

Remerciements

Au terme de reconnaissance et des sciences, nous remercions tout d'abord, notre Dieu le tout puissant qui nous a donné la force et la patience pour arriver à ce niveau.

Nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'étude.

Nous exprimons nos plus grandes gratitude à notre encadrant Monsieur Debieche Taha-Hocine. Nous tenons à le remercier pour la confiance qu'il nous a accordée et pour ses

conseils dans l'orientation et la rédaction de ce mémoire. Le travail avec lui a été à la fois très enrichissant scientifiquement et facile humainement, cela est dû à sa compréhension et sa gentillesse durant toute la période de réalisation de notre mémoire.

C'est un réel plaisir de travailler aussi avec madame Benessam Siham qui ne nous a épargné aucun effort dans le suivi de ce travail.

Nos remerciements vont également à l'ensemble des enseignants du département de Sciences de la Terre et de l'Univers, le président du jury pour l'honneur qu'il nous fait par sa présence ainsi que les membres du jury qui ont accepté d'évaluer notre étude.

Tous nos remerciements s'adressent aux directions suivantes :

- ✦ à la direction hydraulique de la wilaya de Jijel (DHW) de nous avoir fourni les données géophysiques et les logstratigraphiques ;
- ✦ à l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH), secteur de Jijel de nous avoir fourni les données hydrologiques ;
- ✦ à l'Office National de la Météorologie (ONM), Agence d'Achouat (Jijel) pour les données climatologiques durant la période de 1971/2008.

- Comme nous tenons à remercier le laboratoire de recherche « Laboratoire de Génie Géologique - LGG » (Université de Jijel), le Laboratoire pédagogique de biologie et aux membres du projet PNR (3/UI8/4513) de nous avoir intégré dans ce projet et de nous avoir fourni tous les documents nécessaires pour réaliser cette étude.

Enfin, nous remercions nos familles pour leurs valeurs et leur soutien et nous adressons nos vifs remerciements à tous mes amis qui nous ont toujours soutenu et encouragé.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à tous ceux qui ont

Contribué de près ou de loin

à l'élaboration de ce travail plus particulièrement :

À Mes adorables parents, qui m'ont tout donner, avec la patience et les prières de maman qui ont été exhaussé par le Tout-Puissant, et la compréhension et les sacrifices de mon père, qui m'ont mis l'abri du besoin, et m'ont donnée l'avantage de me consacrer entièrement et uniquement à mes études. Merci et merci et merci Maman « *Habiba* » et papa « *Mohamed* ».

À mon chères agréables sœurs : « *Asma et Meriem* » Ainsi que mes adorables frères « *Housssem et Mohamed Bachir* », je vous souhaite le bonheur et la réussite, et leurs trois petits enfants « *Adem, Alaa et Assia* »

À mes amies : *Meriem.T, Bahidja, Hanane, Nacira, Ibtiesssem.D, Marwa, Asma, Meriem.K, Ibtiesssem.N, Feyrauz et Nassima.*

-Bien sûr sans oublier..... !!!

Mes collègues de mon promotion d'Eau et Environnement 2013, et promotion de Géologie 2011.

À toute personne a eu l'occasion de m'aider.

Et enfin pour ceux qui ne sont pas sur les lignes mais dans le cœur je vous dit « mille merci ».

Kenza

Dediance

Je dédie ce modeste travail à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin

à l'élaboration de ce projet plus particulièrement :

Mes adorables parents, qui m'ont tout donné, avec la patience et les prières de maman qui ont été exhaussé par le Tout-Puissant, et la compréhension et les sacrifices de mon papa, qui m'ont mis l'abri du besoin, et m'ont donné l'avantage de me consacrer

entièrement et uniquement à mes études. Merci et merci et merci

Maman « Nadian » et papa « Abd El Malek ».

Mon très cher frère et Ma très chère sœur :

Younes, Ouassama, et Fatim Zahra

Mes tantes Halima, Malika et Souaad et leurs enfants

Mes cousines Farah et Nawal

Mes amis :

Ahmed, Farouq, Meriem K. Karim, Hamane, Othman D, Othman

M. Nassima, Nessrine, Sara, Nora, Amira, Meriem T. Hana, Houada

et Widad

Et enfin pour ceux qui ne sont pas sur les lignes mais dans le cœur je vous dit « mille merci ».

A la mémoire de ma grande mère

« Charra »

Liste des figures

6	Figure 01. Situation géographique de la zone d'étude.....	
7	Figure 02. Carte du relief du bassin versant de l'oued Nil.....	
8	Figure 03. Réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Nil.....	
9	Figure 04. Carte d'occupation de la plaine alluviale d'oued Nil.....	
10	Figure 05. Esquisse géologique de la région de Jijel....	
12	Figure 06. Esquisse géologique de la région d'oued Nil.....	
14	Figure 07. Coupe synthétique lithostratigraphique des différents étages géologiques et leur lithologie de la plaine alluviale de l'oued Nil.....	
15	Figure 08. Positionnement des coupes géo-électriques dans la plaine d'oued Nil.....	
16	Figure 09. Coupe géo-électrique représentative et interprétative suivant le profil de résistivité (4) et (10) (ALGEO, 1979).....	
17	Figure 10. Coupe géo-électrique représentative et interprétative suivant le profil de résistivité (15) (ALGEO, 1979)	
17	Figure 11. Coupe géo-électrique représentative et interprétative suivant le profil de résistivité (21) (ALGEO, 1979).....	
18	Figure 12. Coupe géo-électrique représentative et interprétative suivant le profil de résistivité (24) (ALGEO, 1979).....	
19	Figure13.A Carte de substratum.....	
19	Figure13.B Carte de substratum en 3D.....	
21	Figure 14. Photo GPS MAP 62 S.....	
22	Figure 15. Photo de la sonde électrique.....	
23	Figure 16. Prélèvement d'eau depuis un pont.....	
23	Figure 17. Prélèvement d'eau dans un puits.....	
24	Figure 18. Multiparamètres 350i.....	
24	Figure 19. Appareillage de filtration gravitaire (Laboratoire de Génie Géologique- Université de Jijel, 2013).....	
25	Figure 20. Spectrophotomètre UV-Visible.....	
26	Figure 21. Variation des précipitations moyennes mensuelles en mm [1991-2008] (O.N.M. d'Achouat - Jijel).....	

27	Figure 22.	Variation des températures moyennes mensuelles en °C [1991-2008] (O.N.M, d'Achouat).....
27	Figure 23.	Variation des humidités moyennes mensuelles en % [1991-2008] (O.N.M, d'Achouat – Jijel).....
27	Figure 24.	Variations de l'évaporation potentielle moyenne mensuelle en mm [1991-2008] (O.N.M, d'El Achouat).....
28	Figure 25.	Représentation graphique du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite (19912008).....
32	Figure 26.	Carte d'inventaire des points d'eau (Mars 2013).....
33	Figure 27.	Carte piézométrique de la plaine alluviale d'oued Nil (Mars2013).....
34	Figure 28.	Carte d'iso-perméabilité de la région étudiée (DHW, 1983-1987).....
35	Figure 29.	Evolution spatiale des paramètres physico-chimique de l'oued Saayoud (Mars 2013).....
37	Figure 30.	Evolution spatiale des paramètres physico-chimique de l'oued Boukraa (Mars 2013).....
38	Figure 31.	Evolution spatiale des paramètres physico-chimique de l'oued Nil (Mars 2013).....
39	Figure 32.	Carte d'isovaleurs du pH (Mars 2013).....
40	Figure 33.	Carte d'isovaleurs de la Température (Mars 2013).....
41	Figure 34.	Carte d'isovaleurs de la conductivité (Mars2013).....
42	Figure 35.	Carte d'isovaleurs de l'oxygène dissous (Mars 2013).....
43	Figure 36.	Situation des points d'eau des travaux antérieurs.....
44	Figure 37.	Projection des variables et des individus sur le plan I-II (2004-2005).....
45	Figure 38.	Projection des variables et des individus sur le plan I-II (2010-2011).....
46	Figure 39.	Diagramme de Piper.....
47	Figure 40.	Présentation des points d'eau sur le diagramme de Piper (2004-2005).....
48	Figure 41.	Présentation des points d'eau sur le diagramme de Piper (2010-2011).....
49	Figure 42.	Echange de base.....
51	Figure 43.	Origine du calcium.....
52	Figure 44.	Evolution spatiale des nitrates dans les oueds (Saayoud, Boukraa et Nil) (Avril 2013).....
53	Figure 45.	Evolution spatiale d'ammonium dans les oueds (Saayoud, Boukraa et Nil) (Avril 2013).....
54		

55	Figure 46. Evolution spatiale d'orthophosphate dans les oueds (Saayoud, Boukraa et Nil) (Avril 2013).....
56	Figure 47. Carte isovaleurs des nitrates.....
57	Figure 48. Carte isovaleurs d'ammonium.....
58	Figure 49. Carte isovaleurs du phosphate.....

Tableau 1. Gamme de Classification des eaux en fonction de la conductivité selon les normes Algérienne.....3

Tableau 2. Coordonnées de la station météorologique.....26

Tableau 3. L'évapotranspiration potentielle E.T.P selon Thornthwaite (1991-2008).....29

Tableau 4. Calcul du bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite (1991-2008).....30

Liste des tableaux

Liste des abréviations

$\mu\text{s.cm}^{-1}$: Microsiemens par centimètre.
ABH	: Agence des Bassins Hydrographiques.
ANRH	: Agence Nationale des Ressources Hydriques (wilaya de Jijel).
A.E.P	: Alimentation en Eau Potable.
HCO_3^-	: Bicarbonate.
HCB	: Hexachlorobenzène.
$^{\circ}\text{C}$: Degré Celsius.
Ca^{2+}	: Calcium.
CE	: Conductivité électrique.
CF	: Confer « se réfère à ».
CGG	: Compagne Générale de la Géophysique.
CI	: Chlorures.
DHW	: Direction d'Hydraulique de la Wilaya de Jijel.
K^+	: Potassium.
mg.l ⁻¹	: milligramme par litre.
meq/l	: Milliéquivalent par litre.
Mg^{2+}	: Magnésium.
mm	: Millimètre.
N	: Azote.
Na^+	: Sodium.
NH_4^+	: Ammonium.
NO_3^-	: Nitrates.
OB	: oued Boukraa.
OBC	: Oued Boukraa confluence.
OBD	: Oued Boukraa droite.
OBG	: Oued Boukraa gauche.
OD	: Oxygène dissous.
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé.
ON	: oued Nil.

Sommaire

vii	Liste des figures.....
x	Liste des tableaux.....
xii	Liste d'abréviations.....
i	Introduction.....
Chapitre I. Rappel bibliographique sur la chimie des eaux	
2	I.1. Chimie des eaux.....
2	I.2. Différents types de eaux naturelles.....
2	I.2.1. Les eaux de surface.....
2	I.2.2. Les eaux souterraines.....
2	I.3. Les paramètres indicateur de la pollution des eaux.....
2	I.3.1. Principaux paramètres physico-chimiques (mesure <i>in situ</i>).....
2	I.3.1.1. La température.....
3	I.3.1.2. Potentiel d'hydrogène (PH).....
3	I.3.1.3. La conductivité électrique (CE).....
3	I.3.1.4. Oxygène dissous (OD).....
4	I.3.2. Les éléments majeurs.....
4	I.3.2.1. Calcium (Ca^{2+}).....
4	I.3.2.2. Magnésium (Mg^{2+}).....
4	I.3.2.3. Sodium et Potassium (Na^+ et K^+).....
4	I.3.2.4. Bicarbonates (HCO_3^-).....
4	I.3.2.5. Sulfates (SO_4^{2-}).....
5	I.3.2.6. Chlorures (Cl^-).....
5	I.3.3. Les sels nutritifs.....
5	I.3.3.1. Nitrates (NO_3^-).....
5	I.3.3.2. Nitrites (NO_2^-).....
5	I.3.3.3. Phosphates (PO_4^{3-}).....
5	I.3.3.4. Ammonium (NH_4^+).....
Chapitre II. Présentation de la zone d'étude	
6	II.1. Situation géographique.....
6	II.2. Géomorphologie et relief.....
7	II.3. Réseau hydrographique.....
8	II.4. Climat.....
8	II.5. Villes et voies de communication.....
8	II.6. Géologie.....
9	II.6.1. Géologie du site.....
11	II.6.1.1. Etude litho-stratigraphique.....
11	II.6.1.1.1. Terrains sédimentaires.....
11	a. Quaternaire.....
11	b. Tertiaire.....
12	II.6.1.1.2. Terrains métamorphiques.....
13	II.6.1.2. Classifications des formations géologiques selon leur intérêt hydrogéologique.....
13	II.6.1.2.1. Terrains perméables.....
13	a. Terrain perméable en petit.....
13	b. Terrains perméables en grand.....
14	II.6.1.2.2. Terrains imperméables.....
15	II.7. Géophysique.....

15	II.7.1. Introduction.....
15	II.7.1. Coupes géo-électriques représentatives de la plaine.....
20	II.7.2. Résultats de la géophysique.....
20	II.8. Conclusion.....
Chapitre III. Matériels et méthodes	
21	III.1. Échantillonnage.....
21	III.2. Positionnement géographique des points d'eau.....
22	III.3. Mesure du niveau piézométrique.....
22	III.4. Choix des stations de mesure.....
22	III.5. Technique de prélèvement d'eau.....
23	III.6. Conservation des échantillons.....
23	III.7. Mesures des paramètres physicochimiques et des éléments chimiques.....
24	III.7.1. Les paramètres physico-chimiques.....
24	III.7.2. Les éléments chimiques.....
24	III.7.2.1. Filtration.....
24	III.7.2.2. Nettoyage de la verrerie.....
25	III.7.2.3. Mesure de la densité optique des éléments chimiques.....
25	III.8. Logiciels.....
Chapitre IV. Résultats et discussion	
26	IV.1. Hydroclimatologie.....
26	IV.1.1. Précipitations.....
26	IV.1.2. Température.....
27	IV.1.3. Humidité relative.....
28	IV.1.4. Évaporation potentielle.....
28	IV.1.5. Bilan hydrologique.....
28	IV.1.5.1. Étude de l'évaporation totale.....
28	IV.1.5.1.1. Évapotranspiration potentielle (ETP).....
29	IV.1.5.1.2. Évapotranspiration réelle (E.T.R).....
30	IV.1.5.1.3. Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite.....
32	IV.2. Hydrodynamique.....
32	IV.2.1. Introduction.....
32	IV.2.2. Piézométrie.....
32	IV.2.2.1. Inventaire des points d'eau.....
32	IV.2.2.2. Carte piézométrique.....
33	IV.2.3. Paramètres hydrodynamique.....
34	IV.2.3.1. La perméabilité (K).....
35	IV.3. Hydrochimie.....
36	IV.3.1. Étude de l'évolution spatiale des paramètres physico-chimiques.....
36	IV.3.1.1. Eaux de surface.....
36	a. Potentiel d'hydrogène.....
36	b. Température.....
36	c. Conductivité électrique.....
36	d. Oxygène dissous.....
36	IV.3.1.2. Eaux souterraines.....
40	a. Potentiel d'Hydrogène.....
40	b. Température.....
41	c. Conductivité électrique.....
41	d. Oxygène dissous.....
42	IV.3.2. Étude des éléments majeurs à partir des données hydrochimiques antérieures.....
43	IV.3.2.1. Géoréferencement des cartes.....

44	IV.3.2.2. Analyse statistique des données hydrochimiques.....
47	IV.3.2.3. Faciès chimiques.....
49	IV.3.2.4. Origine des éléments chimiques.....
49	▪ Les éléments Na ⁺ - K ⁺
50	▪ Les éléments Ca ²⁺ - Mg ²⁺ - HCO ₃ ⁻
50	▪ L'élément Cl ⁻
50	▪ L'élément SO ₄ ²⁻
50	▪ Les éléments Na ⁺ - Cl ⁻
51	▪ Les éléments Ca ²⁺ - HCO ₃ ⁻ - SO ₄ ²⁻
52	V.3.2.5. Interprétation de l'évolution spatiale des espèces nutritives.....
53	IV.3.2.5.1. Eaux de surface.....
53	a. Les nitrates NO ₃ ⁻
53	b. L'ammonium NH ₄ ⁺
54	c. Orthophosphate PO ₄ ³⁻
55	IV.3.2.5.2. Eaux souterraines.....
56	a. Nitrates NO ₃ ⁻
56	b. Ammonium NH ₄ ⁺
57	c. L'orthophosphate PO ₄ ³⁻
58	IV.4. Conclusion.....
59	Conclusion générale.....
60	Recommandations.....
61	Références bibliographiques.....
I	Annexes.....

Chapitre I.
Rappel bibliographique
Sur la chimie des eaux

I.1. Chimie des eaux

L'eau doit être considérée comme un élément liquide avec ses caractéristiques physico-chimiques particulières et ses multiples usages, mais également comme élément constitutif d'un milieu naturel, d'un écosystème.

Toute étude chimique des eaux commence par la caractérisation des ions majeurs (mesure des concentrations, balance ionique, représentation graphique...), ce qui conduit par la suite à la détermination des faciès chimiques et à l'étude de l'évolution spatio-temporelle de la chimie des eaux.

I.2. Différents types des eaux naturelles

On désigne sous le nom d'eaux continentales l'ensemble des eaux situées haut de la limite des continents. Les unes sont superficielles courantes telles que les ruisseaux, les rivières et les fleuves ou stagnantes tels les lacs et les étangs. D'autres sont souterraines issues de l'infiltration des eaux superficielles (Angelier, 2000).

I.2.1. Les eaux de surface

L'eau de surface est l'eau qui se trouve à la surface ou proche de la surface du sol. Dans une zone donnée, il s'agit pour l'essentiel des cours d'eau, des lacs et des eaux de ruissellement qui s'y trouvent. Sa température varie en fonction du climat et des saisons. Sa composition en sels minéraux est variable en fonction du terrain, de la pluviométrie et des rejets. Une eau de surface est ordinairement riche en oxygène et pauvre en dioxyde de carbone (Bordet, 2007).

I.2.2. Les eaux souterraines

Une eau souterraine est une eau qui s'accumule sous terre. Elle est donc disponible et exploitable par un forage ou un puits (Collin, 2004). Elle peut exister dans les espaces entre les particules libres de la terre et des roches, ou dans les fissures et les crevasses des roches, humidifiant des couches de plus en plus profondes, jusqu'à rencontrer une couche imperméable. Là, les eaux s'accumulent, remplissant le moindre vide, saturant d'humidité le sous-sol, formant ainsi un réservoir d'eau souterraine appelé nappe. La roche plus ou moins poreuse et donc plus ou moins perméable contenant cette eau est appelée aquifère (AESN, 2005).

I.3. Paramètres indicateur de la pollution des eaux

I.3.1. Principaux paramètres physico-chimiques

I.3.1.1. Température

La température est un facteur écologique important du milieu qui a une grande influence sur l'activité biologique d'un cours d'eau (Gaujon, 1995). Les variations de la température affectent diverses propriétés de l'eau telles que la densité, la viscosité, la tension de vapeur, la solubilité des gaz dissous en particulier l'oxygène, et les vitesses de réaction chimiques, et biologiques (Rodier, 1978).

Les eaux souterraines sont à température relativement constante toute l'année, (12°C à 15°C) si leur environnement n'est pas modifié. La température des eaux superficielles (rivières lacs et retenues) et très variable selon les saisons et peut passer de 2°C en hiver à 30°C en été (Savary, 2003).

1.3.1.2. Potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH correspond, pour une solution diluée, à la concentration d'ions hydrogènes, il mesure l'acidité ou la basicité (alcalinité) d'une eau. Le pH d'une eau naturelle dépend de l'origine de celle-ci et de la nature des terrains traversés. Les eaux issues des massifs cristallins ont un (pH) plutôt acide (Lorsque le pH est situé entre 1 et 7), à l'inverse, des eaux provenant des régions calcaires ont un (pH) plutôt basique (comprise entre 7 et 14), tandis que, La valeur de la norme pour le (pH) de l'eau potable est comprise entre 6,5 et 9,2. Certaines eaux superficielles (lacs, rivières...) voient leur pH s'élever brutalement en été, suite à une forte production végétale (Savary, 2003 ; Rejsek, 2002; Leemans *et al.*, 2008).

1.3.1.3. La conductivité électrique (CE)

La mesure de la conductivité de l'eau nous permet d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau (chlorures, sulfates, calcium, sodium, magnésium...). Elle est plus importante lorsque la température de l'eau est élevée (Salghi, 2002).

La conductivité électrique de l'eau pure est relativement faible, elle augmente avec la teneur en sels dissous et elle s'élève progressivement de l'amont vers l'aval des cours d'eau (Rodier, 1996).

Selon les normes algériennes, on peut classer les eaux naturelles en fonction de la conductivité (tableau 1) :

Tableau 1. Classification des eaux en fonction de la conductivité selon les normes algériennes.

Classe	σ (µS/cm)
Minéralisation très faible	σ < 450
Minéralisation faible	450 < σ < 750
Minéralisation moyenne	750 < σ < 1500
Minéralisation moyennement élevée	1500 < σ < 2300
Minéralisation élevée	2300 < σ < 3000
Minéralisation très élevée	σ > 3000

1.3.1.4. Oxygène dissous (OD)

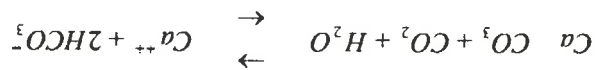
Etant l'un des plus importants indicateurs sur le degré de la pollution des eaux, l'oxygène dissous mesure la concentration du dioxygène dissous dans l'eau. Il est exprimé en mg.l⁻¹ ou en pourcentage de saturation. Il participe à la majorité des processus chimiques et biologiques en milieu aquatique (Chapman *et al.*, 1996). La teneur de l'oxygène dissous dans l'eau dépasse rarement 10 mg.l⁻¹. Elle est en fonction de l'origine de l'eau : les eaux superficielles peuvent en contenir des quantités

relativement importantes proches de la saturation, par contre, les eaux profondes n'en contiennent, le plus souvent, que quelques milligrammes par litre (Rodier *et al.*, 2005). La solubilité de l'oxygène diminue avec la température et elle est plus faible dans l'eau de mer que dans l'eau douce. (Dajoz, 2006).

1.3.2. Eléments majeurs

1.3.2.1. Calcium (Ca²⁺)

Cet élément est fréquent dans les roches sédimentaires, il provient essentiellement de la dissolution des roches carbonatées, suite à la présence du gaz carbonique. Le calcium peut provenir également des formations gypsifères (CaSO₄·2H₂O), qui sont facilement solubles selon l'équation suivante :



1.3.2.2. Magnésium (Mg²⁺)

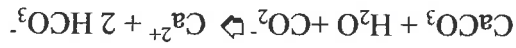
C'est le deuxième élément de la dureté totale, qui présente une origine semblable à celle du calcium. Il provient généralement des formations dolomitiques par l'attaque des eaux en présence du gaz carbonique, et de la dissolution de magnésium MgSO₄ dans les terrains gypsifères.

1.3.2.3. Sodium et Potassium (Na⁺ et K⁺)

Le sodium est beaucoup plus abondant que le potassium et est toujours présent dans les eaux naturelles avec des proportions très variables. Il provient du lessivage des formations riches en NaCl, et également des eaux usées d'origine industrielle et domestique. Le lessivage des argiles et des engrais utilisés dans les terrains agricoles constitue également l'une des sources de ces deux éléments.

1.3.2.4. Bicarbonates (HCO₃⁻)

Les bicarbonates résultent de la dissolution des formations carbonatées (cipolins, calcaires) par des eaux chargées en gaz carbonique. L'équation de dissolution est donnée comme suit :



1.3.2.5. Sulfates (SO₄²⁻)

Les sulfates sont présents dans l'eau en teneurs très variables, et leur présence est liée en premier lieu à la dissolution des terrains des sulfates de calcium (CaSO₄), vu sa solubilité.

1.3.2.6. Chlorures (Cl⁻)

Ils sont rencontrés en grandes quantités dans les eaux souterraines. Elles peuvent provenir de la contamination par les eaux usées d'origine domestiques et industrielle, et de la dissolution des sels naturels par le lessivage des terrains salés. Le Cl⁻ est aussi un bon traceur

des activités anthropiques (salage, pollution agricole (Bakalowicz, 1996 ; Plagnes et Bakalowicz, 1997)).

I.3.3. Sels nutritifs

I.3.3.1. Nitrates (NO_3^-)

Ce paramètre représente le stade final de l'oxydation de l'azote, il est naturellement présent dans le milieu. Dans les eaux naturelles non polluées, le taux des nitrates varie selon la saison et l'origine des eaux. Leur quantité a augmenté progressivement au cours des trente dernières années à cause de l'emploi excessif d'engrais dans l'agriculture et de l'eau usée domestique et industrielle (Leemans *et al*, 2002).

La limite de qualité est fixée à 50 mg.l^{-1} , cette norme est recommandée par l'organisation mondiale de la santé (OMS) (Beaudouard *et al*, 2009).

I.3.3.2. Nitrites (NO_2^-)

La présence des nitrites dans une eau brute est souvent due soit à une oxydation incomplète des composés azotés, soit à une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant (Rejsek, 2002 ; Parrick, 2003).

Dans les eaux non polluées et dans les zones où l'auto-épuration est active, les nitrites sont quasi absents (environ $0,01 \text{ mg.l}^{-1}$), la norme de potabilité de cet élément est $0,1 \text{ mg.l}^{-1}$ (norme algérienne). La pollution est considérée comme significative au-delà de 1 mg.l^{-1} . Une eau chargée en nitrites est le plus souvent corrélée à un dysfonctionnement du cycle de l'azote (Decaux, 2000).

I.3.3.3. Phosphates (PO_4^{3-})

Le phosphate est présent dans les eaux sous forme de minéraux (ortho et poly phosphate) et/ou sous formes organiques d'origine biologique (Cardot, 1999 ; Bechac, 1983).

Dans les conditions naturelles, le phosphate est présent en très faible quantité dans les eaux. Ainsi, lorsque le phosphate est acheminé vers le milieu aquatique. Il est directement capté par les algues et les plantes pour leurs propres besoins (Ramade, 2000).

I.3.3.4. Ammonium (NH_4^+)

Ce paramètre résulte de la dégradation des matières organiques azotées et provient essentiellement des rejets urbains. Dans des conditions d'oxygénation normale, cet élément est oxydé en nitrites puis en nitrates. Plus le pH est bas et moins il y'a d'ammoniac, à partir d'un pH 8 le pourcentage d'ammoniac monte, et cela, de façon exponentielle pour devenir très dangereux (Brière, 2000).

L'ion ammonium ne présente pas un caractère nocif pour la santé, mais sa présence, en particulier dans les eaux de surface, peut être considérée comme un indicateur de pollution (Potelon, 1998).

II.1. Situation géographique (cf. figure 1)

La plaine alluviale d'oued Nil fait partie des plaines côtières, à une distance de 20 Km au Nord-Est de la ville de Jijel. Elle couvre une superficie de 58 Km² et elle est limitée au Nord par la mer Méditerranéenne, au Sud par les reliefs de la petite Kabylie (commune de Chekfa et Taher), à l'Est par les communes de Chekfa et El-Kennar et à l'ouest par la commune de

Les coordonnées Lambert de la plaine alluviale d'oued Nil sont présentées ci-dessous :

X min = 784
X max = 793 Km

Y min = 384

Y max = 397 Km

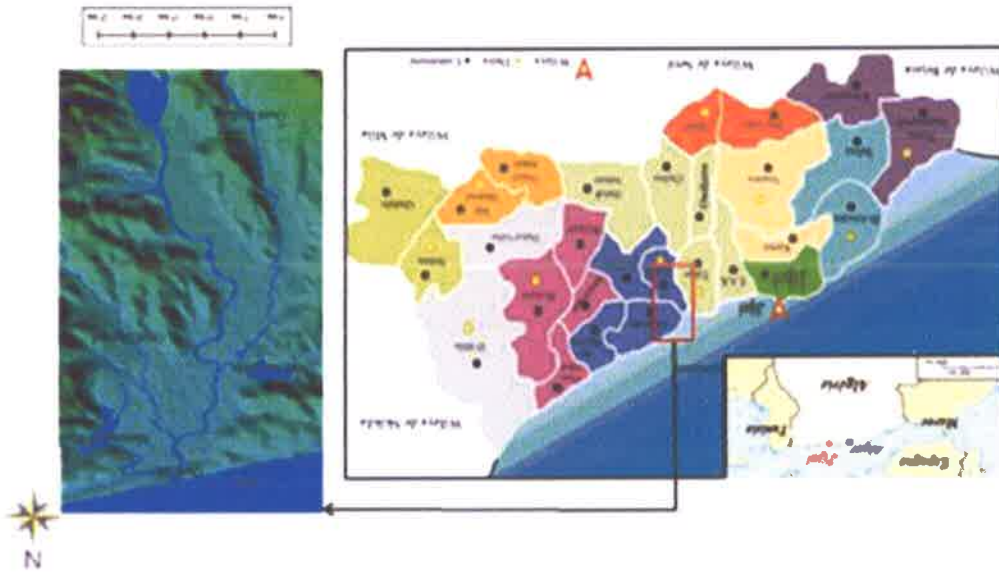


Figure 01. Situation géographique de la zone d'étude.

