

**UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA**  
**Faculté des Hydrocarbures, des Energies Renouvelables et des**  
**Sciences de la Terre et de l'Univers**  
**Département des Sciences de la Terre et de l'Univers**



**Mémoire**  
**MASTER ACADEMIQUE**

Domaine : Science de la Terre et de l'Univers  
Filière : Géologie  
Spécialité : Hydrogéologie

Présentée par: **TELALI Yaqota**

**Thème**

**Contribution à l'étude hydrogéologique et  
hydrochimique de la plaine de Tamlouka  
(Nord-Est Algérien)**

Soutenu publiquement  
Le : 31/05/2016

Devant le jury :

Mr MELOUAH Walid	MC (A)	Président	UKM Ouargla
Mr DJIDEL Mohamed	Pr.	Encadreur/rapporteur	UKM Ouargla
Mr MEDJANI Fethi	MC (B)	Co-encadreur	UKM Ouargla
Mr ZEDDOURI Aziez	MA (A)	Examineur	UKM Ouargla

**Année Universitaire : 2015 /2016**



«وأنزلنا من المعصرات ماءً ثجاجاً»

الآية: 14 من سورة النبأ.

«وترى الأرض هامدة فإذا أنزلنا عليها الماء اهتزت وربت وانبتت من كل زوج بهيج»

الآية: 5 من سورة الحج.

«وان من الحجارة لما ينفجر منه الأنهار وان منها لما يشقق فيخرج منه الماء»

الآية: 74 من سورة البقرة.



# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à mes parents en signe de respect*

*et reconnaissance de leur tendresse et affection,*

*leur dévouement et sacrifice.*

*A tous les membres de ma familles frères et sœurs*

*A ma copine Saïda et à toute sa famille*

*A tous mes amis...*



## REMERCEMENTS

*C'est une tache difficile de trouver les plus justes mots pour exprimer ses « mercis », c'est paradoxalement la dernière page qu'on rédige et qu'on croise en premier.*

*Avant tout, nous remercions dieu tout puissant de nous avoir donné la volonté et le pouvoir afin d'accomplir ce travail, comme nous tenons à remercier toute personne ayant participé de près ou de loin à l'élaboration de ce présent mémoire et en particulier un très grand remerciement à notre promoteur Monsieur DJIDEL MOHAMED pour son soutien moral, sa gentillesse et ses conseils judicieux. Il nous a pas ménagé son aide, nous lui en sont profondément reconnaissants.*

*A Monsieur MEDJANI FETHI pour sa modestie et ses idées claires, pertinentes et encouragements.*

*Nous adressons aussi nos sincères remerciements à tous les enseignants du département de géologie, les deux options ; Géologie pétrolière et Hydrogéologie.*

*Qu'il nous soit permis aussi de traduire toute la reconnaissance que nous éprouvons au membres du jury pour avoir accepté d'évaluer le présent mémoire.*

*Nous tenons également à s'excuser auprès des personnes qui nous ont aidé et les auteurs dont on a utilisés les documents sans les avoir citer dans les remerciements ou dans la bibliographie.*

*Enfin, nous remercions tout le personnel du département de géologie de l'université de auargla.*

## Table des matières

Table des matières .....	i
Liste des figures .....	iv
Liste des tableaux .....	vi
Introduction .....	1
<b>Chapitre I : Description de la zone d'étude</b>	
1. Situation géographique :.....	3
2. Aperçu socio-économique : .....	4
3. Géologie : .....	4
3.1 Grandes structures géologiques :.....	5
3.1.1 Complexe métamorphique et éruptif :.....	5
3.1.2 Terrains sédimentaires : .....	5
3.1.3- Ensemble des unités allochtones (Flysch et nappes) : .....	5
3.2 Géologie locale : .....	6
3.2.1 Stratigraphie :.....	7
3.2.2- Tectonique.....	9
4. Hydrogéologie :.....	9
4.1 Caractéristiques des aquifères de la région : .....	10
4.1.1 La nappe aquifère du remplissage Mio-Plio-Quaternaire .....	10
4.1.2 La nappe profonde des calcaires .....	10
4.2 La piézométrie : .....	11
4.2.1 La Nappe profonde.....	11
4.2.2 La Nappe superficielle .....	12
4.3- Les zones d'alimentation des nappes .....	14
4.3.1 La nappe libre.....	14
4.3.2 La nappe profonde des calcaires. ....	15
5. Reliefs et géomorphologie : .....	15
5.1 Géomorphologie .....	15
5.1.1 Cuvette de Tamlouka .....	15
5.1.2 Terrasses.....	15
5.1.3 Marécages.....	16
5.1.4- Collines .....	16
5.1.5 Massifs de bordure .....	16
5.1.6 Karst : .....	16
5.1.7 Les lits des oueds : .....	16
6. Réseau hydrographique :.....	16
7. Climatologie :.....	17
7.1 Stations de mesures : .....	17
7.2 paramètres météorologiques déterminants : .....	17

7.2.1 L'humidité : .....	17
7.2.2 Le vent : .....	18
7.2.3 La Température : .....	19
7.2.4 Précipitation : .....	20
7.2.5 Relation température-précipitation : .....	22
8. Conclusion : .....	26

## **Chapitre II : Matériels et méthodes**

1. Matériels .....	28
1.1 Les données satellitaires .....	28
1.1.1 Les images (MNT) : .....	28
1.1.2 Les images satellitaires (LANDSAT OLI) : .....	28
1.1.3 Les images Google Earth : .....	28
1.2 Les logiciels utilisés : .....	28
1.2.1 Global Mapper : .....	28
1.2.2 ArcGis 10.3 : .....	29
1.2.3 ENVI 5.1 : .....	29
1.2.4 Google Earth Pro : .....	29
1.2.5 Diagramme .....	30
1.2.6 PreeqI v 2.15 .....	30
2. Méthodes : .....	30
2.1 La modélisation hydrologique : .....	30
2.1.1 Processus d'extraction du réseau hydrologique : .....	31
2.1.2 Extraction de la carte des pentes : .....	31
2.2 Occupation du sol : .....	32
2.2.1 Les prétraitements des images : .....	32
2.2.2 Classifications des images .....	33
2.2.3 La détection des changements : .....	34
2.2.4 Cartographie par ArcGis 10.3 : .....	35
2.3 Hydrochimie : .....	35
2.3.1 Mode échantillonnage : .....	36
2.3.2 Méthodes d'analyses des eaux : .....	37

## **Chapitre III : Résultats et discussion :**

1. Hydrologie : .....	40
1.1. Etude de sous bassin versant de Tamlouka .....	40
1.1.1 Caractéristique de la forme du bassin versant : .....	40
1.2. Carte des pentes : .....	41
1.3. Réseau hydrographique : .....	41
2. Occupation du sol : .....	42
2.1. Photo-interprétation des images satellitaires : .....	42
2.2. Classification supervisée des images : .....	43
2.2.1. Classification par Arbre de décision : .....	43
2.3. Evolution temporelle des états de surface (Change détection) .....	43
2.3.1. Les matrices de changements : .....	44

2.3.2. La cartographie des changements :.....	45
3. Hydrochimie : .....	48
3.1. Description des résultats d'analyses chimiques de l'eau : .....	48
3.1.1. Paramètres physico-chimiques .....	49
3.1.2. Les éléments majeurs : .....	50
3.1.3. Les nutriments .....	53
3.2. Faciès chimiques des eaux : .....	55
3.3. Aptitude des eaux à l'irrigation :.....	56
3.4. L'indice de saturation.....	57
4 Conclusion :.....	57
Conclusion général .....	59
Références Bibliographiques .....	60



## Liste des figures

Figure 1. Carte de situation géographique de la zone d'étude .....	3
Figure 2. Carte géologique de la cuvette de Tamlouka .....	6
Figure 3. Carte piézométrique de la plaine de Tamlouka nappe profonde .....	11
Figure 4. Carte piézométrique de la plaine de Tamlouka nappe superficielle (Septembre 2013).....	13
Figure 5. Carte piézométrique de la plaine de Tamlouka nappe superficielle (Avril 2014) .....	14
Figure 6. Variations des moyennes mensuelles de l'humidité relative- Station d'Oum El Bouaghi (1990-2013) .....	18
Figure 7. Vitesse moyenne mensuelle des vents – Station d'Oum El Bouaghi (1990-2013)	19
Figure 8. Variation de la température moyenne mensuelle - Station d'Oum El Bouaghi (1990-2013).....	19
Figure 9. Température moyenne interannuelles - Station d'Oum El Bouaghi (1990-2013) .	20
Figure 10. Variation interannuelle des précipitations - Station d'Oum El Bouaghi (1990-2013) .....	21
Figure 11. Variation des précipitations moyennes mensuelles .....	21
Figure 12. Répartition saisonnière des précipitations pour les stations d'Oum El Bouaghi et Tamlouka.....	22
Figure 13. Diagramme pluvio-thermique - stations d'Oum El Bouaghi (1990-2013) .....	23
Figure 14. Bilan d'eau par la méthode C.W Thornthwaite à la station d'Oum El Bouaghi (1990-2013).....	25
Figure 15. Illustration de la chaîne de géotraitements pour la délimitation du bassin versant d'un plan d'eau.....	30
Figure 16. Organigramme général du processus d'extraction du réseau hydrologique.....	31
Figure 17. Organigramme du processus général de traitements des images Landsat8.....	32
Figure 18. Classification par arbre de décision.....	34
Figure 19. Carte de la répartition des échantillons dans la zone d'étude.....	37
Figure 20. Carte des pentes .....	41
Figure 21. Carte de réseau hydrographique .....	42
Figure 22. Evolution des états des surfaces de végétation.....	42
Figure 23. Classification par Arbre de décision des 3 dates .....	43

Figure 24. Carte d'évolution temporelle entre 07/04/2014 et 14/09/2014.....	46
Figure 25. carte d'évolution temporelle entre 04/04/2014 et 10/04/2015 .....	47
Figure 26. Carte de L'évolution spatiotemporelle durant la période d'étude .....	48
Figure 27. La potabilité des eaux selon la Conductivité et la Température.....	50
Figure 28. Le taux de répartition spatiale des cations.....	50
Figure 29. La potabilité des eaux selon les cations.....	51
Figure 30. Le taux de répartition spatiale des anions.....	52
Figure 31. La potabilité des eaux selon les anions.....	52
Figure 32. Carte de pollution des eaux par les Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).....	53
Figure 33. Carte de pollution des eaux par les Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) .....	53
Figure 34. Carte de pollution des eaux par les Nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ).....	54
Figure 35. Carte de pollution des eaux par les Phosphates ( $\text{PO}_4^-$ ).....	54
Figure 36. Facies chimique des eaux par le diagramme de Piper .....	55
Figure 37. Classification des eaux à l'irrigation en fonction du SAR (diagramme de Wilcox) .....	56
Figure 38. Variation de l'indice de saturation .....	57

## Liste des tableaux

Tableau 1. Inventaire des forages de la plaine de Tamlouka (DHW de Guelma) .....	11
Tableau 2. Inventaire des sources « plaine de Tamlouka » .....	12
Tableau 3. Inventaire des puits – plaine de Tamlouka 2013-2014 .....	12
Tableau 4. Station climatologiques utilisés dans l'étude du climat de la région. ....	17
Tableau 5. Moyenne mensuelle de l'humidité relative (1990 - 2013), Source : O.N.M Oum El Bouaghi (2013). ....	18
Tableau 6. vitesse Moyenne des vents (m/s) (1990 - 2013), Source : O.N.M Oum El Bouaghi (2013).....	18
Tableau 7. Températures moyennes mensuelles en C° (1990-2013), Source : O.N.M Oum El Bouaghi (2013). ....	19
Tableau 8. Précipitation moyenne mensuelle O.N.M Oum El Bouaghi (2013) .....	21
Tableau 9. Répartition saisonnière des précipitations O.N.M Oum El Bouaghi (2013). ....	22
Tableau 10. Les différentes valeurs de (A) coefficient d'aridité selon DEMARTON .....	23
Tableau 11. Les valeurs de L'ETP estimées par la méthode de Thornthwait- station d'Oum El Bouaghi (1990-2013) O.N.M Oum El Bouaghi (2013). ....	24
Tableau 12. Bilan d'eau par la méthode C.W Thornthwaite à la station d'Oum El Bouaghi (1990-2013) O.N.M Oum El Bouaghi (2013).....	25
Tableau 13. Bilan hydrologique.....	26
Tableau 14. Les seuilles des néo-canaux utilisés pour la classification par arbre de décision .....	33
Tableau 15. Compagne d'échantillonnage dans la zone d'étude (Gueroui., 2015) .....	36
Tableau 16. Norme de potabilité de l'eau .....	38
Tableau 17. Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation par la méthode du SAR.....	39
Tableau 18. Les longueurs d'ordres des cours d'eau dans la cuvette de Tamlouka .....	41
Tableau 19. Synthèse d'évolution de surfaces au cours de la période d'étude .....	44
Tableau 21. Matrice des changements entre avril 2014 et avril 2015. ....	44
Tableau 22. Synthèse d'évolution de surfaces au cours des 3 dates .....	45
Tableau 23. Surfaces occupées par les différentes cultures .....	47
Tableau 24. Résultats des analyses physico-chimiques des eaux souterraines de plaine de Tamlouka .....	49
Tableau 25. Variation des éléments majeurs des eaux de la plaine de Tamlouka (2012-2013) .....	56





## **Introduction**

L'eau est un élément biologique important en tant que support de vie et facteur du développement des pays. Elle est considérée comme un vecteur privilégié de l'activité humaine.

La quantité et la qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés, de l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture d'une part ainsi l'exploitation désordonnée des ressources en eau d'autre part. Ces dernières ont produit une modification chimique de l'eau en la rendant impropre aux usages souhaités.

Actuellement l'Algérie se trouve confrontée au manque de réserves superficielles, et à l'exploitation excessive des ressources souterraines ; ajouté à cela la pollution des eaux qui commence à se sentir dans certaines régions. En outre pour remédier à tous ces problèmes, une évaluation quantitative, ainsi qu'une exploitation rationnelle des ressources en eaux superficielles et souterraines s'imposent.

La plaine de Tamlouka qui s'étend en longueur dans la feuille d'Ain Regada notamment autour du village de Tamlouka. Elle forme une cuvette, allongée selon une direction Nord-Est - Sud-Ouest, Concernant notre région d'étude, la qualité de l'eau potable a provoqué un mécontentement général de la population ; pour cette raison elle n'a eu comme unique refuge que de s'alimenter des sources naturelles. En effet, l'essor démographique, industriel et surtout agricole de la dernière décennie a dégradé la qualité des eaux souterraines de l'aquifère de la plaine de Tamlouka.

Cette étude est une contribution à l'identification de l'occupation du sol d'une part et la détermination des caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines, et leurs utilisations dans la plaine de Tamlouka d'autre part.

Par cette étude et afin d'arriver à notre objectif, nous avons développé les étapes suivantes :

- ✓ Au cours du *premier chapitre*, nous nous proposons de présenter les principales données que nous avons recueillies et qui concernent le cadre général de notre région d'étude (situation géographique, étude socio-économique, description des caractéristiques géomorphologique, étude géologique, étude hydrogéologique et une étude hydroclimatologique).
- ✓ Le *deuxième chapitre*, nous présentons les différents matériels et les méthodes de traitements sur les images satellitaires, et aussi nous présentons les conditions et les modalités d'échantillonnage, les techniques de mesure et d'analyse des échantillons ainsi que les outils informatiques utilisés pour le traitement de nos résultats.

- ✓ Le *troisième chapitre*, est consacré à l'interprétation et la discussion des résultats obtenus, pour la partie télédétection par l'interprétation des résultats obtenus à travers la création de la composition colorée et les autres traitements multispectrale des images satellitaire.  
Une interprétation des résultats des analyses physico-chimiques des eaux des zones d'études pour avoir la qualité et les faciès chimiques de ces eaux avec l'interprétation des résultats des différentes analyses effectuer
- ✓ Et enfin une conclusion générale synthétise les résultats de cette étude.



# Chapitre I

Description de la  
zone d'étude



## Chapitre I : Description de la zone d'étude

### 1. Situation géographique :

Le site de notre étude fait partie de la commune de Tamlouka, Daira de Ain Makhlouf, Wilaya de Guelma, qui se situe à l'extrême Nord-Est algérien à une distance de 60 km du chef-lieu de la wilaya vers le sud et 30 km au Nord de la Ville d'Oum El-Bouaghi

Elle est limitée :

- ✓ Au nord par : Ain Regada et Oued Zénati et Ain makhlouf
- ✓ Au sud : par la wilaya de Oum El-Bouaghi
- ✓ A l'Est : par la wilaya de Oum El-Bouaghi et Ain makhlouf
- ✓ A l'ouest par : la wilaya de Oum El-Bouaghi et la wilaya de Constantine

La commune de Tamlouka est située à 742m d'altitude et se localise entre 7° et 7° 15' E de longitude et entre 36° et 36° 12' N de latitude (Fig.1).

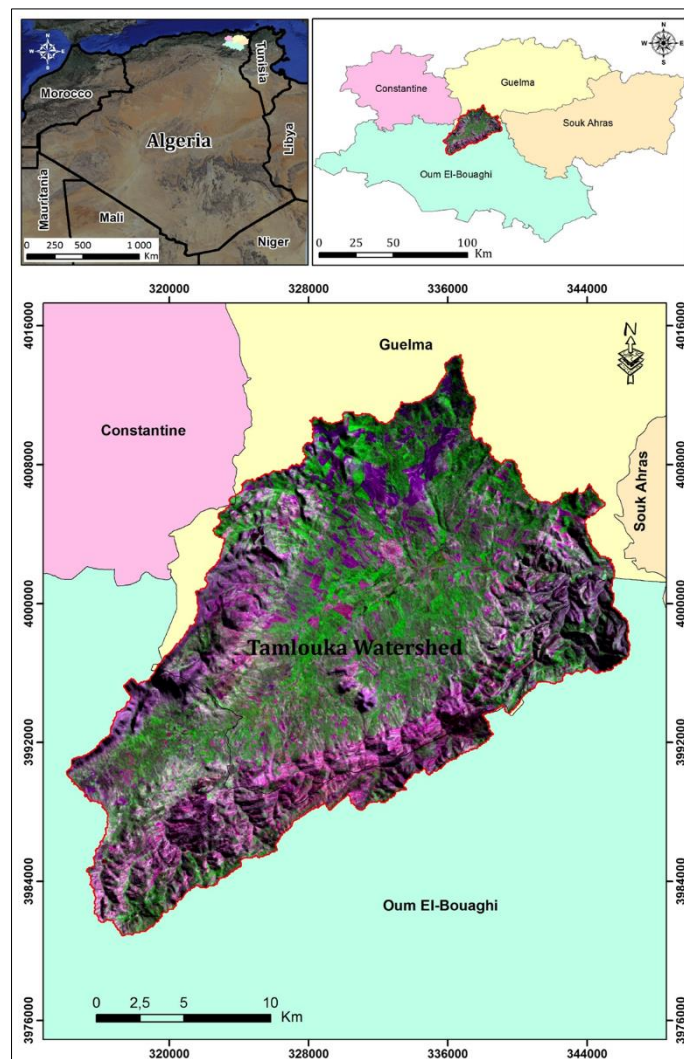


Figure 1. Carte de situation géographique de la zone d'étude

La plaine de Tamlouka qui s'étend en longueur dans la feuille d'Ain Regada notamment autour du village de Tamlouka. Elle forme une cuvette, allongée selon une direction Nord-Est - Sud-Ouest, bien encadrée par Chebka des Sellaouas au Sud-Est, djebel Djaffa au Nord-Ouest et Ouest, djebel Ansel au Nord et les collines d'Ain Makhoulouf à l'Est. Elle a la forme d'un couloir arqué au niveau de la feuille d'Ain Babouche.

La plaine de Tamlouka d'une superficie de 471.53 km<sup>2</sup> occupe une position de dépression par rapport à la chebka des Sellaoua et de djebel Djaffa. Le seul relief marquant cette vaste étendue est constitué par la butte d'Ain Arko, localisée en plein centre de la plaine.

