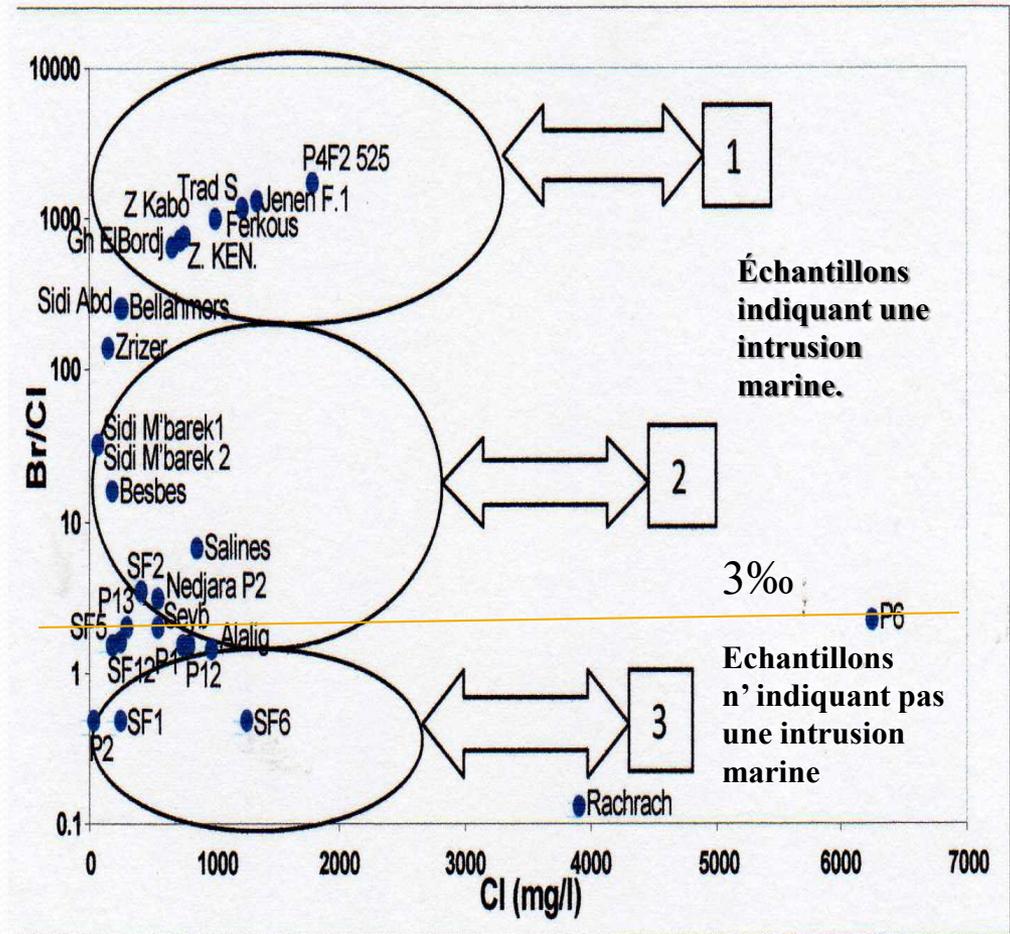
On remarque trois familles:

-les familles 1 & 2, semblent indiquer une intrusion marine, le rapport Br/Cl, est supérieur à 3‰.

-La famille 3, regroupe les échantillons n'indiquant pas une intrusion marine car le rapport Br/Cl < 3‰.

-On remarque une hétérogénéité dans la répartition des échantillons, c'est-à-dire que des puits ou des forages situés à proximité de la mer n'indiquent pas tous une intrusion c'est le cas du puits Racherache, situé à moins de 2 kilomètres par rapport à la mer à contrario, les forages implantés dans la région de Besbes, dont la distance par rapport à la mer atteint plus de 15 kilomètres, indiquent une intrusion marine.