II.2. Géomorphologie et relief (cf. figure 02)

La plaine d'oued Nil est caractérisée par une assez faible pente de 15 à 30% d'altitude, matérialisée par le sens de l'écoulement superficiel.

La plaine est étagée par différents niveaux de terrasses quaternaires caractérisées par de nombreux petits ravins, ces derniers avec les dépressions fermées ou marécages sont engorgés par les fortes précipitations et par les venues d'eau des massifs montagneux qui se situent aux

bordures de la plaine (Berkane, 2011) :

- Djebel El Kei'A (311 m);
- Seddet (956 m) ;
- Touziant (921 m) ;
- Echla'ia (843 m).
- Tazamt (851 m) ;
- El Medayene (791 m).

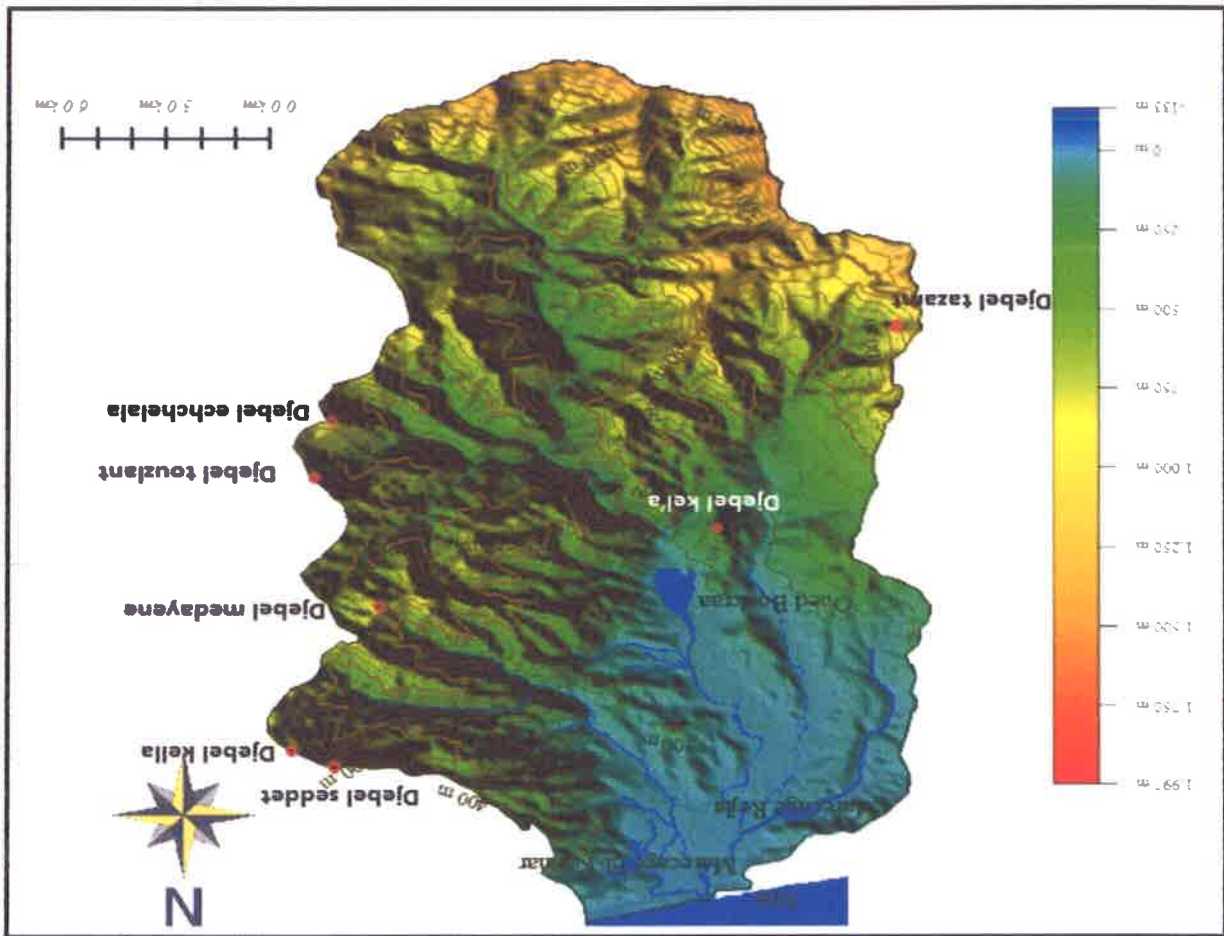


Figure 02. Carte du relief du bassin versant de l'oued Nil.

II.3. Réseau hydrographique (cf. figure 03)

Le Bassin versant d'oued Nil occupe une surface de 268 km². Son réseau hydrographique est très dense et englobe quatre bassins versants respectivement : oued Nil, oued Saayoud, oued Boukraa et oued Tassite.

Les lits de ces oueds ont une largeur de 10 à 35 m et une profondeur de 2 à 4 m (Bechkit, 2005). Le débit annuel de l'oued Nil à l'embouchure est de 230 millions de mètres cube, il est l'un des oueds les plus importants de la région de Jijel (Lehtihet, 1983).

En plus des oueds, on trouve aussi les marécages (marécage Rejla, marécage El Kannar).

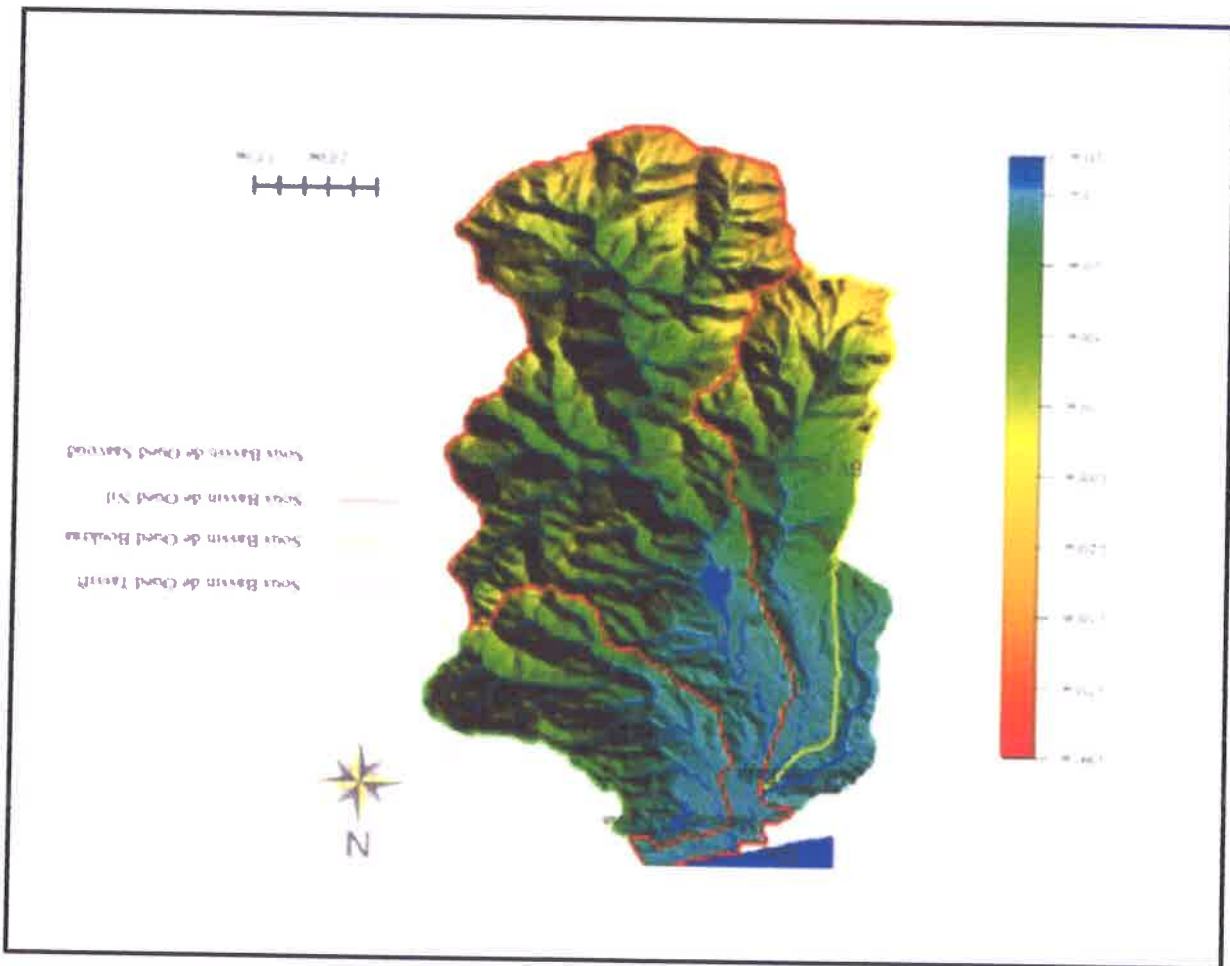
Les cartes topographiques montrent une répartition irrégulière des habitations, celles-ci sont liées aux conditions de vie, condensées et localisées au niveau de grandes villes (Taher, Chekta, El-Kennar...) et dispersées sous forme de Mechats.

II.5. Villes et voies de communication (cf. figure 04)

La zone d'étude appartient au milieu méditerranéen, caractérisé par l'alternance d'une saison sèche et d'une saison humide. Comme toute les régions littoral algérien, elle bénéficie d'un climat tempéré avec un hiver doux caractéristique des zones méditerranéennes au niveau de la plaine littoral, et frais ou froid au sud, notamment sur les hautes altitudes ou les gelées sont fréquentes. Elle compte parmi les régions les plus arrosées d'Algérie (Kirat, 2007), la pluviométrie étant de 967.08 mm/an (période 1991 – 2008), et la température minimale est de 16.9°C.

II.4. Climat

Figure 03. Réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Nil.



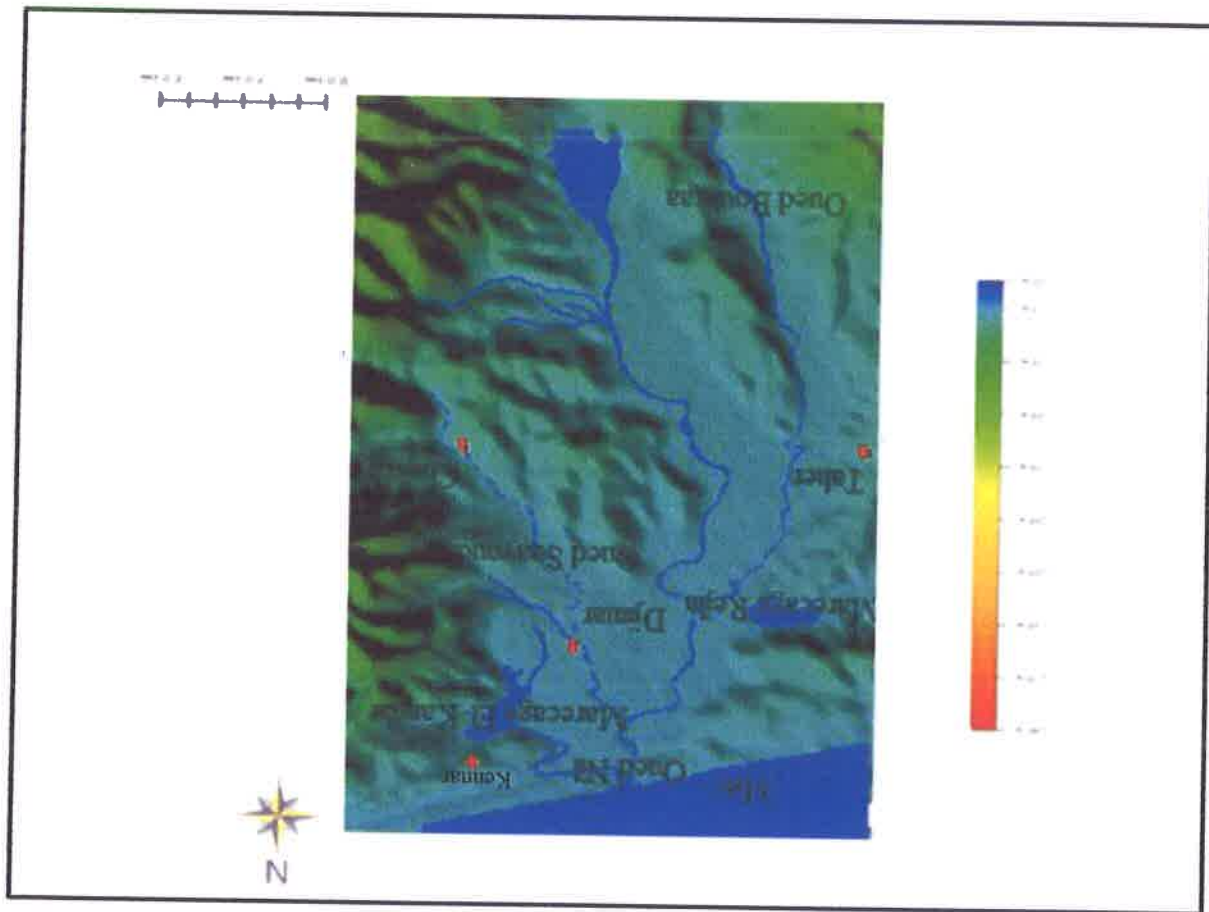


Figure 04. Carte d'occupation de la plaine alluviale d'oued Nil.

II.6. Géologie

Le nord algérien fait partie de la chaîne des Maghrébides, segment sud-méditerranéen de la chaîne Alpine, plissée suite à plusieurs phases tectoniques principalement cénozoïques. Du Nord au Sud, on distingue trois domaines (Raouf, 1972 ; Bouillin, 1977 ; Vila, 1980).

➤ Domaine Kabyle ou domaine interne.

➤ Domaine des flyschs.

➤ Domaine tellien.

La quasi-totalité de la Petite Kabylie est constituée par une couverture tertiaire formée par des sédiments molassiques déposés dans un bassin qui s'est individualisé durant le Néogène (bassin néogène de Jijel) (Bouillin J.P, 1977 ; Djellit H, 1987) ayant pour substratum le socle métamorphique (socle kabyle) effondré.

II.6.1. Géologie du site

La plaine d'oued Nil est formée d'un remplissage alluvionnaire, d'une ancienne vallée creusée dans les marnes miocènes (côté ouest) et les terrains métamorphiques à l'Est de la rive droite d'oued Saayoud, sur ces alluvions se déposent des formations dunaires plus ou moins récentes comme celle de Bazoul et d'El Kennar représentées par des sables rouges limoneux et graviers rous.

II.6.1.1. Etude litho-stratigraphique

II.6.1.1.1. Terrains sédimentaires (cf. figure 6)

a. Quaternaire

➤ Alluvions Quaternaire

Eléments grossiers, graviers, galets, conglomérats très perméables se sont des terrasses anciennes des vallées généralement aquifères.

➤ Alluvions marécageuse

Elles affleurent au Nord de la plaine. On les trouve dans les dépressions fermées ou ghedirs constituées essentiellement des éléments argilo-limoneux parfois sableux.

➤ Alluvions récentes

Sont constituées d'éléments grossiers, graviers, conglomérats, galets très perméables. On les rencontre le long des oueds principaux (Nil, Boukraa et Saayoud).

➤ Dunes anciennes

Elles sont constituées de sable fin limoneux souvent consolidés. On les rencontre au nord de la plaine (région d'EL Kennar).

➤ Dunes actuelles

Elles sont constituées de sable fin parfois consolidé. On les rencontre aux bordures de la mer.

b. Tertiaire

➤ Maurétanien

Constitué essentiellement de grès.

➤ Numidien

C'est une formation de flyschs comportant des alternances de grès, d'argile avec une prédominance des argiles, des marnes à la base et des grès au sommet.

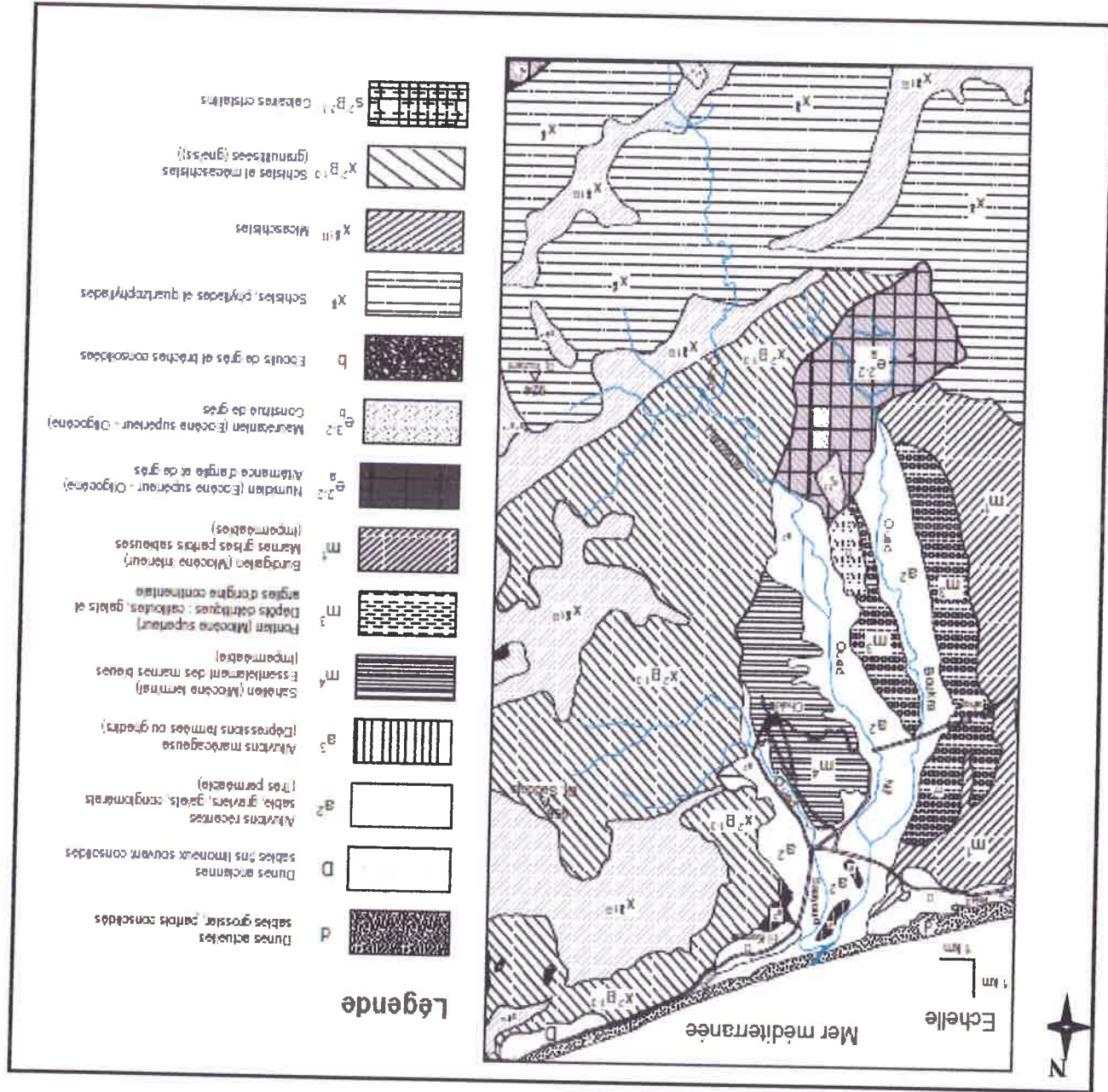
➤ Néogène

- Miocène Inférieur Burdigalien

Ce sont des marnes grises parfois sableuse ou jaunâtre par oxydation avec intercalations de niveaux détritiques et de gros nodules calcaires jaunâtre.

- Miocène supérieur ou Pontien

Dépôt détritique, cailloutis, galets et argile continentale.



- **Schisto-phyllade**: argileux micacés ou satinés de teinte très variée, traversés de filonnets de Quartz laiteux s'intercalant de couches détritiques.
- **Calcaires (Cipolins)** : de couleur blanche, grise ou bleuâtre, parfois micacés et pyriteux s'intercalant en bandes irrégulières ou en amas dans les schistes et les micaschistes.
- **Micaschistes et schistes micacés** : à micas noirs et blancs.
- **Schistes granutilesés et gneiss** : ce sont des gneiss schisteux résultants de l'injection de granulites dans les micaschistes, parfois fortement kaolinisés.

II.6.1.2. Classifications des formations géologiques selon leur intérêt hydrogéologique

En hydrogéologie, l'identification des formations et des structures géologiques permet la détermination des formations susceptibles ou non d'emmagasiner les eaux.

Les principales formations lithologiques du secteur d'étude peuvent être regroupées en deux grands ensembles :

II.6.1.2.1. Terrains perméables

a. Terrain perméable en petit

Ces terrains sont favorables au développement des aquifères poreux. Il s'agit des dunes, d'alluvions du Quaternaire et la formation du Miocène supérieur "Pontien".

• Dunes

Elles sont généralement de faibles perméabilités.

✓ Dunes récentes

On les rencontre à la bordure de la mer. Elles sont constituées essentiellement de sables fins parfois consolidés.

✓ Dunes anciennes

On les rencontre aussi au Nord de la plaine. Elles sont constituées essentiellement de sables fins limoneux souvent consolidés.

• Quaternaire

Il est généralement de bonne perméabilité sauf la couverture argilo-limoneuse qui est peu perméable. Ce sont : les alluvions récentes, les alluvions marécageuses et les alluvions quaternaires.

• Formations du Miocène moyen

Ce sont des dépôts détritiques d'origine continentale peu-perméable.

b. Terrains perméables en grand

Il s'agit essentiellement des terrains métamorphiques qui ont une fissure très faible. Les nombreuses sources qui s'y trouvent grâce à l'abondance, à un débit limité.

Dans le socle métamorphique on distingue :

- ✓ Un complexe schistes-phyllades et quartz-phyllade ;
- ✓ Micaschistes à biotites ;
- ✓ Schistes et micas à biotites.

II.6.1.2.2. Terrains imperméables

Il s'agit des :

- ✓ Formations du Miocène supérieur "le Sahélien" ;
- ✓ Formations du Miocène inférieur "le Burdigalien" ;
- ✓ Formations gréseuses du Paléogène "Numidien et Maurétanien".

E.R.E	Système	Sous système	Etage	Lithologie	Description	Epaisseur (m)	Affluement	Conséquence hydrogéologique			
Tertiaire	Neogène	Miocène	Sahélien	m ⁴	Marnes bleues		Est de la plaine	Imperméable			
			Burdigalien	m ¹	Marnes grises parfois sabieuses	200 à 300	Ouest de la plaine	Imperméable			
			Aquitainien	ea-2	Numidien : alternance d'argile et des grès	500 à 1000	Sud-est de la plaine	Imperméable			
				eb-2	Maurétanien essentiellement de grès		Sud-est de la plaine	Semi-perméable à			
					Micaschistes phyllades et quartz phyllades		Est de la plaine	Semi-perméable à			
			Quaternaire				q	Alluvions quaternaire : élément grossier, graviers, conglomérats, galets	30 à 50	Ouest de la plaine	Perméable
							a ³	Alluvions marécageuses	20 à 25	Nord de la plaine	Peu perméable
							a ²	Alluvions récentes : sables, graviers, conglomérats, galets	2 à 10	Le long des Oueds principaux au nord	Perméable
							D	Sables fins limoneux souvent consolidés	20 à 25	Nord de la plaine	Peu perméable
							d	Sables fins parfois consolidés	20 à 25	Au bordure de la mer	Peu perméable
Terrains métamorphiques											
Eocène supérieur Oligocène											
Paléogène											

Figure 07. Coupe synthétique lithostratigraphique des différents étages géologiques et leur lithologie de la plaine alluviale de l'oued Nil.

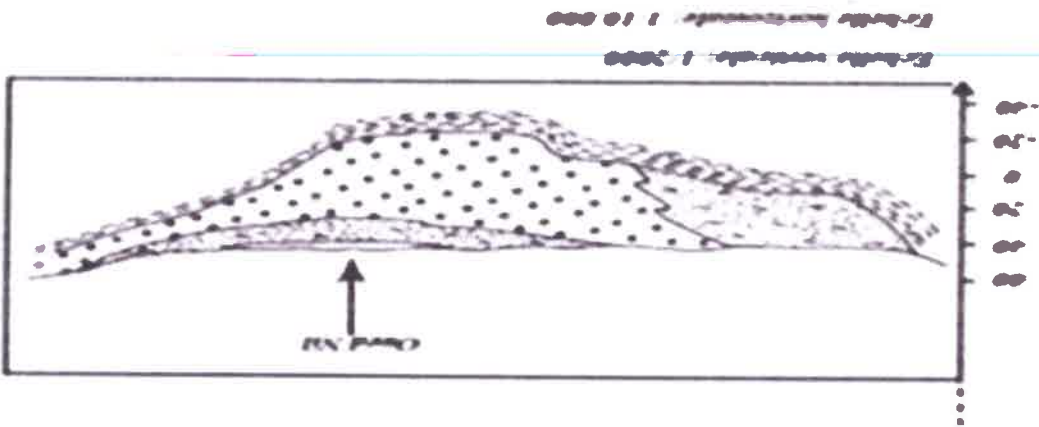
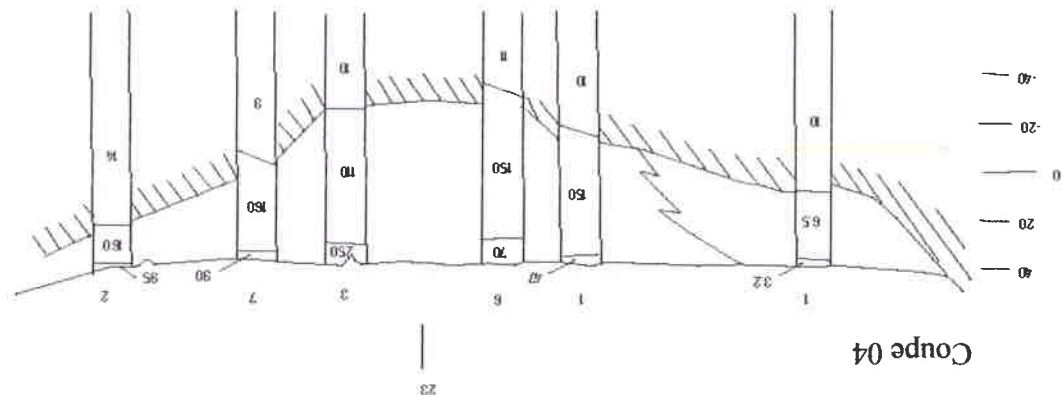
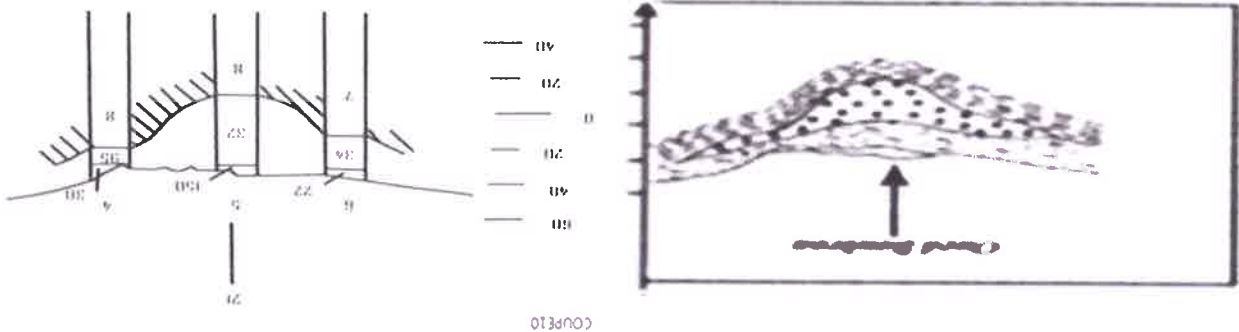
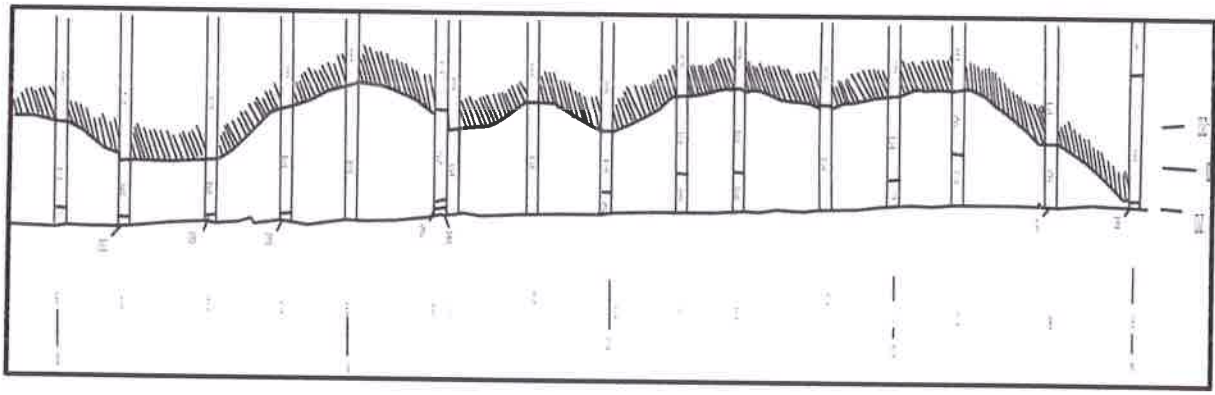


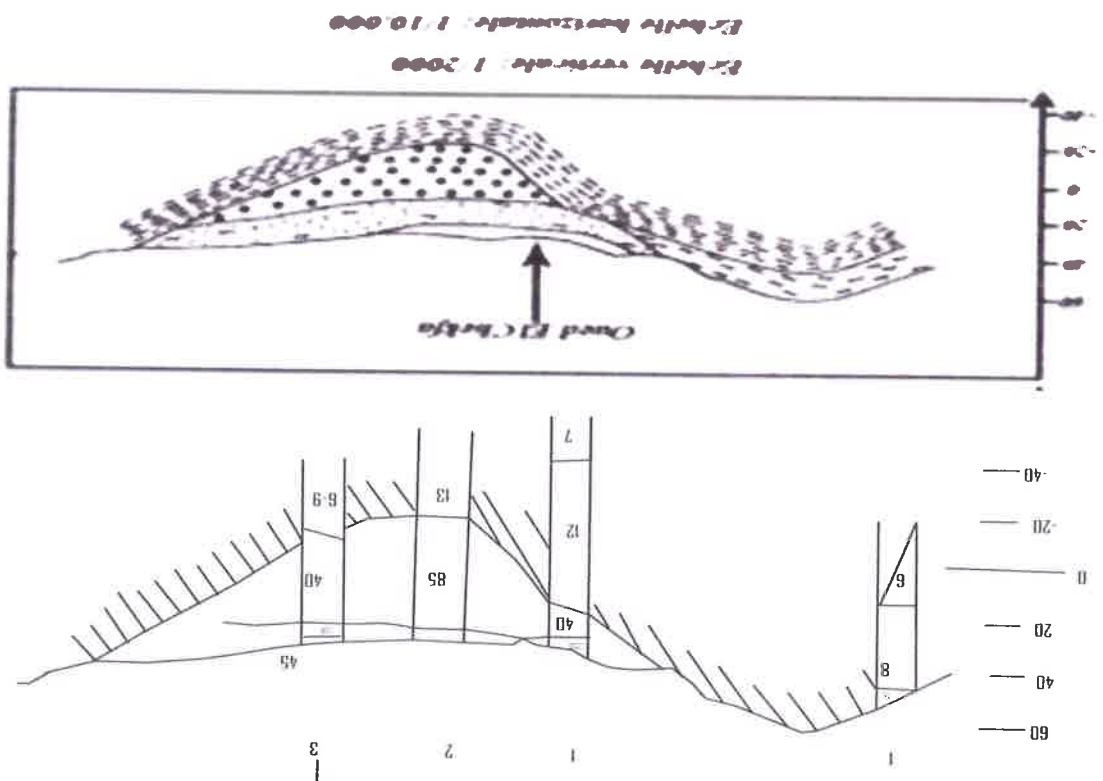
Figure 09. Coupe géo-électrique représentative et interprétative suivant le profil de résistivité

(4) et (10) (ALGEO, 1979).