## **2. Aperçu socio-économique :**

La région de Tamlouka est une région à vocation agricole, avec très grande variété de la culture, qui joue un rôle très important dans l'économie de la région, elle occupe la première place au sein des activités de la population rurale céréales, arboriculture et d'élevage de volailles et de bétails ; qui demande un volume très important d'eau pour l'irrigation. La région possède une superficie agricole estimée de 25620 ha (12.74% de la superficie de la wilaya de Guelma).

L'industrie est presque inexistante sauf certaines installations à caractère local notamment les carrières localisées à Ain Arko.

## **3. Géologie :**

L'histoire géologique des bassins sédimentaires algériens s'inscrit dans le processus de géodynamique globale de la tectonique des plaques qui a structuré l'Algérie en deux domaines :

- ❖ au nord, l'Algérie alpine
- ❖ au sud, la plate-forme saharienne

Notre région d'étude fait partie du nord de l'Algérie et plus précisément de l'allochtone tellien qui comprend un chapelet de massifs anciens, bordé par une dorsale calcaire qui, par ces caractères originaux garantit, l'unité orogénique de ce domaine postérieurement à l'aquitainien. Ce domaine, découpé en blocs plus mobiles, se compose d'un socle gneissique d'une structure phylladique discordante. Ces éléments sont suivis en discordance par le trias à faciès verrucano, les carbonates triasiques et de minces témoins du Dogger-Malm, le Crétacé et le Paléogène que surmonte enfin la masse calcaire du Lutétien à Nummulites. A la suite de la formation de la méditerranée un affaissement entraîne une résédimentation en deux olistostromes successifs :

L'une d'âge Oligo-Aquitainien à klippes de flysch et d'ultra tellien, l'autre d'âge Burdigalien ou flysch ultra tellien et numidien qui se mêlent.

Enfin une phase tardive du Miocène supérieur déforme l'ensemble du substratum et les dépôts post-nappes en plis d'orientation N70° et permet les dernières mises en place des nappes et le remplissage des bassins Miocènes.

La stratigraphie dans ce domaine a été définie par des données de terrain et sondages, toute pour la géologie régionale que locale.

### 3.1 Grandes structures géologiques :

En se basant sur les œuvres de Vila (1980) et Joleaud (1936) sur la région (extrême Nord-Est algérien), on distingue globalement :

- ❖ des affleurements à l'Ouest (massif d'Edough, de Belileita et de Bouhamra) ;
- ❖ les terrains sédimentaires recouvrent tout le reste de la zone d'étude avec des roches tendres (des unités telliennes, mauritaniennes et massyliennes).

#### 3.1.1 Complexe métamorphique et éruptif :

Cet ensemble est formé par 3 unités distinctes superposées, de bas en haut ; et des formations éruptives

**a. Unité inférieure :** Elle est constituée de gneiss glanduleux, qui se trouvent dans le noyau axial d'Edough, d'épaisseur moyenne de 70 m, on rencontre aussi les para-gneiss et leptynites d'âge Précambrien.

**b. Unité intermédiaire :** Elle est constituée essentiellement de micaschiste, qui se trouve sur le pourtour du cœur gneissique, elles sont formées de gneiss grenatifères et marbres, d'âge Paléozoïque

**c. Unité supérieure :** Elle est représentée par une alternance de couches de micaschistes et quartz feldspathique, d'épaisseur allant de 1 cm à 1 m, ils affleurent à Bouhamra, Belileita et au niveau de Cap de Garde.

**d. Formations éruptives :** Elles affleurent sur les rives Nord-Ouest d'Edough, elles se manifestent par des dépôts d'âge Tertiaire, avec des granites, des rhyolites et des microgranites, d'épaisseur variant de 10m à 100m.

#### 3.1.2 Terrains sédimentaires :

**a. Plaines littorales :** En allant de la vallée de la Seybouse jusqu'à la frontière algéro-tunisienne, on rencontre un remplissage de sédiments quaternaires, qui constitue le fond de la dépression

#### 3.1.3- Ensemble des unités allochtones (Flysch et nappes) :

Ce sont des formations géologiques sédimentaires caractéristiques dont on note :

**a. Flysch mauritanien :** Ils affleurent au sud du lac Fetzara et sont constitués d'une alternance de bancs argileux et calcaro-argileux.

**b. Flysch massylien :** On les rencontre à plusieurs endroits ; dans les monts de la Chefia, ils sont constitués de marnes et d'argile avec de minces bancs de grès et de calcaires.

c. **Nappe numidienne** : elle s'étend du Sud de lac Fetzara jusqu'à la frontière algéro-tunisienne, constituée essentiellement de bas en haut par des argiles sous-numidiennes, des grès numidien et des argiles supra-numidiennes, qui datent de l'Oligocène au Burdigalien.

**3.2 Géologie locale :**

La géologie de la zone d'étude a été décrite par plusieurs auteurs (Gramont et Lombard 1966 ; Voute 1957 ; 1967 et Vila 1977a, 1977b, 1980). Elle comprend, le Plio-Quaternaire qui présente une formation continentale composée essentiellement d'une croûte de calcaire, d'argile et de sable et de graviers de temps en temps.

Dans cette région, trois domaines structuraux constituent les hauts plateaux : le sillon Sellaoua apparaît dans la partie orientale de la plaine et formé de la marne et légèrement du calcaire, le second domaine est la néritique qui apparaît dans la partie occidentale de la plaine par les monts de Djaffa, caractérisé par une alternance de calcaire, marne avec de l'argile et parfois le sable. Le troisième domaine occupe la partie Nord de la plaine et se compose de marnes et de calcaires marneux avec le silex de l'âge crétacé (Fig.2).

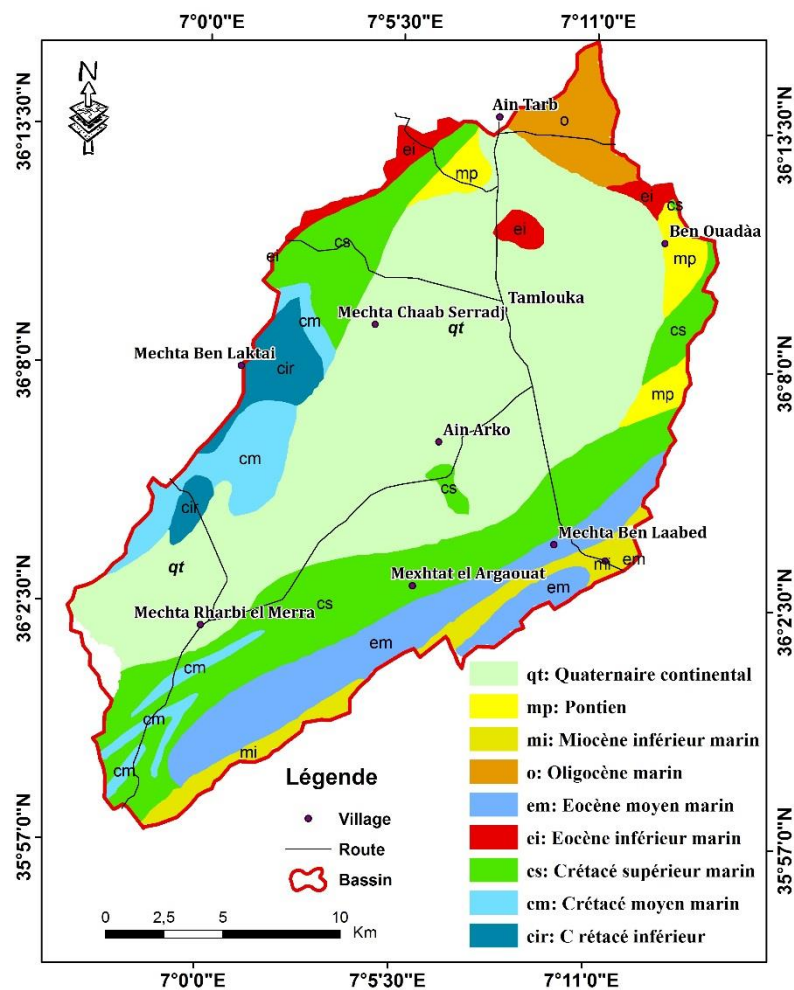


Figure 2. Carte géologique de la cuvette de Tamlouka (Vila 1977)

### 3.2.1 Stratigraphie :

La stratigraphie étudie la disposition originelle des roches et la chronologie de leurs formations, dans le but de reconstituer l'histoire géologique de l'écorce terrestre. La chrono stratigraphie de la plaine de Tamlouka révèle des unités lithologiques différents ; les principales sont les suivantes (Djidel et Djorfi, 1992) :

#### a. Unité allochtone du djebel Djaffa

L'unité de Djaffa est située au bord du bassin de Tamlouka. Elle a été décrite par trois auteurs : Gramont, Lombard (1966) et Vila (1980). Elle est caractérisée principalement par une alternance marno-calcaire d'épaisseur de 1000 m avec des passages argileux.

#### b. Unité des Sellaoua

Cette unité possède les mêmes affinités lithologiques que celles du djebel Djaffa en remarquant un abaissement relatif du calcaire.

#### - Crétacé inférieur

- ✓ Néocomien : Il se caractérise par une épaisseur de 250 m présenté par des alternances de marnes et schistes argileux avec les cadences des grés contenant des microfossiles du Valanginien.
- ✓ Barrémien : Avec une épaisseur de 180 m, la série est composée par des marnes et d'argiles gréseuses avec un niveau constant des calcaires lités joignant une agglutination calcaire.
- ✓ Aptien : Il se présente par une couche de 50 à 100 m de marnes de temps à autre gréseuses à ammonites ferrugineuses avec des niveaux de calcaires lités.
- ✓ Albien : Il se définit par une série marno-pélicite-gréseuse épaisse d'environ 150 à 400m.

#### - Crétacé supérieur

- ✓ Cénomaniens : L'épaisseur de la série est de 420 m, caractérisée par des faciès de marnes et marnocalcaires à ammonites. Au niveau du fossé central, le Cénomaniens terminal à faciès Chebka (calcaires en plaquettes) passe à des faciès calcaires grumeleux et marno-sableux avec ammonite ferrugineuse et éponge.
- ✓ Turonien : Il se présente sous deux formes : le Turonien inférieur et supérieur. Le premier est constitué par des calcaires lités avec des marnes. Il se caractérise par une épaisseur varie de 8 m au centre, de 30 m vers le Nord et de 60 m sur la bordure méridionale.  
Le Turonien supérieur se définit par une série d'épaisseur variant entre 20 à 150 m, formée par des marnes noduleuses à marnes granuleuses en remarquant des petits niveaux discontinus de calcaires glauconiens.
- ✓ Sénonien inférieur : Nous le rencontrons sous deux formes : le Coniacien qui est une série composé de marnes et de calcaires glauconieux généralement grumeleux où ils montrent

des traces d'algues et des pistes de vers avec une épaisseur dépassant les 300 m. Le Santonien se caractérise par une épaisseur variante de 25 m au centre de la zone et entre 5 et 10 m au niveau de la bordure Sud-Est. Il est constitué de deux masses de calcaires grises et jaunes, séparées par des marnes. Au-dessus de la zone on découvre une série épaisse de 50 à 100 m composée de marnes grises verdâtres avec certaines insertions de calcaires.

- ✓ Sénonien supérieur : Il est caractérisé par deux structures : le Campanien qui se retrouve au niveau de la partie Sud-Ouest avec une succession régulière composée de marne épaisse de 70 m. Cette série de marne devient plus bleue chargée de pyrite, limonite et de gypse. Le Maestrichtien qui présente une série épaisse de 70 à 100 m formée par des marnes riches en inoceram.

### c. La nappe Néritique constantinoise

Au niveau du djebel Djaffa la nappe Néritique est figurée sous les étages suivants :

- ✓ Le Barrémien supérieur épais d'environ 200 m, formé par un calcaire massif.
- ✓ L'Aptien, constitué d'une alternance de calcaire à orbitoline avec une épaisseur de 160 m.
- ✓ L'Albien glauconieux présente une épaisseur d'environ 20 m.
- ✓ Le Cénomaniens alternant de calcaire massif à caprines, épais de 200 m.

### d. La nappe tellienne

Cette série est chevauchante sur la nappe Néritique de djebel Djaffa, elle comprend :

- **Sénonien inférieur** : Avec une épaisseur de 100 m, il est représenté par des faciès marneux et marnocalcaires à ostréidés.
- **Sénonien supérieur** : Cette série est arrangée en deux masses marno-calcaires successives séparés par des marnes grises. Elle possède une épaisseur d'environ 550 m.
- **Paléocène** : Il existe deux théories concernant leur composition. Selon Vila (1980) il est constitué par des marnes noires contenant des boules jaunes et par des Silex et nodules de phosphate selon Voute (1957). Il est épais de 170 m.
- **Eocène** : Il comprend trois limites : à la base une barre marno-calcaire noires à silex avec un niveau de 20 m riche en nummulites. Au sommet, il est composé de Lutétien supérieur plus ou moins épais riche en lumachelles à huîtres. L'ensemble de la série possède une épaisseur de 560 m.

### e. La nappe Numidienne de djebel Ansel

Cette série est composée du bas en haut de trois structures :

- ✓ Des argiles sous-numidiennes à Tubotomaculum.
- ✓ Des grés numidiens.
- ✓ Des argiles et des marnes à selexites supra-numidiennes.

L'ensemble de ces structures constitue une épaisse série datée à l'oligocène.

#### **f. Le remplissage Mio-Plio-Quaternaire**

- **Mio-Pliocène** : D'après Voute (1957), les dépôts Mio-Pliocène peut atteindre une épaisseur de 500 m. Cette série présente un stade de sédimentation continentale effectuée après la réalisation de la construction allochtone fortement affecté par l'érosion.
- **Quaternaire** : Il peut aller jusqu'à 100 m d'épaisseur, le quaternaire constitue une couverture naissante du bassin de Tamlouka. Il est composé d'une croûte de calcaire, d'argile rouge et brune sableuse et graveleuses.

#### **3.2.2- Tectonique**

Selon Voute (1957), la plaine de Tamlouka présente une forme de cuvette allongée. Elle est bornée par le djebel Djaffa et la Chebka des Sellaoua qui possèdent une direction Nord-Est et Sud-Ouest. Le djebel Djaffa constitue une grande coupole dont la structure est combinée par des failles et flexures longitudinales et par une faille transversale récente.

Le flanc Nord-Est est composé par une série épaisse de calcaires rigides morcelés en paliers monoclinaux par des fentes longitudinales. La zone centrale est occupée par un fossé.

Le flanc Sud-Est est représenté par une série marno-calcaire dévoilant des plis anticlinaux partiellement aigus. Ces derniers passent parfois à des petits Horsts limités par des zones longitudinales faillés et séparés par des larges synclinaux à fond relativement plat. D'après Vila (1980), cette unité dévoile la présence d'une structure en pli couché vers le Sud-Est à cœur carbonaté d'âge Jurassique supérieur, ce qui est affirmé par la réapparition à l'Est du Jurassique isolé au centre de la plaine, notamment au niveau des collines d'Ain Arko. Ces dernières sont considérées comme l'axe de l'anticlinal étendu en position chevauchante sur les marnes de l'unité des Sellaoua. Sur cet ensemble les unités Néritique et tellienne parviennent à se chevaucher. Au niveau du djebel Djaffa, le chevauchement est arrangé d'une forme très plate et détermine la belle Klippe du Kef Ain Debagh. Au Nord du Foum El Alik, à l'envers du djebel Djaffa, la nappe tellienne est supportée par des calcaires massifs du Cénomaniens.

A leur base, le Sénonien montre des structures disharmoniques remarquables, caractérisées par des plis couchés à vergence sud et visibles au Nord du Kef Ech-Changora

#### **4. Hydrogéologie :**

L'étude hydrogéologique d'un bassin est nécessaire pour la détermination des différents aquifères existants et pour une meilleure connaissance des différentes formations qui les constituent. L'essai d'identification des aquifères et la détermination de leurs caractéristiques hydrogéologiques, permet de reconnaître les potentialités en eau souterraine de la région. La connaissance de

l'hydrogéologie de la région est très intéressante car elle permet d'envisager les échanges souterrains qui peuvent se produire dans les aquifères.

#### **4.1 Caractéristiques des aquifères de la région :**

Le système hydrogéologique de la plaine de Tamlouka est très complexe ; car on y rencontre une multitude d'horizons. Il débute par les formations aquifères constituées par les dépôts du Quaternaire et du Mio-Plio-Quaternaire et se prolonge, en profondeur, jusqu'aux aquifères dans les calcaires du Crétacé et du Jurassiques. L'ensemble est compliqué par l'existence d'une multitude de passages argileux-marneux imperméables formant par endroit, le toit des nappes profondes en leur conférant le caractère de nappes captives.

A cause de la présence d'un substratum plus ou moins continu qui délimite la nappe superficielle des formations aquifères profondes, on considère que tout le système aquifère profond est constitué par des nappes « captives » dont les horizons aquifères communiquent entre eux soit directement par les couches perméables ou bien par l'intermédiaire de failles affectant les formations calcaires et qui permettent la circulation d'eau. Donc, deux types de nappes s'individualisent : la nappe libre et la nappe captive

##### **4.1.1 La nappe aquifère du remplissage Mio-Plio-Quaternaire**

Elle occupe la partie superficielle du terrain, avec une épaisseur varie de 3 à 95 m. Elle se trouve dans toute la plaine sauf au niveau des affleurements calcaires. Elle est caractérisée par une variation latérale des formations aquifères.

Au Nord de la plaine les formations aquifères sont formées par des poudingues rougeâtres mal cimentés et parfois grossiers, des marno-calcaires contenant des niveaux de calcaire conglomératique avec des graviers et d'argiles sableuses et des marnes lacustres. Il existe aussi des lambeaux du quaternaire ancien et surtout un alluvionnement limoneux ou argileux localement sableux ou caillouteux.

Au sud, le remplissage est devenu argileux avec des alternances de conglomérats calcaires, de graviers et de sable. La puissance de la série à ce niveau est d'environ 90 m, correspond à une zone d'effondrement. Cette nappe est exploitée par des puits domestiques à débits variables.

##### **4.1.2 La nappe profonde des calcaires**

Elle se trouve au Sud de la plaine dans les formations carbonatées Jurassique Crétacé du Djebel Ain Arko et les bordures Ouest de la cuvette (djebel Djaffa). Il s'agit essentiellement de formations calcaires fissurées et karstifiées dominés par des argiles bariolées compactes et des marnes qui constituent le toit imperméable de cette nappe. Au Nord, la formation aquifère présente une dominance marno-calcaire de la nappe tellienne.



### 4.2 La piézométrie :

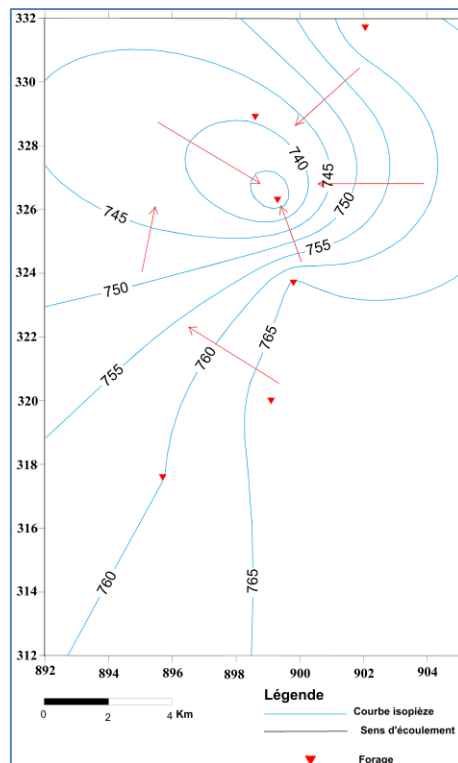
La carte piézométrique permet de visualiser la morphologie de la surface piézométrique (la forme et l'espacement des isopièzes), définit le sens de l'écoulement des eaux souterraines et déduit les zones d'alimentation et de sortie des eaux de la nappe souterraine dans la plaine de Tamlouka.