Donc la position des puits par rapport à la mer n'entraîne pas toujours une intrusion marine

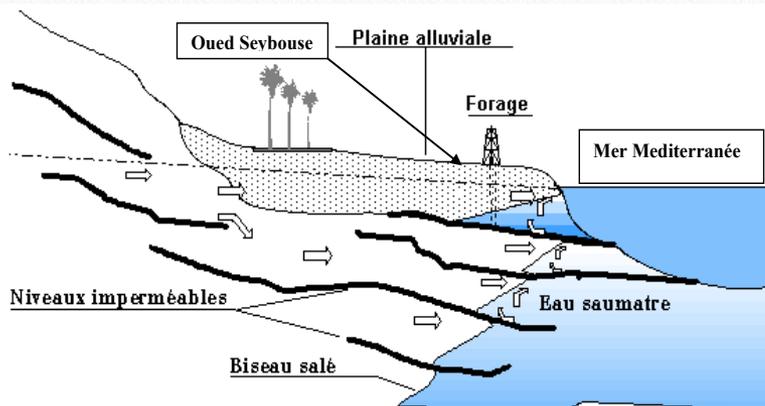
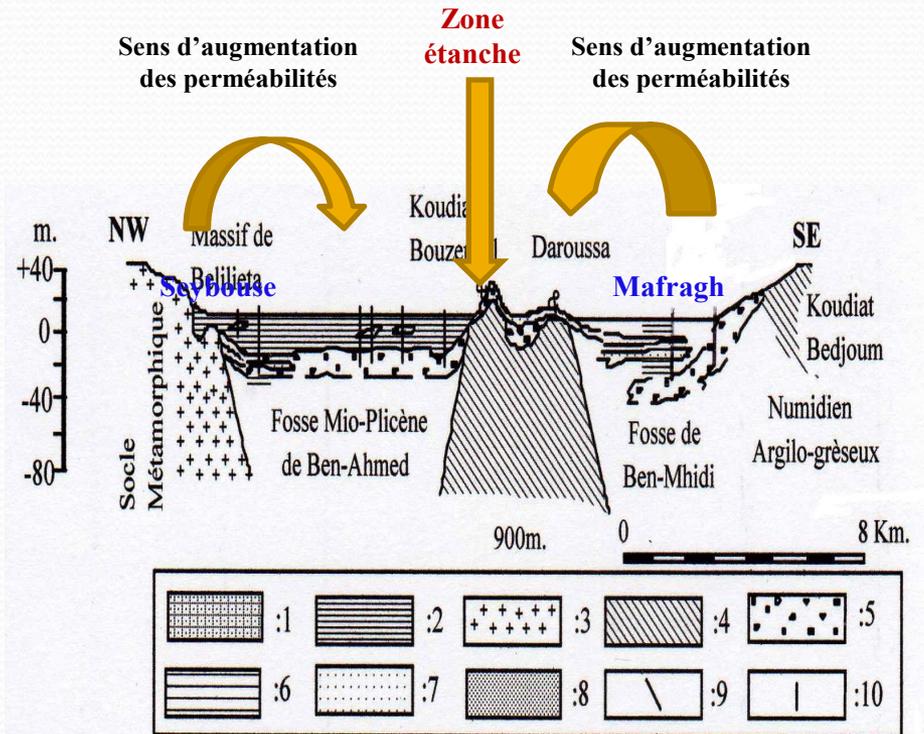


Facteurs influençant l'intrusion marine et délimitation des zones de vulnérabilité

Les zones préférentielles de l'intrusion marine s'expliquent par la présence des Horsts et Grabens et par la présence des Oueds Seybouse et Mafragh.

En effet la surélévation de Daroussa, joue le rôle d'une barrière étanche, empêchant le passage des eaux. Par ailleurs au fur et à mesure qu'on s'éloigne des Oueds la perméabilité augmente facilitant les échanges mer – nappe.

Au niveau de la zone Est particulièrement les eaux vont se déplacer suivant la faille jusqu'à atteindre des distances éloignées. Comme récapitulé dans le schéma suivant:



- 1: Argile limoneuse avec passées sableuses (nappe phréatique);
- 2: Argile détritique Plio-quaternaire; 3: Socle métamorphique (micaschistes, gneiss, cipolins); 4: Grès Numidiens;
- 5: Galets et graviers (nappe principale ou profonde); 6: Argile de Numidie ou du Paléocène; 7: Sable; 8: Dunes;
- 9: Failles; 10: Forages.

Les dangers liés à la salinité des eaux.

Les sels contenus dans les eaux se déposent en surface imperméabilisant le sol de ce fait la plante n'est plus irriguée d'où un risque d'asphyxie de la plante.