Coupe 21

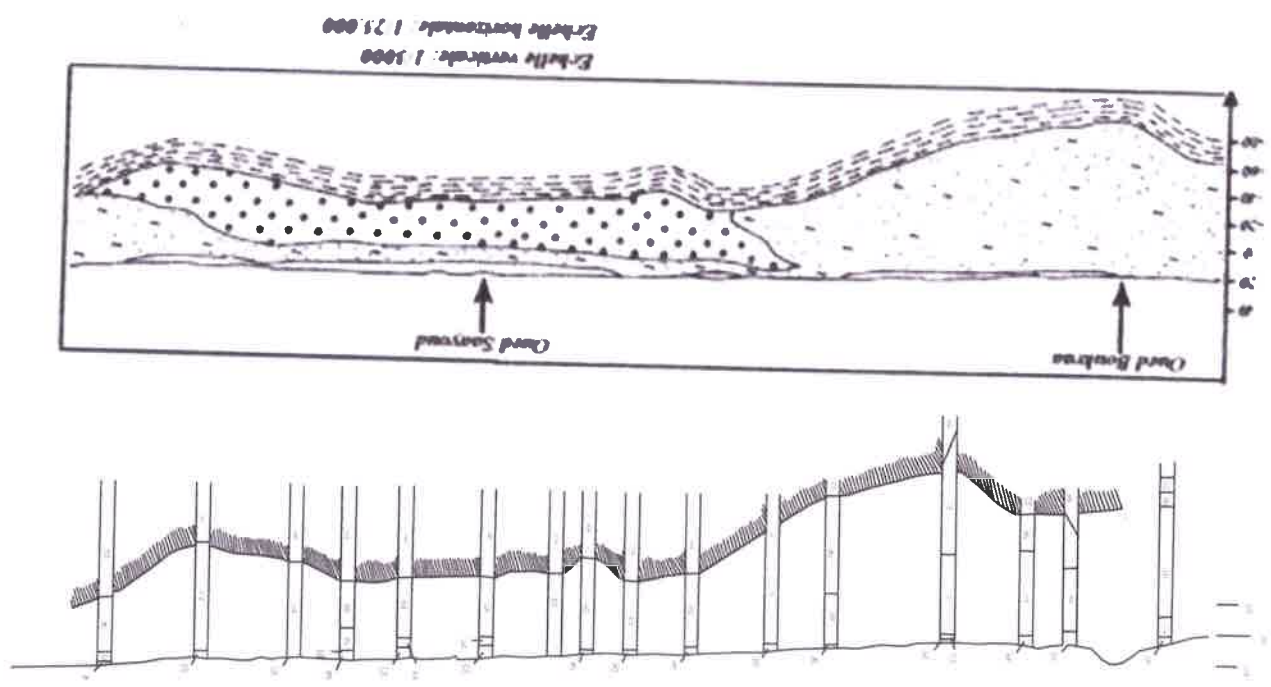
Figure 10. Coupe géo-electrique représentative et interprétative suivant le profil de résistivité (15) (ALGEO, 1979).



RESISTIVITE		LITHOLOGIE
Superieur 200 ohm.m perméable	6 à 30 ohm.m	Alluvions récentes gravelleuses.
peu perméable	100 ohm.m	Couverture argilo-limoneuse parfois sableuse.
impermeable	60 à 150 ohm.m	Marnes bleues (dépot local des sahéliens)
perméable	5 à 20 ohm.m	Alluvions anciennes grossières, dépôts continentaux du pontien à la base.
impermeable		Marnes grises Burdigalien

Legende :

Figure 12. Coupe géo-électrique représentative et interprétative suivant le profil de résistivité (24) (ALGEO, 1979).



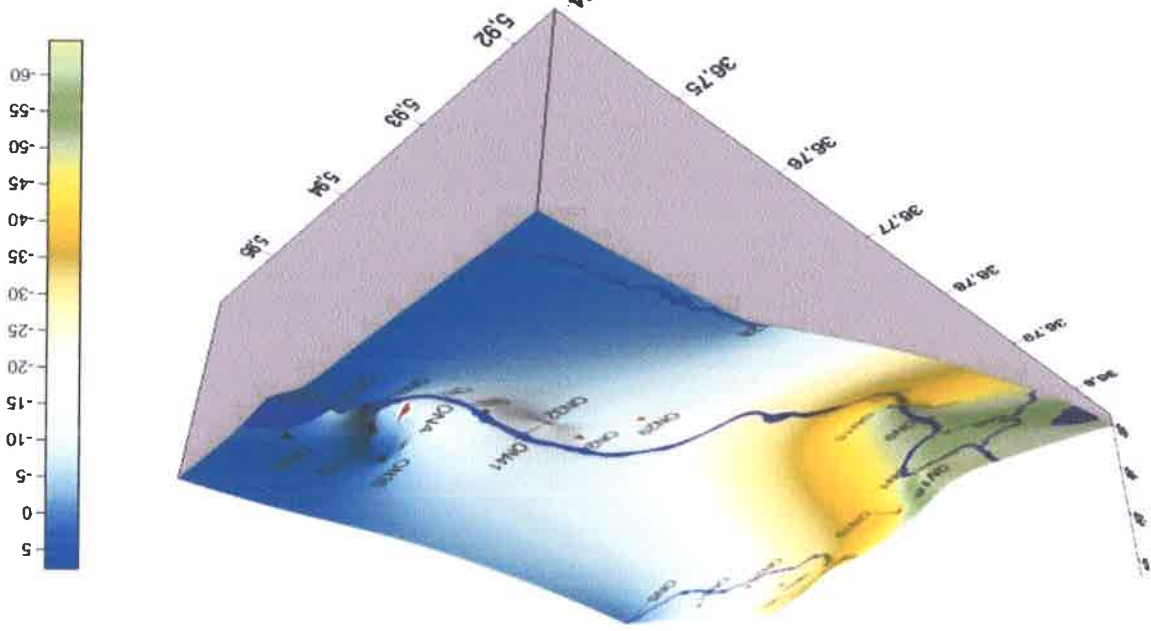
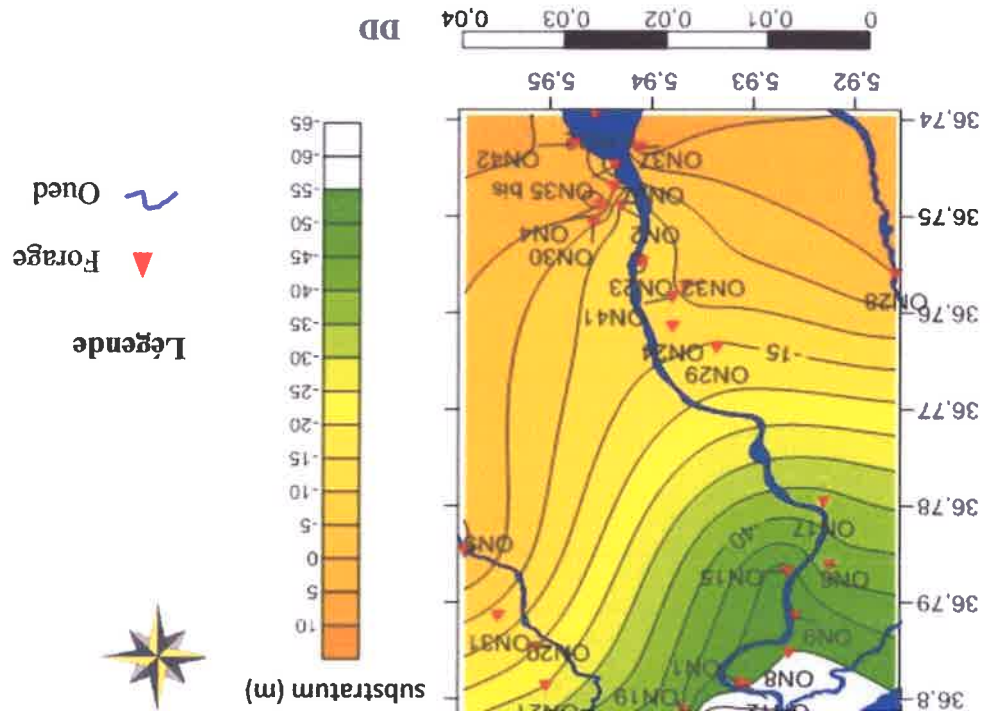


Figure 13.A: Carte de substratum



- réalisée, cette étude a mis en évidence quatre niveaux :
- 1) Un niveau superficiel d'alluvions récentes caractérisées par des résistivités élevées variant de 100 à 500 Ω m.
 - 2) Une couverture argilo – limoneuse sous-jacente de résistivité variante de 6 à 30 Ω m.
 - 3) Un niveau plus épais et plus résistant, dont la résistivité varie entre 60 à 150 Ω m.
 - 4) Un substratum conducteur atteint pour des longueurs d'émission $AB = 300$ m, de résistivité inférieure à 20 Ω m.
 - 5) L'ensemble des dépôts alluviaux, se répartit en deux types bien différenciés :
 - **Alluvions grossières et galets** : rencontrés dans les tronçons rectilignes des Oueds, dans la partie Sud.
 - **Alluvions fines** : de la partie aval, on le retrouve localement en couverture superficielle des précédentes.

II.8. Conclusion

Sur le plan géographique, la zone d'étude fait partie des plaines côtières de la Wilaya de Jijel et caractérisé par un climat méditerranéen et une activité agricole importante.

L'étude géologique et géophysique d'oued Nil a mis en évidence l'existence des alluvions graveleuses récentes, des alluvions grossières anciennes et des dépôts de Pontien. Ces derniers sont perméables à peu perméable et se sont susceptibles d'être aquifères. Ces alluvions se différencient de leur substratum marneux conducteur et de la couverture argilo - limoneuse conductrice.

Matériels et méthodes

Chapitre III.

et forages) a été effectué durant 2 mois. Deux campagnes d'échantillonnage ont été réalisées : la première campagne a été faite du 07 au 10 mars 2013 et la deuxième campagne a été faite du 21 et au 23 avril 2013.

Afin que nos données soient statistiquement exploitables 2 échantillons d'eau ont été prélevés de chaque station.

III.2. Positionnement géographique des points d'eau

Pour la localisation des points d'eau, nous avons utilisé trois outils : le GPS, Google earth et les cartes topographiques.

- Le GPS « Global Positioning System » ou le système de positionnement global

C'est un appareil de pointe qui permet de donner la position exacte (en 3 dimensions : latitude (X) ; longitude (Y) et l'altitude (Z)) du lieu au niveau duquel on se trouve et où l'on a effectué la mesure.

Le GPS que nous avons utilisé pour localiser nos points d'eau dans le bassin versant d'oued Nil est de marque GARMIN « GPS MAP 62 S ».



Figure 14. Photo GPS MAP 62 S.

Vu la précision de ce GPS pour les coordonnées X et Y (inférieure à ± 10 m), nous l'avons utilisé pour le positionnement des points d'eau (puits et forages) et des stations de mesures (ponts).

- Google Earth

Google Earth est un logiciel, propriété de la société Google, permettant une visualisation

les coordonnées dans les cartes topographiques.

III.3. Mesure du niveau piézométrique

Pour la mesure du niveau d'eau (statique et dynamique) des différents ouvrages, nous avons utilisé une sonde électrique possédant un voyant qui s'allume une fois que le bec de la sonde est en contact avec la surface de l'eau.



Figure 15. Photo de la sonde électrique.

Méthode de mesure

On introduit le bec de la sonde dans l'ouvrage et une fois celui-ci atteint la surface de l'eau, le voyant de la sonde s'allume. On peut alors lire la profondeur à laquelle se trouve le niveau de l'eau dans l'ouvrage. Ensuite, on mesure la hauteur de la margelle pour déterminer le niveau réel de l'eau par rapport à la surface topographique. Puis on calcule le niveau piézométrique de l'eau selon la formule suivante :

$$NP \text{ (m) : Alitude - (Profondeur d'eau - Margelle)}$$

III.4. Choix des stations de mesure

Les points d'eau de prélèvement seront choisis d'une manière représentative :

- pour les eaux de surface, on prendra des mesures à l'amont des oueds (pour connaître l'état naturel des eaux), avant et après les zones à risque de pollution (ville, zone agricole) et à l'aval (pour connaître l'état final de l'eau) ;
- pour les eaux souterraines, on choisira des points représentatifs de la plaine et des

III.6. Conservation des échantillons

- Forages : les prélèvements se font à partir d'un robinet, installé au début de la canalisation de la distribution d'eau.

Figure 17. Prélèvement d'eau dans un puits.



- Puits : les prélèvements se font à l'aide d'un préleveur manuel

Figure 16. Prélèvement d'eau depuis un puits.



- Le prélèvement de l'eau est réalisé par trois méthodes :
- Les eaux de surface : à l'aide d'un seau lié à une corde. Une fois le seau rempli, les bouteilles sont remplies à ras bord, puis fermées immédiatement, de façon à limiter le plus possible les bulles d'air ;
- Le prélèvement d'eau se fait au milieu de l'oued.
- confusion entre les échantillons (nom de station, date...), rincées au moins trois fois avec de l'eau à analyser ainsi que le matériel utilisé (préleveur, seau...) afin d'éviter toute contamination de l'échantillon.

III.7. Mesures des paramètres physicochimiques et des éléments chimiques

III.7.1. Les paramètres physico-chimiques

Les mesures des paramètres physico-chimiques (conductivité, T, pH, O₂ dissous) sont faites *in-situ* à l'aide d'un multiparamètres de terrain (Multi 350i de marque WTW).

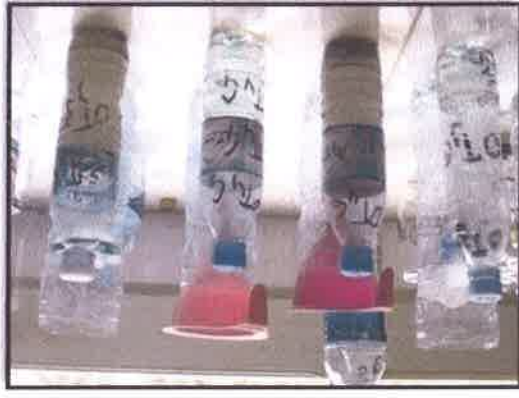


Figure 18. Multiparamètres 350i.

III.7.2. Les éléments chimiques

III.7.2.1. Filtration : En règle générale, la filtration de l'échantillon se fait au laboratoire, avant l'analyse. Parfois, elle doit se faire sur terrain. Pour filtrer les échantillons, on utilise des membranes filtrantes de porosité de 0,45 µm. Nous avons utilisé la technique de filtration gravitaire réalisée au Laboratoire de recherches de Génie Géologique (LGG).

Filtration gravitaire : Par gravité, l'échantillon traverse le filtre placé dans un entonnoir. Ce type de filtration est lent et, de ce fait, inapproprié car l'échantillon se dégrade progressivement au contact de l'air.



été nettoyés et rincés avec une solution sulfochromique ou à l'acide sulfurique, puis rincés à l'eau distillée (Rodier, 2005).

III.7.2.3. Mesure de la densité optique des éléments chimiques

L'analyse des éléments nutritifs (Nitrate, ammonium et phosphate) ont été faite au laboratoire à l'aide d'un spectrophotomètre à UV. Ce dernier mesure la densité optique de chaque élément chimique.



Figure20. Spectrophotomètre UV-Visible.

III.8. Logiciels

Pour traiter nos données, nous avons utilisé les logiciels suivants :

- **Surfer 11** : pour tracer les cartes piézométriques ;
- **Global mapper 13** : pour limiter le bassin versant et tracer le réseau hydrographique ;
- **SPAD V55** : pour analyser statistiquement les données ;
- **Diagramme** : pour analyser les données hydrochimiques ;
- **Mapinfo** : pour convertir les coordonnées.

Résultats et discussion

Chapitre IV.

eaux (superficielles et souterraines). Parmi les facteurs hydroclimatologiques, nous étudierons la pluviométrie, la température de l'air, l'évaporation et l'humidité à partir des données de l'ONM (Office National de Météorologie, agence d'Achouat (Taher)) (annexes I).

Les coordonnées Lambert de la station sont présentées ci-dessous.

Tableau 2. Coordonnées de la station météorologique d'Achouat.

Station	Code de la station	Les coordonnées Lambert		Altitude
		X (Km)	Y (Km)	
Taher (ONM)	030504	785.6	390.5	56

IV.1.1. Précipitations

L'examen de l'évolution mensuelle des précipitations durant la période du 1991 au 2008 (Figure ci-dessous), montre que les quantités de pluies les plus élevées sont enregistrées durant l'hiver et que les précipitations minimales sont observées en été.

La valeur maximale de précipitations est observée au mois de décembre (189.4 mm), alors que la valeur minimale est observée au mois de juillet (3.72 mm).

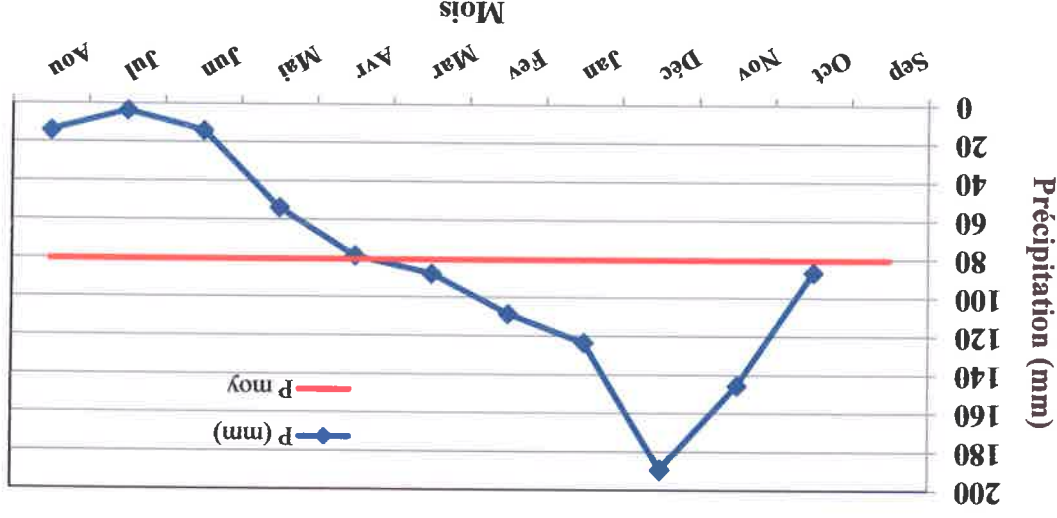


Figure 21. Variation des précipitations moyennes mensuelles en mm [1991-2008] (O.N.M. d'Achouat - Jijel).

L'humidité est le rapport entre la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air humide et la pression de saturation à la même température, elle est exprimée en %.

Elle peut jouer le rôle de facteur catalyseur pour les réactions d'altération chimiques des roches à la surface, comme par exemple le phénomène d'oxydation.

Les valeurs enregistrées dans la station d'Achouat sont présentées dans la figure ci-dessous. L'humidité moyenne mensuelle atteint un maximum exceptionnel au mois de mai (79,78%) et deux maximums normaux aux mois de janvier et septembre (78 %). La valeur minimum de l'humidité est observée au mois d'août (71,17 %).

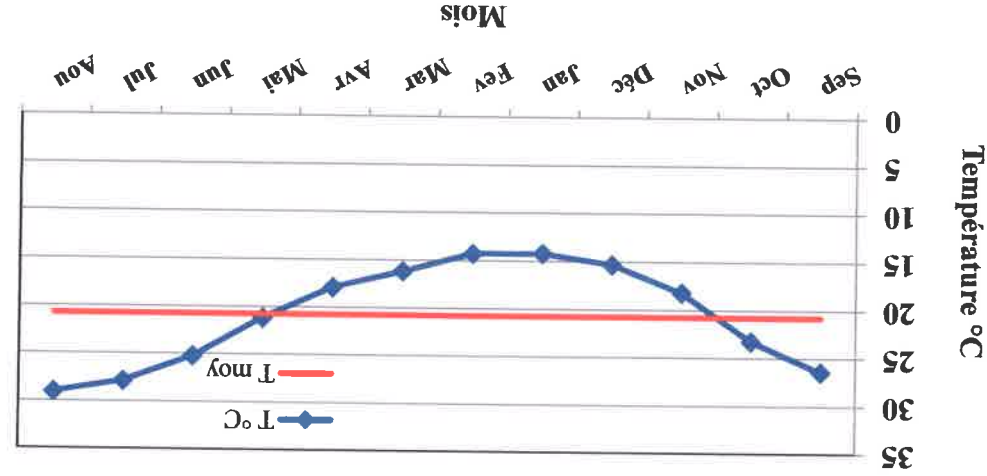
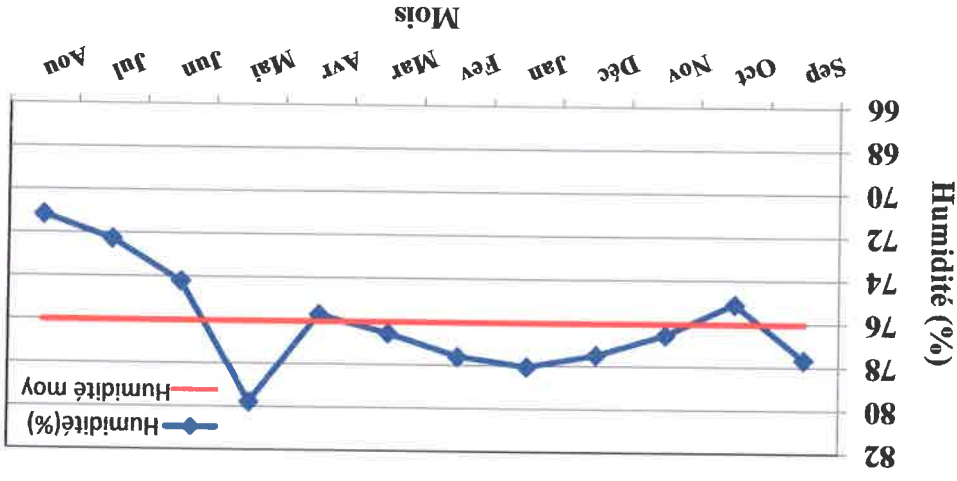


Figure 22. Variation de la température moyenne mensuelle en °C [1991-2008] (O.N.M, d'Achouat).

IV.1.3. Humidité relative



source de la création des masses nuageuses et constitue de ce fait, une phase essentielle du cycle d'eau.

La figure ci-dessous montre que l'évaporation potentielle est atteinte son maximum au mois d'août (110.78 mm) et son minimum au mois de janvier (52.28 mm)

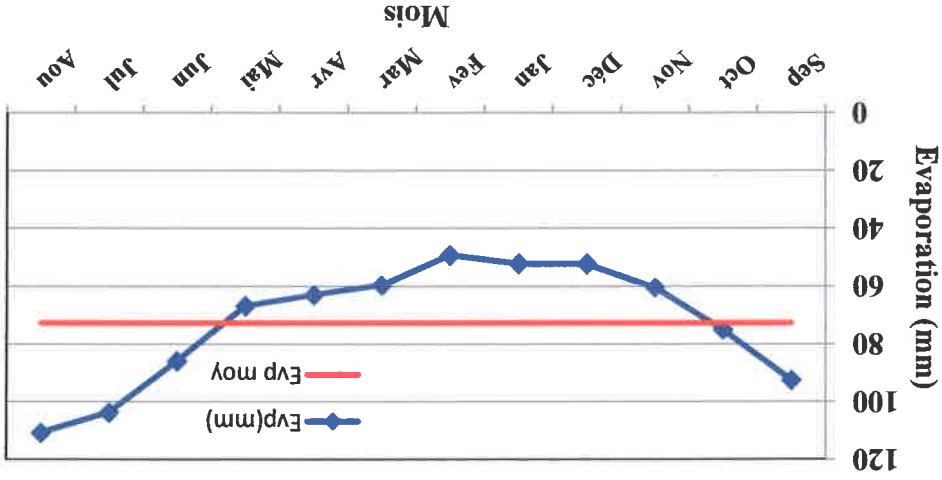


Figure 24. Variations de l'évaporation potentielle moyenne mensuelle en mm [1991-2008] (O.N.M, d'El Achouat).

IV.1.5. Bilan hydrologique

L'établissement d'un bilan hydrologique est nécessaire pour appréhender le fonctionnement d'un système hydrologique de surface et de subsurface. La détermination de ce dernier passe impérativement par la connaissance des paramètres climatiques tels que la pluie, l'évapotranspiration, l'écoulement ou le ruissellement et l'infiltration qui constituent le cycle de l'eau.

IV.1.5.1. Etude de l'évaporation totale

L'évaporation représente la quantité d'eau perdue pendant une période déterminée par évaporation directe et par consommation due aux végétaux.

On distingue l'évapotranspiration réelle (E.T.R) qui est la quantité d'eau effectivement évaporée et transpirée, de l'évapotranspiration potentielle (E.T.P), qui représente la quantité d'eau qui pourrait être évapotranspirée si le sol contenait en permanence une quantité d'eau suffisante.