#### 4.2.1 La Nappe profonde

Les données utilisées pour l'établissement de cette carte ont été collectées au niveau de la DHW Guelma (Sebagh et Safi, 2014).

**Tableau 1.** Inventaire des forages de la plaine de Tamlouka (DHW de Guelma) (Sebagh et Safi, 2014)

N° des forages	X (m)	Y (m)	Z (m)	NS en (m)	NS en (m)	Q l/s	Loc (Sit)	Date r
F8	899.100	320.000	785.400	18.40	767	28	Ain Arko	67
F10	898.600	328.900	760.000	19.14	740.60	14	Tamlouka	85
F16	899.800	323.700	790.000	24	766	36	Ain Arko	97
F9	895.700	317.600	783.000	23.10	759.9	8	Ain Arko	67
F1	899.300	326.300	760.000	28.40	731.6	12	Tamlouka	92
F12	902.050	331.700	780.000	15.92	764.08	18	Tamlouka	85
-Sit : situation		- Q : débit		- NS : niveau statique		-Date r : date de réalisation		- Loc : localisation



**Figure 3.** Carte piézométrique de la plaine de Tamlouka nappe profonde (Sebagh et Safi, 2014)

L'analyse de la carte piézométrique (Fig.3) des forages pendant période des hautes eaux (avril) nous a permis et constater que l'écoulement souterraine général de la nappe captive converge vers le centre de la plaine ce qui indique une surexploitation dans cette zone.

Au Nord-Ouest, les courbes isopièzes sont espacées indiquant que le gradient hydraulique est faible ; ce qui se traduit par un écoulement lent. Par contre, vers le Sud-Est, les courbes isopièzes sont relativement serrées montrant un gradient hydraulique fort ; l'écoulement est rapide.

#### 4.2.2 La Nappe superficielle

Les cartes piézométriques des hautes et basses eaux ont été établies suites aux différentes campagnes de mesures réalisées sur terrain pendant l'année 2013/2014. Elles ont touché tous les puits utilisés pour l'AEP et l'alimentation du bétail. Les émergences des sources ont été également prises en considération (Tab. 2 et 3) (Sebagh et Safi, 2014).

**Tableau 2.** Inventaire des sources « plaine de Tamlouka »

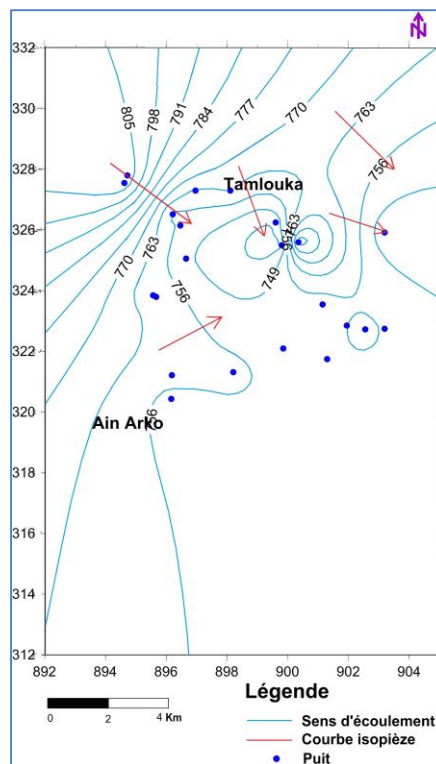
N° des Sources	Nom de la source	X (m)	Y(m)	Z(m)	Observation
1	Ain Tamlouka	899.3	328.5	750	Equipée, avec un débit très important.
2	Ain Arko	897.9	320.3	770	Source thermique avec t° de 30°C.
3	Ain Djenane	896.9	330.8	810	Eau potable.
4	Ain Kabrit	897.2	331.2	850	Source sulfureuse.

**Tableau 3.** Inventaire des puits – plaine de Tamlouka 2013-2014

N°	Date de prélèvement		Coordonnées Lambert			Niveau piézométrique				Analyse chimique	observation
	Hautes eaux	Basses eaux	X	Y	Z (m)	hautes eaux		Basses eaux			
P1	04-2014	09-2013	894.600	327.550	812	1.30	810.70	1.50	810.50	Non	Non équipé
P2	04-2014	09-2013	894.700	327.800	810	1.5	810.50	2.20	807.80	Oui	équipé A.E.P
P3	04-2014	09-2013	896.950	327.300	768	5.40	762.60	6.40	761.60	Oui	Non équipé
P4	04-2014	09-2013	898.100	327.300	765	1.50	763.5	2.70	762.3	Non	Non équipé
P5	04-2014	09-2013	896.200	326.520	765	10.40	754.60	10.40	764.60	Non	Non équipé
P6	04-2014	09-2013	896.640	325.060	752	1.80	750.20	2.40	749.60	Oui	Non équipé
P7	04-2014	09-2013	896.450	326.150	765	9.40	755.6	9.40	755.6	Oui	Non équipé
P8	04-2014	09-2013	899.600	326.250	745	1.50	743.50	1.70	743.30	Oui	Non équipé
P9	04-2014	09-2013	899.800	325.500	742	1.25	740.75	2.20	739.80	Non	Non équipé
P10	04-2014	09-2013	899.850	322.100	761	6.75	754.25	7.25	753.75	Oui	Non équipé
P11	04-2014	09-2013	898.200	321.320	763	5.70	757.3	6.10	756.9	Non	Non équipé
P12	04-2014	09-2013	896.150	320.440	762	9.00	753	10	752	Oui	Non équipé
P13	04-2014	09-2013	896.170	321.220	768	7.40	760.60	8.50	759.5	Oui	Non équipé
P14	04-2014	09-2013	900.350	325.600	790	0.5	789.50	1.50	788.50	Oui	Non équipé
P15	04-2014	09-2013	901.150	323.550	754	1.5	752.50	2.10	751.90	Oui	Non équipé
P16	04-2014	09-2013	902.560	322.730	762	4.80	757.2	5.70	756.3	Non	Non équipé
P17	04-2014	09-2013	903.200	322.750	764	8.50	755.5	9.00	755	Oui	Non équipé
P18	04-2014	09-2013	901.950	322.855	760	4.00	756	5.00	755	Non	Non équipé
P19	04-2014	09-2013	903.200	325.920	749	5.40	743.6	5.90	743.10	Oui	Non équipé
P20	04-2014	09-2013	901.300	321.750	770	15.00	755	15.5	754.50	Non	Non équipé
P21	04-2014	09-2013	895.650	323.800	768	4.20	763.8	4.90	763.1	Non	Non équipé
P22	04-2014	09-2013	895.550	323.850	760	2.50	757.50	3.00	757	oui	Equipé A.E.P

- **La carte piézométrique (période des basses eaux) :**

La carte piézométrique (Fig.4) réalisée pendant la période des basses eaux (Septembre 2013) permet de déterminer le sens d'écoulement, les principales zones de circulation des eaux souterraines et l'alimentation de la nappe. L'examen de la surface piézométrique a permis de distinguer que l'écoulement général suit la pente topographique. Il s'effectue de l'Ouest vers l'Est. L'existence de quelques dépressions piézométriques est due probablement à la surexploitation de la nappe.



**Figure 4.** Carte piézométrique de la plaine de Tamlouka nappe superficielle (Septembre 2013)  
(Sebagh et Safi, 2014)

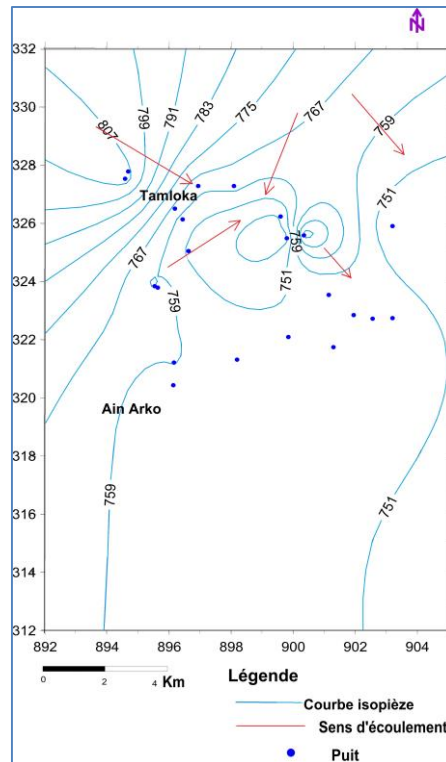
- **La carte piézométrique (période des hautes eaux)**

L'analyse de la carte piézométrique (Fig.5) période des hautes eaux (Avril 2014) nous a permis de constater que l'écoulement souterrain général de la nappe libre suit la topographie avec, localement, une convergence vers le centre de la plaine ; là où nous avons observé de vastes marécage.

Les courbes sont quasi parallèle au relief les informations structurales et géologiques ont déjà montré que les reliefs sont constitués par des formations carbonatés fissurées jouant le rôle de zones d'alimentation du réservoir alluvionnaire.

Au Nord-Ouest de la plaine, les courbes isopièzes sont peut espacées la valeur du gradient hydraulique est de l'ordre de  $2 \cdot 10^{-2}$  ce qui traduit un écoulement rapide vers le centre.

Au Nord-Est de la plaine, les courbes isopièzes sont espacés, la valeur du gradient hydraulique et de l'ordre de  $4 \cdot 10^{-2}$  ce qui traduit un écoulement faible et un sens d'écoulement vers le Sud-Est.



**Figure 5.** Carte piézométrique de la plaine de Tamlouka nappe superficielle (Avril 2014)

(Sebagh et Safi, 2014)

### 4.3- Les zones d'alimentation des nappes

Il existe une liaison hydraulique entre toutes les nappes existantes dans la région. La nappe libre peut alimenter la nappe captive par drainance (faible puissance des formations imperméables) et inversement, les nappes captives peuvent alimenter la nappe libre. Cette alimentation est assurée par un système de failles affectant les formations calcaires fissurées. A titre d'exemple, la source remontante de Tamlouka où les eaux remontent à la faveur d'une faille et alimentent les nappes sus-jacentes.

#### 4.3.1 La nappe libre

Cette nappe est alimentée essentiellement par l'infiltration directe des eaux de pluies à travers la surface alluviale. Elle est aussi alimentée partiellement par des pluies qui tombent au niveau des calcaires de djebel Djaffa et Ain Arko, qui sont en contact direct avec les alluvions de la nappe superficielle. Cette alimentation est favorisée par le pendage des couches dirigé vers le centre de la plaine et par les calcaires fissurés. Les zones de perte de cette nappe sont les zones marécageuses et particulièrement les zones de drainage comme les failles qui affectent les formations aquifères profondes et constituant des zones d'alimentation pour la nappe profonde. Cependant, l'exutoire principal de la nappe est les cours d'eau qui traversent la plaine.

### **4.3.2 La nappe profonde des calcaires.**

Elle est alimentée par les affleurements calcaires entourant la plaine de l'Ouest (djebel Djaffa) et du Sud (les collines d'Ain Arko). La nappe s'alimente aussi par les formations gréseuses du djebel Ansel au Nord de la plaine.

Les failles peuvent constituer des zones d'alimentation par l'infiltration des eaux à travers lesquelles la nappe est drainée par l'ensemble des forages exploitant cette dernière.

## **5. Reliefs et géomorphologie :**

La région étudiée est caractérisée, dans son ensemble, par une topographie plate avec 80 % de la superficie totale sauf pour la butte d'Ain Arko au centre de la plaine. Ses bordures sont constituées par le djebel Djaffa à l'Ouest et au Nord-Ouest, la Chebka des Sellaouas au Sud et au Sud-Est. La pente générale est faible ; elle tend vers le Nord-Est.

Les altitudes dans la plaine suivent aussi la pente topographique. Elles prennent des valeurs élevées dans la partie Nord de la plaine pour atteindre 825 m à Sbaa et Mzair. Les plus faibles altitudes peuvent atteindre 732m au niveau d'Oued Mgaisba. En ce qui concerne les collines d'Ain Arko l'altitude élevée se trouve dans la butte exploitée et prend une valeur de 929 m (point culminant) (Sebagh et Safi, 2014).

## **5.1 Géomorphologie**

Les formes géomorphologiques existantes a la plaine de Tamlouka présente en général des structure nette liées à la tectonique et à l'accumulation des sédiments pendant le Mio-Pliocène et Quaternaire, par l'effet de l'érosion superficielle du matériel existant dans la région limitrophe, ces reliefs peuvent être divisés selon la forme et les caractéristique en :

### **5.1.1 Cuvette de Tamlouka**

C'est une large structure qui occupe la majeure partie du sous bassin versant d'oued El Mellah, qui fait partie du grand bassin versant « la Seybouse ». Au niveau de la base de la cuvette, on constate qu'elle est tectonisée et karstique donnant un arrangement de calcaire fissuré auquel se forme la nappe karstique. Les horizons supérieurs sont constitués par les sédiments du Mio-Pliocène et du Quaternaire formés des argiles sableuses. Au niveau de cet ensemble, on trouve la nappe libre.

### **5.1.2 Terrasses**

La plaine de Tamlouka est traversée par des cours d'eau dont la majeure partie est entourée par des formations alluvionnaires d'une puissance variable de 5 à 15 m avec une infiltration très importante. Ces alluvions sont constituées principalement des argiles, de sable, de galets et de graviers. Pendant la majeure partie de l'année les cours d'eau sont à sec.

### **5.1.3 Marécages**

La plaine de Tamlouka possède quelques zones marécageuses surtout au niveau du centre. Pendant la période hivernale, la nappe libre devient trop pleine ce qui provoque l'apparition des marécages

### **5.1.4- Collines**

Elles se trouvent en plein centre de la plaine, au niveau d'Ain Arko (850 m). Elles sont formées de calcaire similaire à celui du djebel Djaffa apparait au niveau du calcaire Jurassique.

### **5.1.5 Massifs de bordure**

La plaine de Tamlouka est limitée par :

- Djebel Djaffa à l'Ouest, avec un point éminent de 1200 m. Il représente une grande fissuration constituée essentiellement par des calcaires et des marnes.
- La Chebka des Sellaoua au Sud, avec des sommets qui peuvent dépasser 1000 m d'altitude. Elle est formée par des grès rouges au niveau de leur partie superficielle.
- Par djebel Ansel au Nord, avec une composition de grès Numidien et une couverture Mio-Pliocène continentale.

### **5.1.6 Karst :**

La karstification est bien développée dans le calcaire de la région qui présente une micro-fracturation intense. En présence des eaux météoriques et par des processus chimiques et mécaniques cette fissuration va donner des formes karstiques telles que la cavité dans djebel Djaffa. Les fissures permettent une infiltration quasi-totale et rapide des eaux superficielles ; ce qui assure une alimentation efficace des réserves.

### **5.1.7 Les lits des oueds :**

On les rencontres dans les remplissages du Quaternaire dans la région traversées par les oueds qui creuse au fur et à mesure de temps, le matériel détritique est composé principalement de sable, gravier... etc.

## **6. Réseau hydrographique :**

Le réseau hydrographique présente un réseau de drainage très dense, constitué essentiellement par : Oued Mgaisba qui est tributaire de de Oued Cheref et ces affluents, oued Mellah qui prend naissance dans les monts de djebel Amar et rejoint Oued Mgaisba au centre dans la plaine. Notons aussi l'existence d'autres affluents tel que oued Bardo et également de plusieurs chaabats qui descendent de djebel Djaffa et de la Chebka des Sellaouas.

## 7. Climatologie :

Toute étude hydroclimatologique passe principalement par le traitement détaillé des mesures hydroclimatiques nous permet d'établir le bilan hydrique et par conséquent de comprendre les mécanismes de la circulation des eaux de surface.

Le calcul de ce bilan hydrique exige la connaissance des paramètres suivants : les précipitations, le ruissellement, l'évaporation et l'infiltration.

L'analyse des différents paramètres climatologiques (vitesse du vent, P, ETP, T°C ... etc.) donne une idée précise sur le climat qui caractérise la région et permet d'envisager les types d'agricultures que l'on peut l'adopter et leurs besoins en eaux. Ainsi elle donne un schéma global sur le mode de fonctionnement hydrologique du système aquifère.

### 7.1 Stations de mesures :

Notre zone d'étude ne comporte qu'une seule station qui ne dispose que d'un seul paramètre de pluviométrie. Pour comprendre le climat de la région on s'est référer sur deux stations météorologiques équipés pour calculer le bilan hydrique ; celle de Ain Makhoulf et de Oum El Bouaghi, dont les coordonnées sont indiquées dans le tableau suivant :

**Tableau 4.** Station climatologiques utilisés dans l'étude du climat de la région.

Station	Coordonnées			Paramètres mesurés	Période d'observation
	Latitude	Longitude	Altitude (m)		
<b>Oum El Bouaghi</b>	35°51'36,80" N	7°07'49,30" E	888	Précipitation, température, évaporation, vitesse vent, humidité	1990-2013
<b>Ain Makhoulf</b>	289.10 (x)	355.10 (y)	834.10	Précipitation, coefficient pluviométrique, indice d'aridité, ETR, Bilan hydrique	(1986-2011)
<b>Tamlouka</b>	36°12'14,69" N	7°07'17,35" E	812	Précipitation	2011-2013

### 7.2 paramètres météorologiques déterminants :

#### 7.2.1 L'humidité :

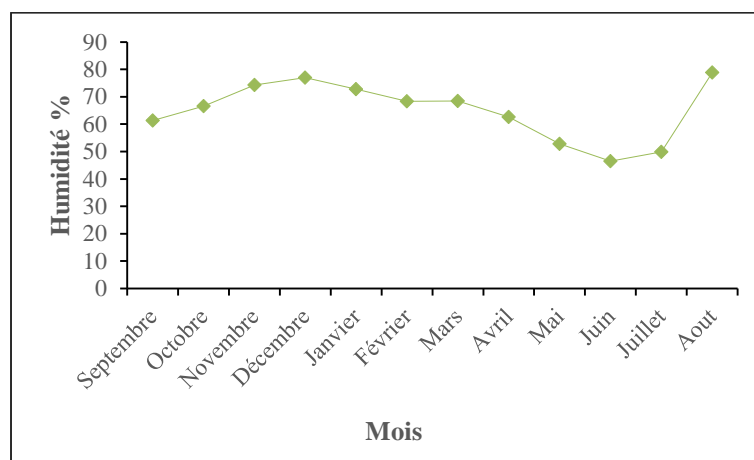
L'humidité de l'air appelée aussi le degré hygrométrique est un élément atmosphérique aussi important que les précipitations, l'humidité relative est le rapport exprimé en pourcentage (%) de la tension de vapeur à la tension maximum correspondant à la température mesurée au thermomètre sec. L'humidité relative moyenne d'après Seltzer (1946) est déduite aux périodes 7h 00, 13h00, 18h, 00 de la journée.

Le maximum d'humidité de l'air est observé en hiver, qui correspond au mois où les hauteurs des pluies sont les plus élevées, saison hivernale. Le minimum d'humidité est observé en été, où les hauteurs des pluies sont les plus faibles.

L'examen du tableau 5 ci-dessous montre que l'amplitude des variations de l'humidité relative est très peu importante durant la saison froide avec un maximum de 78,87% atteint au mois de Décembre. Par contre, elle diminue pendant la saison sèche et atteint une valeur minimale de 46,45% au mois de Juillet. L'humidité moyenne annuelle est de 64,93%.