Aptitude des eaux à l'irrigation.

Diagramme de Richards -

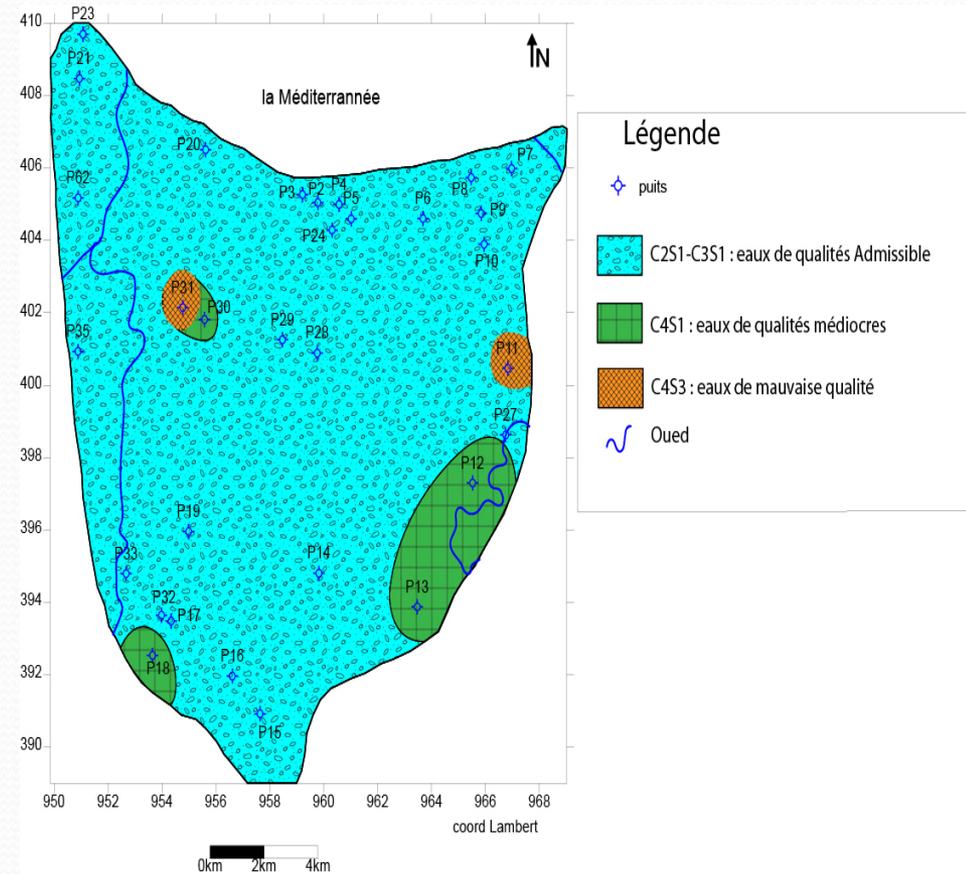
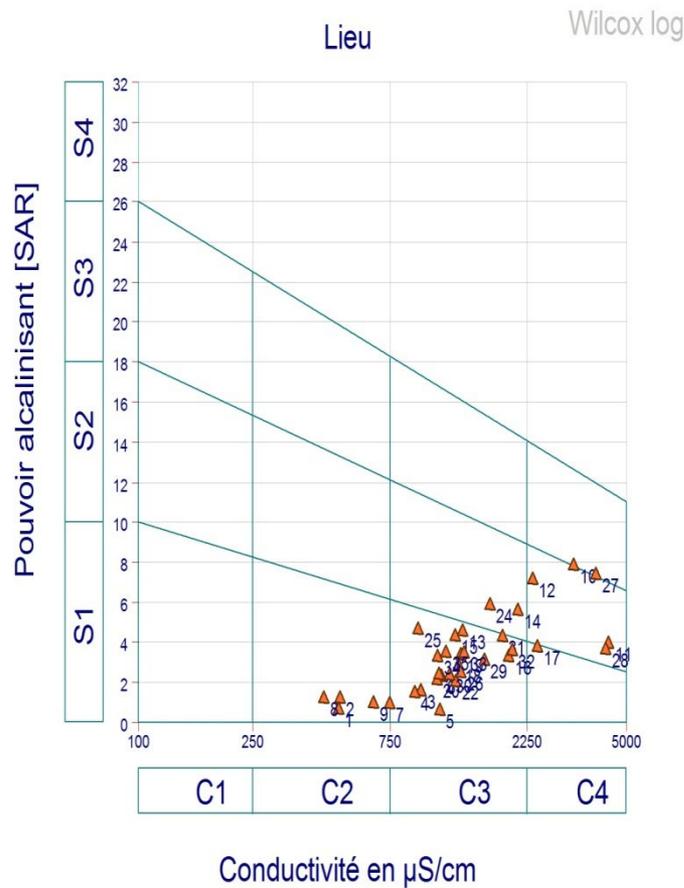