IV.1.5.1.1. Evapotranspiration potentielle (ETP)

L'évapotranspiration potentielle (ETP) correspond à l'évapotranspiration d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques.

Nous avons tenté d'utiliser plusieurs méthodes d'estimation de l'ETP afin de comparer les résultats et de déterminer la plus fiable d'entre-elles. En raison de non-disponibilité de certains paramètres, nous nous limitons seulement à la Méthode de C.W Thornthwaite (1948).

Thornthwaite a établi une corrélation entre la température moyenne mensuelle et l'ETP, où le pouvoir évaporant pour chaque mois est déterminé à partir de la relation suivante :

$$ETP = 16 \cdot I^{0.75} \cdot T^1.514$$

Avec : $I = \sum_{12} [T/S]$ où : $I = [T/S]^{1.514}$

E.T.P. : désigne l'évapotranspiration potentielle (mm) ;
 T : désigne la température moyenne mensuelle (°C) ;

I : désigne l'indice thermique annuel ;

i : désigne l'indice thermique mensuel ;

a : désigne un exposant climatique défini ainsi :

$$a = 0.0161 I + 0.5$$

Pour l'évapotranspiration corrigée, elle est obtenue à partir de la relation suivante :

$$ETP^{corr} = 16 \cdot I^{0.75} \cdot T^1 \cdot K$$

Où K désigne un coefficient de correction dépendant de la latitude de la région soit (36°).

Le tableau ci-dessous montre les résultats des calculs de l'ETP et l'ETP^{com} calculés par la méthode de Thornthwaite.

Tableau 3. L'évapotranspiration potentielle E.T.P selon Thornthwaite (1991-2008).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
P (mm)	60,67	86,83	145,67	189,44	123,5	108,61	87,89	78,72	54,06	14	14	3,72	14
T (°C)	26,43	23,26	18,25	15,34	14,22	14,27	16,2	17,93	21,21	25,21	27,87	29,05	20,77
I	12,42	10,28	7,13	5,44	4,86	4,91	5,93	6,9	8,91	11,57	13,5	14,32	106,17
ETP (mm)	118,57	89,41	52,31	35,63	30,18	30,42	40,25	48,48	72,90	106,90	133,42	149,48	907,95
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	/
ETP ^c (mm)	122,13	86,73	44,99	29,93	26,26	25,86	41,46	53,33	88,22	130,43	165,45	173,4	988,19

IV.1.5.1.2. Evapotranspiration réelle (E.T.R)

C'est la quantité d'eau réellement évaporée ou transpirée par le sol ou les végétaux et les surfaces d'eau, celle-ci est estimée par le bilan hydrologique de Thornthwaite.

IV.1.5.1.3. Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite

Cette méthode est utilisée pour les climats sub-humide et semi-aride, et vu les caractéristiques intermédiaires du climat méditerranéen, cette formule a été appliquée. Elle est basée sur la notion de la réserve d'eau facilement utilisable (RFU). On admet que la hauteur d'eau stockée dans le sol qui est reprise par l'évapotranspiration est de 100 mm au maximum (Gaudé, 1976).

Le bilan hydrique de Thornthwaite est un bilan établi à l'échelle mensuelle et basé sur les données connus des précipitations P et de l'évapotranspiration potentielle E.T.P, pour déterminer les variations des paramètres suivants :

- E.T.R. : l'évapotranspiration réelle ;
- R.F.U. : la réserve facilement utilisable ;
- Da : déficit agricole ;
- W_s : excédent ou water surplus.

Le principe de calcul de bilan hydrologique de Thornthwaite est le suivant :

- Si pour un mois $P \geq ETP$ on pose que l'ETP = ETR, la qualité d'eau qui reste (P-ETR) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum (100 mm) et si elle dépasse cette valeur il y aura un excès qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe, soit sous la forme de ruissellement.

- Si $P < ETP$: on évapore toute la pluie et on prend à la RFU (jusqu'à la vidée), l'eau nécessaire pour satisfaire l'ETR soit : $ETR = P + \min(RFU, ETP - P)$

- si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole $Da = ETP - ETR$, ce dernier paramètre représente alors le besoin des cultures à l'irrigation.

Tableau 4. Calcul du bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite (1991-2008).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel
P (mm)	60.67	86.83	145.67	189.44	123.5	108.61	87.89	78.72	54.06	14	3.72	14	967.11
ETP (mm)	122.13	86.73	44.99	29.93	26.26	25.86	41.46	88.22	130.43	165.45	173.4	173.4	988.19
P-ETP (mm)	-61.46	0.1	100.68	159.51	97.24	82.75	46.43	25.39	-4.16	-116.43	-61.73	-159.11	/
ETR (mm)	60.67	86.73	44.99	29.93	26.26	25.86	41.46	53.33	88.22	79.84	3.72	14	555.01
Da (mm)	61.46	0	0	0	0	0	0	0	0	50.59	161.73	159.11	432.89
W _s (mm)	0	0	0.68	159.51	97.24	82.75	46.43	25.39	0	0	0	0	412
RFU (mm)	0	0.1	100	100	100	100	100	65.84	0	0	0	0	/

La représentation graphique du bilan hydrologique (figure 25) montre que l'évapotranspiration maximum a été observée pendant les mois de juillet (165 mm) et d'août (175 mm), ce qui produit un déficit agricole et nécessite une irrigation pour les zones cultures. Par contre, pendant les mois de novembre, décembre, janvier, février et mars, on observe une recharge de la nappe avec une valeur de 120 à 190 mm.mois⁻¹ des précipitations. Lorsque la recharge dépasse la RFU, le surplus d'eau va partir sous forme de ruissellement et si l'intensité des pluies dépasse la vitesse d'infiltration du sol, il partira sous forme de ruissellement.

Le ruissellement est donné par la formule empirique de Tixeront Berkloff :

$$R = \frac{p^3}{3*ETP^2} \quad \text{si } P > 600 \text{ mm}$$

Cette formule est applicable seulement lorsque la précipitation annuelle est inférieure à 600 mm. Dans notre cas la précipitations annuelle est égale 967.11 mm, ce qui implique que cette formule on ne peut pas l'utilisée, donc en utilise la formule suivante :

$$R = \frac{p^3}{3}$$

Selon (Gaude 1976) lorsque RFU=100 mm ;

$$P = ETR + R + I \quad \text{donc } I = P - ETR - R$$

$$R = \frac{0.967^3}{3} \quad \text{donc}$$

$$R = 0.3014 \text{ m.}$$

$$R = 301.4 \text{ mm}$$

Selon (Gaude 1976) lorsque RFU=100 mm ;

$$P = ETR + R + I \quad \text{donc } I = P - ETR - R$$

$$I = 967.11 - 555.01 - 301.4$$

$$I = 110.7 \text{ m}$$

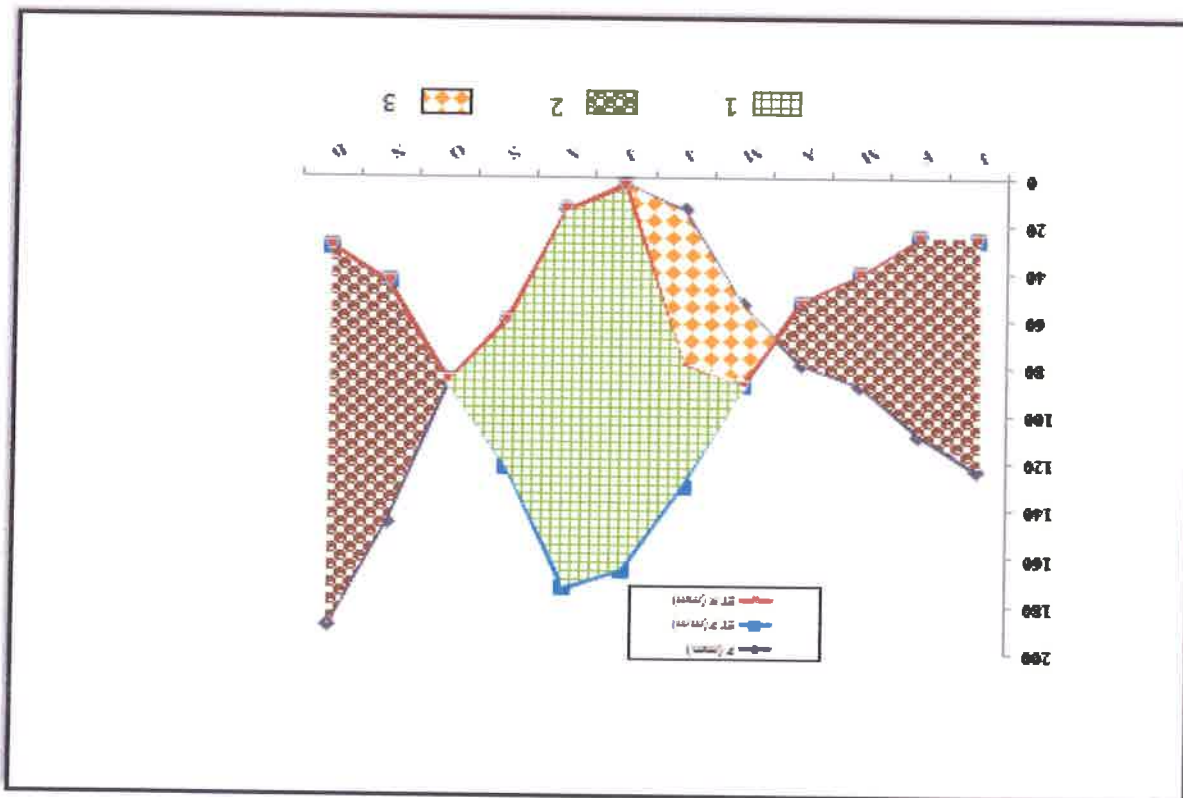


Figure 25. Représentation graphique du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite (1991-2008).

IV.2. Hydromorphologie

La connaissance des paramètres hydromorphologiques, notamment le niveau piézométrique est d'une importance fondamentale dans l'hydrogéologie. Le niveau des eaux souterraines de l'aquifère peut être utilisé pour plusieurs raisons, la plus importante est l'établissement d'une carte piézométrique qui est nécessaire pour connaître l'extension de l'aquifère, la direction et la vitesse de l'écoulement des eaux souterraines, ainsi que leur zones d'accumulation.

IV.2.1. Piézométrie

IV.2.1.1. Inventaire des points d'eau (cf. figure 26)

La piézométrie joue un rôle déterminant quant à la connaissance des écoulements souterrains, elle permet également de connaître et de fixer les conditions aux limites d'une nappe. Pour arriver à cerner les problèmes posés dans le secteur d'étude, nous avons effectué 02 campagnes piézométriques : la première du 07 au 10 mars 2013 et la deuxième du 21 au 23

avril 2013. Au total 22 forages, 60 puits dont la majeure partie sont destinés à l'irrigation, et 27 stations de prélèvement dans les oueds (oueds Nil, Saayaud, Boukraa et Tassite).

La répartition spatiale des points d'eau est présentée dans la figure ci-dessous :

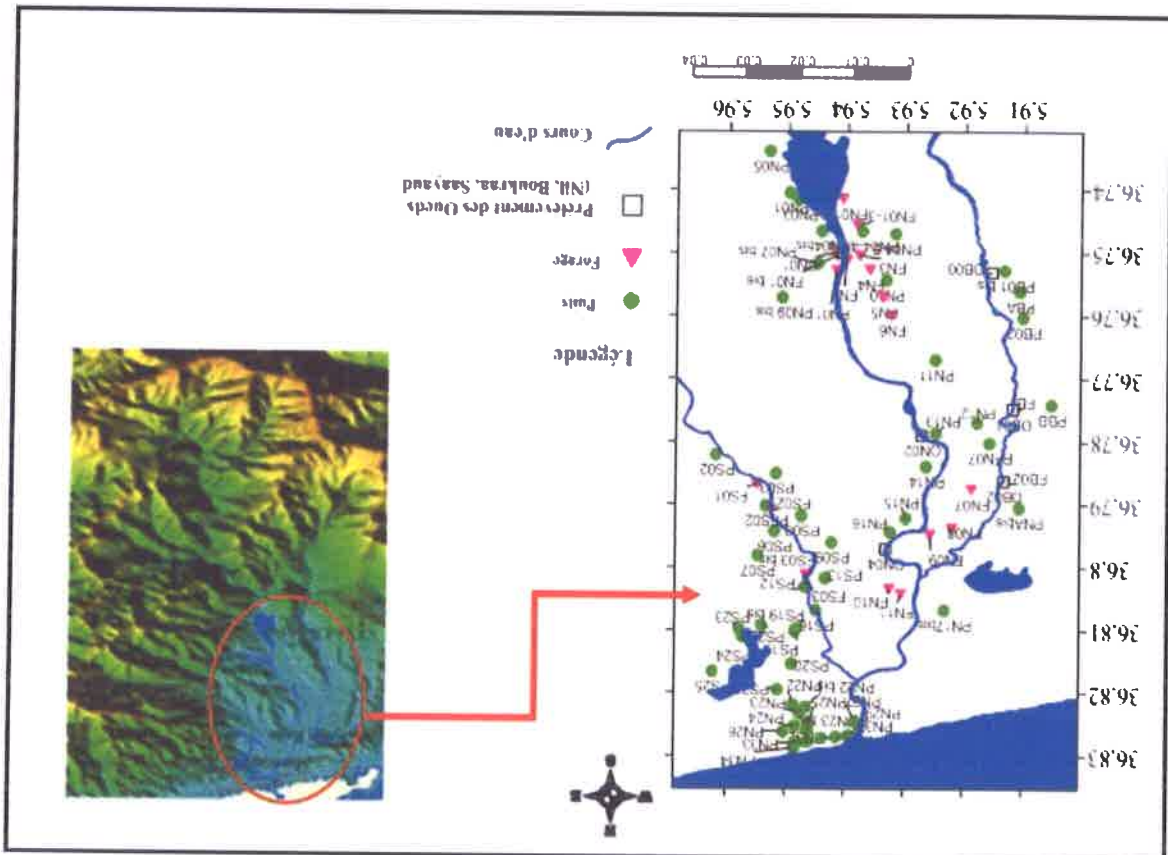


Figure 26. Carte d'inventaire des points d'eau (Mars 2013).

IV.2.2.2. Carte piézométrique

➤ But de la carte piézométrique

La carte piézométrique est la synthèse la plus importante d'une étude hydrogéologique. Elle permet d'analyser la morphologie de la surface piézométrique, de tracer les lignes de courant et donc définir la direction des axes principaux d'écoulement.

Dans notre étude, nous avons utilisé les données piézométriques de la campagne du 07 au 10 Mars 2013 pour tracer la cartes piézométriques, vu le nombre important des points d'eau mesurés lors de cette campagne.

➤ Interprétation de la carte piézométrique (cf. figure 27)

L'établissement de la carte piézométrique de la plaine alluviale de l'oued Nil a été faite en utilisant le logiciel Surfer 11 (figure ci-dessous).

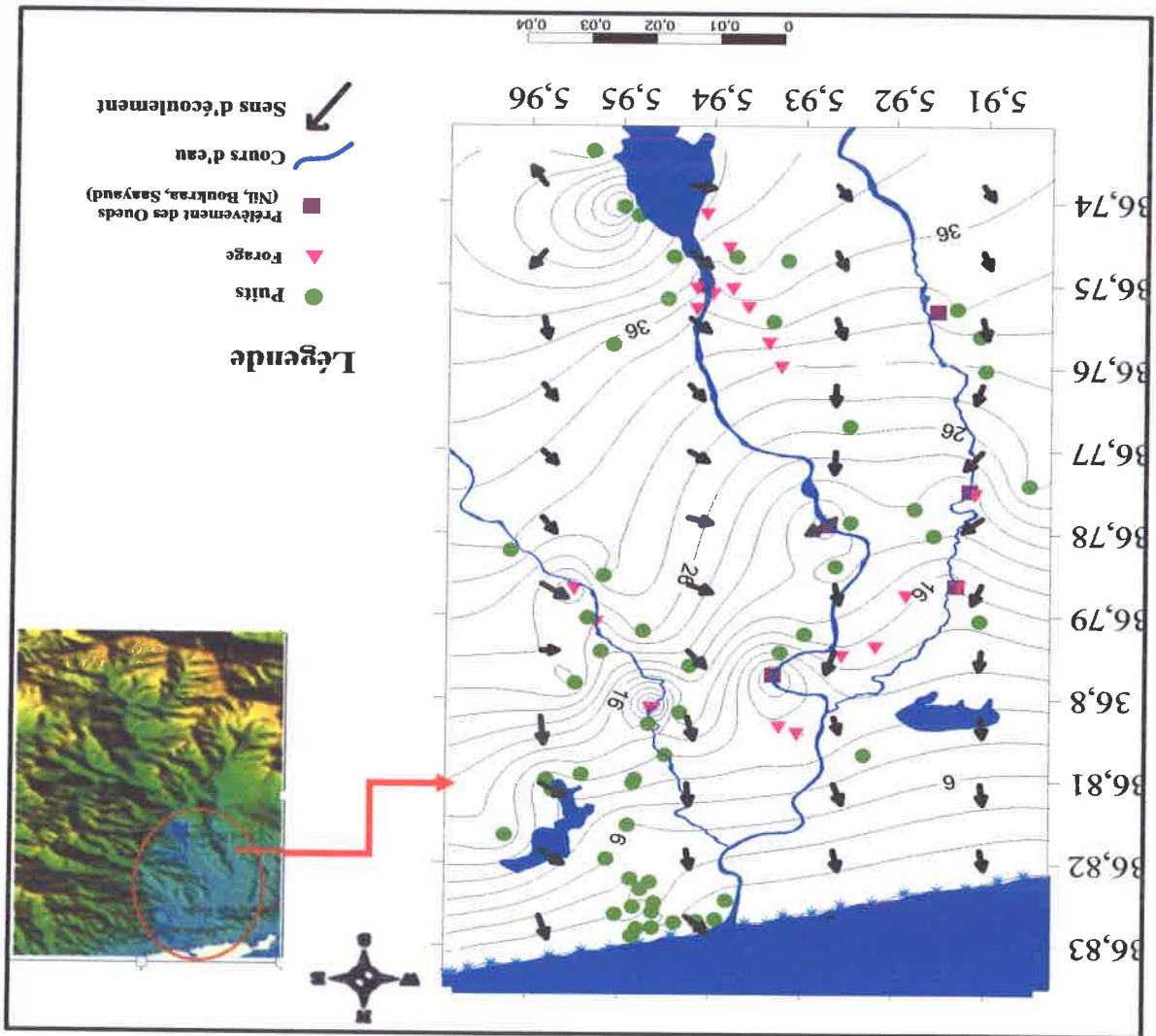


Figure 27. Carte piézométrique de la plaine alluviale d'oued Nil (Mars 2013).

L'allure générale de la configuration de la carte piézométrique, montre que l'écoulement des eaux souterraines se fait selon la direction Sud-Nord. Plusieurs cônes de dépression sont observés au niveau de la plaine, ils sont liés à l'effet de pompage dans les puits et les forages. On observe aussi que les courbes piézométriques convergassent vers les oueds, indiquant la possibilité que la nappe alimente l'oued.

IV.2.3. Paramètres hydrodynamique

Les caractéristiques hydrodynamiques des terrains permettent d'évaluer d'une part, leur facilité à laisser l'eau circuler lorsqu'ils sont soumis à un gradient de charge hydraulique, et d'autre part, leur capacité à emmagasiner de l'eau. Les paramètres qui décrivent ces caractéristiques sont respectivement la perméabilité, la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement.

Les paramètres hydrodynamiques (perméabilité) ont été effectués par la Direction d'Hydraulique de la Wilaya de Jijel (DHW).

IV.2.3.1. La perméabilité (K)

Elle est définie par la loi de Darcy. C'est le volume d'eau gravitaire en m^3 traversant en une unité de temps, sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique, une unité de section en m^2 orthogonale à la direction de l'écoulement. Elle s'exprime en m/s.

La carte de perméabilité tracée à partir des forages est présentée dans la figure ci-dessous :

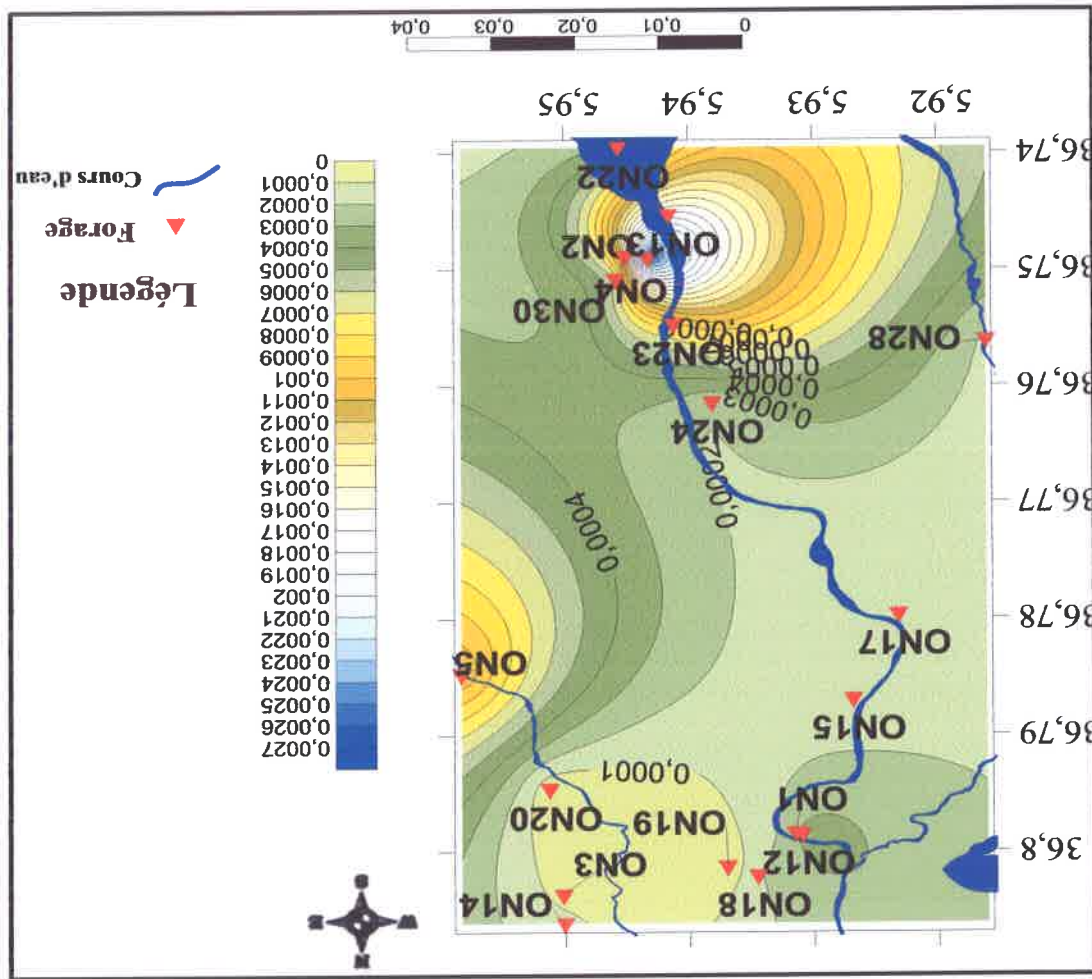


Figure 28 . Carte d'iso-perméabilité de la région étudiée (DHW, 1983-1987).

Cette carte montre des valeurs élevées de la perméabilité dans la partie sud (0.0027 m/s), et dans la partie Est (0.001). Pour cela la plus part des forages sont implantés dans la partie Sud de la plaine.

IV.3. Hydrochimie

La chimie des eaux de surface et souterraine est une étape nécessaire pour mettre en évidence les caractéristiques physico-chimiques des eaux. Ces dernières sont en fonction de la nature lithologique des terrains traversés, du temps de séjour de l'eau dans la formation aquifère et des rejets anthropiques.

Le but de ce chapitre est de définir les faciès chimiques des eaux souterraines et superficielles, de les comparer et de suivre leurs évolutions dans l'espace et dans le temps. Il sera également question de la qualité des eaux souterraines et superficielles vis-à-vis de la potabilité et l'irrigation (annexes 2, 3, 4 et 5).

IV.3.1. Etude de l'évolution spatiale des paramètres physico-chimiques

IV.3.1.1. Eaux de surface

a. Potentiel d'hydrogène

C'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau ainsi que l'état d'équilibre des éléments chimiques.

Au niveau des trois oueds (Saayoud, Boukraa, et Nil, le pH varie entre 7,6 (OB01) et 8,3 (OS2c) (cf. Figure 29, 30, 31). Cela est dû aux terrains traversés. L'ensemble des valeurs sont dans la norme SEQ-Eau (Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau établie par l'Agence Française de l'eau, 2003 (version 2)). Qui est de 6 à 9 pour les eaux superficielles.

b. Température

Selon les trois graphes (cf. Figure 29, 30 et 31), la température des eaux de surface varie entre 15,1(ON01) et 18,4 (OS03P) à cause de leur contact direct avec l'atmosphère.

c. Conductivité électrique

Elle est liée à la présence des espèces chimiques en eau. Dans les trois oueds, la conductivité varie entre 230 (ON01) -394(OS2D) $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$, ils sont dans les normes SEQ-Eau (limite la conductivité maximale à 3000 $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$).

d. Oxygène dissous

L'oxygène est l'un des paramètres particulièrement utile pour l'eau et constitue un excellent indicateur de sa qualité. C'est un des paramètres les plus sensibles à la pollution. Sa valeur nous renseigne sur le degré de pollution et par conséquent sur le degré de l'autoépuration d'un cours d'eau.

D'après les figures (29, 30 et 31), les teneurs des oxygènes dissous les plus élevées atteignent une valeur de 6,96 mg/l (ON01) ce qui indique une bonne qualité de l'eau selon les normes SEQ-Eau (3-6 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Les valeurs les plus basses sont observées dans l'oued Boukraa et

l'oued Nil, avec une valeur minimale de 1,41 mg/l (OB01), due certainement aux rejets urbains de la ville de Taher et les agglomérations localisées sur les rives des deux oueds.