**Tableau 5.** Moyenne mensuelle de l'humidité relative (1990 - 2013), Source : O.N.M Oum El Bouaghi (2013).

Station	Sep	Oct	Nov	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juit	Aout	Dec
<b>Oum El Bouaghi</b>	61,37	66,54	74,29	76,95	72,79	68 ,29	68,5	62,58	52,79	46,45	49,83	78,87



**Figure 6.** Variations des moyennes mensuelles de l'humidité relative- Station d'Oum El Bouaghi (1990-2013)

### 7.2.2 Le vent :

Le vent est l'air en mouvement défini par sa direction, sa vitesse, son intensité et ses aspects locaux. Il élève l'évapotranspiration potentielle et par conséquent accentué la sécheresse (Vilain ,1987 ; Dajoz, 1971). Sur la région d'étude, il domine pendant la saison hivernale des vents froids humides ou secs de direction Nord-Ouest, tandis que la saison sèche domine des vents chauds et secs de directions Sud-Est et Sud-Sud-Ouest.

Le tableau 6 et la figure 8 donnent un aperçu sur la vitesse des vents calculés au niveau de la station d'Oum El Bouaghi.

**Tableau 6.** vitesse Moyenne des vents (m/s) (1990 - 2013), Source : O.N.M Oum El Bouaghi (2013)

Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juit	Aout
<b>Oum El Bouaghi</b>	2,33	1,86	2,07	2,20	1,92	2,21	2 ,17	2,43	2,2	2,25	2,23	2,13

La variation saisonnière de la vitesse du vent durant la période d'observation est assez constante avec une valeur maximale de 2,43 m/s observée pendant le mois d'Avril, alors que la valeur minimale 1,86 m/s est enregistrée au mois d'Octobre. Il est à signaler que le Sirocco se manifeste particulièrement aux mois de Juillet et Août de façon épisodiques augmentant la température.



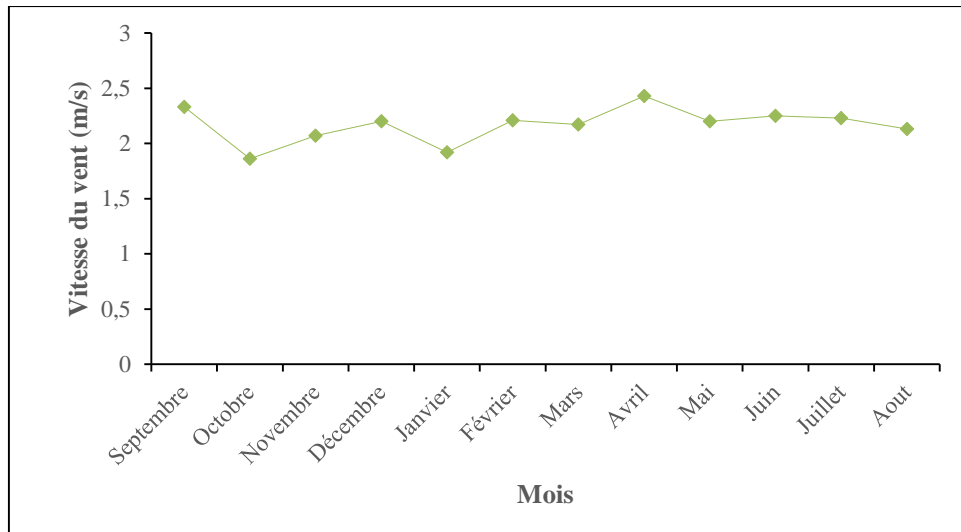


Figure 7. Vitesse moyenne mensuelle des vents – Station d’Oum El Bouaghi (1990-2013)

7.2.3 La Température :

La température est le facteur climatique le plus important, c’est celui qu’il faut examiner en premier lieu (Dreux ,1980). Elle réagit sur le phénomène d’évapotranspiration et donc sur le déficit d’écoulement annuel et saisonnier. Elle constitue un paramètre indispensable pour l’estimation du bilan hydrique. Les données des températures mesurées à la station d’Oum El Bouaghi et pour la même période sont illustrées dans le tableau 7 ci-dessous.

Tableau 7. Températures moyennes mensuelles en C° (1990-2013), Source : O.N.M Oum El Bouaghi (2013).

Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juit	Aout
Oum El Bouaghi	21,67	17,17	10,89	7,25	6,47	6,9	10 ,16	12,87	17,51	23,1	26,23	25,88

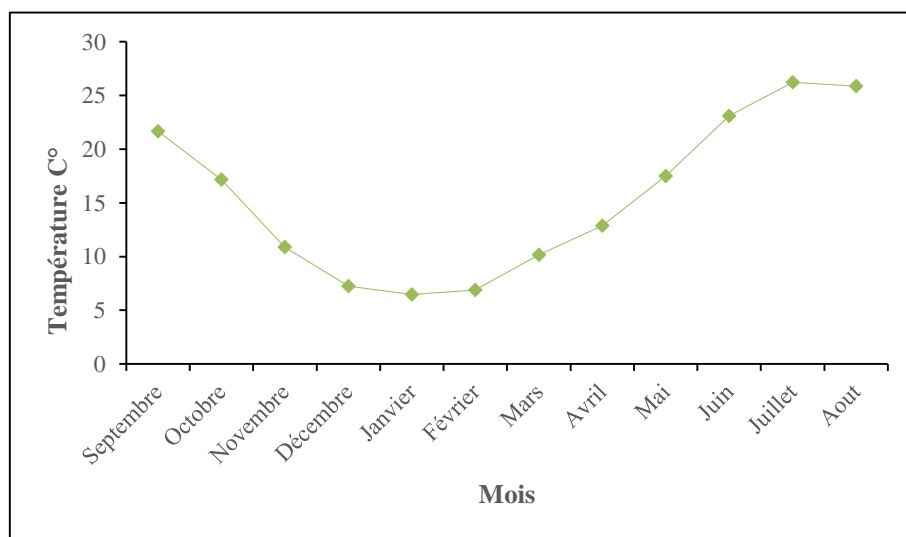
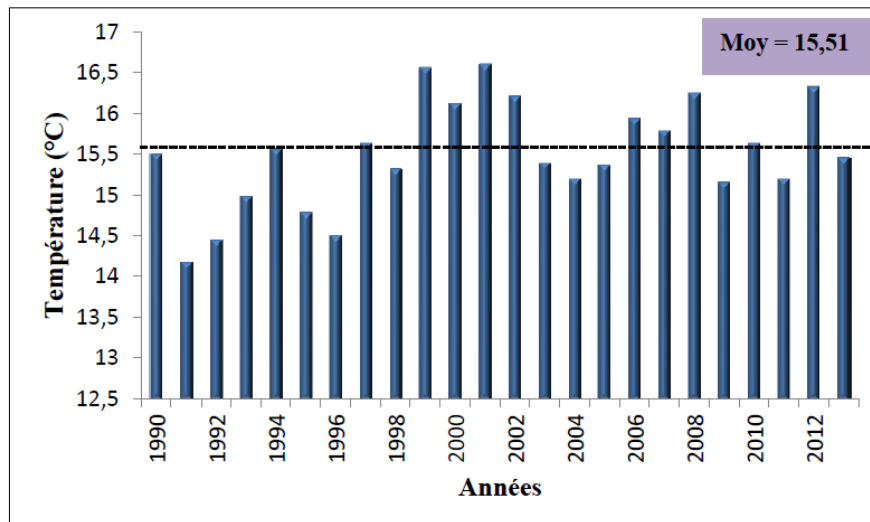


Figure 8. Variation de la température moyenne mensuelle - Station d’Oum El Bouaghi (1990-2013)

À l'échelle mensuelle, la température moyenne est élevée pendant la période sèche allant du mois de Juin à Septembre avec un maximum de l'ordre 26,23°C enregistré au mois de Juillet. Par contre, la période hivernale (Décembre à Février) est caractérisée par des valeurs plus basses variant de 6 à 10°C avec un minimum pouvant atteindre 6,47°C, observé au mois de Janvier.

À l'échelle annuelle les températures observées montrent une fluctuation thermique oscillent de 14,19 à 16,6°C. La moyenne annuelle est de l'ordre de 15,51°C



**Figure 9.** Température moyenne interannuelles - Station d'Oum El Bouaghi (1990-2013)

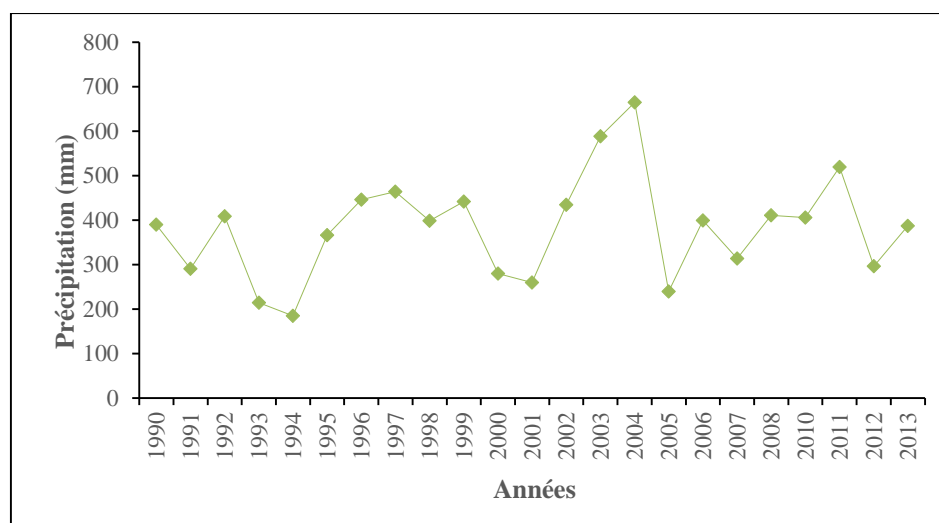
#### 7.2.4 Précipitation :

Les précipitations constituant le facteur principal dans l'établissement du bilan hydrique. Quel que soit leur nature (pluie, grêle, neige ou autre forme de condensation), les précipitations jouent un rôle essentiel dans l'alimentation des nappes souterraines et aussi dans le comportement hydrologique des cours d'eau de la région que nous essayerons d'étudier à l'échelle du mois, de la saison et de l'année.

L'altitude et l'éloignement de la mer des stations d'observation, sont les principaux facteurs qui constituent la répartition dans l'espace et le temps de pluie.

##### a. Répartition annuelle des précipitations :

Les hauteurs des précipitations annuelles au cours d'une série donnée varient avec la longueur de la période d'observation. La hauteur moyenne des précipitations varie peu si elle est calculée sur une période d'observation dépassant 20 à 30 ans, sa connaissance est nécessaire afin d'étudier et de déterminer le bilan de l'écoulement.



**Figure 10.** Variation interannuelle des précipitations - Station d'Oum El Bouaghi (1990-2013)

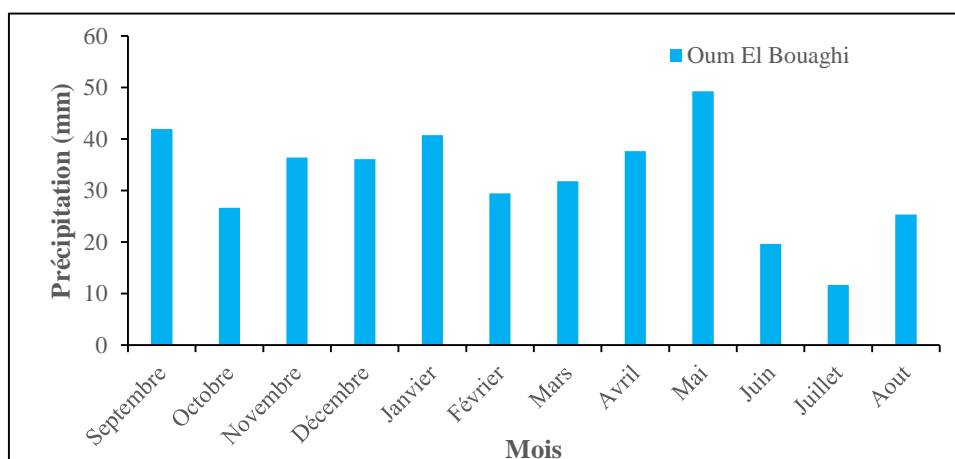
L'analyse de la courbe des variations interannuelles des précipitations, sur une période de 23 ans (1990-2013), montre que l'année 2004 est l'année la plus arrosée avec (665mm) par contre l'année 1994 est l'année la plus sèche avec 185.2 mm (Fig.10). Notons que les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 386,72 mm.

**b. Précipitation moyenne mensuelle :**

La répartition mensuelle des précipitations au cours de l'année influe aussitôt sur le régime des écoulements et les apports des nappes. Le tableau 9 et la figure 15 révèlent que le mois de Mai est le plus pluvieux avec un maximum de 49,29 mm obtenu à la station d'Oum El Bouaghi, par contre le mois de Juillet est considéré comme le plus sec avec un minimum de 11,65mm enregistré à la station d'Oum El Bouaghi.

**Tableau 8.** Précipitation moyenne mensuelle O.N.M Oum El Bouaghi (2013)

Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juit	Aout
Oum El Bouaghi	41,95	26,65	36,38	36,1	40,77	29,45	31 ,8	37,67	49,29	19,6	11,65	25,37



**Figure 11.** Variation des précipitations moyennes mensuelles

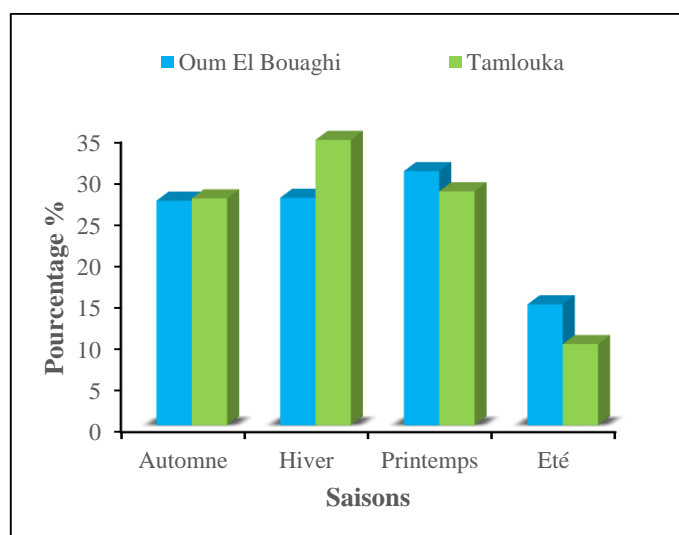
### c. Répartition saisonnière :

La subdivision des pluies de l'année pour chaque saison est faite suivant les saisons agricoles (Automne, Hiver, Printemps, Été). Les histogrammes de variation des précipitations moyennes mensuelles de la station d'étude (Fig. 23), montre une individualisation nette de la saison sèche d'été, représentée par les mois : Juin, Juillet et Août dans l'ordre, les mois les plus secs de l'année pour les deux stations avec un minimum de 38,52 mm. Soit 9,82 % obtenu à la station de Tamlouka. On note que les deux saisons printanière et hivernale sont les plus pluvieuses avec des précipitations de l'ordre de 225,08 mm soit 58,2 et 245,97 mm soit 62,74 % des pluies annuelles pour les stations d'Oum El Bouaghi et Tamlouka respectivement.

Pour la répartition saisonnière, on remarque une concentration notable des précipitations, en hiver et en printemps qui représentant respectivement presque 34,47% pour la station de Tamlouka et 30,7% pour la station d'Oum El Bouaghi des précipitations annuelles.

**Tableau 9.** Répartition saisonnière des précipitations O.N.M Oum El Bouaghi (2013).

Saisons		Automne		Hiver		Printemps		Eté	
Stations	Période	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Oum El Bouaghi	1990-2013	104,98	27,14	106,32	27,49	118,76	30,70	56,62	14,64
Tamlouka	2011-2013	107,49	27,42	135,15	34,47	110,82	28,27	38,52	9,82



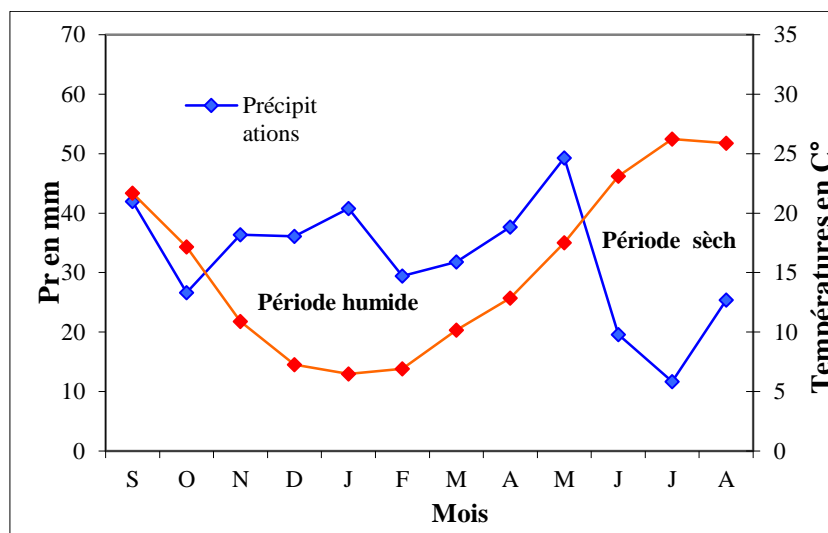
**Figure 12.** Répartition saisonnière des précipitations pour les stations d'Oum El Bouaghi et Tamlouka

#### 7.2.5 Relation température-précipitation :

Selon Gaussen et Bagnouls(1953), la détermination des mois ou des périodes (saison) véritablement sèches et humides, il est nécessaire de faire la combinaison des facteurs thermiques et pluviométriques. Pour faire le diagramme pluvio-thermique de la station d'Oum El Bouaghi, on porte les précipitations sur une échelle double des températures moyennes

### a. La courbe pluvio-thermique :

La combinaison des deux facteurs climatique (précipitation et température) a permis d'établir les courbes pluvio-thermique et de déterminer ainsi les saisons sèches et humides pour les périodes considérées. Ainsi, on remarque qu'au niveau de la station d'Oum El Bouaghi la saison sèche s'étend sur cinq mois, du mois de Juin jusqu'au mois de Octobre. Et une saison humide qui s'étale sur Sept mois, de Novembre jusqu'au mois de Mai (Fig. 13). Ce qui classe la zone d'étude parmi les zones à régime méditerranéen.



**Figure 13.** Diagramme pluvio-thermique - stations d'Oum El Bouaghi (1990-2013)

Une meilleure approximation peut être faite en considérant l'action de la chaleur et de l'humidité vis-à-vis l'activité biologique, car en effet : les besoins en eau des végétaux suivent une progression exponentielle quand les températures progressent arithmétiquement.

### b. Type de climat (indice d'aridité) :

Le coefficient d'aridité sert à préciser le type de climat de la zone étudiée, pour le quantifier. On doit appliquer la formule suivante :

$$A = \frac{P}{T+10} \quad (\text{Formule de DEMARTON})$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

T : température moyenne annuelle (°C).

A : coefficient d'aridité.

**Tableau 10.** Les différentes valeurs de (A) coefficient d'aridité selon DEMARTON

Valeur de A	Type de climat
< 5	Climat hyperaride
5 à 7.5	Climat désertique
7.5 à 10	Climat steppique
10 à 20	Climat semi-aride
20 à 30	Climat tempéré

Pour le calcul de cet indice et en vue de l'absence des données à la station de Tamlouka, nous avons pris en considération les données climatiques des stations les plus proches celles d'Oum El Bouaghi. L'application numérique donne :

$$A = \frac{386,72}{15,51 + 10} = 15.15$$

Donc la région d'étude appartient à un climat semi-aride caractérisé par une saison humide froide et une saison sèche chaude.

### c. Estimation du bilan hydrique :

La connaissance du bilan de l'eau dans la région d'étude est nécessaire car il sert à évaluer les différentes composantes du bilan hydrique à savoir : *l'évaporation, l'écoulement et l'infiltration*.

Le paramètre de l'évaporation étant le plus important dans la mesure, où il conditionne l'abondance ou l'absence de l'eau pour la végétation et l'écoulement.