Diagramme de Richards-Eau de la plaine d'Annaba

Carte d'aptitude des eaux à l'irrigation (méthode de Richards).

- C2S1 (BONNE)

- C3S1 et C3S2 (MÉDIOCRE)

- C4S1, C4S2 et C4S3 (MAUVAISE)

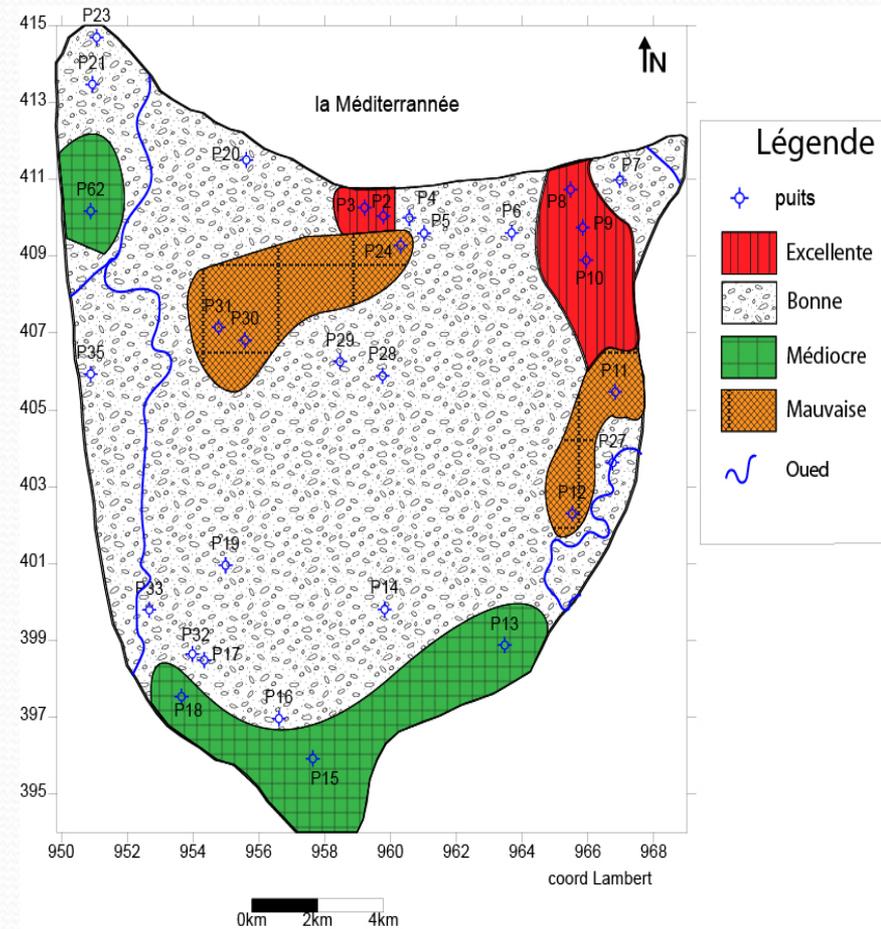
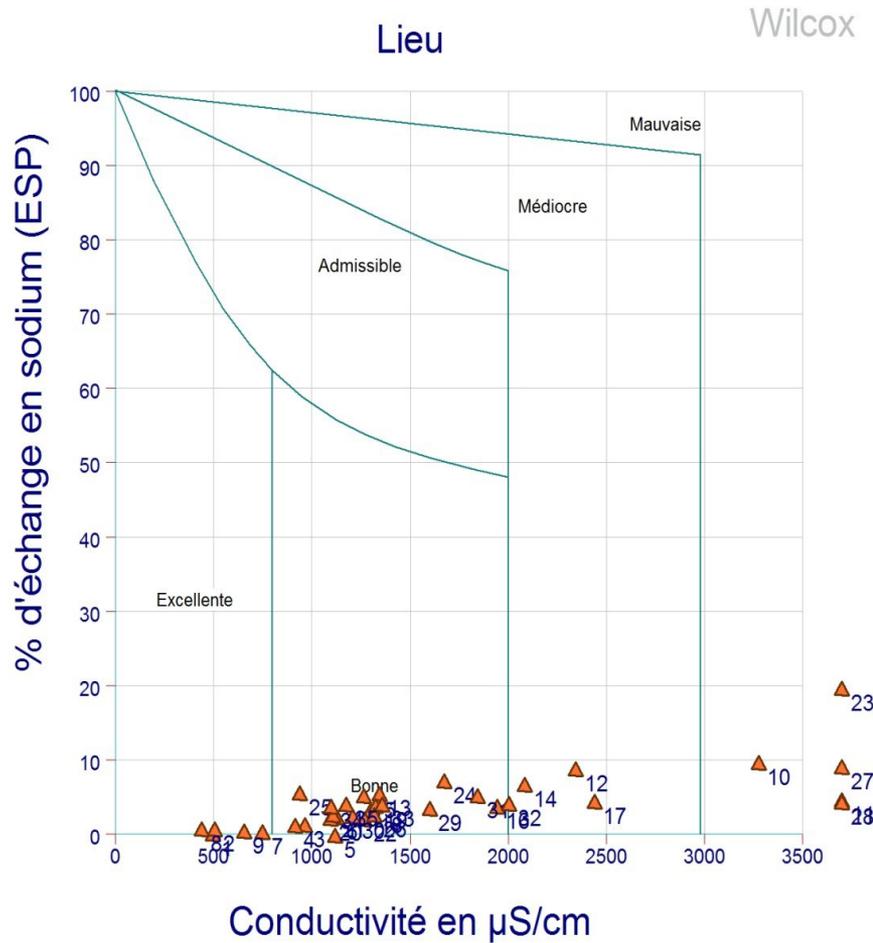
Classes obtenues à partir du Diagramme de Richards