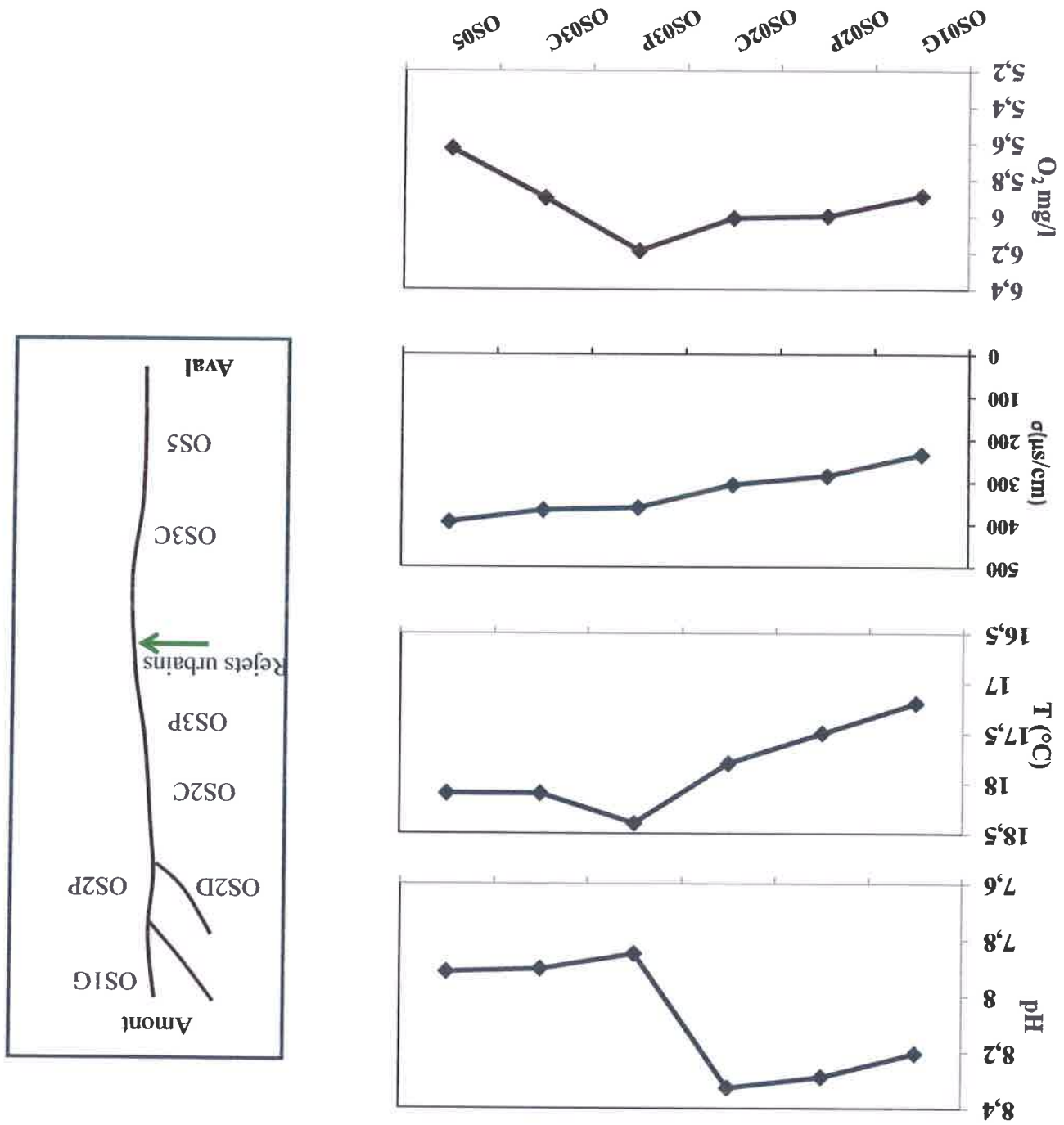
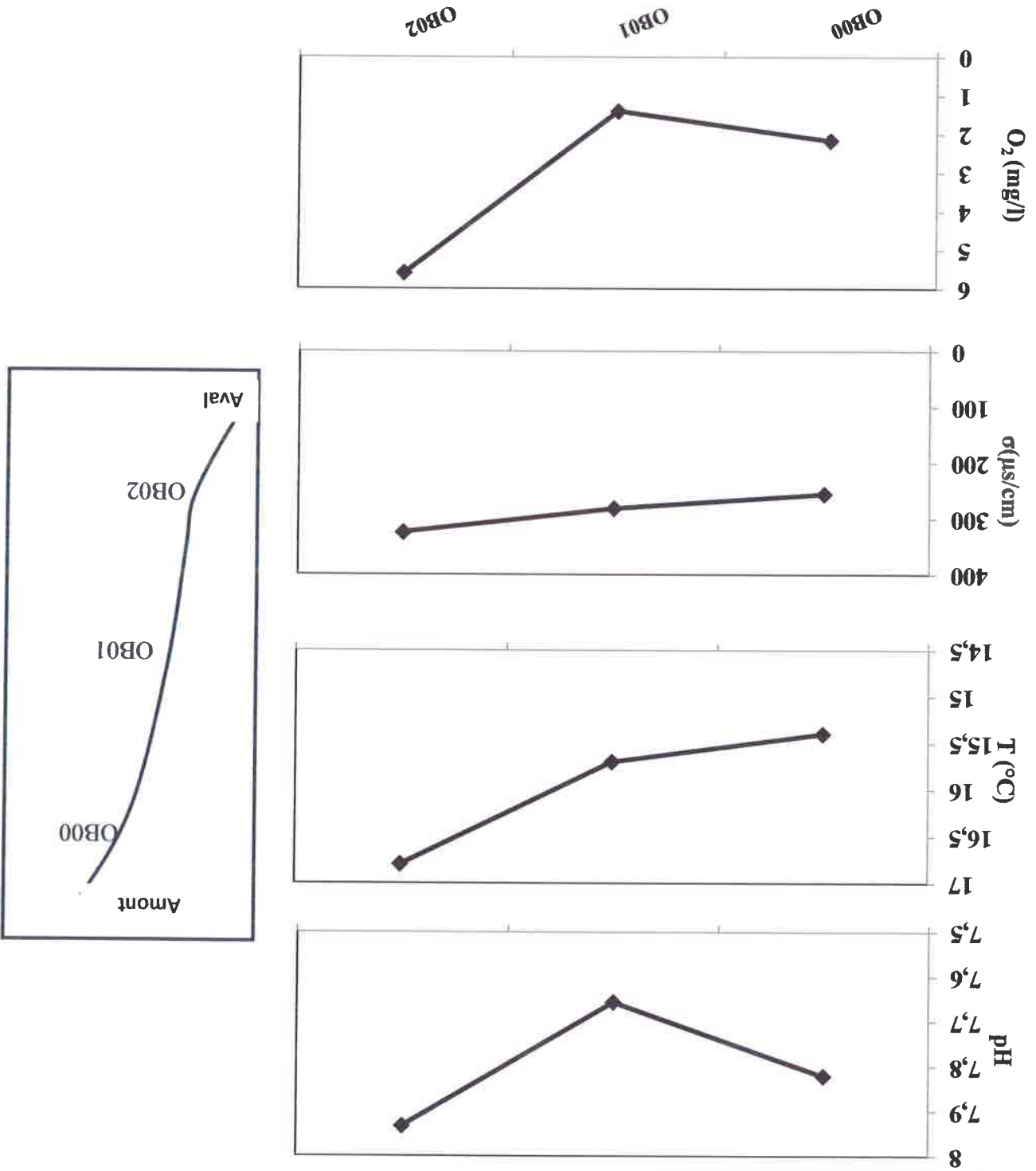


Figure 29. Evolution spatiale des paramètres physico-chimiques de l'oued Saayoud (Mars 2013).

Figure 30. Evolution spatiale des paramètres physico-chimique de l'oued Boukraa (Mars 2013).



IV.3.1.2. Eaux souterraines

a. Potentiel d'Hydrogène

Le pH des eaux souterraines (cf. figure 32) de la plaine d'oued Nil varie entre 6 et 8.1. L'ensemble des valeurs du pH sont dans les normes ($6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$), selon SEQ-Eau (Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines établie par l'Agence Française de l'eau (version 0.1)).

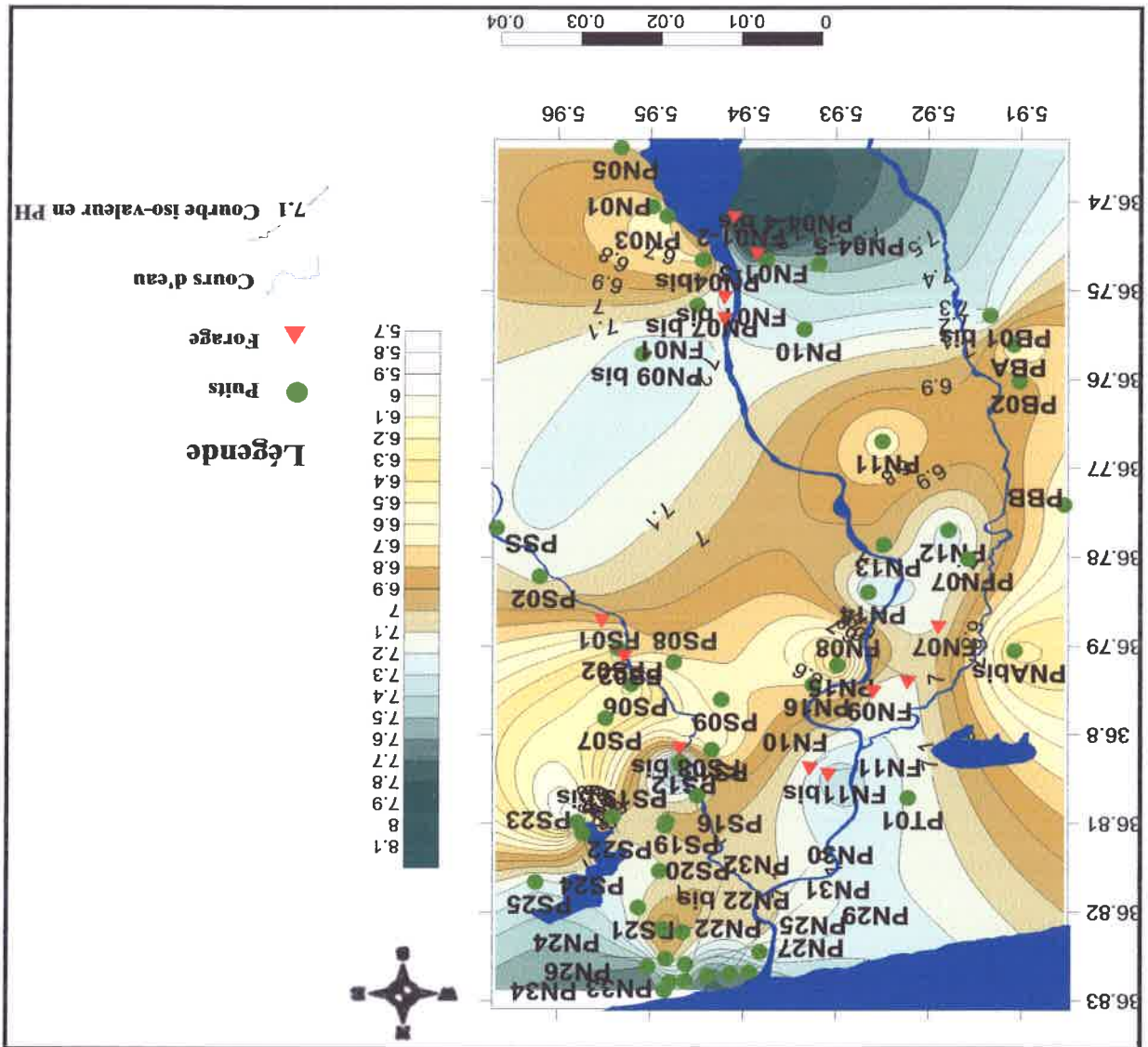


Figure 32. Carte iso-valeur de pH (Mars 2013).

b. Température

La température des eaux souterraines varie entre 12 et 20,3°C. Elle varie en fonction de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol.

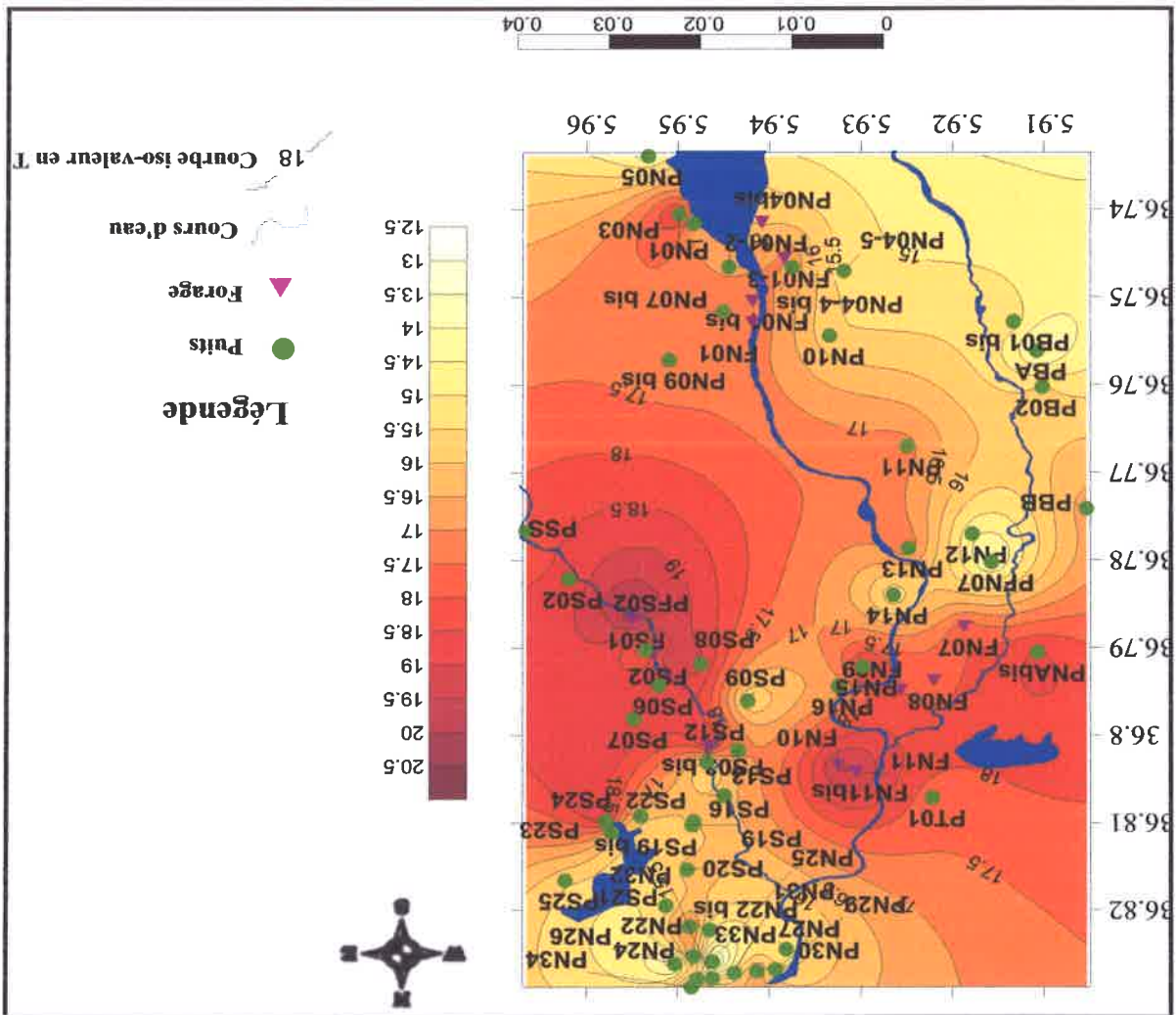


Figure 33. Carte iso-valeur de la Température (Mars 2013).

c. Conductivité électrique

D'après la carte d'iso-valeur de la conductivité (figure ci-dessous), les eaux souterraines de la plaine d'oued Nil sont moyennement chargées en sels dissous. Les valeurs de la conductivité varient entre 261 et 1726 µs/cm.

Les valeurs élevées de la conductivité sont observées dans la partie Nord, dans les parties Sud-Ouest, et la partie Sud-Est. Elles sont probablement liées à la nature des formations géologique ou à l'utilisation des engrais chimiques dans l'agriculture.

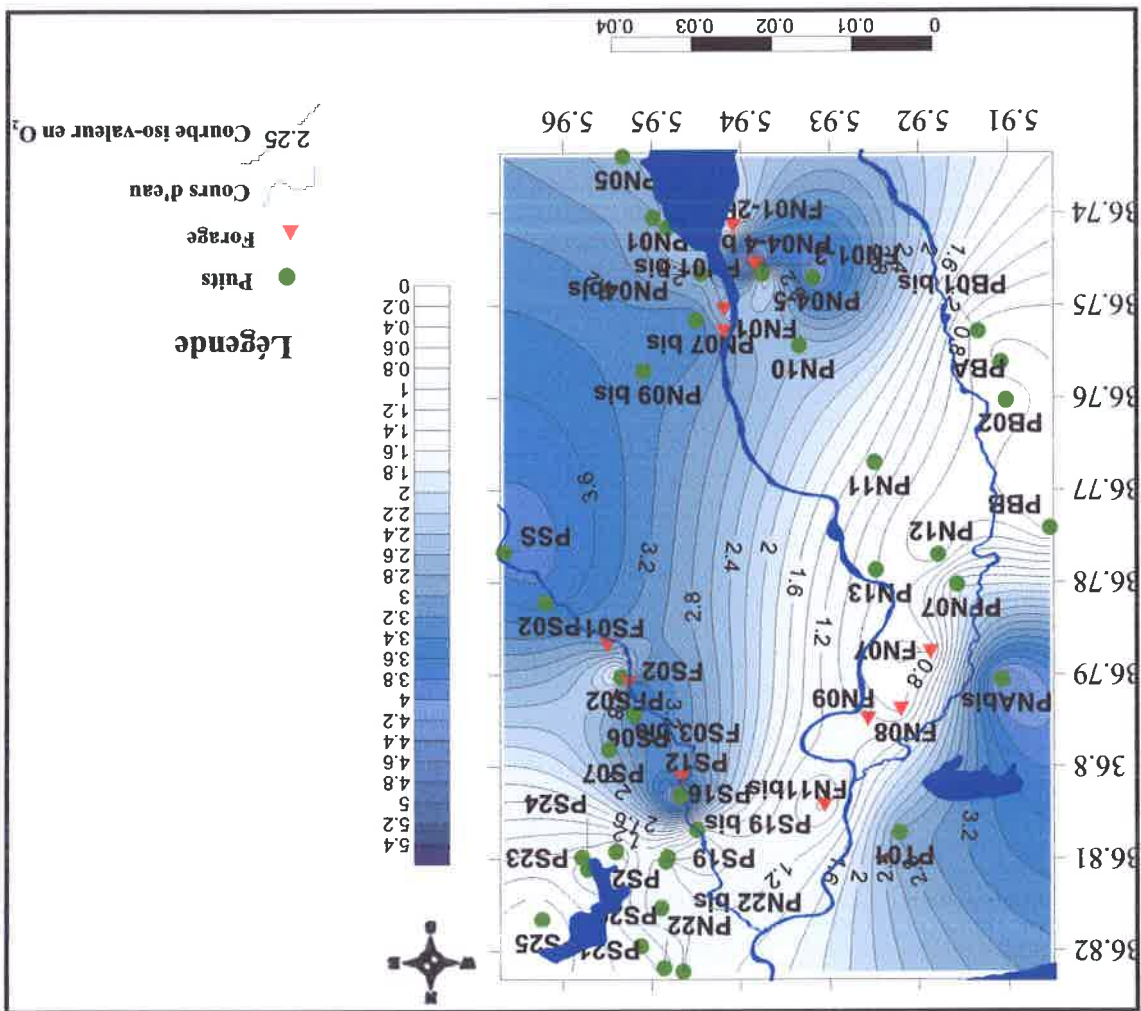


Figure 35. Carte d'iso-valeur de l'Oxygène dissous (Mars 2013).

IV.3.2. Etude des éléments majeurs à partir des données hydrochimiques antérieures

Une bonne étude hydrochimique nécessite une analyse complète des éléments chimiques majeurs ! Vu l'absence d'un laboratoire d'hydrochimie dans notre département, nous étions obligé pour couvrir cette partie de se baser sur les données présente dans les mémoires précédentes et de faire une synthèse hydrochimique et de les réinterpréter et de faire sortir de nouveau résultats.

IV.3.2.1. Géoréferencement des cartes

Les cartes utilisées dans notre étude hydrochimique et les études précédentes ont des coordonnées différentes (Lambert et UTM). Pour unifier les coordonnées, on les converties aux coordonnées géographiques, à l'aide du logiciel Mapinfo.

La présentation des points d'eau sur la plaine alluviale d'oued Nil est présentée dans la figure ci-dessous :

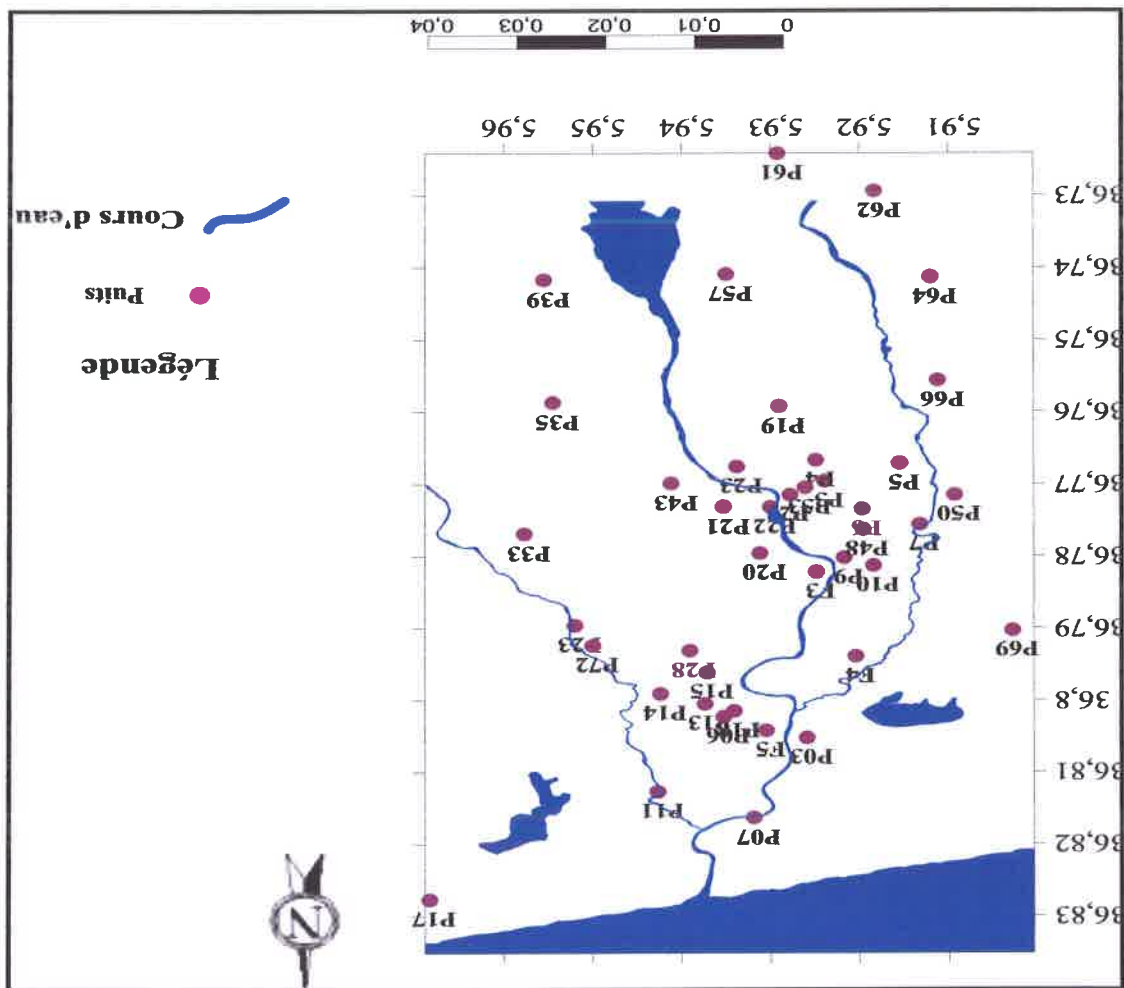


Figure 36. Situation des points d'eau des travaux antérieurs.

IV.3.2.2. Analyse statistique des données hydrochimiques

L'ACP est une méthode d'analyse statistique multidimensionnelle. Il s'agit d'une méthode factorielle et linéaire qui traite des caractères numériques jouant tous le même rôle. Chaque échantillon d'eau d'une campagne de prélèvement constitue une unité statistique, les différents paramètres soumis à l'analyse constituent les variables qui caractérisent ces unités statistiques. Pour réaliser cette étude nous avons utilisé comme variables les teneurs en éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-), ainsi que la conductivité électrique (CE) et le pH, en utilisant le logiciel SPAD V55.

Campagne 2004 - 2005 :

Les données de cette campagne ont été tirées du mémoire d'ingénieur de Bechkite.M.A. (2005).

L'analyse en composantes principales (ACP) de ces données (09 variables et 22 observations), montre que 79,57 de la variance totale est exprimé sur le plan I-II (cf. figure 37).

Campagne de 2010-2011

Les données de cette campagne ont été tirées du mémoire d'ingénieur de Berkanes.S. (2011).

L'analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur cette campagne (10 variables et 22 observations) est présentée dans la figure ci-dessous :

- le premier axe représente 53,88% de la variance, il est déterminé positivement par la majorité des éléments de la minéralisation. La présence de deux regroupements des espèces chimiques : (SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Na^+) et (HCO_3^- et Ca^{2+}) indiquent la possibilité d'une même origine de leur dissolution. les eaux souterraines de la plaine de l'oued Nil sont faiblement minéralisées.
 - le deuxième axe représente 19,3% de la variance, présentée par Cl^- et le pH.
- Pour la projection des individus, l'axe I est présenté seulement par un seul individu (numéro 09). Par contre les autres individus se positionnent à l'entour de l'axe II.

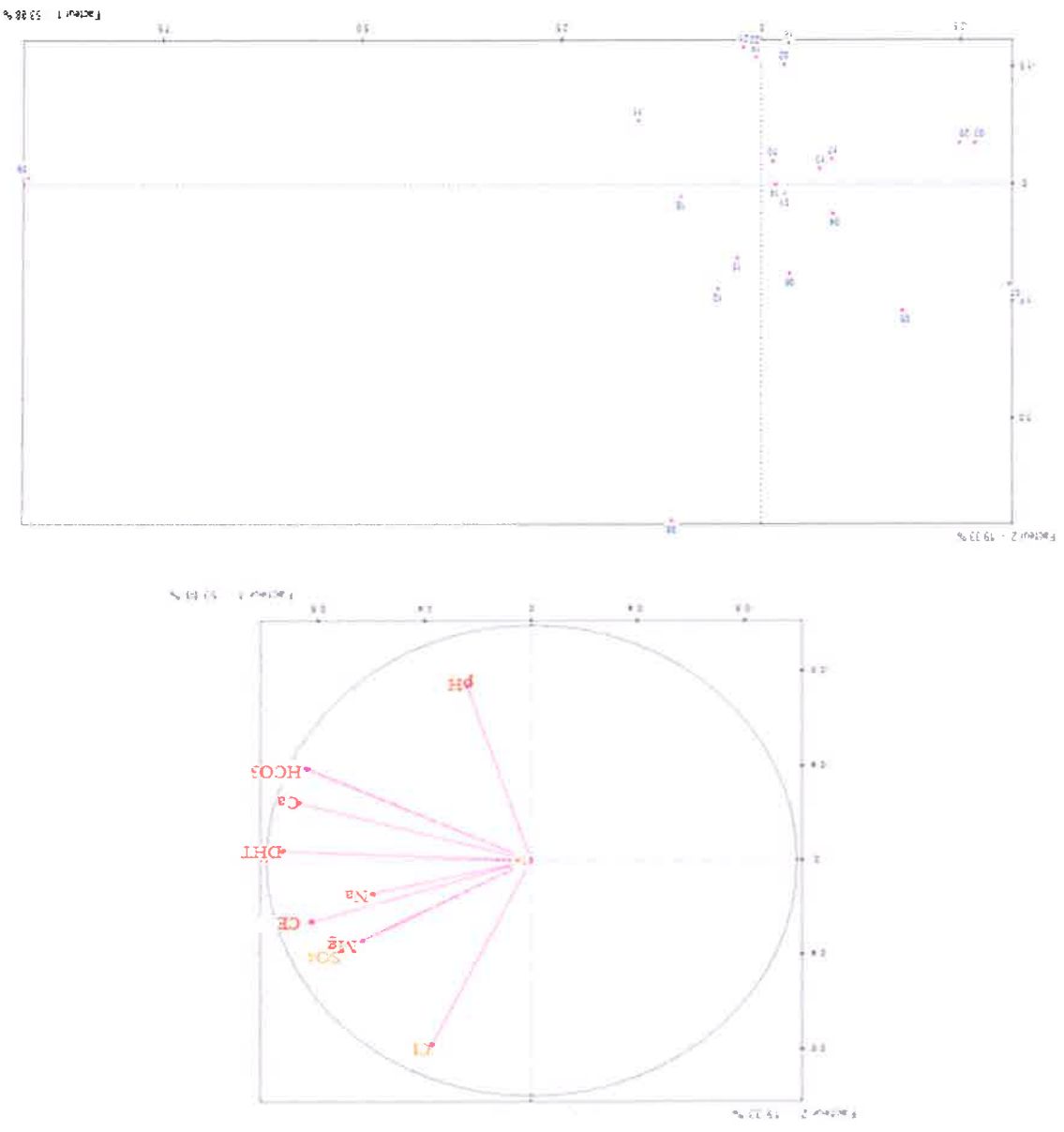


Figure 38. Projection des variables et des individus sur le plan I-II (2010-2011).

IV.3.2.3. Facies chimiques

Le diagramme de Piper utilise les éléments majeurs pour représenter les différents faciès des eaux souterraines. Il permet également de voir l'évolution d'une eau, passant d'un faciès à un autre, grâce à des analyses espacées dans le temps ou des analyses d'échantillons pris à des endroits différents. Le diagramme de Piper est très utile pour représenter toutes autres sortes de groupes d'analyses. Le diagramme de Piper est composé de deux triangles et un losange. Les deux triangles (un triangle portant les cations et un autre les anions) sont d'abord remplis puis le losange. Les valeurs utilisées sont exprimées en meq.l^{-1} .