➤ **Evapotranspiration potentielle (ETP) :** Elle se produit sur un sol gorgé d'eau avec un tapis végétal dense, à partir de ces deux dernières définitions il s'avère que L'ETP est toujours supérieur ou égale à l'ETR.

On désigne sous le nom pouvoir évaporation de l'atmosphère (PEA) la hauteur d'eau évaporée par jour dont les maximums sont enregistrés.

Les résultats obtenus pour la station d'Oum El Bouaghi sont mentionnés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 11.** Les valeurs de L'ETP estimées par la méthode de Thornthwait- station d'Oum El Bouaghi (1990-2013) O.N.M Oum El Bouaghi (2013).

MOIS	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juit	Aout
ETP	101,7	65,2	27,2	13,1	11, 7	12,7	29 ,1	45,9	84	133,9	167,9	153,6

Les valeurs de L'ETP estimées par la méthode de Thornthwait sont présentant une valeur de l'ordre de 845.9mm

➤ **Evapotranspiration réelle (ETR) :** La méthode de l'eau de *C.W.Thornthwaite* est une méthode du bilan hydrique du sol, dans laquelle on estime la réserve en eau facilement utilisable (RFU) exprimée en mm de hauteur d'eau. La quantité d'eau maximum stockée par le sol dépend, pour sa saturation, de la nature, de la composition lithologique et de l'épaisseur de la couche superficielle du terrain et du climat. Thornthwaite a admis que le sol est saturé quand il a absorbé une lame d'eau équivalente à 100 mm. Dans les zones arides ou semi-arides, cette valeur maximum peut être ramenée à 50 mm du fait que le sol n'est pas toujours saturé (Archambault et al. 1975). Pour notre cas on prend une RFU de 50 mm pour la station d'Oum

El Bouaghi. Le calcul de l'ETR par cette méthode dite du bilan de Thornthwaite dépend de la valeur de cette (RFU).

De ce fait, il existe deux cas (Debieche, 2002):

- Si pour un mois,  $P \geq ETP$  on pose que l'ETP = l'ETR, la quantité d'eau qui reste ( $P - ETR$ ) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum 100 mm et on aura dans ce cas un excédent en eau (Ex) qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace (I) vers la nappe, soit sous forme de ruissellement (R).
- Si  $P < ETP$ , la valeur de  $ETR = P + RFU$  jusqu'à égalisation avec l'ETP.
- Si la RFU est nulle, on aura un déficit agricole ( $Da$ ) ;  $Da = ETP - ETR$  et l'ETR ne pourra affecter que la quantité d'eau.

Donc :

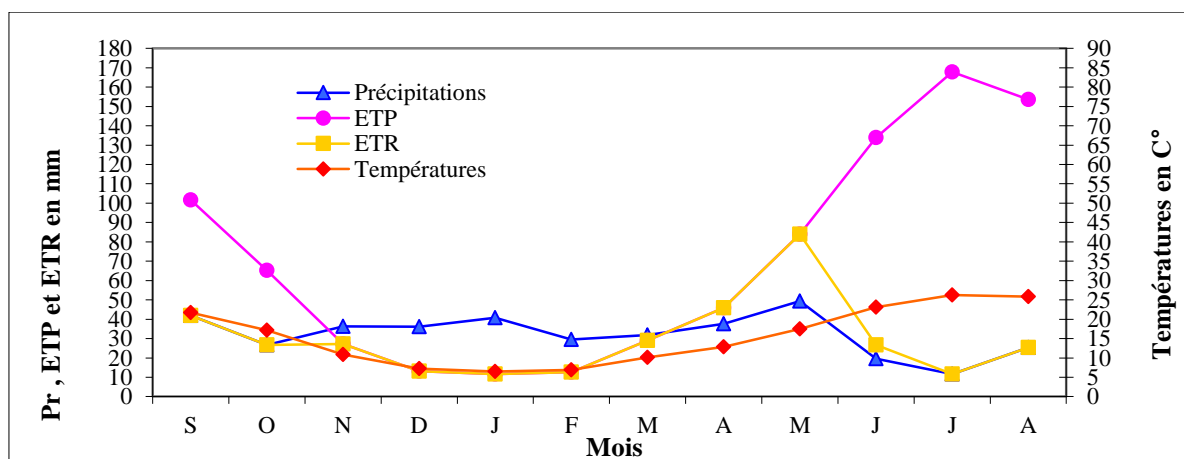
- Si  $P \geq ETP \Rightarrow ETR = ETP$
- Si  $P < ETP \Rightarrow ETR = P + RFU$

**Tableau 12.** Bilan d'eau par la méthode C.W Thornthwaite à la station d'Oum El Bouaghi (1990-2013)  
O.N.M Oum El Bouaghi (2013).

paramètres	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juit	Aout	totale
P (mm)	41.95	26.65	36.38	36.10	40.77	29.45	31.80	37.67	49.29	19.60	11.65	25.37	386.68
T°C	21.67	17.17	10.89	7.25	6.47	6.90	10.16	12.87	17.51	23.10	26.23	25.88	15.51
ETP (mm)	101.70	65.19	27.23	13.09	11.65	12.66	29.08	45.90	83.99	133.88	167.89	153.61	845.85
RFU (mm)	0.00	0.00	9.15	32.16	50.00	50.00	50.00	41.77	7.07	0.00	0.00	0.00	240.15
ETR (mm)	41.95	26.65	27.23	13.09	11.65	12.66	29.08	45.90	83.99	26.67	11.65	25.37	355.87
Déficit (mm)	59.75	38.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	107.22	156.24	128.24	489.98
Excédent (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	11.29	16.79	2.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.81

**d. Interprétation du bilan :**

Le bilan hydrique de THORNTWAIT (Fig. 14) a montré que :



**Figure 14.** Bilan d'eau par la méthode C.W Thornthwaite à la station d'Oum El Bouaghi (1990-2013)

- ✓ Le déficit agricole (D.A) se remarque à partir du mois de Juin et se poursuit jusqu'à Octobre, avec 107.2 mm pour le mois de Juin et 38.5mm pour le mois d'Octobre. Il atteint 490 mm soit 126.7% des précipitations
- ✓ La reconstitution de la RFU se fait à partir du mois de Novembre et atteint un maximum de 50 mm aux mois de Janvier, Février, Mars en diminuant au mois d'Avril et Mai puis elle s'épuise.
- ✓ On note durant les 3 mois (Janvier, Février et Mars), l'excédent est de l'ordre de 11,2mm, 16,8mm, 2,7mm respectivement.

#### e. Bilan hydrologique :

Le bilan hydrologique vise à déterminer la répartition des précipitations reçues par une surface. Donc le bilan hydrologique est le cycle de l'eau ou en d'autre terme le processus que peut suivre normalement une quantité d'eau arrivant au sol avant de retourner une autre fois à l'atmosphère. Ce processus est mesuré dans l'expression suivante :

$$P = ETR + R + I$$

avec :

P : précipitation moyen annuel en (mm)

ETR : l'évapotranspiration réelle (mm)

I : l'infiltration (mm)

R : ruissellement moyen annuel en (mm)

Le ruissellement est calculé à partir de la formule de TEXERONT- BERKLOFF

$$R = P^3 / 3 * ETP^2$$

Pour le calcul de l'infiltration, on procède par l'équation fondamentale du bilan hydrologique

$$I = P - ETR - R$$

**Tableau 13.** Bilan hydrologique

Station	P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I (mm)
Oum El Bouaghi	386,72	845,9	355.9	26.94	3.87

D'après le bilan hydrologique (Tab. 13), on note pour une précipitation de 386,72 mm, on remarque une ETP très élevée de l'ordre de 845,9 mm et une ETR égale à 355,9 mm, contre des quantités d'eau de 26.94mm ruisselées et 3.87mm infiltrées.

#### 8. Conclusion :

La région de Tamlouka fait partie de la région des hautes plaines dont l'altitude moyenne est supérieure à 800 m avec des pentes faibles. Cette région est occupée par un vaste paysage de hautes plaines traversées par l'Oued M'gaisba, caractérisée par des bas-fonds et des glacis alluviaux. Au Nord, des paysages de glacis assez étendus se raccordent à la plaine.

Il est à remarquer pour cette région que les structures synclinale du crétacé supérieur avec des formations calcaire et des formations quaternaires reposant sur des argiles miocènes.



L'étude hydrogéologique de la plaine de Tamlouka a permis de définir deux systèmes aquifères superposés et distincts par leur caractère lithologique et géométrique. Le premier, se trouvant dans le remplissage argilo-sableux du Mio-plio-quaternaire, constitue la nappe superficielle, dont l'épaisseur augmente de la périphérie vers le centre de la plaine. Les puits captant cette nappe sont utilisés pour l'AEP, l'alimentation du bétail et l'irrigation. Le deuxième, contenu dans les formations carbonatées crétacées-jurassiques, constitue la nappe profonde dont les paramètres hydrodynamiques sont tributaires des conditions lithostructurales. Ainsi, la prédominance, au Nord du faciès marno-calcaire est dû à l'unité tellienne, alors qu'au Sud, ce sont les calcaires fissurés du néritique et de l'unité intermédiaire de Djebel Djahfa qui constituent le principal réservoir.

L'interaction entre les deux nappes s'effectue soit à travers les couches semi perméables localisées à la base de la nappe superficielle ; soit à la faveur de failles affectant les massifs calcaires, et l'écoulement général des eaux souterraines suivent la pente topographique. Cependant, le caractère morphologique (cuvette) est la principale cause de l'apparition de vastes maraîchages au centre de la plaine.

Le climat continental semi-aride de la région de Tamlouka est confirmé par la non homogénéité pluviométrique entre la saison sèche (faible précipitation) et la saison humide (forte précipitation) pour les stations d'Oum El Bouaghi ; ce qui influe sur le bilan hydrique qui montre des valeurs très élevées de l'évapotranspiration réelle (92.03 %), tandis que l'infiltration et le ruissellement respectivement (1 et 7,22 %) des précipitations enregistrées. La période de recharge s'effectue au mois de Novembre et commence à s'épuiser au mois de Mai.



# Chapitre II

## Matériels et méthodes

## Chapitre II : Matériels et méthodes

Nous allons présenter les différentes méthodes de traitements des images satellitaires, les conditions et les modalités d'échantillonnage, les techniques de mesure et d'analyse des échantillons ainsi que le traitement des résultats par utilisation de l'outil informatique.

### 1. Matériels

#### 1.1 Les données satellitaires

##### 1.1.1 Les images (MNT) :

Un Modèle Numérique de Terrain (MNT) est une représentation 3D de la surface d'un terrain ou d'une planète, créée à partir des données d'altitude du terrain. Le MNT ne prend pas en compte les objets présents à la surface du terrain tels les plantes et les bâtiments.

Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) fait référence à des fichiers matriciels et vectoriels topographiques fournis par deux agences américaines : la NASA et la NGA (ex-NIMA). Ces données altimétriques ont été recueillies au cours d'une mission de 11 jours en février 2000 par la navette spatiale Endeavour (STS-99) à une altitude de 233 km en utilisant l'interférométrie radar.

##### 1.1.2 Les images satellitaires (LANDSAT OLI) :

Afin d'étudier l'évolution des états de surface de la plaine de Tamlouka, nous avons analysé une seule scène d'images Landsat 8 « p193 r35 » de trois dates différentes (Avril 2014, Septembre 2014 et Avril 2015). Cette scène contient 12 bandes. On a utilisé les 6 bandes multispectrales (3 du visible et trois infrarouges) qui sont : OLI2, 3, 4, 5, 6 et 7 à 30 m de résolution.

##### 1.1.3 Les images Google Earth :

Un deuxième jeu de données a été utilisé pour la mise en place de la cartographie diachronique de l'occupation du sol pour les dates les plus récentes. En effet, les images satellitaires de Google Earth de très haute résolution (Images Spot, filiale d'Astrium) ont permis de bien identifier les différentes classes et de faire la correspondance avec leur réponse spectrale sur les images satellitaires « Landsat » de trois dates. Elles ont aussi servi pour la vérification et la validation des classifications.

#### 1.2 Les logiciels utilisés :

##### 1.2.1 Global Mapper :

Est un logiciel de visualisation capable d'afficher les images raster, les données d'altitude et les données vectorielles les plus répandues. Il convertit, édite, imprime, acquière des données GPS, et vous permet d'utiliser des fonctionnalités SIG sur vos jeux de données de manière peu onéreuse et simple.

Un modèle numérique de terrain (MNT) peut être chargé avec une carte topographique pour créer une vue 3D de la carte. Une photographie aérienne numérique peut être drapée en même temps que des données vectorielles pour créer une carte riche en informations.

Il possède des fonctionnalités internes pour le calcul de distances et de superficies, l'ajustement de la luminosité et du contraste des images raster, des requêtes sur les altitudes, la création de contours, l'analyse de bassin versant à partir de MNT.

### **1.2.2 ArcGis 10.3 :**

ArcGis Desktop comprend une suite d'applications intégrées : *ArcMap*, *ArcCatalog* et *ArcToolbox*. A l'aide de ces trois applications, on peut effectuer toutes les tâches SIG, de la plus simple à la plus avancée, y compris la cartographie, la gestion des données, l'analyse géographique, la mise à jour des données et le géotraitement.

ArcMap représente l'application centrale dans ArcGIS Desktop. Il s'agit de l'application SIG utilisée pour toutes les tâches associées aux cartes, y compris la cartographie, l'analyse des cartes et la mise à jour. Dans cette application, on travaille avec des cartes. Ces dernières ont une mise en page contenant une fenêtre géographique avec un ensemble de couches, légendes, barres d'échelle, Flèches «Nord» et autres éléments.

### **1.2.3 ENVI 5.1 :**

Le logiciel ENVI est un logiciel complet de traitement d'images de télédétection optiques et radar. Toutes les méthodes de traitement d'images de corrections géométriques, radiométriques, de classification et de mise en page cartographique sont présentes. Ce logiciel est fort dans son approche de traitement d'image qui combine les techniques du (file-based) et (band-based) avec des fonctions interactives. Lorsqu'un fichier d'image est ouvert chaque bande est stockée dans une liste puis elle peut être manipulée par toutes les fonctions du système. Si plusieurs fichiers sont ouverts en même temps, on peut sélectionner les bandes qui vont être traitées.

En général, le logiciel dispose essentiellement de tous les outils nécessaires au traitement d'images dans différentes disciplines, et permet pour chacun d'implémenter sa propre stratégie d'analyse.

### **1.2.4 Google Earth Pro :**

Est un logiciel, propriété de la société Google, permettant une visualisation de la Terre avec un assemblage de photographies satellitaires. Ce logiciel permet à tout utilisateur de survoler la Terre et de zoomer sur un lieu de son choix. Selon les régions géographiques, les informations disponibles sont plus ou moins précises. Ainsi un habitant d'une métropole peut localiser son restaurant préféré, obtenir une vue en 3D des immeubles de la métropole, alors que la résolution des photos d'une

bonne partie de la Terre est très faible. La couverture, d'après Google, devrait s'améliorer rapidement.

### 1.2.5 Diagramme

C'est un logiciel d'hydrogéochimie qui aide à vérifier la fiabilité des analyses chimiques par le calcul de la balance ionique, à calculer des paramètres géochimiques (rapports caractéristiques et les indices de saturation) et de réaliser des diagrammes hydrochimiques (Piper, Schoeller, Reverside, ... etc.).

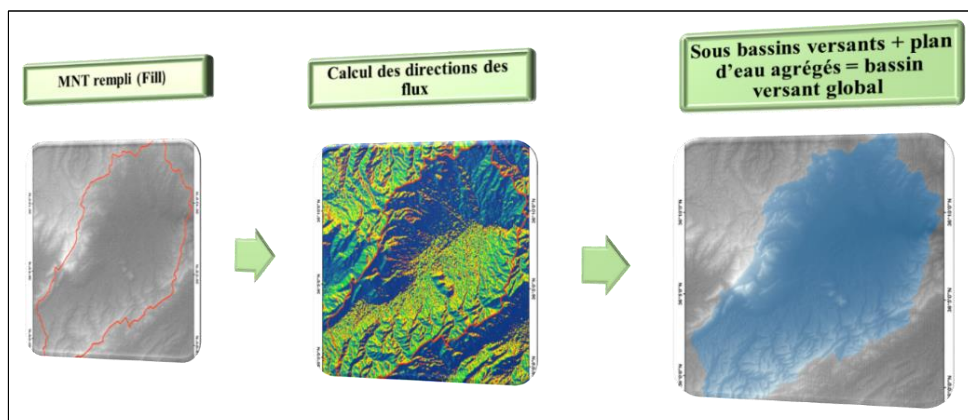
### 1.2.6 PreeqI v 2.15 (Parkhurst and Appelo, 1999)

C'est un logiciel de modélisation thermodynamique qui fait la simulation à l'évaporation naturelle de l'eau (température de l'échantillon). Il fait des calculs des indices de saturation ( $IS = \log(Q) / \log(Kps)$ ) des minéraux dissous dans l'eau (en utilisant la loi de Debye-Huckel).

## 2. Méthodes :

### 2.1 La modélisation hydrologique :

Le bassin versant topographique est le collecteur des eaux de précipitations qui ruissellent jusqu'au plan d'eau qui en est le réceptacle. On considère ainsi que tout le contour du plan d'eau représente un exutoire potentiel. C'est pourquoi le contour du plan d'eau est transformé en points espacés, distance qui correspond à la résolution du MNT. A chaque point sera associé un « sous bassin versant », l'ensemble des sous-bassins formant le bassin versant total du plan d'eau. La délimitation du bassin versant topographique n'a théoriquement besoin que d'un exutoire, à partir duquel les géotraitements permettent de remonter les lignes de plus grande pente et de dessiner les lignes de crêtes.



**Figure 15.** Illustration de la chaîne de géotraitements pour la délimitation du bassin versant d'un plan d'eau

Sous ArcGis le MNT a subi le traitement de remplissage pour donner un modèle hydrologique correct (outil « Fill »), puis les directions de flux ont été calculées (Flow direction) et (Flow

accumulation). Le sous bassin versant est ensuite calculé pour chaque point de contour en utilisant l'outil Watershed de « ToolBox ArcGis / Spatial Analyst / Hydrology ». Ces sous bassins versants sont transformés en polygones (couche vectorielle) puis les réunis avec la surface du plan d'eau pour former un bassin versant global (Fig. 15).

### 2.1.1 Processus d'extraction du réseau hydrologique :

Les techniques d'extraction de réseau à partir d'un MNT raster se décomposent, essentiellement en deux approches : celles qui reposent sur une analyse géomorphologique par caractérisation locale des variations altimétriques et celles à inspiration hydrologique en se basant sur le suivi du ruissellement de l'eau.

Dans cette approche, les méthodes d'extraction retiennent le principe d'un cheminement naturel des eaux entraînées par la gravité et guidées par la topographie. Elles s'appuient sur la détermination des directions d'écoulement de l'eau en chaque cellule de résolution ou pixel à partir des valeurs altimétriques du MNT, sachant que l'eau emprunte le chemin défini par la ligne de plus grande pente. Ainsi les cellules se déversent les unes dans les autres en fonction de la pente locale et de ceci un ensemble cohérent de talwegs principaux pourra être déduit.

Pour cette raison nous avons utilisé un processus d'extraction du réseau hydrologique basé sur une analyse hydrologique qui utilise le MNT. Les étapes de traitement que nous proposons sont schématisées par l'organigramme fonctionnel donné par la figure 16.