N°	Classe	Puits
1	C2S1	P2, P3, P8, P9, P10
2	C3S1	P4, P5, P6, P7, P14, P16, P17, P19, P20, P21, P22, P23, P24, P28, P29, P32, P33, P35, P62, P63, P64, P65, P67
3	C4S1	P18
4	C3S2	P15, P27
5	C4S2	P12, P13, P30
6	C4S3	P11, P31

D'une manière générale les eaux conviennent à l'irrigation. Cependant des contrôles réguliers doivent être effectués.

Diagrammes de Wilcox

$$\%Na = \left\{ \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+} \right\} \times 100$$



Le diagramme réalisé montre que les eaux analysées, se répartissent respectivement au niveau des classes suivantes :

- eau d'excellente qualité, cette classe contient 4 puits,**
- eau de bonne qualité, contient le maximum de puits, 24 puits,**
- eau de qualité médiocre, avec 4 puits,**
- eau de mauvaise qualité contenant 4 puits.**

Nous pouvons déduire que les eaux des puits analysées, sont de bonne qualité pour l'irrigation.

Conclusion

Le présent travail a été réalisé dans une zone côtière à vocation agricole, caractérisée par l'interférence de deux nappes, l'une superficielle et le seconde profonde. L'exploitation de ces aquifères est plus importante au cours de la période estivale. Au cours de cette période l'irrigation devient importante, pouvant provoquer une intrusion marine par endroit. La démarche suivie, nous a permis par le biais de l'outil hydrochimique de mettre en évidence des zones préférentielles de l'intrusion marine. Nous avons remarqué que cette intrusion est favorisée par les facteurs naturels, tel que les horsts et Grabens présents dans la région. Nous avons remarqué la région de Besbes située à plus de 20 kilomètres du littorale reste la plus vulnérable, ceci est due au fait que dans cette partie la Transmissivité est la plus élevée.

MERCO!