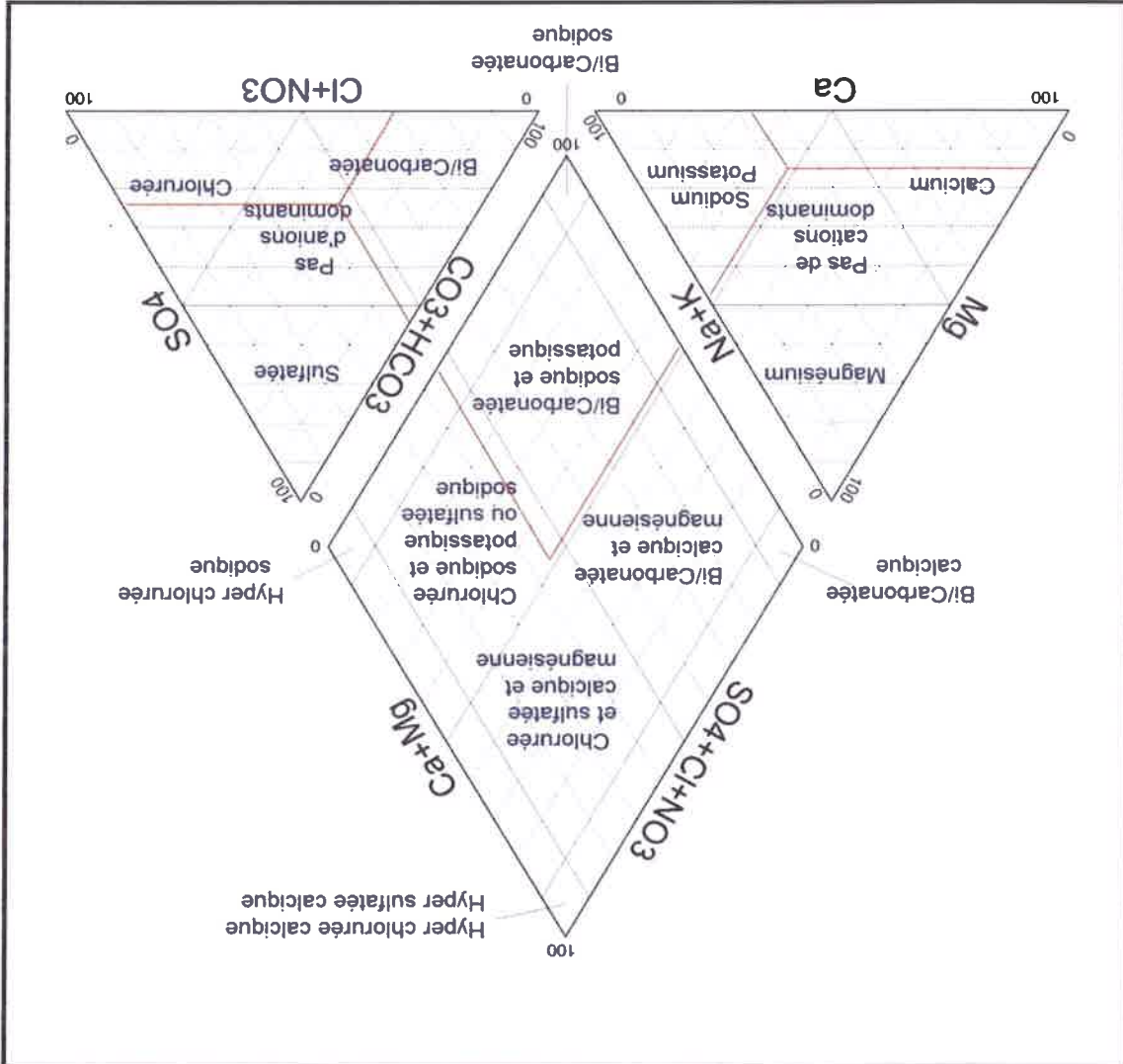


Figure 39. Diagramme de piper.

La représentation graphique de la campagne 2004-2005 sur le diagramme de piper est présentée dans la figure ci-dessous. Cette figure montre l'existence de quatre faciès chimiques :

- ✓ Chlorurée et sulfate calcique et magnésienne : cinq échantillon (P11, P33, P61, P62, P72) représentent cette faciès chimique ;
- ✓ Chlorurée sodique et potassique : caractérise la minorité des points d'eau (P3 et P69) ;
- ✓ Bicarbonate calcique et magnésienne : la majorité des points d'eau sont classées dans la partie Est du losange, ce qui explique la dominance de ce faciès dans la plaine, parmi les 21 échantillons analysés 10 représentent ce faciès : (P17, P23, P33, P35, P39, P43, P50, P57, P64 et P66).
- ✓ Bicarbonate sodique et potassique et potassique deux échantillons représentent cette famille (P6 et P7).

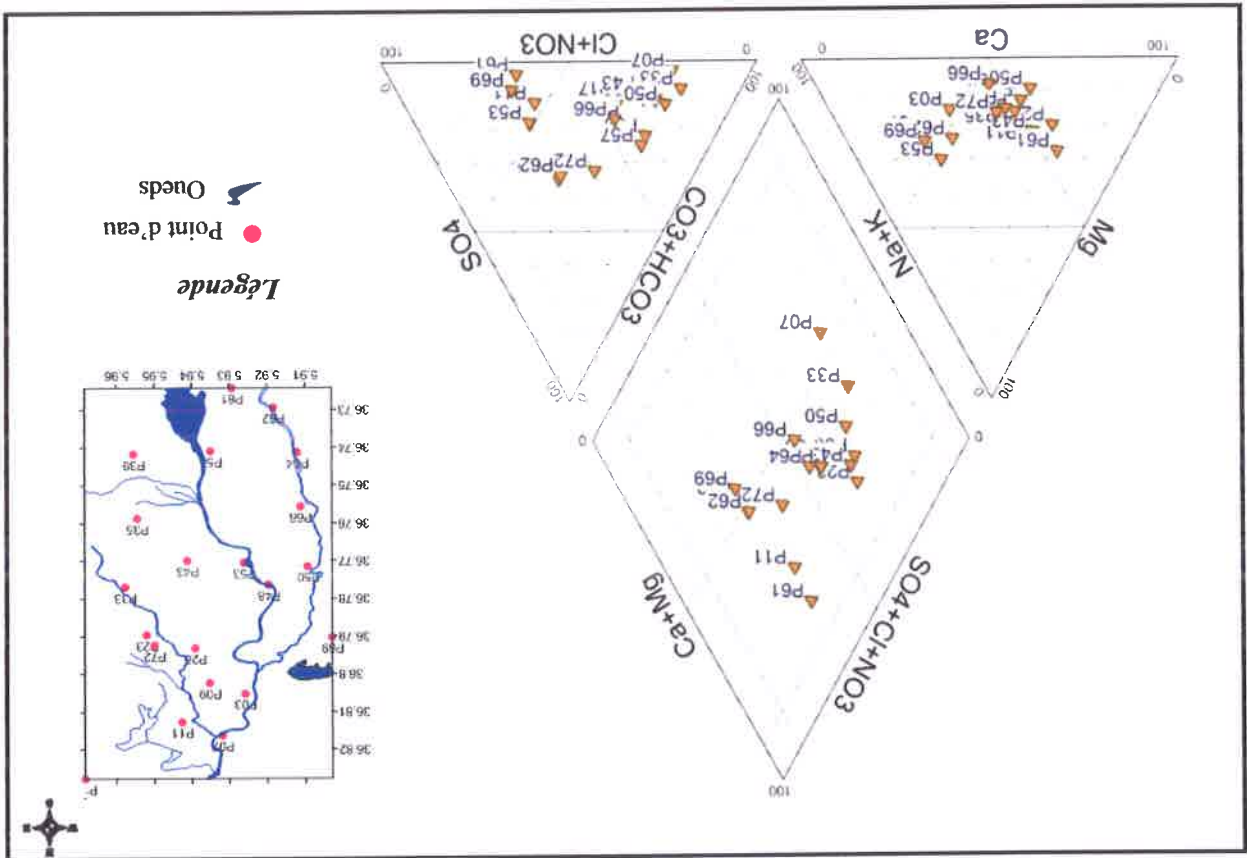


Figure 40. Présentation des points d'eau sur le diagramme de Piper (2004-2005).

La représentation des données de la campagne 2010-2011 sur le diagramme de piper (figure ci-dessous), montre trois faciès chimiques ;

- ✓ Chlorurée et sulfate calcique et magnésienne : on le rencontre au niveau du puits (P6) ;

- ✓ Bicarbonate sodique et potassique : on le rencontre au niveau du forage (F4) et au niveau du puits (P22) ;
- ✓ Bicarbonate calcique et magnésienne : on le rencontre presque dans tous les points d'eau analysés : forages (F3, F5) et les puits (P2, P4, P7, P9, P10, P13, P14, P15, P18, P19, P20, P21, P23).

Le faciès dominant est bicarbonate calcique et magnésienne.

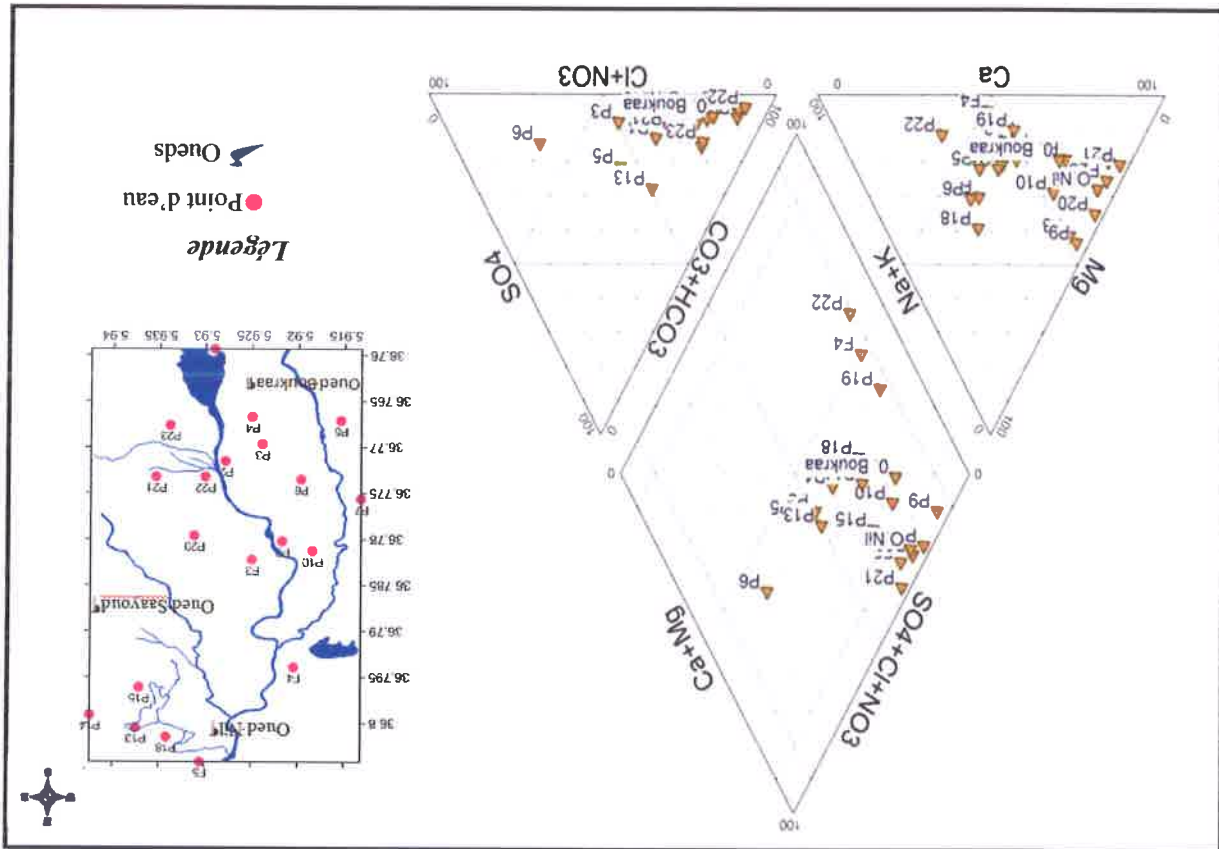


Figure 41. Présentation des points d'eau sur le diagramme de Piper (2010-2011).

IV.3.2.4. Origine des éléments chimiques

■ Les éléments $\text{Na}^+ - \text{K}^+$

C'est deux éléments chimiques, vu l'esquisse géologique de Jijel, peuvent venir de la même formation géologique (schiste) présente au nord de la plaine. Ces derniers sont composés en grande partie par des feldspaths ((Na, K) $\text{Al Si}_3\text{O}_8$), riche en Na et K. Pour le potassium, il peut avoir d'autres origines que le schiste :

Gneiss (feldspath plagioclase ((Ba, Ca, Na, K, NH_4) $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$));

Argiles (exemple Illite ($\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10}) (\text{OH})_2$).

■ Les éléments Ca^{2+} - Mg^{2+} - HCO_3^-

Vu la présence du cipolin dans notre bassin versant, on suppose que l'origine du calcium, magnésium et les bicarbonates proviennent de cette formations géologique : Ca^{2+} et HCO_3^- du calcaire et la dolomite métamorphisés ; et Mg^{2+} de la dolomite métamorphisée.

Le calcium peut avoir une autre origine « gypse – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ » présent dans les formations marneuse du Miocène.

■ L'élément Cl

L'origine des chlorures peut être liée aux embruns marins (aérosols), vu la situation côtière de notre zone d'étude. Où souvent les pluies sont chargées par les ions des chlorures.

On soupçonne aussi la possibilité d'une ancienne salinité marine !

Une autre origine des chlorures est anthropique, il est lié à l'utilisation des pesticides dans l'agriculture (exemple Hexachlorobenzène (HCB) ($\text{C}_{10}\text{H}_5\text{Cl}_7\text{O}$)).

■ L'élément SO_4^{2-}

Les sulfates peuvent avoir plusieurs origines :

- Les gypses présents dans les formations marnuses du Miocène. Ces mêmes formations affleurent sur la bordure de la route Kaous – Texenna, où plusieurs morceaux de gypse sont observés à l'œil nu.
- L'utilisation des engrais chimiques dans les activités agricoles (exemple : Sulfate d'ammonium, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (N 20 à 22 %)).
- Activité biologique : la dissolution de la matière organique produit les sulfates dans le sol.

■ Les éléments Na^+ - Cl

Ces deux éléments chimiques dans les eaux naturelles sont souvent liés à la dissolution de l'halite (NaCl). L'évolution de Na^+ est étudiée en fonction des teneurs en chlorure, car ce dernier est considéré comme un traceur stable et conservatif des évaporites, très soluble, entrant rarement dans les précipitations salines, n'intervenant pas dans les phénomènes d'oxydoréduction et peu influencé par l'intervention des bactéries. En plus son déplacement n'est pas retardé dans l'eau. La représentation graphique de l'évolution des teneurs en sodium en fonction des concentrations en chlorures (figure. 42A) montre que quelques points présentent un excès de sodium, d'autres un excès des chlorures cela s'explique par l'existence d'autres origines pour les deux ions. Vu que l'excès en Na^+ est accompagné par un déficit en Ca^{2+} par rapport à HCO_3^- et SO_4^{2-} (figure 42.B), l'augmentation des teneurs en Na^+ s'explique par un échange de base lié aux minéraux argileux qui fixent un ion Ca^{2+} après libération de deux ions Na^+ .

La projection des différents points sur le diagramme $\text{Ca}^{2+} / (\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}) - \text{Na}^+ / \text{Cl}^-$ (figure 42.B) montre que 33 % des points d'eau subissent un échange de base, 16 % des

points présentent l'état naturel et 50 % un excès en Ca^{2+} par rapport aux ions HCO_3^- et SO_4^{2-} dû probablement aux formations argileuses.

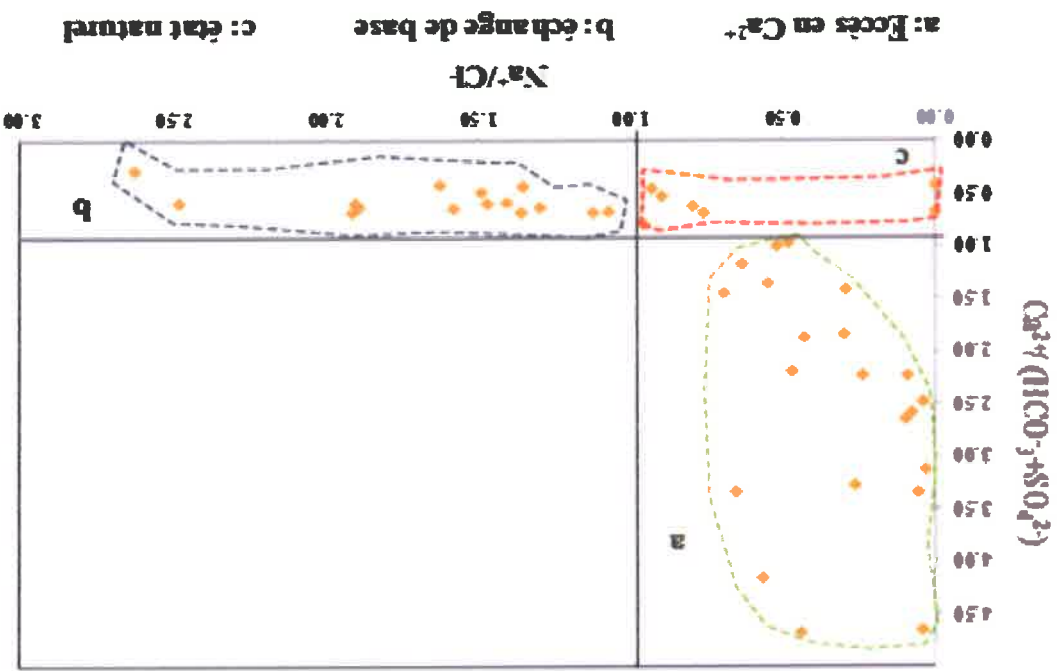
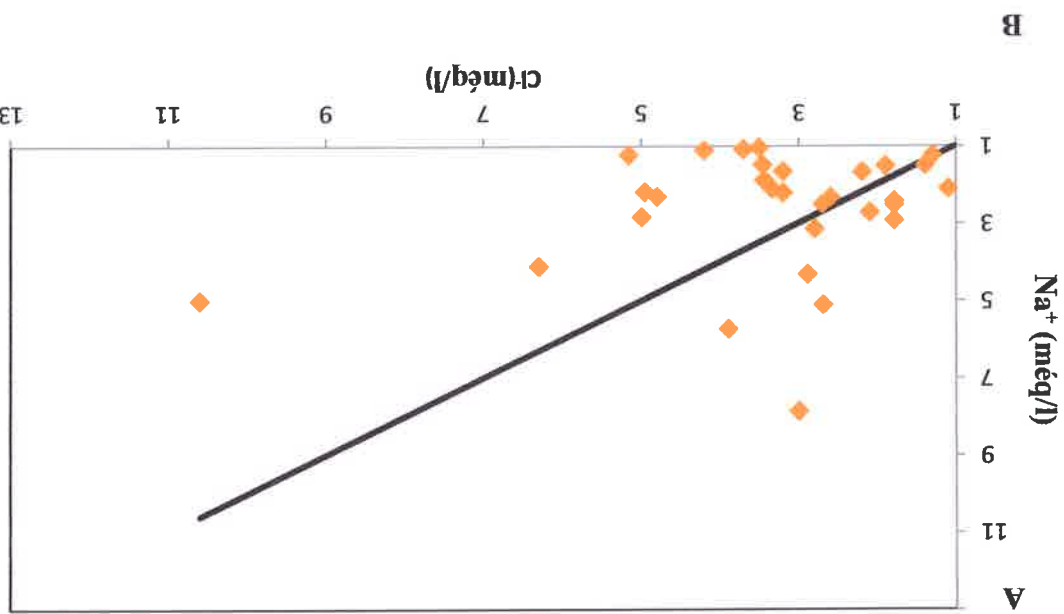


Figure 42. Echange de base.

■ Les éléments $Ca^{2+} - HCO_3^- - SO_4^{2-}$

On examine ici l'origine du calcium en fonction de deux éléments chimiques (bicarbonates et les sulfates). La représentation graphique de l'évolution du calcium en fonction des bicarbonates (figure 43. A et B) montre que l'origine du calcium peu avoir d'autres origines que les formations carbonatées, vu la sous-estimation et la sur-estimation des valeurs du calcium par rapport aux bicarbonates.

La représentation de l'évolution Ca^{2+} par rapport aux bicarbonates et les sulfates montre une sous-estimation pour la grande partie des points d'eau, indiquant une précipitation du calcium.

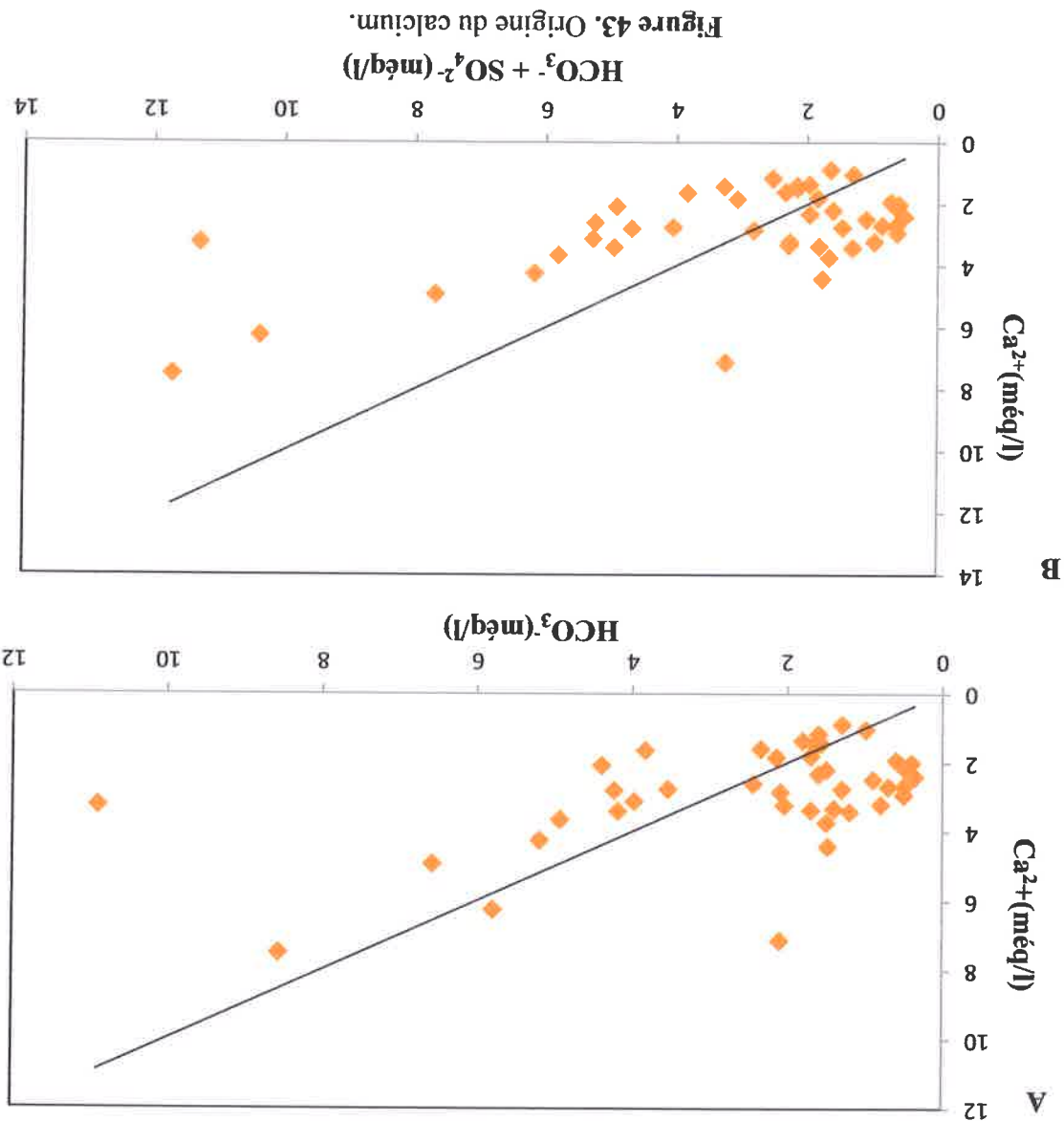


Figure 43. Origine du calcium.

IV.3.2.5. Interprétation de l'évolution spatiale des espèces nutritives

Toutes les formes d'azote (azote organique, ammoniacque, nitrates) sont susceptibles d'être à l'origine des formations des nitrates par un processus d'oxydation biologique des nitrates, soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniacque (NH_4^+), soit d'une réduction des

nitrites sous l'influence d'une action bactérienne (phénomène de dénitrification). Ces formations azotées peuvent également être d'origine agricole.

IV.3.2.5.1. Eaux de surface

a. Les nitrates (NO_3^-)

Les teneurs en NO_3^- de tous les oueds paraissent faibles durant toutes les deux campagnes de suivi de l'étude (cf. figure 44). Elles fluctuent entre une valeur minimale de l'ordre de 0 mg.l^{-1} pour l'oued Nil (ON4), 2.552 mg.l^{-1} pour l'oued Saayoud (OS1G) et 0.806 (OB1G) mg.l^{-1} pour l'oued Boukraa. Une teneur maximale de l'ordre de 3.898 (ON7), 18.26 (OS5) et 5.967 (OB1D) mg.l^{-1} successivement pour les trois oueds mais restent toujours dans l'intervalle des normes fixées par l'ABH (Agence de bassin hydrographique constantinois-Seybouse-mellegue, 2002) (5 à 25 mg.l^{-1}).

Les concentrations faibles en nitrates semblent appuyer l'hypothèse de la pauvreté en oxygène des eaux (milieu réducteur) conduisant à une mauvaise dégradation de la matière organique et l'accumulation de l'ammoniacque dans l'eau, d'où ses concentrations relativement élevées.

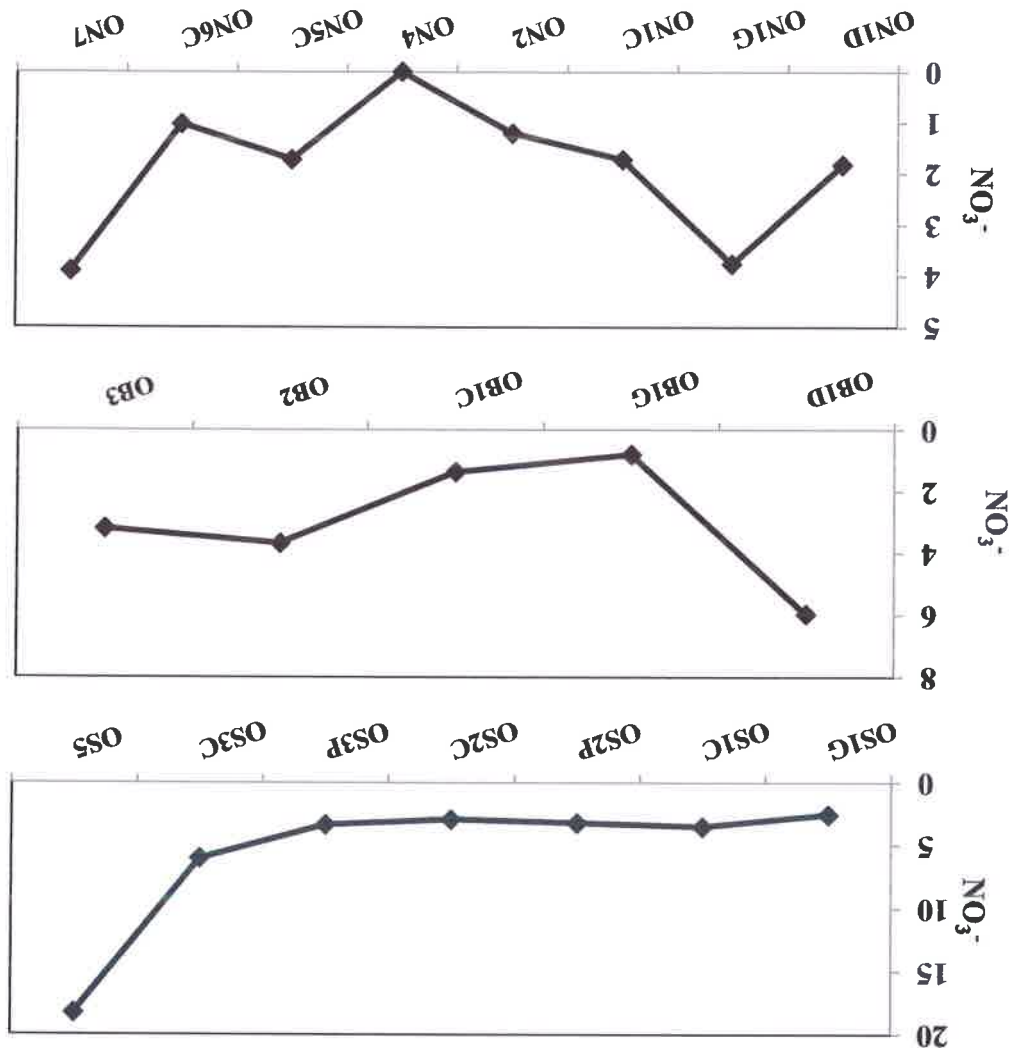


Figure 44. Evolution spatiale des nitrates dans les oueds (Saayoud, Boukraa et Nil) (Avril 2013).

b. L'ammonium (NH_4^+)

Les teneurs en azote ammoniacal paraissent faibles durant toute la période de l'étude (cf. figure 45). Elles fluctuent entre 0,0039 (OB1G) et 0,12 (OS2P) mg.l^{-1} dans l'oued Boukraa et saayoud, qui sont dans les normes ABH qui est de 0,5 mg.l^{-1} , par contre dans l'oued Nil toutes les stations sont dans les normes à part ON2 et ON7 (1 et 1,95 successivement) qui dépassent les normes à cause de leur situation près de l'agglomération de Chekta où la possibilité des rejets des eaux usées.