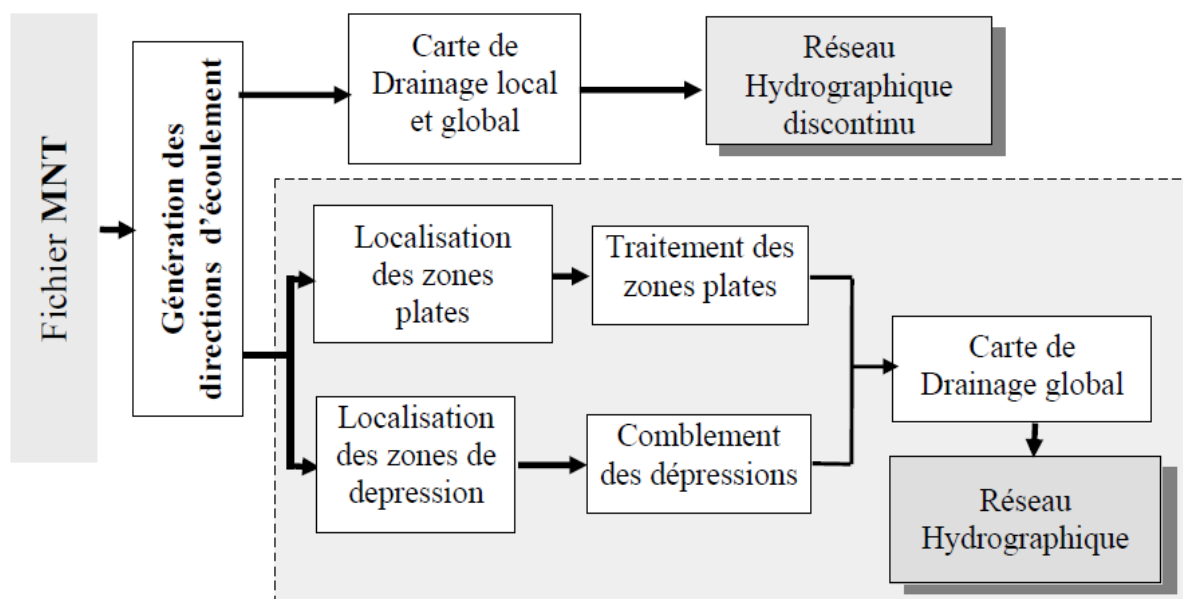


Figure 16. Organigramme général du processus d'extraction du réseau hydrologique

### 2.1.2 Extraction de la carte des pentes :

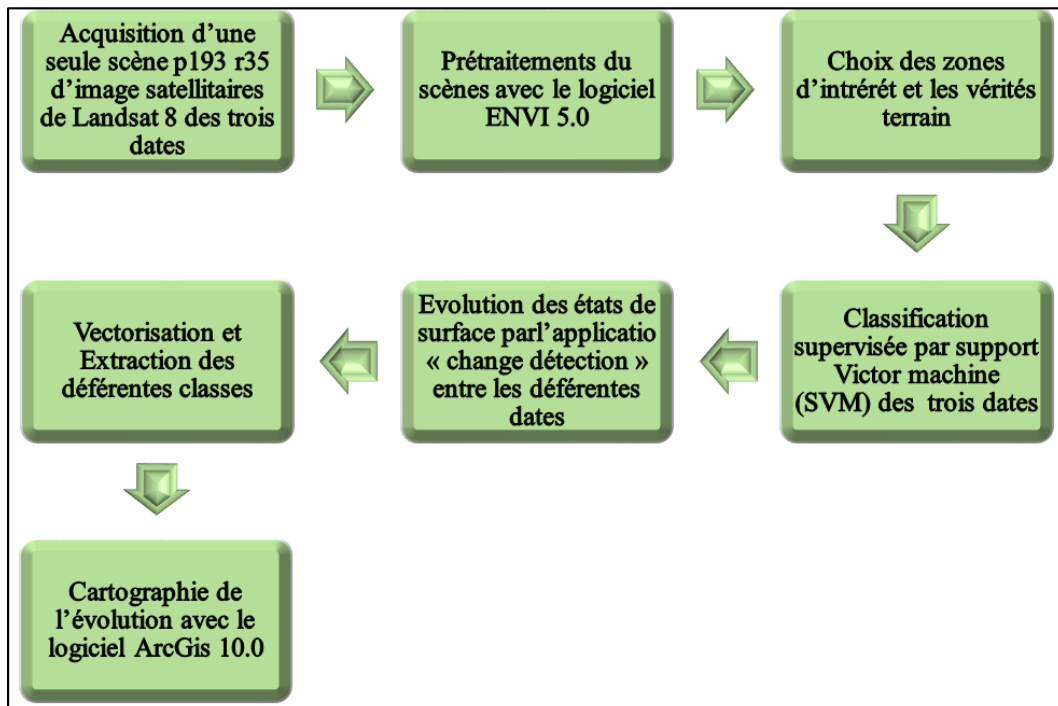
La pente est un paramètre primordial qui intervient dans la détermination de beaucoup d'indices hydrologiques. Une carte des pentes de qualité est d'une grande importance pour pouvoir analyser correctement un bassin versant (Gunie, 2002).

La Carte des pentes quant à elle est dérivée du MNT sous ArcGIS à partir de *Modules* → *Spatial Analyst tools* → *surface* → *Slope* : Nous obtenons donc une carte des pentes avec des pourcentages variant entre 1 et 100 pour cent.

## 2.2 Occupation du sol :

### 2.2.1 Les prétraitements des images :

Les données acquises par télédétection nécessitent donc une série de traitements afin qu'elles soient les plus représentatives possible de la réalité. Pour atteindre notre objectif, notre démarche a été réalisée comme suit (Fig. 17) :



**Figure 17.** Organigramme du processus général de traitements des images Landsat8

#### a. Empilement des bandes spectrales (Layer stacking)

Le prétraitement d'image commence par un empilement spectral des bandes de chaque scène à partir de la commande <layer stacking> dans le logiciel de traitement d'images satellitaires (Envi 5.1), cette étape est utilisée pour simplifier le découpage des 3 dates étudiées.

#### b. Découpage des une images (Resize data) pour extraire la zone d'étude :

Pour l'extraction du secteur d'intérêt et la correction géométrique de l'image LANDSAT dans le système de référence UTM/WGS 84, fuseau 31N. Nous avons effectué un redimensionnement par « Resize Data » dans le menu principal d'ENVI.

#### c. La composition colorée :

Dans l'exploitation des images LANDSAT, nous pouvons choisir de faire une analyse combinée en faisant appel aux différentes compositions colorées ou choisir une analyse individuelle, canal par canal.

Les images individuelles apparaissent comme des images à niveaux de gris. Cependant, ils peuvent être combinés pour former des images composites, en affectant à chaque bande spectrale une couleur primaire.

Nous considérons que les trois bandes spectrales sélectionnées présentent le maximum d'information. D'après ce dernier la combinaison des bandes 6 (MIR), 5 (PIR) et 4 (Rouge) représente le maximum d'information pour notre thématique dans la région d'étude. L'analyse des signatures spectrales montre une décorrélation entre les différentes bandes spectrales.

#### d. Rehaussement des images (Enhance) :

Modifier l'aspect visuel d'une image en vue de faciliter son interprétation. L'aspect visuel d'une image dépend fortement de sa dynamique (contraste).

### 2.2.2 Classifications des images

Pour faire la classification par « Arbre de décision » du couvert végétal de la zone d'étude, il faut calculer l'indice normalisé de végétation « NDVI » d'une part, et de déterminer le seuil exact caractérisant la végétation d'autre part.

#### a. Indice de végétation (NDVI)

On a calculé le NDVI (Normalize Différence Végétation Index) pour chaque date. C'est un indice de végétation qui se définit comme la différence normalisée des mesures de réflectance spectrale acquises dans les zones de longueurs d'onde «Proche Infra-Rouge » (*PIR*) et (*Rouge*).

$$NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)$$

Le NDVI est directement lié à l'activité photosynthétique des plantes et donc à la capacité d'absorption énergétique de la canopée du couvert végétal. Il agit comme indicateur de la biomasse chlorophyllienne des plantes. En termes de réflectance dans le PIR et le Rouge, la neige et les nuages se comportent à l'inverse des plantes vertes.

#### b. Seuillage des bandes (segment image)

Pour le choix des bandes qui ont le maximum d'information avec une bonne discrimination de la classe à extraire. Afin de réaliser la classification par arbre de décision on a choisi les seuils suivants :

**Tableau 14.** Les seuilles des néo-canaux utilisés pour la classification par arbre de décision

Date	07/04/2014		14/09/2014		10/04/2015	
	Bande	Seuil	Bande	Seuil	Bande	Seuil
<b>Couvert Végétal</b>	NDVI	> 0.3	NDVI	> 0.16	NDVI	> 0.3

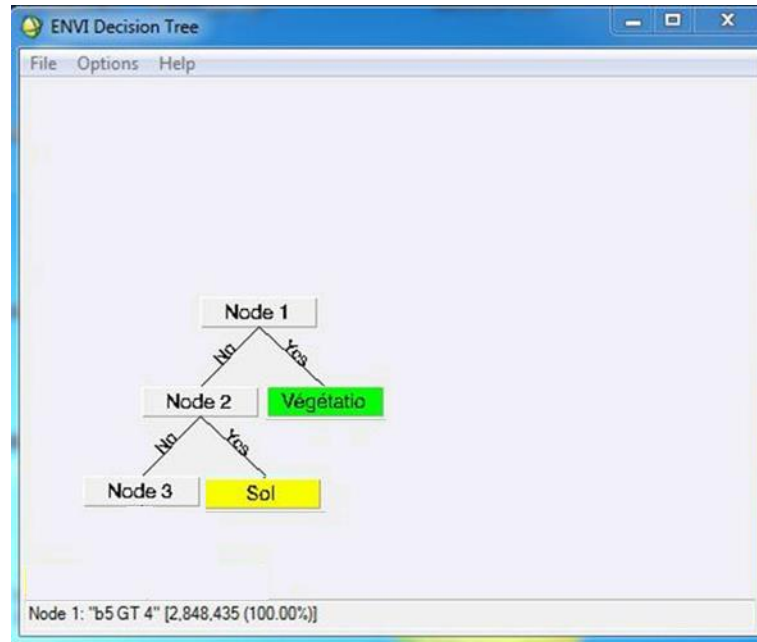
#### c. Classifications par Arbre de décision :

Un des objectifs de traitement d'images satellitaires est d'obtenir une carte des états de surface. Ce plan s'obtient par la classification des données de télédétection. Cette classification consiste à regrouper des pixels en catégories les plus homogènes possibles, c'est-à-dire créer des



classes contenant le plus de pixels similaires. La partition de l'image en ensembles de pixels représentant une même occupation du sol.

Le principe des arbres de décision est de partitionner les données de façon que la distribution de la variable réponse diffère le plus possible d'une classe (Couvert végétal) à l'autre (sol nu). Par éclatements successifs des nœuds, en partant du nœud initial, chercher l'attribut qui génère le meilleur éclatement (le plus discriminant). Répéter à chaque nœud jusqu'à la satisfaction d'un critère d'arrêt (gain minimal d'info, taille minimale des nœuds, ...)



**Figure 18.** Classification par arbre de décision

### 2.2.3 La détection des changements :

On utilise la fonction « Change Détection » d'ENVI, la comparaison entre deux classifications de deux dates produit une matrice et une carte de changement entre l'état initial et l'état final. Les images d'entrée peuvent être mono-bande de différents types de formats d'images.

#### a. Les matrices de changements :

L'utilisation des statistiques de détection des changements permet de compiler un tableau détaillé des changements entre deux classifications. Les modifications détectées à l'aide de cette fonction sont différents de la discrimination ordinaire des deux images : une analyse de changement de l'état initial de chaque classe de l'image par rapport à l'état final est donnée sous forme d'un rapport. Ce rapport contient les informations de changement entre les deux images en nombre de pixels, en pourcentage et en unité de surface (m<sup>2</sup>). C'est cette dernière qu'on va utiliser dans notre travail pour construire la matrice « Change Détection Différence Map ».

**b. Les cartes de changements :**

On utilise la fonction «Thematic Change Workflow » de l'ENVI, les cartes de classifications produisent des cartes de changement entre l'état initial et l'état final. Les images d'entrée peuvent être mono-bande de différents types de formats d'images.

La différence est calculée en faisant la soustraction entre l'image de l'état final et celle de l'état initial. Les classes ont été définies par la vérification et la validation des seuils.

**2.2.4 Cartographie par ArcGis 10.3 :**

La cartographie englobe un grand nombre de notions, et joue un rôle spécial dans les SIG. Elle présente des regroupements logiques d'informations géographiques sous forme de couches. Ce qui nous a conduits d'effectuer les opérations suivantes :

- ✓ Extraction des classes de chaque carte de classification et de changement réalisée sous ENVI.
- ✓ Création d'un fichier pour stocker les informations sous la forme de couches thématiques pouvant être reliées les unes aux autres par la géographie.
- ✓ Transféré les différentes couches extraites d'ENVI vers ArcGis 10.3, sous forme vecteur (Shapefile) pour les différentes classes, d'une part. Sous forme raster pour les compositions colorées (Géotiff), d'autre part.
- ✓ La mise en page afin d'organiser les éléments cartographiques (bloc de données, barre d'échelle, légende ... etc.) pour l'impression de la carte.

**2.3 Hydrochimie :**

La composition chimique d'une eau est indispensable pour la détermination de sa qualité et du domaine de son utilisation. Dans cette partie on se basant particulièrement sur les variations physico-chimiques des eaux souterraines (des eaux de l'aquifère superficiel) de la plaine de Tamlouka afin de mettre en évidence l'influence de la nature lithologique sur leur composition chimique. Les puits de cette aquifère sont tous situés sur les principaux axes routiers et près des agglomérations. Leurs eaux sont donc à un usage quotidien surtout l'activité agricole, d'où la nécessité d'un suivi rigoureux de leur composition chimique et leur degré de potabilité ou de pollution.

Avant de traité et discuté les différentes résultats d'analyse des données obtenus dans les eaux souterraines de la plaine de Tamlouka on a besoin de définir les principaux méthode à suivre avec bien sur les différentes matériel en se basant spécialement sur les conditions et le mode d'échantillonnage, ainsi que les techniques de mesure et d'analyse des échantillons sans oublier l'outil informatique (PhreeqC et Diagrammes).

**2.3.1 Mode échantillonnage :**

Une campagne (Avril 2012) de prélèvement de 20 échantillons (Tab. 15), a été réalisé par Gueroui, 2015. Ils sont conditionnés par une bonne répartition spatiale de ses différents points d'eau (Gueroui, 2015). Les stations d'échantillonnage ont été divisées en 3 groupes : puits domestiques, forages et sources, réparties en 3 sous zones : la ville de Tamlouka, Ain Arko et Sidi Maach (Fig. 19).

**Tableau 15.** Campagne d'échantillonnage dans la zone d'étude (Gueroui., 2015)

Campagnes		Date de Prélèvement			Nombre d'échantillons prélevés et analysés		
1		Avril 2012			20		
Cordonnées des points de prélèvement	Points	Cordonnées GPS			Cordonnées UTM		
		Latitude	Longitude	Elévation (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
	<b>F8</b>	36°5'50.05" N	7°7'57.61"E	777	331899,6	3996347,7	777
	<b>F9</b>	36°5'8.84" N	7° 5'42.83"E	788	328504,03	3995143,1	788
	<b>F10</b>	36°9'40.95" N	7° 7'56.94"E	752	332147,5	4002891,5	752
	<b>F15</b>	36°9'36.50" N	7° 8'21.96"E	746	332672,5	4002800,5	746
	<b>F16</b>	36°6'1.29" N	7° 6'39.49"E	775	329952,64	3996731,8	775
	<b>F17</b>	36°4'44.5" N	7° 6'41.50"E	810	329956,95	3994364,5	810
	<b>P1</b>	36° 6'50.03"N	7° 9'34.11"E	762	334347,94	3998149,9	762
	<b>P2</b>	36° 6'11.10"N	7° 9'44.70"E	778	334590,04	3996945,3	778
	<b>P3</b>	36° 6'37.28"N	7° 9'59.63"E	766	334978,61	3997745	766
	<b>P4</b>	36° 5'57.65"N	7°10'0.79"E	782	334984,59	3996523,2	782
	<b>P5</b>	36° 6'57.45"N	7°10'16.62"E	763	335415,14	3998358,5	763
	<b>P6</b>	36° 6'16.07"N	7°10'26.74"E	780	335644,21	3997078,6	780
	<b>P7</b>	36° 5'34.30"N	7°10'49.20"E	804	336181,75	3995780,9	804
	<b>P8</b>	36° 5'19.86"N	7°10'47.63"E	825	336134,16	3995336,7	825
	<b>P9</b>	36° 5'32.80"N	7° 9'49.70"E	793	334692,79	3995762,7	793
	<b>P10</b>	36° 5'26.63"N	7°10'17.18"E	796	335376,49	3995559,6	796
	<b>P11</b>	36° 5'18.55"N	7° 9'52.85"E	794	334763,28	3995322,1	794
	<b>P12</b>	36° 5'43.60"N	7° 9'55.00"E	781	334831,62	3996093	781
<b>P13</b>	36° 4'57.54"N	7° 9'53.15"E	813	334758,57	3994674,5	813	
<b>S1</b>	36° 5'51.70"N	7°11'50.90"E	830	337734,81	3996288,4	830	

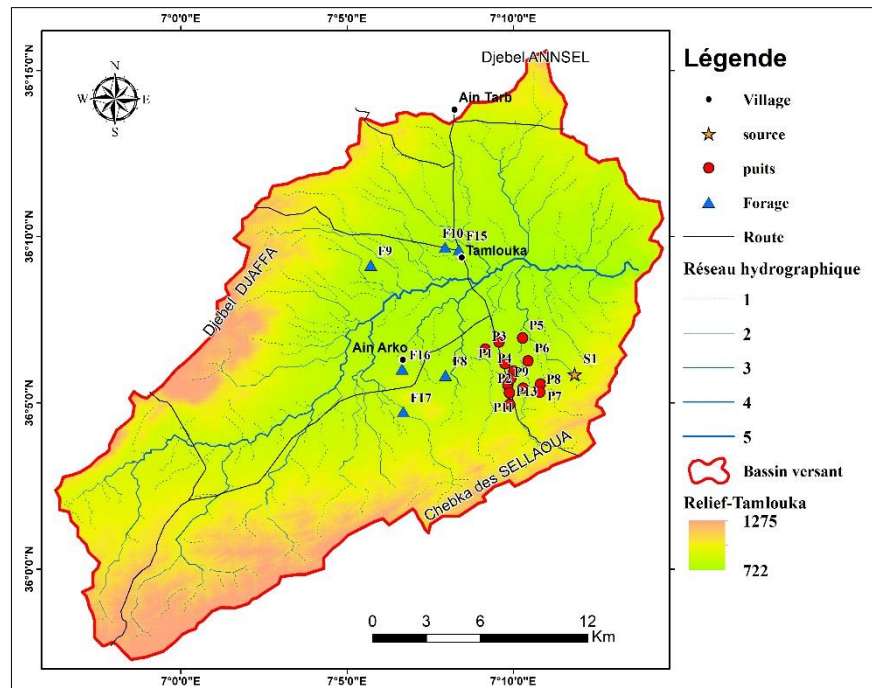


Figure 19. Carte de la répartition des échantillons dans la zone d'étude

### 2.3.2 Méthodes d'analyses des eaux :

Nous avons choisi des paramètres physico-chimiques tels que la température, la conductivité électrique, le pH et l'oxygène dissous ; des paramètres chimiques tels que les éléments majeurs : les anions solubles ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) et les cations solubles ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ ) ainsi que les nutriments ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_4$  et  $\text{PO}_4$ ).

#### a. Les analyses sur terrain (Mesures in situ) :

Trois paramètres physico-chimiques ( $T^\circ\text{C}$ , pH et conductivité ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )) sont mesurés sur site directement après le prélèvement des échantillons à l'aide d'un multiparamètre WTW (Multiline P3 PH/LF SET), ainsi que l'oxygène dissous par un oxymètre (CELLOX325), (Gueroui, 2015).