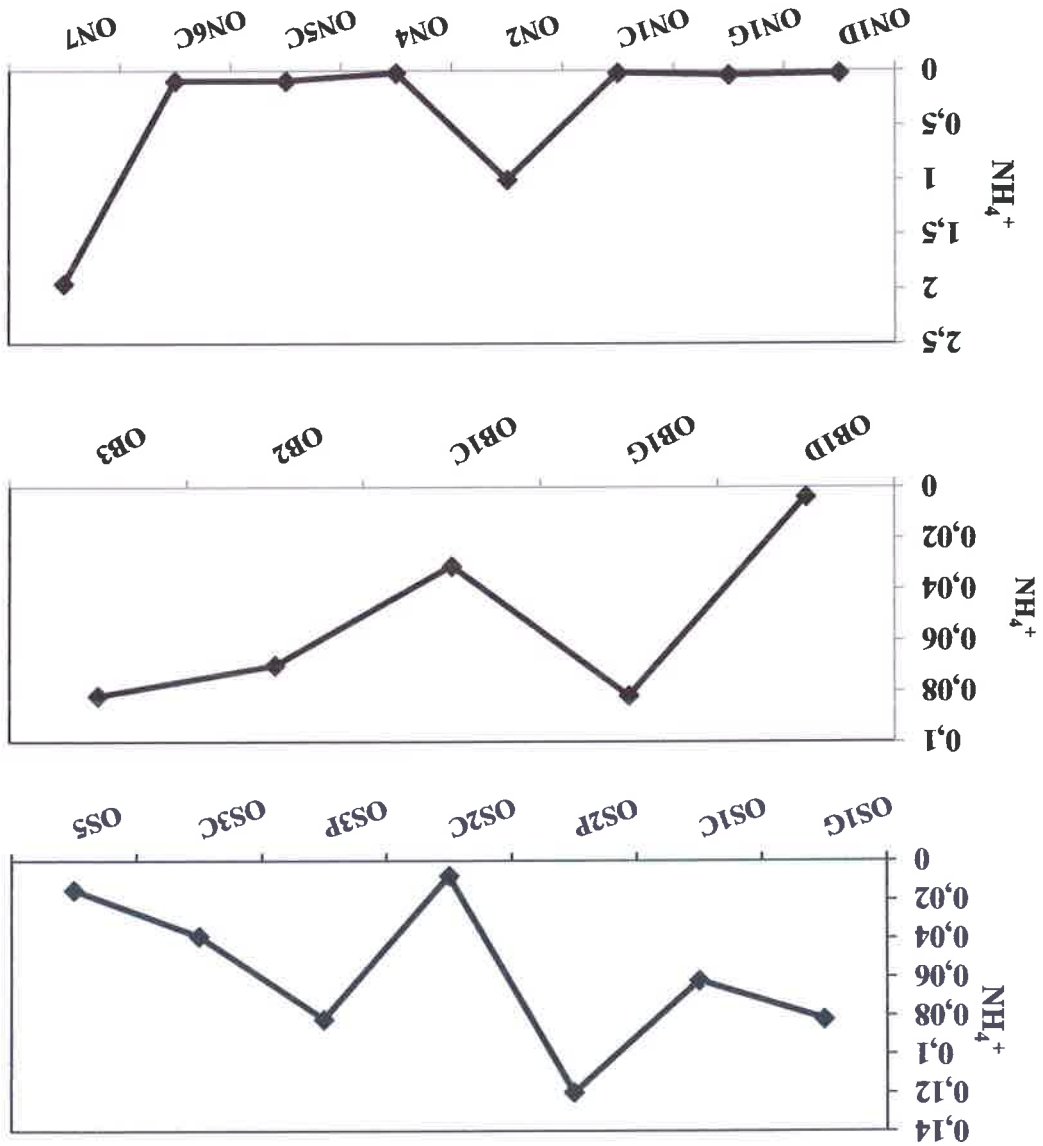


Figure 45. Evolution spatiale d'ammonium dans les oueds (Saayoud, Boukraa et Nil) (Avril 2013).

c. Orthophosphate (PO_4^3-)

Les résultats d'analyses obtenus montrent que les concentrations des phosphates sont presque nulles dans les trois oueds (cf. figure 46), ce qui nous semble paradoxal car même une eau de bonne qualité en renferme $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$ selon l'ABH.

L'explication qui nous semble la plus probable est que dans les eaux naturelles dont le pH varie de 5 à 8, le phosphore se trouve sous différentes formes oxydées, seules les formes $H_2PO_4^-$ et HPO_4^{2-} qui sont très solubles existent en quantité appréciable dans les eaux. Les autres formes dont les orthophosphates sont généralement, liées aux matières en suspension (Savary, 2003 ; Rodier, 1996).

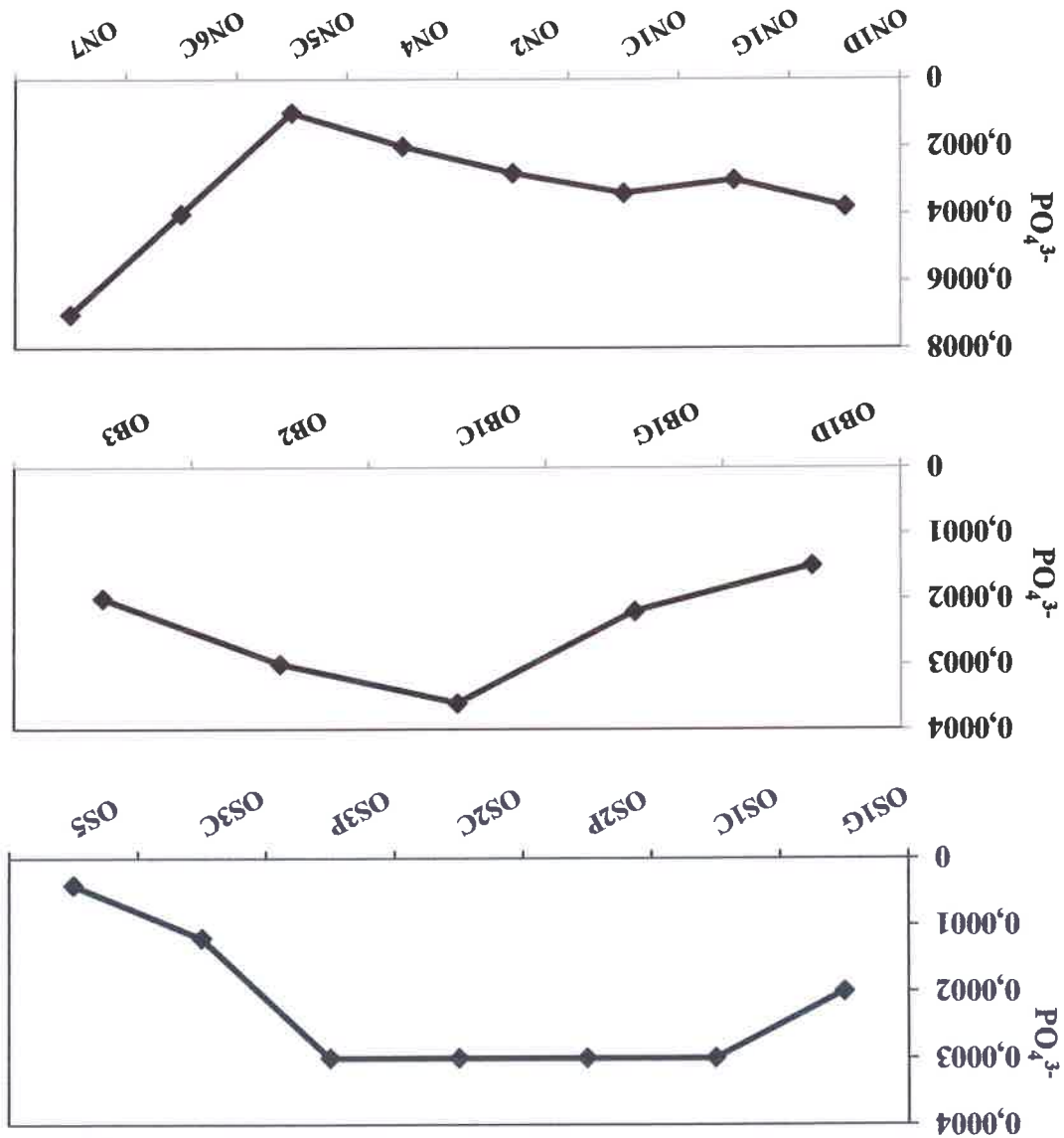


Figure 46. Evolution spatiale d'orthophosphate dans les oueds (Saayoud, Boukraa et Nil) (Avril 2013).

IV.3.2.5.2. Eaux souterraines

a. Nitrates (NO_3^-)

Toutes les eaux naturelles contiennent normalement des nitrates à des doses variant selon les saisons, les ions de nitrates se forment naturellement dans le cycle de l'azote. Les concentrations de nitrates d'origine naturelle dans les eaux souterraines sont généralement de quelques milligrammes par litre.

Les nitrates ont plusieurs origines, par l'entraînement provenant des engrais minéraux ou organique non utilisé par les plantes, ou d'origine ponctuelle par les rejets d'eau usée domestique, agricole ou industrielle.

L'examen de la carte (cf. figure 47) qui représente la distribution des nitrates, les valeurs varient 0 et 28,78 mg.l^{-1} , les valeurs sont dans les normes SEQ-Eau (<50 mg.l^{-1}).

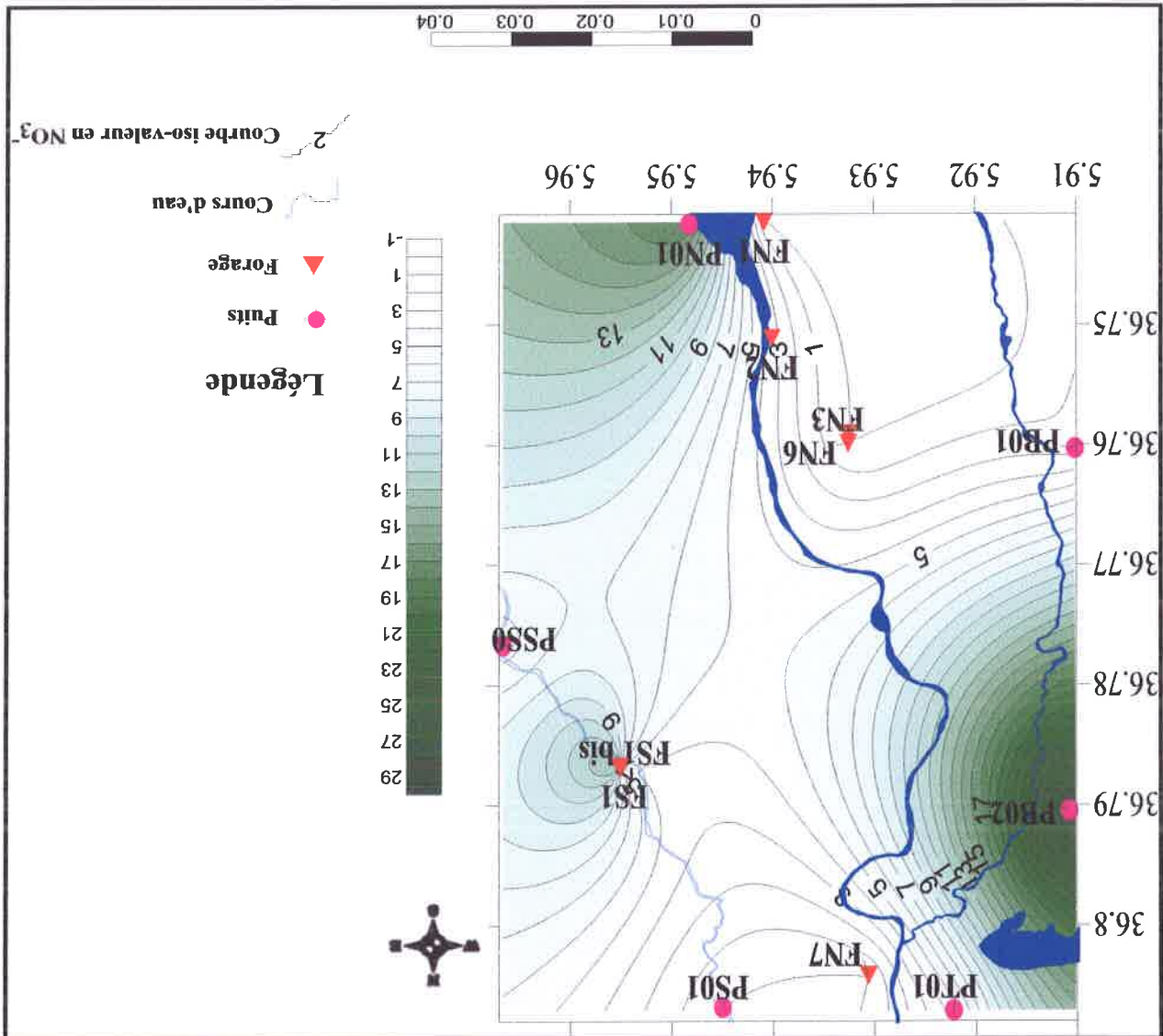


Figure 47. Carte isovaleurs des nitrates (Avril 2013).

b. Ammonium (NH₄⁺)

Dans les conditions naturelles, l'eau d'une nappe ne contient pas de composés azotés ; ceux-ci prévenant de la décomposition de la matière vivante par les organismes et ils restent en faible quantité (Potelon, 1998).

La figure 48 montre que les concentrations d'ammonium sont dans les normes SEQ-Eau (0,5 mg.l⁻¹) à part PS1, FN6 et FN7 qui dépassent les normes fixés avec des valeurs (1,15, 3,67, 2,85 mg.l⁻¹) successivement.

Ces concentrations élevées sont liées au phénomène de réduction, vu les faibles teneurs en oxygène dans ces points d'eau (figure 35).

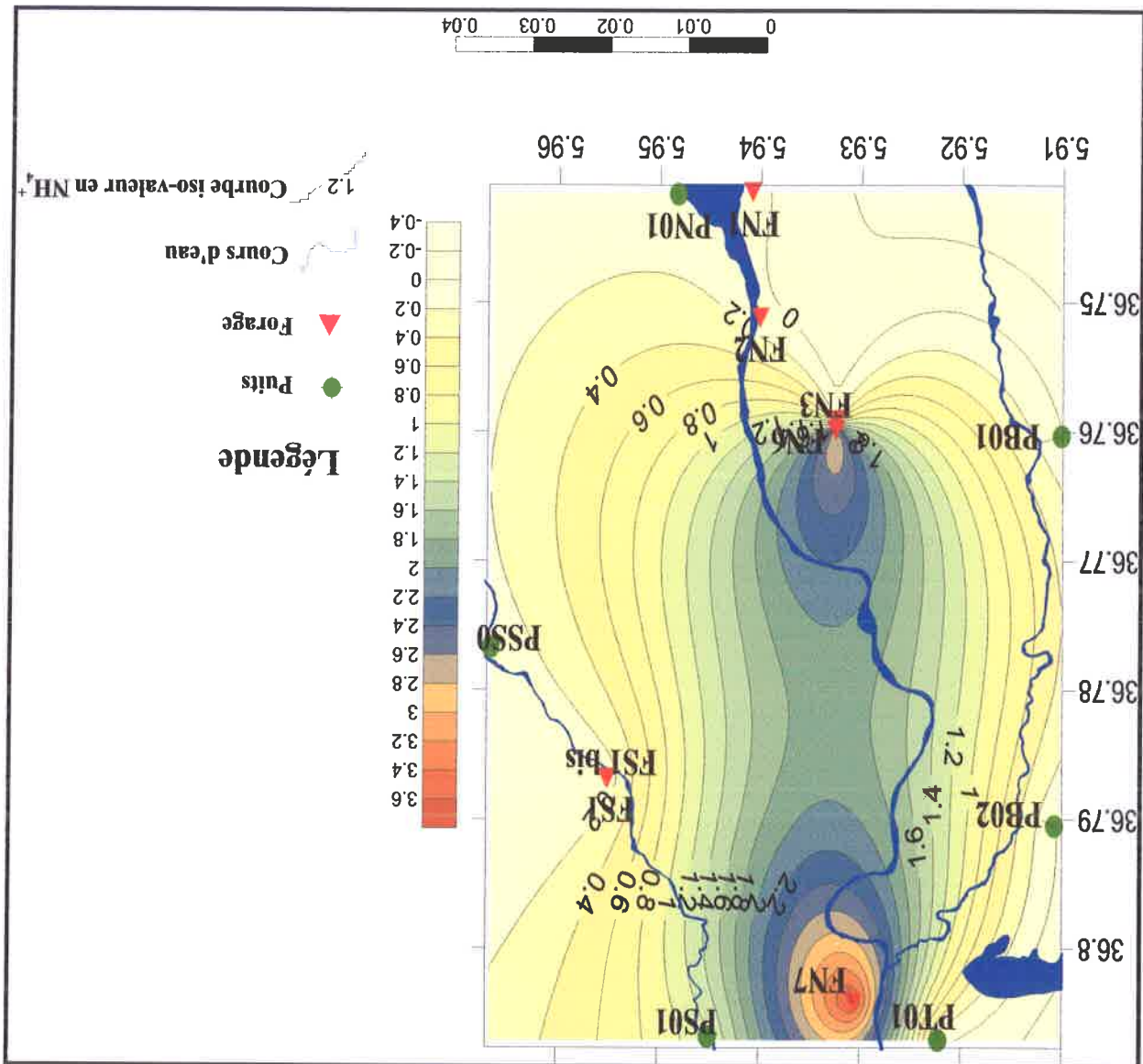


Figure 48. Carte d'isovaleurs d'ammonium (Avril 2013).

c. L'orthophosphate (PO_4^3-)

Les concentrations en orthophosphates enregistrées au niveau de stations étudiées sont presque nulles durant toute la période d'étude (cf. figure 49).

Cette situation semble être tout à fait normale car les phosphates sont inexistant dans les eaux souterraines, et leur présence est généralement un indice de pollution (Savary, 2003).

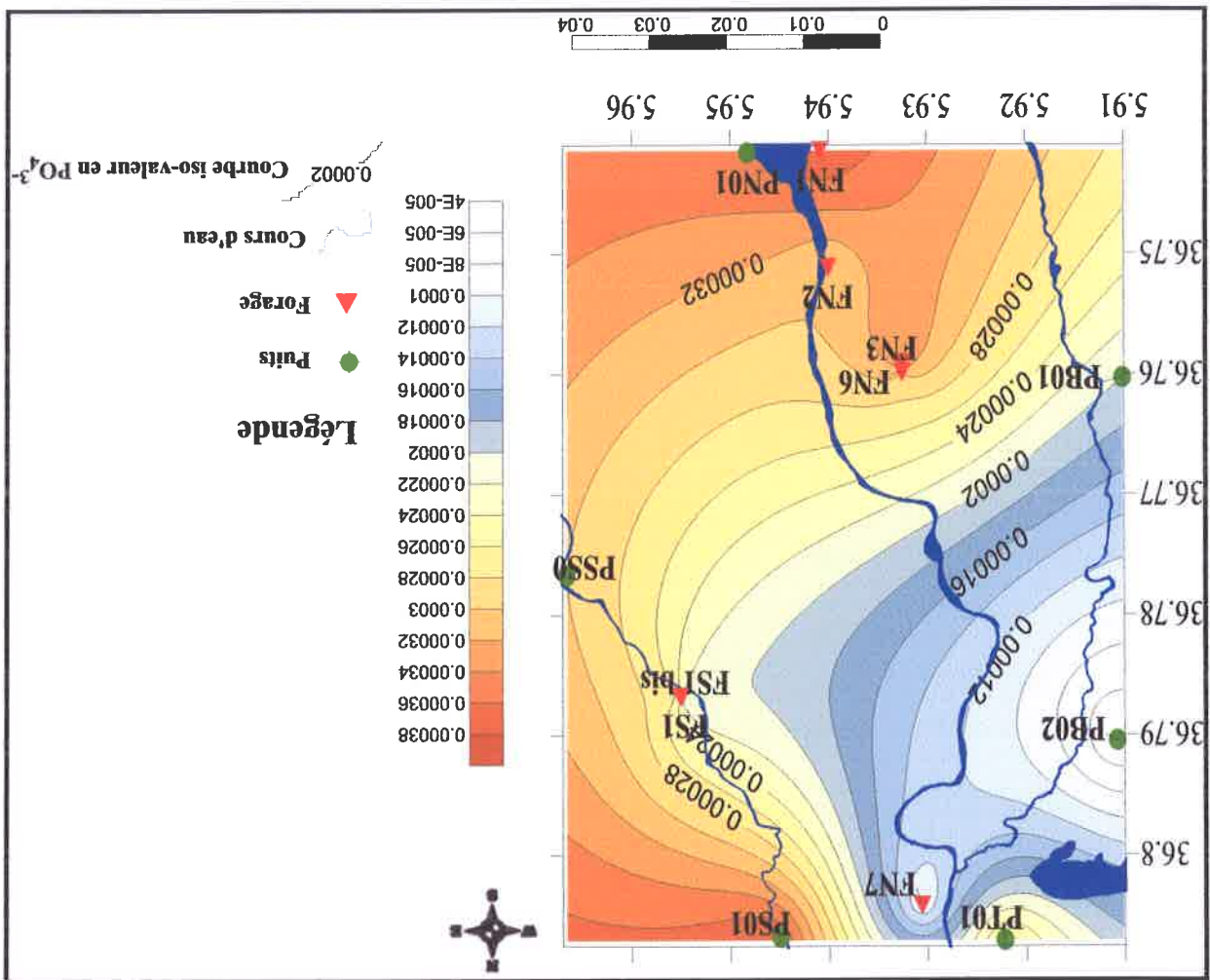


Figure 49. Carte isovaleur du phosphate (Avril 2013).

IV.4. Conclusion

L'étude hydrochimique a permis de cerner l'influence des paramètres physico-chimiques sur le chimisme des eaux, tout en apportant des renseignements sur l'origine des eaux et par conséquent sur les faciès chimiques variés (bicarbonate, chlorure) avec une dominance des bicarbonate calcique et magnésienne.

Enfin, nous pouvons avancer, à priori et de manière globale, que les eaux superficielles présentent une bonne qualité physico-chimique. Par contre dans les eaux souterraines, on a trouvé deux forage (FN6 et FN7) et un puits (PS1) qui présentent des concentrations élevées en ammonium, dues aux conditions réductrices du milieu.

Sur la base des résultats préliminaires obtenus, nous pouvons dire que la plupart des eaux superficielles présentent une bonne aptitude à la biologie et aux usages. La majorité des paramètres physico-chimiques ($T^{\circ}\text{C}$, pH, CE, O_2 dissous) et les sels nutritifs (NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-}) sont dans les normes recommandées par le SEQ-Eau et de l'ABH. Les eaux souterraines paraissent de manière générale, exemptent de contamination. La plupart des descripteurs physico-chimiques ($T^{\circ}\text{C}$, pH, CE, O_2 dissous) et les sels nutritifs (NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-}) sont dans les normes recommandées par le SEQ-Eau et de l'ABH. Cependant, nous signalons la présence d'une contamination par l'ammonium au niveau du puits PS1 et les forages FN6 et FN7. Sachant que cette pollution pourrait être attribuée aux conditions réductrices du milieu.

- Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne ;
- Chlorurée sodique et potassique (seulement dans la première campagne);
- Bicarbonatée calcique et magnésienne ;
- Bicarbonatée sodique et potassique.

La présentation des analyses chimiques sur le diagramme de Piper, nous a permis de déterminer quatre faciès chimiques pour la première campagne et trois pour la deuxième campagne, qui sont :

L'analyse statistique des données (ACP) a mis en évidence plusieurs groupes d'éléments chimiques : le groupe de (SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Na^+), indiquant une origine évaporitique et (HCO_3^- et Ca^{2+}), indiquant une origine carbonatée.

L'écoulement général des eaux se fait du Sud vers le Nord. Du point de vue hydrochimique, les eaux de la plaine sont caractérisées par une faible minéralisation avec des valeurs de la conductivité inférieures à $1800 \mu\text{S/cm}$.

Du point de vue hydroclimatologique, la région est soumise à un climat subhumide à humide avec une température moyenne annuelle de $20,77^{\circ}\text{C}$. Les précipitations moyennes sont de l'ordre de $967,11 \text{ mm/an}$, dont $57,38\%$ sont reprises par l'évapotranspiration.

Du point de vue géologique et géophysique la nappe se trouve dans les alluvions Quaternaires, essentiellement des sables et des graviers. Par contre les terrains du socle sont essentiellement des schistes et phyllades.

La présente étude s'est effectuée sur l'hydrochimie des eaux superficielles et souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil (wilaya de Jijel). Cette plaine côtière est caractérisée par un climat méditerranéen et par une activité agricole importante.

Conclusion générale

- Après avoir abordée cette approche hydrochimique et pour une meilleure gestion et protection des ressources en eau, il est recommandé de respecter les dispositions suivantes :
- ✓ d'installer des piézomètres et surtout près des berges des oueds, afin de surveiller en permanence l'évolution de la qualité des eaux ;
 - ✓ réaliser un traitement préalable des rejets avant qu'ils atteignent les oueds et mettre en place un réseau d'assainissement d'eau usées afin d'éviter la contamination directe de la nappe;
 - ✓ d'éviter l'implantation des ouvrages d'A.E.P au niveau des berges des oueds, car cela produirait un abaissement du niveau piézométrique dans l'ouvrage et un écoulement des eaux de l'oued vers la nappe, ce qui amènerait une modification de la qualité des eaux.
 - ✓ Concernant l'agriculture, il est conseillé de limiter l'utilisation intensive des engrais chimiques dans les sols à forte perméabilité afin de limiter l'infiltration des éléments chimiques dans la nappe (mener une étude agro-pédologique) ;
 - ✓ prélever des échantillons d'eau dans les sources, les puits et les forages pour suivre l'évolution de la qualité chimique des eaux ;
 - ✓ une surveillance accrue de la pollution des eaux en localisant des périmètres de protection près des zones sensibles à la pollution.

Recommandations

Références bibliographiques

- ABH, 2002. Agence de bassin hydrographique constantinois-Seybouse-mellegue.
- Agence Française de l'Eau, 2003. Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau (version 2).
- Agence Française de l'Eau, 2003. Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines (version 0.1).
- AESN, 2005. L'eau sur la terre réalisée par l'agence de l'eau Seine Normandie, 26p.
- Affou S., 2006. Ressources en eaux, mobilisation et utilisation dans le bassin versant de la Mafragh, Mémoire de Magister, Université Mentouri-Constantine, 187 p.
- ALGEO, 1979. Prospections géophysiques dans la plaine alluviale d'Oued Nil.
- Angelier E., 2000. écologie des eaux courantes, Edition TEC et DOC, Paris, 198 p.
- Beaudouard L., Gueuné M., 2009. Les cours du CNED 137P.
- Bechac J.P., 1983. Traitement des eaux usées, Edition Eyrolles, 34p.
- Bechkit M., 2005. Etude hydrogéologique de la plaine d'Oued El Nil, Mémoire d'ingénieur d'état en géologie, Université Mentouri-Constantine, 181p.
- Belkhir L., 2011. Etude de la pollution des eaux souterraines : cas de la plaine d'Ain Azel-Est Algérien, Thèse de doctorat, Université de Batna, 2p.
- Berkane S., 2011. Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique de la plaine alluviale d'Oued Nil, Mémoire d'ingénieur d'état en géologie, Université de Constantine, 167p.
- Bordet J., 2007. L'eau dans son environnement rural : hydraulique et cycle de l'eau, l'alimentation en eau potable, l'assainissement des agglomérations, Edition johanet, Paris, 309p.
- Bouadjel H., Askri A., 2010. Etude géologique et géotechnique du P.O.S de la zone extra-portuaire Djen-Djen (Taher), Wilaya de Jijel, Algérie, Mémoire de Master, Université de Jijel, 60p.
- Boudoukhana H., 2008. Impacts des margines sur les eaux d'Oued Bouchata, mémoire de magister, wilaya de Skikda, 101p.
- Brière F.G., 2000. Distribution et collecte des eaux, Montréal, 2^{ème} Edition, revue et corrigée, 123p.
- Cardot C., 1999. Les traitements de l'eau, procédés physico-chimiques et biologiques, Edition Marketing ellipses, Paris, 11p
- Chapmane D, Kimstache V., 1996. Selection of water quality variables, 2^e edition, London, 126p.
- Collin J.J., 2004. Les eaux souterraines, connaissance et gestion, Edition BRGN, France, 56p.
- Dajoz R, 2006. Précis d'écologie, 8^e édition DUNOD, Paris, 631 p.
- D.H.W., 2012. Direction hydraulique de la wilaya de Jijel.