#### b. Analyses au laboratoire :

- ✓ Par titrimétrie : Les Chlorures, les Bicarbonates, ainsi que le Calcium ont été dosés par titrimétrie (Rodier, 2005).
- ✓ Par complexométrie : La dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH)
- ✓ Par spectrophotométrie : Les teneurs des Sulfates.
- ✓ Par photométrie de flamme : Sodium et Potassium
- ✓ Par colorimétrie : Les Nitrates, Nitrites, Ammonium et Orthophosphate sont déterminés
- ✓ La concentration magnésienne de l'eau analysée est donné par la différence entre la dureté totale et la dureté calcique  $\text{Mg}^{+2} = \text{TH} - \text{Ca}^{2+}$  (Rodier, 2009)

### c. Méthodes de traitement des résultats :

- ✓ La réalisation des diagrammes hydrochimiques : pour la détermination des faciès chimique de l'eau on a utilisé le logiciel « Diagrammes » par la représentation des éléments chimiques dans le diagramme de Piper, puis une représentation des éléments chimiques dans le diagramme de « Riverside » pour déterminer l'aptitude des eaux à l'irrigation.
- ✓ Le calcul de l'indice de saturation : on a utilisé le logiciel thermodynamique chimique, Phreeqi.v.2.15 pour le calcul de l'indice de saturation ( $IS = \log(Q) / \log(Kps)$ ) des minéraux dissous dans l'eau, en considérant que l'état d'équilibre se fait dans l'intervalle de -0,5 à +0,5.
- ✓ La détermination de la potabilité des eaux : Les analyses physico-chimiques des eaux souterraines de la plaine de Tamlouka obtenu sont comparées avec des normes de potabilité de l'eau qui sont représenté dans le Tableau 16 suivant :

**Tableau 16.** Norme de potabilité de l'eau

Paramètres	Unités	Valeurs maximales admissibles		
		Algérie <sup>(1)</sup>	France <sup>(2)</sup>	OMS <sup>(3)</sup>
Couleur	mg/l de platine Pt/Co	15	15	15
Turbidité	NTU	5	2	1
Saveur	Taux de dilution à 25 °C	4	3	/
Odeur	Taux de dilution à 25 °C	4	3	/
Résidu sec	mg/l	1500	1500	/
Température	°C	25	25	/
Concentration en ions hydrogène	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9	≥ 6,5 et ≤ 9	≥ 6,5 et ≤ 8,5
Conductivité	μS/cm à 20 °C	2800	≥ 180 et ≤ 1000	400
TDS	mg/l	/	/	< 600
Dureté totale (TH)	Degré français °F	200 (mg/l en CaCO <sub>3</sub> )	15	10
Calcium	mg/l en CaCO <sub>3</sub>	200	100	/
Magnésium	mg/l de Mg <sup>2+</sup>	150	50	/
Sodium	mg/l	200	200	200
Potassium	mg/l	12	12	12
Alcalinité	mg/l en CaCO <sub>3</sub>	500	/	/
Chlorures	mg/l	500	250	250
Sulfates	mg/l	400	250	250
Nitrates	mg/l de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	50	50	50
Nitrites	mg/l NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,2	0,1	3
Ammonium	mg/l	0,5	0,1	0,5
Phosphate	mg/l	0,5	/	/
Fluorures	mg/l	1,5	1,5	1,5
Silices	mg/l	/	/	≤ 10

<sup>(1)</sup> : Selon le décret du 22 mars 2011 (J.O.R.A.), Algérie.

<sup>(2)</sup> : Selon l'arrêté du 11 janvier 2007 (J.O.R.F.), France.

<sup>(3)</sup> : Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.), 2011.

- ✓ Aptitude des eaux à l'irrigation : Les eaux chargées en sels minéraux posent des problèmes pédologiques et agronomiques entraînant une influence sur la croissance des plantes. Parmi ces sels, on peut citer le cas des sulfates et du sodium, qui avec de fortes teneurs influent sur la structure physique du sol et sur le développement de la plante. Ce risque est déterminé à l'aide de la valeur du sodium absorbable (Sodium Absorption Ratio, SAR). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. Le SAR est défini par la relation suivante :

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} (mg/l)$$

Cinq classes d'eau ont été définies : excellente, bonne, admissible, médiocre, mauvaise (Tab.17).

**Tableau 17.** Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation par la méthode du SAR (l'Ouvrier, 1976).

Degrés	Qualité	Classe	Etat d'utilisation
1	Excellente	C1-S1 C1-S2	Utilisation sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des sols.
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	Convenable aux plantes qui ont une tolérance aux sels, cependant son utilisation peut générer des problèmes pour les argiles
3	Admissible	C3-S1, C2-S3, C3-S2	La salinité doit être contrôlée, irrigation des cultures tolérables aux sels sur des sols bien drainés.
4	Médiocre	C4-S1, C4-S2, C3-S3	Eau fortement minéralisée, utilisée uniquement pour des plantes très résistantes aux sels dont le sol présente une bonne perméabilité.
5	Mauvaise	C3-S4, C4-S3 C4-S4	inutilisable



# Chapitre III

## Résultats et discussion

## Chapitre III : Résultats et discussion :

Dans cette partie, nous allons examiner les différents résultats obtenus dans ce travail avec l'interprétation de celle-ci. Soit pour le travail de cartographie par l'outil télédétection avec l'interprétation des résultats de différents traitements multispectrales des images satellitaire, ainsi que la partie hydrochimie avec l'interprétation des résultats des analyses physicochimiques des eaux des zones d'études. Enfin un aperçu sur la géochimie afin d'avoir une idée sur le comportement géochimique de ces eaux vis-à-vis le milieu encaissant.

### 1. Hydrologie :

Le traitement de l'image satellitaire MNT Par global mapper et ArcMap a permis de délimité le bassin versant de la plaine de Tamlouka ainsi que la détermination du réseau hydrographique et la réalisation de la carte des pentes.

#### 1.1. Etude de sous bassin versant de Tamlouka

La région d'étude est une partie intégrante du grand bassin versant « la Seybouse ». Les principales caractéristiques de ce sous bassin constituent une base indispensable à la compréhension des mécanismes hydrologique de la zone.

##### 1.1.1 Caractéristique de la forme du bassin versant :

Les caractéristiques morphométriques du bassin versant de Tamlouka ont été déterminés à partir du logiciel ArcGis le bassin versant a une superficie de 471.53 km<sup>2</sup> pour un périmètre de 107.96 km la forme du bassin versant conditionne le temps de réponse aux précipitations.

Indice de compacité ou coefficient de Gravelius : Ce coefficient « Kc » caractérise la compacité et compare la forme du bassin versant.

$$Kc = 0.28P / \sqrt{A} = 1.39$$

Où :

P : Périmètre (km)

A : Surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>)

Si :

$Kc \leq 1$  : Bassin versant de forme circulaire

$Kc = 1.12$  : Bassin versant de forme carrée

$Kc \geq 1.12$  : Bassin versant allongé

Dans notre cas  $Kc = 1.39$  donc le bassin versant de la plaine du Tamlouka à une forme allongé

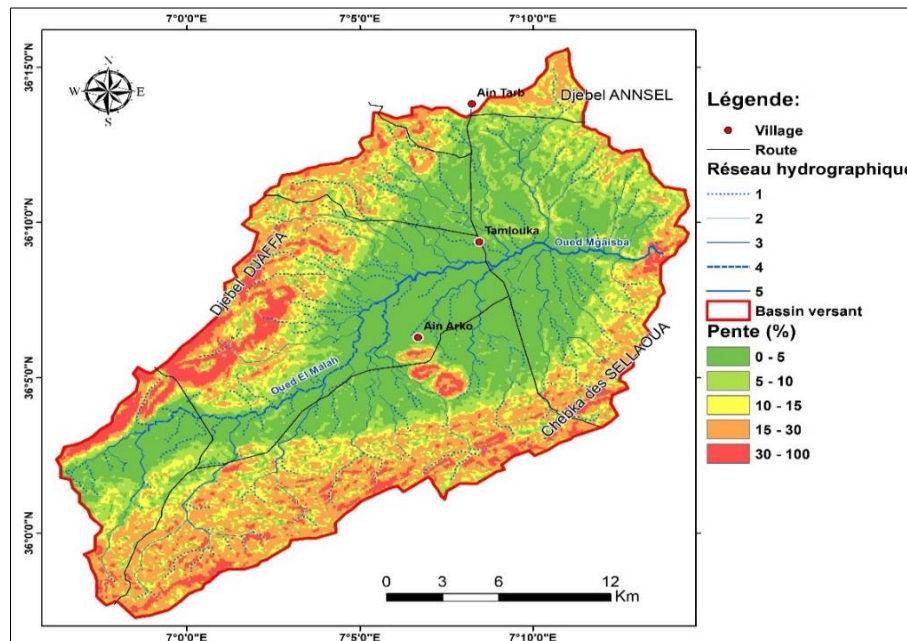


**1.2. Carte des pentes :**

La distribution des altitudes du bassin versant de la plaine de Tamlouka montre que la majeure partie de ce bassin (80%) est située entre les cotes (1000 m au niveau de Chebka des Sellaoua et 1200 m a djebel Djaffa à l’Ouest). au plein centre de la plaine, au niveau d’Ain Arko se trouve les collines (850 m).

D’après la figure 20, on a révélé que notre zone d’étude est caractérisée par cinq classes des pentes en fonction d’altitude qui sont :

- ❖ Classe 1 : de 0 à 5% située entre l’altitude 720 m et 840 m
- ❖ Classe 2 : de 5 à 10 % située entre l’altitude 840 m et 860 m
- ❖ Classe 3 : de 10 à 15% située entre l’altitude 860 m et 920 m
- ❖ Classe 4 : de 15 à 30 % située entre l’altitude 920m et 1020 m
- ❖ Classe 5 : de 30 à 100 % située entre l’altitude 1020 m et 1200 m



**Figure 20.** Carte des pentes

**1.3. Réseau hydrographique :**

Le réseau hydrographique fait référence aux caractéristiques géographiques et physiques de la plaine et des cours d’eau d’une région donnée. Le réseau hydrographique dans la plaine de Tamlouka est très développé, près de 483 km de cours d’eau drainent ce bassin versant, dont plus de la moitié sont des ruisseaux intermittents. La rivière d’oued El Maleh avec une longueur de 23 km, c’est le plus long cours d’eau qui sillonne la plaine.

**Tableau 18.** Les longueurs d'ordres des cours d'eau dans la cuvette de Tamlouka

N° d'ordre	Ordre 1	Ordre 2	Ordre 3	Ordre 4	Ordre 5
Longueur (km)	248	148	48	23	17

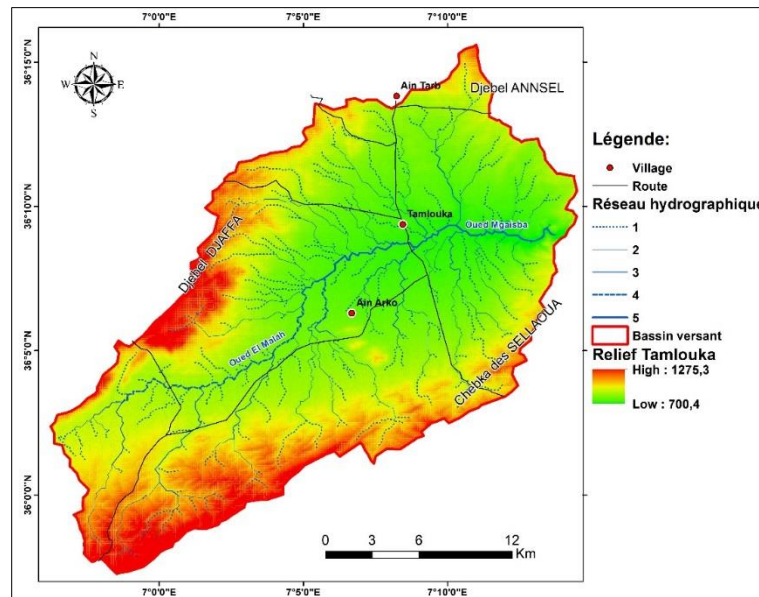


Figure 21. Carte de réseau hydrographique

## 2. Occupation du sol :

Le traitement de l'image satellitaire OLI de Landsat8 du 07/04/2014, 14/09/2014 et 10/4/2015 par ENVI 5.1 a permis d'identifier les différentes classifications de notre région d'étude (Nord-Est algérien). Il nous a permis d'obtenir la meilleure méthode de classification et la plus proche de la réalité.

### 2.1. Photo-interprétation des images satellitaires :

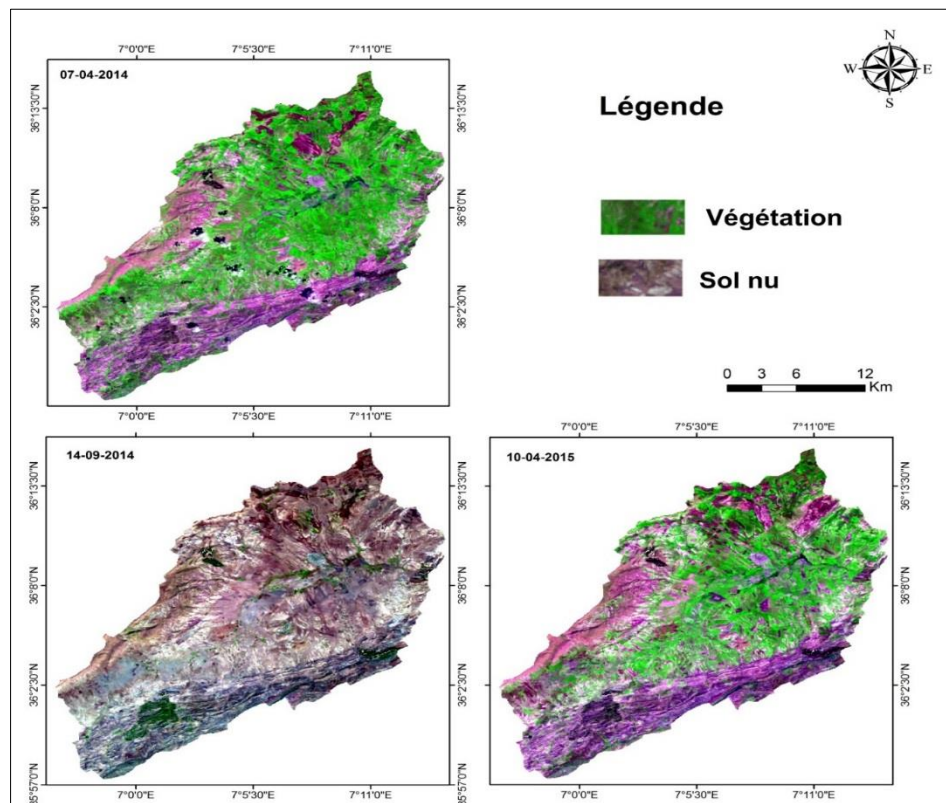


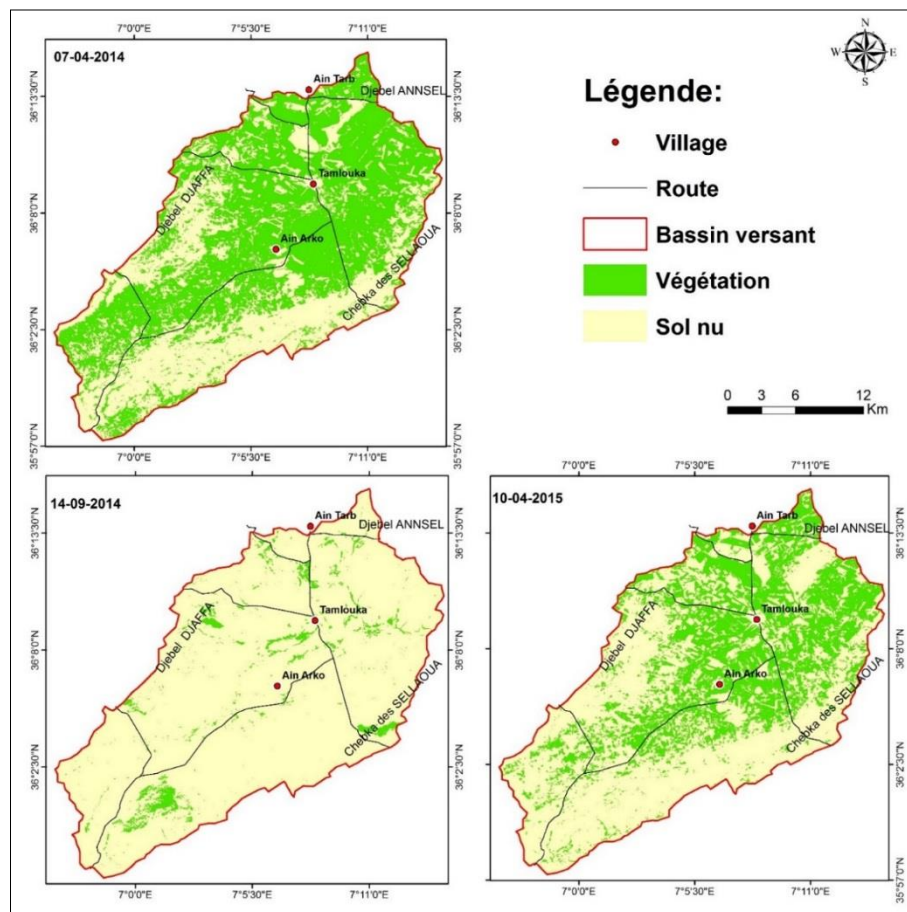
Figure 22. Evolution des états des surfaces de végétation

La présentation des trois cartes fait ressortir visuellement une nette évolution des états de surface dans la région de Tamlouka qui nous intéresse dans notre travail. On remarque notamment un changement du couvert végétal dans le temps : *Avril 2014*, *Septembre 2014* et *Avril 2015*, (Fig. 22). Mais cela reste visuelle et sans aucune quantification, ni dans le temps ni dans l'espace. C'est pourquoi on fait appel à d'autres techniques pour estimer les surfaces du tissu urbain et du couvert végétal et calculer leurs évolutions.

**2.2. Classification supervisée des images :**

La thématique de notre travail se base sur la détermination des deux classes (Couvert végétal et Sol nu). À l'aide de la reconnaissance des échantillons sur terrain, cela nous a aidés à effectuer la phase d'apprentissage par seuillage des nouvelles bandes calculées (NDVI).

**2.2.1. Classification par Arbre de décision :**



**Figure 23.** Classification par Arbre de décision des 3 dates

**2.3. Evolution temporelle des états de surface (Change détection)**

Afin d'étudier l'évolution entre les trois dates, on a utilisé les deux intervalles « *Avril 2014-Septembre 2014* » et « *Avril 2014-Avril 2015* ». Puis l'intervalle de changement entre les deux intervalles « *(Avril-Septembre)-(2014-2015)* » permet la comparaison entre les deux couples de changement précédent.

### 2.3.1. Les matrices de changements :

Cette étude statistique a donné une estimation des changements de surfaces durant la période d'étude (Tab.19). Cette étape indique une diminution du couvert végétale et par conséquent une augmentation du sol nu dans le temps.

**Tableau 19.** Synthèse d'évolution de surfaces au cours de la période d'étude

Surface (Km <sup>2</sup> )	Végétation	Sol nu
Avril 2014-Septembre 2014	-250.10	250.10
Avril 2014-Avril 2015	-98.72	98.72

➤ **Les changements saisonniers (Avril 2014 et Septembre 2014) :**

Le tableau 20 fait ressortir une nette évolution saisonnière des surfaces de végétation entre *Avril* et *Septembre 2014*, avec notamment une diminution du couvert végétal.

**Tableau 20.** Matrice des changements entre Avril et septembre 2014.

La surface (Km <sup>2</sup> )		Avril 2014		Classe totale
		Végétation	Sol nu	
Septembre 2014	végétation	5.03	11.92	16.96
	Sol nu	262.03	192.52	454.56
Class Total		267.06	204.45	
Class Changes		262.03	11.92	
Image Différence		-250.10	250.10	

La surface du *Couvert végétal* montre une diminution de 267.06 à 16.96 Km<sup>2</sup>. Ce qui indique une diminution de 94 % de la surface initiale. Ce changement est la cause de la moisson des céréales et le labour des sols, au cours du mois de Septembre. Mais dans certaines régions la couleur verte est maintenue pour les arbres fruitiers, les roseaux et les forêts.