- Gajous D., 1995.** La pollution des milieux aquatiques, aide mémoire. Edition Tec et Doc, paris, 220 p.
- Kirat S., 2007.** les conditions d'émergence d'un système d'élevage spécialisé en engraissement et ses conséquences sur la redynamisation de l'exploitation agricole et sur la filière des viandes rouges bovines-Cas de la wilaya de Jijel, en Algérie, Thèse de master of science. Institut agronomique méditerranéen de Montpellier, 20p.
- Leemans M., Bawin C., Bellon J., 2002.** Livre bleu (tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur l'eau potable et l'assainissement des eaux usées, 2ème Edition, Berlin, 72p.
- Lehtihet A.M., 1983.** étude hydrogéologique de la plaine alluviale de l'Oued Nil (région de Jijel), Mémoire d'ingénieur, Université d'Alger, 67p.
- Maoui K et Meddour Ch., 2013.** Etude hydrogéophysique de la plaine alluviale d'Oued El Nil (Jijel-Algérie), Mémoire de Master 2, STU, Université de Jijel, p 48.
- OMS, 1994.** : Organisation Mondiale de la Santé.
- O.N.M., 2013.** Office national de la station météorologique.
- Patrick S., 2003.** Guide des analyses de la qualité de l'eau, Edition Techni-cités, 109p.
- Potolon J.L., 1998.** Le guide des analyses de l'eau potable, Edition la lettre du cadre territorial, France, 253p.
- Ramade F., 2000.** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et de l'environnement, Edition Ediscience internationale, Paris, 516p.
- Rejssek F., 2002.** Analyse des eaux, Aspects réglementaire et techniques. Edition CRDP d'aquitaine, Scèren, France, 420p.
- Rodier J., 1978.** Analyse chimiques et physique de l'eau, Edition Dunod, Paris, 1030 p.
- Rodier J., 1996.** Analyse des eaux naturelles et des eaux résiduaires et eaux des mers 8e édition Dunod, Paris, 1383 p.
- Rodier J., 2005.** l'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, Edition Dunod, Paris, 1320 p
- Saighi R., 2002.** Différents filières de traitements des eaux, université IBN Zohr école nationale des sciences appliquées d'Agadir, 150 p.
- Savary P., 2003.** Guides des analyses de la qualité de l'eau. Editions Techni Cités, France. 283p.

Annexe I : Données climatiques

Précipitations moyennes mensuelles [1991-2008] (O.N.M. d'Achouat)

Mois	P (mm)
Sep	60,67
Oct	86,83
Nov	145,67
Déc	189,4
Jan	123,5
Fev	108,61
Mar	87,89
Avr	78,72
Mai	54,06
Jun	14
Jul	3,72
Aou	14
annuelle	80,59

Températures moyennes mensuelles [1991-2008] (O.N.M. d'Achouat)

Mois	T °C
Sep	26,43
Oct	23,26
Nov	18,25
Déc	15,34
Jan	14,23
Fev	14,28
Mar	16,21
Avr	17,93
Mai	21,21
Jun	25,22
Jul	27,88
Aou	29,06
annuelle	20,77

Humidités relatives moyennes mensuelles [1991-2008] (O.N.M. d'Achouat)

Mois	Humidité (%)
Sep	77,67
Oct	75,11
Nov	76,56
Déc	77,5
Jan	78,1
Fev	77,6
Mar	76,56
Avr	75,7
Mai	79,8
Jun	74,2
Jul	72,3
Aou	71,17
annuelle	76,01

L'évaporation moyenne mensuelle [1991-2008] (O.N.M. d'Achouat)

Mois	Exp (mm)
Sep	92,61
Oct	75,17
Nov	60,39
Déc	52,39
Jan	52,28
Fev	49,44
Mar	59,61
Avr	63,06
Mai	66,89
Jun	86
Jul	103,78
Aou	110,78
annuelle	72,68

Annexes 2: Résultats des analyses

I - Résultats des analyses chimiques (2004-2005)

Nom	x	y	pH	σ à 20°C	Unité	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
3	787,6	394,4	6,2	821	mg/l	52,1	14,88	99,13	148,84	135	102,95
					még/l	2,6	1,24	4,31	2,44	2,81	2,9
6	788,45	394,1	6,8	1001	mg/l	64,92	38,4	181,01	664,9	20	106,5
					még/l	3,24	3,2	7,87	10,9	0,41	3
7	788,1	395,65	6,6	777	mg/l	98,59	25,92	62,56	401,38	54	74,55
					még/l	4,92	2,16	2,72	6,58	1,12	2,1
11	789,07	395,28	6,05	645	mg/l	56,91	18,24	38,18	127,49	35	113,6
					még/l	2,84	1,52	1,66	2,09	0,73	3,2
17	791,3	397,03	6,65	688	mg/l	84,96	19,2	72,22	317,2	47	99,4
					még/l	4,24	1,6	3,14	5,2	0,98	2,8
23	789,99	392,75	6,55	541	mg/l	72,94	15,36	34,73	301,34	42	67,45
					még/l	3,64	1,28	1,51	4,94	0,87	1,9
28	788,25	393,1	6,65	368	mg/l	32,86	13,92		234,24		46,155
					még/l	1,64	1,16		3,84		1,3
33	790,545	391,35	7,1	330	mg/l	56,11	6,72	51,29	258,64	22	31,95
					még/l	2,8	0,56	2,23	4,24	0,45	0,9
35	790,325	389,33	7,25	526	mg/l	62,52	17,28	57,96	242,78	62	63,9
					még/l	3,12	1,44	2,525	3,98	1,3	1,8
39	790,475	387,45	6,9	1014	mg/l	149,89	21,96	117,3	522,16	152	95,85
					még/l	7,49	1,83	5,1	8,56	3,16	2,7
43	789,1	390,53	6,45	449	mg/l	55,31	14,4	34,5	215,94	25	49,7
					még/l	2,76	1,2	1,5	3,54	0,52	1,4
48	787,15	391,18	6,9	296	mg/l	32,06	10,56		142,74		28,4
					még/l	1,6	0,88		2,34		0,8
50	786,25	390,61	7,4	449	mg/l	68,13	6,72	48,3	255,59	37	39,05
					még/l	3,4	0,56	2,1	4,19	0,77	1,1
53	787,75	390,56	5,85	478	mg/l	23,24	18,72	57,73	97,6	45	95,85
					még/l	1,16	1,56	2,51	1,6	0,93	2,7
57	788,65	387,3	6,5	275	mg/l	36,87	7,2	30,59	130,54	45	24,85
					még/l	1,84	0,6	1,33	2,14	0,93	0,7
61	788,2	385,43	6,2	713	mg/l	64,52	19,92	25,07	124,44	11	131,35
					még/l	3,22	1,66	1,09	2,04	0,23	3,7
62	787,2	385,98	6	426	mg/l	28,85	14,4	55,89	95,77	82	63,9
					még/l	1,44	1,2	2,43	1,57	1,7	1,8
64	786,6	387,28	7,25	256	mg/l	29,65	5,76	28,06	100,04	25	31,95
					még/l	1,48	0,48	1,22	1,64	0,52	0,9
66	786,475	388,86	6,7	214	mg/l	28,05	2,88	32,66	100,04	25	31,95
					még/l	1,4	0,24	1,42	1,64	0,52	0,9
69	785,6	392,68	5,8	423	mg/l	17,65	12,48	53,59	79,3	17	92,3
					még/l	0,88	1,04	2,33	1,3	0,35	2,6
72	789,8	393,05	6,75	1010	mg/l	125,04	27,72	131,56	353,8	220	138,45
					még/l	6,25	2,31	5,72	5,8	4,58	3,9

2- Résultats des analyses chimiques (2010-2011)

Nom	X	Y	PH	σ(µs/cm)	Unité	Ca	Mg	Na	Cl	SO ₄	HCO ₃
F3	761025	4074708	6,4		mg/l	49,7	24,18	7,36	31,95	20	213,5
F4	760582	4075988	6,7		mg/l	53,71	3,29	65,09	17,75	14	305
F5	761445	4077158	6,6	384,8	mg/l	38,48	6,19	3,91	21,3	12	107,36
P2	761320	4073519	6,3	483,5	mg/l	44,09	12,91	43,47	53,25	11	209,84
P3	760976	4073304	6	444,82	mg/l	2,20	1,08	1,89	1,5	0,11	3,44
P3	760976	4073304	6	444,82	mg/l	27,25	15,81	38,41	63,9	17	134,2
P4	761078	4072987	6,1	537,6	mg/l	1,36	1,32	1,67	1,8	0,18	2,2
P4	761078	4072987	6,1	537,6	mg/l	46,49	14,83	48,53	56,8	35	203,74
P5	760224	4072998	5,9	300,39	mg/l	2,32	1,24	2,11	1,6	0,36	3,34
P5	760224	4072998	5,9	300,39	mg/l	20,84	7,66	28,52	35,3	30	79,3
P6	760584	4073723	6,2	895,16	mg/l	1,04	0,64	1,24	0,99	0,31	1,3
P6	760584	4073723	6,2	895,16	mg/l	41,68	26,83	67,16	156,2	50	109,8
P7	759998	4073937	6,7	1170,07	mg/l	2,08	2,24	2,92	4,4	0,52	1,8
P7	759998	4073937	6,7	1170,07	mg/l	142,68	34,39	114,77	74,55	110	646,6
P9	760743	4074470	6,4	676,9	mg/l	48,1	23,94	3,91	12,65	15	237,9
P9	760743	4074470	6,4	676,9	mg/l	7,13	2,87	4,99	2,1	1,15	10,6
P10	760446	4074589	6,9	581,4	mg/l	74,55	24,39	28,29	53,25	16	314,76
P10	760446	4074589	6,9	581,4	mg/l	3,73	2,03	1,23	1,5	0,17	5,16
P13	762079	4076773	6,1	557,96	mg/l	66,53	10	50,83	49,7	85	195,2
P13	762079	4076773	6,1	557,96	mg/l	3,33	0,83	2,21	1,4	0,89	3,2
P14	762527	4076628	6,5	483,5	mg/l	55,11	10,13	34,27	46,15	16	211,06
P14	762527	4076628	6,5	483,5	mg/l	2,76	0,84	1,49	1,3	0,17	3,46
P15	762063	4076281	6,5	552,9	mg/l	67,33	12,4	24,15	60,35	12	213,5
P15	762063	4076281	6,5	552,9	mg/l	3,37	1,03	1,05	1,7	0,13	3,5
P18	761782	4076868	6,1	347,4	mg/l	36,07	32,12	53,13	60,35	14	292,8
P18	761782	4076868	6,1	347,4	mg/l	1,80	2,68	2,31	1,7	0,15	4,8
P19	761470	4072171	6,8	394,42	mg/l	58,52	7,13	50,37	17,75	12	302,56
P19	761470	4072171	6,8	394,42	mg/l	2,93	0,59	2,19	0,5	0,13	4,96
P20	761590	4074436	6,4	453,55	mg/l	53,71	18,17	2,53	24,85	15	201,3
P20	761590	4074436	6,4	453,55	mg/l	2,69	1,51	0,11	0,7	0,16	3,3
P21	761986	4073736	6,4	791,3	mg/l	88,18	14,29	3,45	52,7	28	224,48
P21	761986	4073736	6,4	791,3	mg/l	4,41	1,19	0,15	1,48	0,29	3,68
P22	761507	4073720	6,6	308,8	mg/l	42,48	10,03	94,53	17,75	13	384,3
P22	761507	4073720	6,6	308,8	mg/l	2,12	0,84	4,11	0,5	0,14	6,3
P23	761869	4073102	6,5	327,08	mg/l	40,08	8,59	2,76	14,2	19	124,44
P23	761869	4073102	6,5	327,08	mg/l	2,00	0,72	0,12	0,4	0,20	2,04
O.NII			7,5	562,02	mg/l	68,14	17,2	6,67	42,6	11	225,7
O.NII			7,5	562,02	mg/l	3,41	1,43	0,29	1,2	0,11	3,7
O.Boukraa			7,2	541,52	mg/l	64,13	12,4	25,53	28,4	17	256,2
O.Boukraa			7,2	541,52	mg/l	3,21	1,03	1,11	0,8	0,18	4,2

1- Dosage de l'ammonium (NH₄⁺)

➤ Prélèvement

Conserver l'échantillon à 4°C et effectuer le dosage le plus rapidement possible après le prélèvement dans un délai ne dépassant pas 48 heures.

➤ Matériel spécial

Laver la verrerie avec une solution d'acide chlorhydrique à 5%, la rincer à l'eau distillée.

➤ Réactifs

Utiliser pour la préparation des réactifs de l'eau fraîchement distillée.

- solution chlorée :

Hydroxyde de sodium en pastilles.....20 g

Citrate trisodique.....380 g

Acide dichloroacétique.....1000 ml

Dissoudre l'hydroxyde de sodium et le citrate trisodique dans 800 ml d'eau environ. Porter la solution à ébullition, maintenir celle-ci pendant 20 minutes.

Après refroidissement, ajouter l'acide dichloroacétique et ajuster le volume à 1000 ml. Conserver cette solution au réfrigérateur.

- solution de nitroprussiate et de phénol :

Phénol.....35 g

Nitroprussiate de sodium.....0,4 g

Eau distillée.....1000 ml

Transvaser cette solution dans un flacon de verre brun et la conserver au réfrigérateur.

- solution mère étalon à 100 mg.l⁻¹ d'ions ammonium :

Chlorure d'ammonium.....297 mg

➤ **Mode opératoire**
 Introduire dans une fiole conique de 100 ml, 20 ml d'eau à analyser puis poursuivre le dosage comme pour la courbe d'étalonnage. Préparer de la même façon un témoin avec 20 ml d'eau.

Agiter et placer les fioles à l'obscurité pendant 6 heures au moins. Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 630 nm. Construire la courbe d'étalonnage.

1 ml de solution de nitroprussiate de sodium et de phénol ;

Dans une série de fioles coniques de 100 ml numérotées, introduire 20 ml de chacune des dilutions ci-dessus, ajouter rapidement dans chaque tube :

N° des fioles	Solution fille étalon à 1 mg/l d'ammonium (ml)	Eau distillée (ml)	Correspondance en mg/l d'ammonium
T	0	100	0
1	1	100	0.01
2	2	100	0.02
3	5	100	0.05
4	10	100	0.10
5	15	100	0.15
6	20	100	0.20

Dans une série de fioles jaugées de 100 ml, numérotées, préparer une série de dilutions.

➤ **Établissement de la courbe d'étalonnage**

Diluer la solution mère au 1/100. Préparer cette solution au moment de l'emploi.

- solution fille étalon à 1mg.l⁻¹ d'ions ammonium

Eau distillée.....1000 ml

2-Dosage des nitrates (NO_3^-) (méthode par spectrophotométrie d'absorption moléculaire)

■ Matériels utilisés

- ✓ Les béchers
- ✓ Les pipettes
- ✓ Les pipeteurs
- ✓ Les spatules
- ✓ La balance
- ✓ Le spectrophotomètre
- ✓ Le bain-sable
- ✓ La cuve

■ Réactifs

- ✓ Solution de salicylate de sodium à 1%.
- ✓ Acide sulfurique concentré ($d = 1,84$).
- ✓ Solution d'hydroxyde de sodium :

- Hydroxyde de sodium..... 20 g.

-Sel disodique de l'EDTA.....5 g

-Eau permutée..... q.s.p. 100 ml.

DiSSoudre avec précaution l'hydroxyde de sodium dans 80 ml d'eau permutée ; ajouter le sel sodique EDTA. Après dissolution et refroidissement, transvaser la solution dans une fiole jaugée ajusté le volume à 100 ml.

✓ Solution d'azote de sodium :

- Azote de sodium..... 50 mg.

- Eau permutée..... q.s.p. 100 ml.

✓ Solution mère étalon d'azote nitrique à 100 mg/l :

- nitrate de potassium anhydre 72,2 mg.

- eau permutée..... q.s.p. 100 ml.

✓ Solution fille étalon d'azote nitrique à 5 mg/L.

Amener 5 ml de la solution mère à 100 ml avec de l'eau permutée.

- Mode opératoire

1. Etablissement de la courbe d'étalonnage

✓ Dans une série de béchers de 50 ml, introduire successivement :

N° des fioles	Solution fille étalon d'azote		Eau permutée (ml)	Correspondance en mg/l d'azote nitrique	Solution d'azote de sodium		Acide acétique (ml)
	nitrique 5 mg/l (ml)	nitrique 5 mg/l (ml)			sodium (ml)	sodium (ml)	
T	0	0	10	0	0.5	0.2	0.2
1	1	1	9	0.5	0.5	0.2	0.2
2	2	2	8	1	0.5	0.2	0.2
3	5	5	5	2.5	0.5	0.2	0.2
4	10	10	0	5	0.5	0.2	0.2

Attendre 5 minutes puis évaporer à sec dans une étuve Portée à 75-80 °C. Ajouter 1 ml de solution de salicylate de sodium, mélangé puis évaporer. Laisser refroidir. Reprendre le résidu par 1 ml d'acide sulfurique concentré ayant soin de l'humecter complètement. Attendre 10 minutes, ajouter 15 ml d'eau permutée puis 10 ml de solution d'hydroxyde de sodium qui développe la couleur jaune. Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 415 nm. Soustraire des unités d'absorbance, lues pour les étalons, la valeur relevée pour le témoin. Construire la courbe d'étalonnage.

2. Essai

➤ Introduire 10 ml d'eau dans une capsule de 50. Alcaliniser faiblement avec la solution d'hydroxyde de sodium. Poursuivre le dosage comme pour la courbe d'étalonnage.

3. Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 10 ml, la courbe donne directement la teneur en azote nitrique exprimée en milligrammes par litre d'eau. Pour obtenir la teneur en nitrate (NO_3), multiplier ce résultat par 4,43.

4- Dosage des orthophosphates (PO_4^{3-})

➤ Réactifs

- Solution d'acide sulfurique ($d = 1,84$) à 15 % environ en volume.
- Solution de molybdate d'ammonium à 40 g.l^{-1} .
- Filter si nécessaire, à conserver en flacon de polyéthylène à 4°C .

- Solution d'acide ascorbique à 20 g.l^{-1} :

- acide ascorbique..... 2 g.

- eau permutée..... q.s.p. 100 ml.

A préparer chaque jour

- Solution de tartrate double d'antimoine et de potassium à $2,8 \text{ g.l}^{-1}$:

- tartrate double d'antimoine et de potassium 0,28 g.

- eau permutée q.s.p. 100 ml

- Réactif :

- solution d'acide sulfurique..... 50 ml.

- solution de tartrate double d'antimoine et de potassium..... 5 ml.

- solution de molybdate d'ammonium..... 15 ml.

- eau permutée..... q.s.p. 100 ml.

Conserver le réactif au réfrigérateur à 4°C .

- Solution mère étalon à 50 mg.l^{-1} de phosphore

- dihydrogénophosphate de potassium desséché au préalable à l'étuve à 100°C ... 219,7 mg

- eau distillée..... q.s.p. 100 ml.

Acidifier la solution par 1 ml d'acide sulfurique à 15 % avant d'ajuster le volume.

- Solution fille étalon à 1 mg.l⁻¹ de phosphore

Diluer au 1/50 la solution précédente avec de l'eau permutée au moment de l'emploi.

▪ Etablissement de la courbe d'étalonnage

Introduire dans une série de fioles jaugées de 25 ml :

N° des fioles	solution étalon de phosphore à 1mg (ml)	Eau distillée (ml)	Correspondance en mg de phosphore
T	0	20	0
1	1	19	0.001
2	5	15	0.005
3	10	10	0.010
4	15	5	0.015
5	20	0	0.020

Introduire dans chaque fiole 1 ml de solution d'acide ascorbique, agiter, puis ajouter 4 ml de réactif, mélanger soigneusement, compléter éventuellement le volume à 25 ml. Attendre 30 minutes la stabilisation de la coloration et effectuer les mesures au spectromètre à la longueur d'onde de 700 ou 800 nm en cuve de 1 cm. Construire la courbe d'étalonnage.

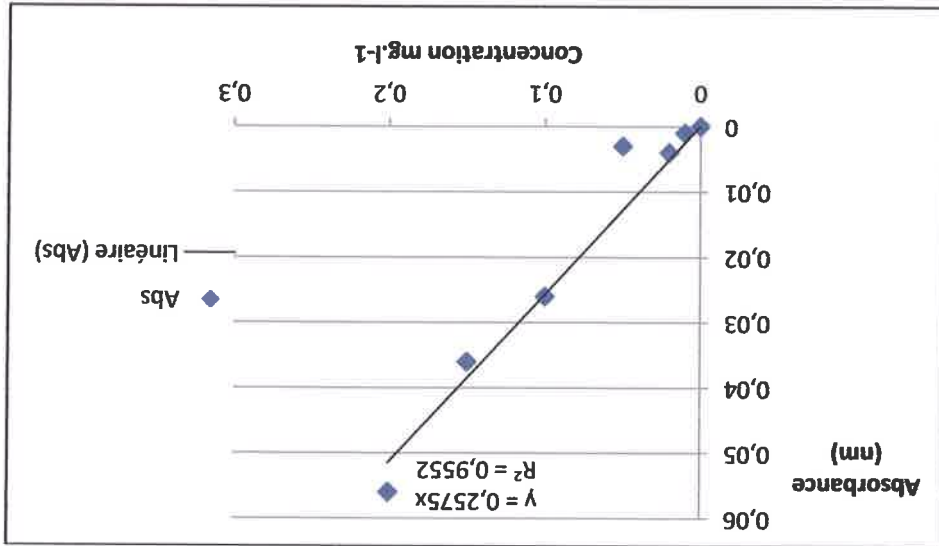
▪ Essai

Vérifier le pH de l'échantillon qui doit être compris entre 2 et 7, l'ajuster si nécessaire. Introduire 20 ml d'eau dans une fiole jaugée de 25 ml, ajouter 1 ml de solution d'acide ascorbique puis poursuivre comme pour l'établissement de la courbe d'étalonnage. Tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

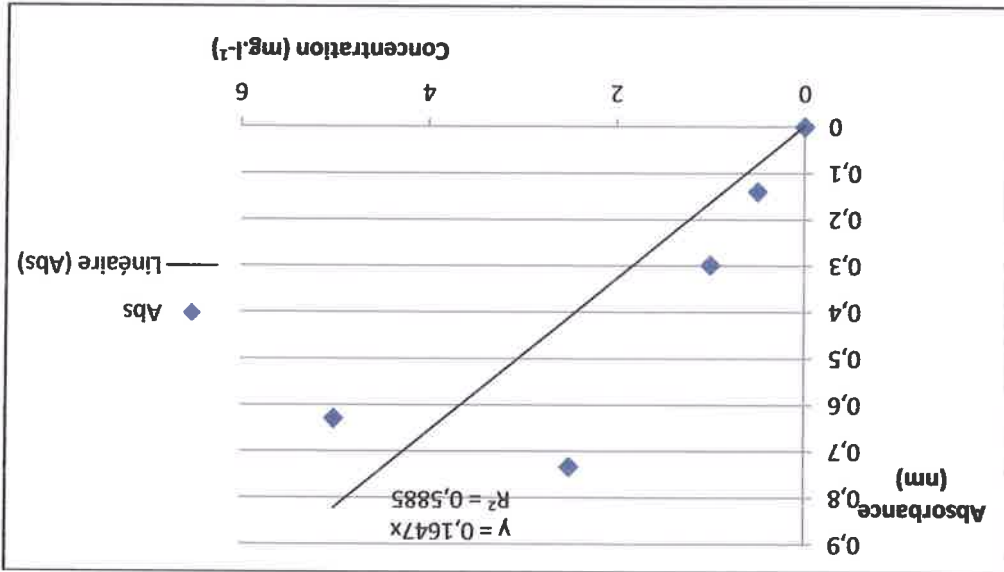
▪ Expression des résultats

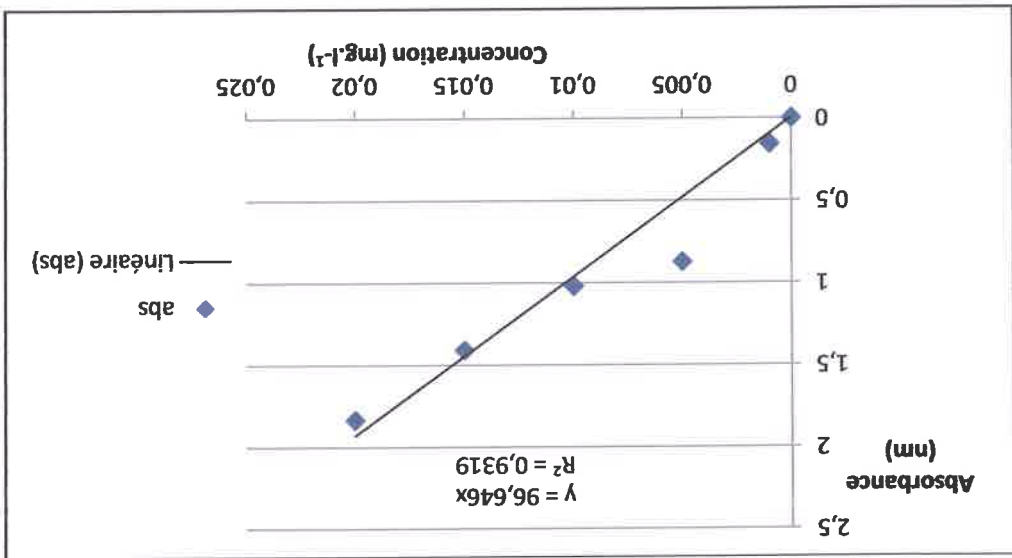
La courbe donne la teneur en phosphore, exprimée en milligrammes pour la prise d'essai.

1- Courbe d'étalonnage de l'ammonium



2- Courbe d'étalonnage de nitrate





3-La courbe d'étalonnage des orthophosphates

Conductivité électrique	180-2500	3000	3500	0-4000	
pH	6,5-9				
Ammonium	0,5		1,5	4	
Nitrates	50			3	
Oxygène dissous	7		5		

Classe d'aptitude aux usages

Code couleur	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Classe de qualité	Très bonne	Bonne	Passable	Médiocre	Mauvaise
Oxygène dissous	8	6	4	3	
Température	24	25,5	27	28	
pH	6,5-8,5	≥6,0-9,0≤	≥5,5-9,5≤	≥4,5-10≤	
Ammonium	0,1	0,5	2	5	
Nitrates	2	10			
Orthophosphate	0,1	0,5	1	2	

Classe d'aptitude à la biologie

Française de l'eau (2003) (version 2)

Grille d'évaluation de la qualité des eaux des cours d'eau établie par l'Agence

Nitrates	10	20	50	100
Ammonium	0,05	0,3	0,5	4
pH	6,5-8,5	6,2-8,8	5,8-9,2	5,5-9,5
Conductivité électrique	180-2500	120-3000	60-3500	0-4000

Classe de qualité altération

Nitrates	25	50	100
Ammonium	0,05	0,5	4
pH	$\geq 6,5$ et $\leq 8,5$	$> 8,5$ et $\leq 9,0$	$< 6,5$ et $\geq 5,5$ ou $> 9,0$ et $\leq 9,5$
Conductivité électrique	≥ 180 et ≤ 400	> 400 et ≤ 2500	< 180 ou > 2500 et ≤ 4000
Code couleur	Bleu clair	Bleu foncé	Jaune
Classe de qualité	Eau de qualité optimale pour être consommée	Eau de qualité acceptable pour être consommée mais pouvant faire l'objet d'un traitement de désinfection	Eau non potable nécessitant un traitement de potabilisation
Eau inapte à la production d'eau potable			

Production d'eau potable

Grille d'évaluation de la qualité des eaux souterraines établie par l'Agence Française de l'eau (version 0.1 – Août 2003)

Oxygène dissous	8	6	4	3
Température	24	25,5	27	28
Conductivité électrique	180-2500	120-3000	60-3500	0-4000
pH	6,5-8,2	6,0-9,0	5,5-9,5	4,5-10
Ammonium	0,1	0,5	2	5
Nitrates	2	10	25	50
Orthophosphate	0,1	0,5	1	2

Classes et indices de qualité de l'eau par altération

Grille de la qualité globale de l'eau selon l'Agence de bassin hydrographique constantinois Seybouse - Mellegue, 2002

Classe de qualité	Unité	paramètres		
		NH_4^+	PO_4^{3-}	NO_3^-
Pollution excessive	Médicore	2 à 8	> 2	> 80
		0,5 à 2	0,5 à 1	25 à 50
Bonne	Passable	0,1 à 0,5	0,2 à 0,5	5 à 25
		< 0,1	< 0,2	< 5
Excellente	Unité	2 à 8	1 à 2	50 à 80
		0,5 à 2	0,5 à 1	25 à 50