➤ **Les changements annuels (Avril 2014 et Avril 2015) :**

Le tableau 21 montre une évolution temporelle des surfaces de végétation entre le printemps du 2014 et du 2015. Elle présente une diminution du couvert végétal, avec notamment une progression du « sol nu ».

**Tableau 20.** Matrice des changements entre avril 2014 et avril 2015.

La surface (Km <sup>2</sup> )		Avril 2014		Classe totale
		Végétation	Sol nu	
Avril 2015	végétation	131.75	35.81	167.56
	Sol nu	134.53	169.41	303.95
Class Total		266.29	205.22	
Class Changes		134.53	35.81	
Image Différence		-98.72	98.72	

La surface du *Couvert végétal* montre une diminution de 266.29 à 167.56 Km<sup>2</sup>. Ce qui indique une réduction de 37 % de la surface initiale. Ce changement dans la zone verte est causé par la rotation des terres en jachères entre 2014 et 2015.

➤ **Le résultat final des évolutions temporelles durant les 3 dates :**

**Tableau 21.** Synthèse d'évolution de surfaces au cours des 3 dates

Surface (Km <sup>2</sup> )	Avril-septembre	2014-2015
<i>Végétation inchangée</i>	5.03	131.75
<i>Perte de végétation</i>	262.03	134.53
<i>Gain de végétation</i>	11.92	35.81

L'évolution temporelle de végétation durant la période d'étude dans la région de la plaine de Tamlouka (Tab. 22) montre une stabilité d'une surface de 5.03 Km<sup>2</sup> ce qui indique une pérennité de cette surface durant cette période, ces surfaces pérennes sont identifiées par les forêts et les arbres fruitiers.

Le changement affectant ces surfaces végétales depuis Avril jusqu'à Septembre a montré une perte de 262.03 Km<sup>2</sup> de sa surface sous l'influence des activités agricoles dominantes dans cette région qui se présente essentiellement par les grandes cultures (céréales). Le gain de 11.92 Km<sup>2</sup> correspond aux forêts qui ont une couleur trop foncé que celles des parcelles agricoles. Donc la réponse spectrale des forêts n'est pas prise en compte dans la période printanière comme surface vert, par contre dans la période d'automne le sol est presque tous nu c'est pourquoi la réponse spectrale des forêts est prise en compte comme surface vert.

Les surfaces végétales qui ont subits un changement entre Avril 2014 et 2015 a montré une perte de 134.53 Km<sup>2</sup> de sa surface sous l'effet de la rotation entre les cultures et les terres en jachères.

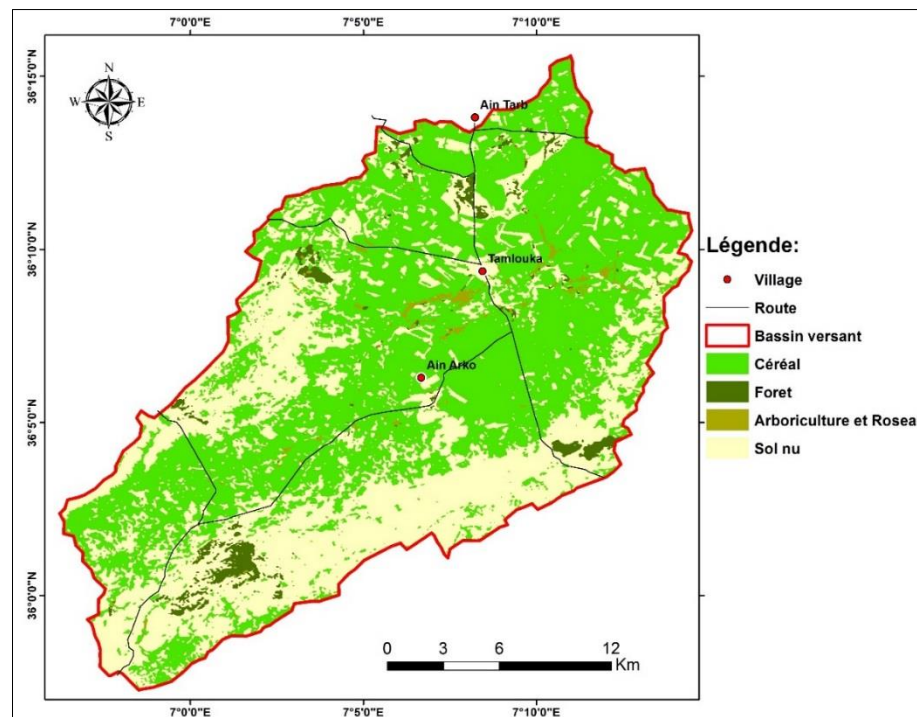
**2.3.2. La cartographie des changements :**

La présentation de 2 cartes fait ressortir visuellement une nette évolution de surfaces de végétation en deux couples de changements (*Avril- Septembre*) et (*Avril 2014-Avril 2015*) dans la zone de la plaine de Tamlouka. A l'aide du logiciel ArcGis 10.1 on a réalisé les cartes d'évolution après extraction des différentes classes issues d'ENVI sous forme vecteurs (Shape).

➤ **Evolution temporelle entre Avril et Septembre 2014 :**

- *Les surfaces de végétation inchangées (Arboriculture et Roseau)* : La surface de végétation stable entre le printemps et l'automne (Fig. 24) montre la plus faible surface au niveau des vallées d'une grande quantité le long de la ville de Tamlouka de 5 Km<sup>2</sup>. En plus un certain nombre de pixels verts sont répartis sur le niveau Sud-Est de la plaine, sont des cultures maraichères et les arboricultures fruitières des exploitations agricoles basée essentiellement sur l'irrigation.

- Le gain de végétation (les forêts) : Les forêts n'apparaissent pas au printemps, où sa verdure est trop sombre par rapport aux autres cultures dominantes dans cette saison. Par contre elle apparaît à l'automne avec une superficie de 11.99 Km<sup>2</sup>, qui se présente au niveau des reliefs.
- La perte de végétation (les céréales) : Les céréales occupent la majeure partie de la plaine avec une surface de 262 km<sup>2</sup>. Ils apparaissent au printemps en couleur verte, tandis que dans l'automne elles disparaissent par la récolte et le labour des sols au cours de cette saison.



**Figure 24.** Carte d'évolution temporelle entre 07/04/2014 et 14/09/2014

➤ **Evolution temporelle entre Avril 2014 et 2015 :**

- Les surfaces de végétation inchangées (Céréale sans rotation) : La surface de végétation stable (Céréale sans rotation) entre le printemps 2014 et le printemps 2015 (Fig.25) montre une surface de 131.75 Km<sup>2</sup>. Ce qui indique une conservation des surfaces cultivées par la réutilisation des parcelles avec les cultures céréalières d'une part, et la rotation avec des cultures maraichères et fourragères d'autre part.
- Céréale avec rotation : D'après la carte (Fig.25) on note la présence d'une succession interannuelle entre la végétation et le sol nu au niveau des exploitations agricoles dans cette zone. Cette succession représente la rotation des cultures céréalières et les terres en jachère.
- La perte de végétation (Rotation 1) : Les parcelles cultivées en 2014 et restent en repos en 2015 sont représentées par une diminution générale des surfaces vertes de 134.54 Km<sup>2</sup>.
- Le gain de végétation (Rotation 2) : Les terres en jachère de l'année 2014 ont été cultivées en 2015 d'une surface de 35.81 Km<sup>2</sup>.

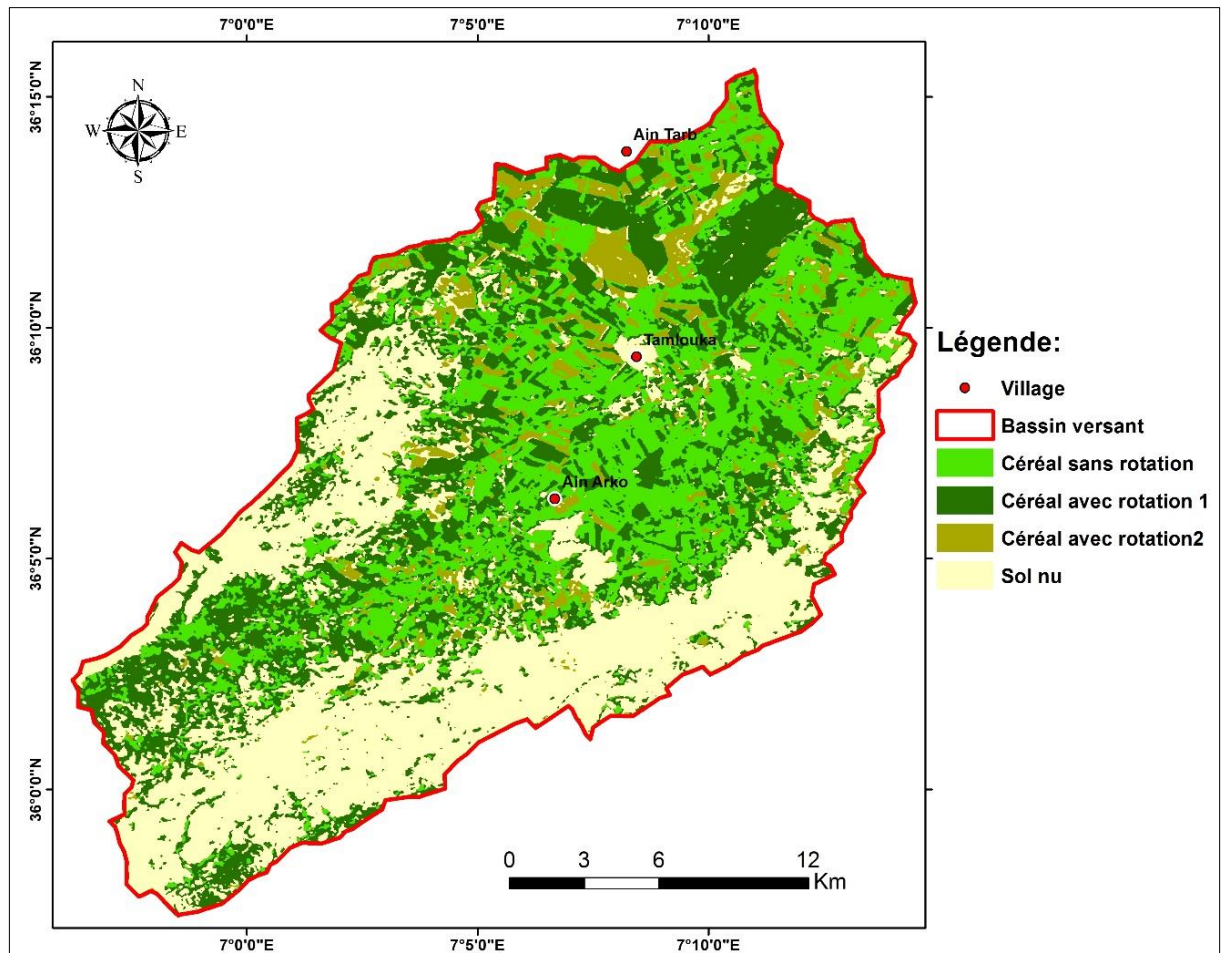


Figure 25. carte d'évolution temporelle entre 04/04/2014 et 10/04/2015

➤ L'évolution spatiotemporelle durant la période d'étude :

Le couvert végétal montre aussi une très forte extension dans toute la zone d'étude. La somme de toutes les informations issues de différentes classifications utilisées nous a permis d'améliorer l'exactitude de l'occupation du sol et d'obtenir une meilleure caractérisation pour chaque pixel de l'occupation du sol (Fig.26). Cette occupation du sol de la cuvette de Tamlouka est subdivisée en 4 classes principales qui sont : « Céréales », « Forêts », « Arboriculture et Roseau » et « Sol nu »

Tableau 22. Surfaces occupées par les différentes cultures

Culture	Surface (Km <sup>2</sup> )	Pourcentage (%)
Céréale	294.14	62.38
Forêt	11.72	2.49
Arboriculture et Roseau	4.64	0.98
Sol nu	161.01	34.15

D'après la carte d'occupation du sol établie (Fig.26) on a pu calculer les surfaces des classes (Tab.23). On a trouvé que les Céréales occupent la plus grande superficie de la plaine avec 294km<sup>2</sup>. Ces parcelles agricoles, d'une surface supérieure à 62% de la cuvette, dépendent essentiellement des pluies pour leurs arrosages.

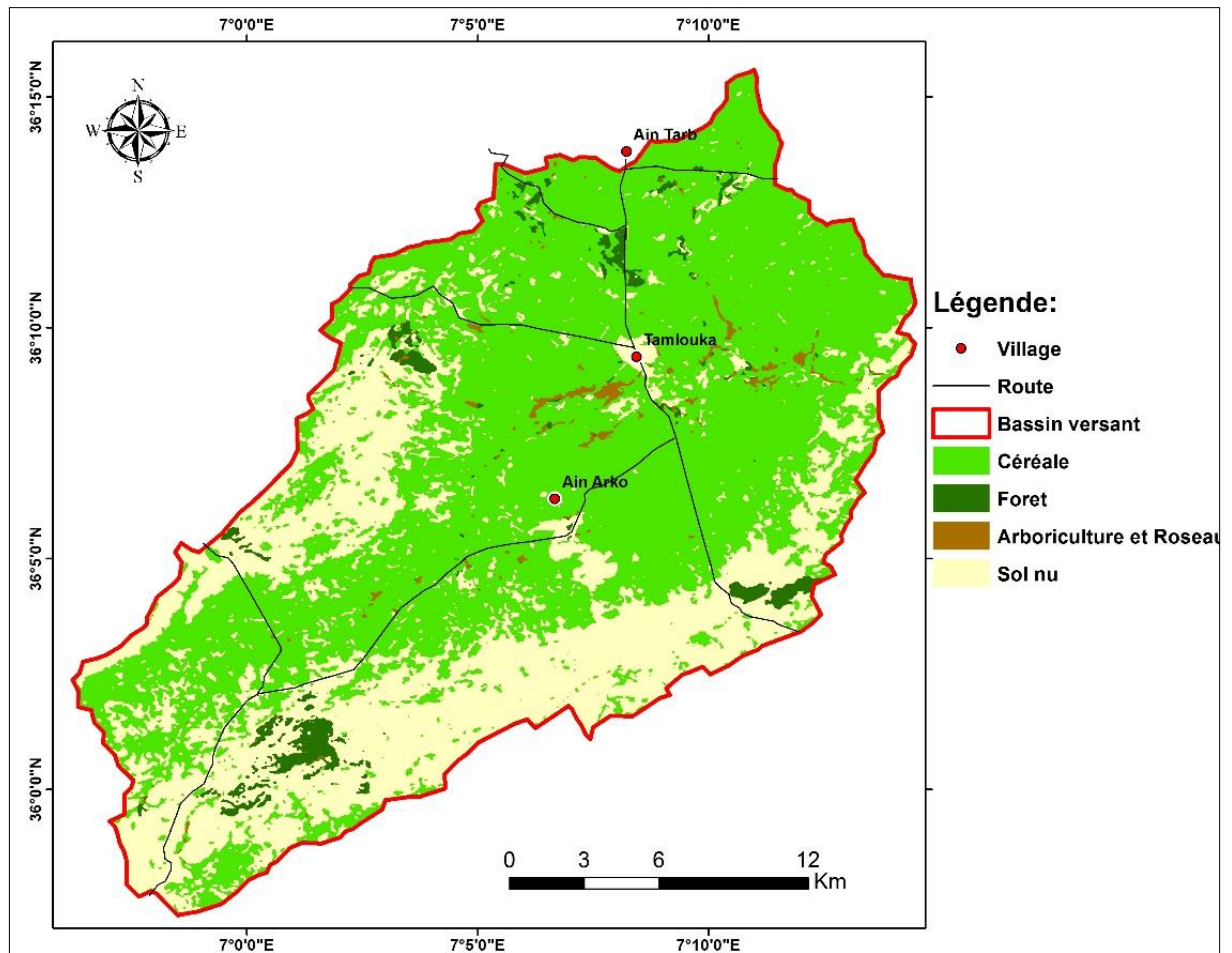


Figure 26. Carte de L'évolution spatiotemporelle durant la période d'étude

### 3. Hydrochimie :

L'étude hydrochimique permet de mettre en évidence :

- ✓ Les relations pouvant exister entre l'eau et les formations qu'elle traverse.
- ✓ De déterminer les intercommunications possibles entre les différents aquifères.
- ✓ D'approcher l'origine des eaux ainsi que leur potabilité.

En raison des données disponibles, nous tenterons d'examiner dans cette partie la nature des eaux de la nappe de la plaine de Tamlouka.

#### 3.1. Description des résultats d'analyses chimiques de l'eau :

La statistique des analyses physico-chimiques des eaux souterraines de la plaine de Tamlouka, présente les valeurs maximales, moyennes, minimales et les écarts types dans le Tableau 24.



**Tableau 23.** Résultats des analyses physico-chimiques des eaux souterraines de plaine de Tamlouka

Paramètres		T °C	pH	CE (µs/cm)	O <sub>2</sub> (mg/l)	TDS (mg/l)	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (m/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)
Paramètres statistiques	Moyenne	17,81	7,28	2015,9	3,39	1291, 7	116,247	22,418	363,075	3,034
	Ecart-type	5,81	0,13	1124,93	0,303	300,46	47,50	6,5	218,65	0,82
	Minimum	13,2	7,01	713	2,55	581	36,07	12,15	165	1,82
	Maximum	33,5	7,55	3720	3,69	1906	248,49	35,47	866	5,67
Normes		25 (1) et (2)	≥ 6,5 et ≤ 9 (1) et (2) ≥ 6,5 et ≤ 8,5 (3)	2800 (1) ≥ 180 et ≤ 1000 (2) 400 (3)	/	< 600 (3)	200 (1) 100 (2)	150(1) 50 (2)	200 (1), (2) et (3)	12 (1), (2) et (3)
Nombre d'observation		20	20	20	20	20	20	20	20	20
Paramètres		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (m)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)		
Paramètres statistiques	Moyenne	163,415	325,85	340,49	57,208	0,48	0,10	0,54		
	Ecart-type	62,83	89,65	143,7	13,32	0,09	0,013	0,075		
	Minimum	85,4	178	97,8	38,94	0,37	0,087	0,424		
	Maximum	329	533	547	88,2	0,687	0,129	0,725		
Normes		/	500 (1) 250 (2) et (3)	400 (1) 250 (2) et (3)	50 (1), (2) et (3)	0,2 (1), 0,1 (2) et 3 (3)	0,5 (1) et (3), 0,1 (2)	0,5 (1) et (2)		
Nombre d'observation		20	20	20	20	20	20	20		

### 3.1.1. Paramètres physico-chimiques

#### a. Température des eaux :

La température des eaux varie entre 13.2 à 33.5°C comme valeur maximale avec une moyenne de 17.81°C, la plupart sont dans les normes de potabilité excepté 3 cas où la température dépasse 25°C. Les trois forages d'Ain Arko (F8, F16 et F17) ont respectivement des températures relativement élevées (33.5°C, 28.5°C et 30.4°C) et considérées comme des eaux hydrothermales. Ces forages captent la nappe des calcaires fissurés et karstifiées.

#### b. Potentiel hydrogène (pH) :

Les résultats montrent un pH varie entre 7.01 et 7,55 ce dernier est neutre et dans les normes de potabilité.

#### c. La conductivité électrique :

Les valeurs mesurées ont été corrigées par rapport à une température standard de 25°C. Les résultats obtenus montrent une moyenne de 2015.9 µs/cm indiquant la forte minéralisation des eaux souterraines de la plaine de Tamlouka, surtout au Sud et le centre de la plaine, due à la dissolution des argiles de la Mio-Pliocène riche en halite. L'écart-type est de l'ordre 1124.93 µs/cm reflète la variation des valeurs de la conductivité électriques, entre 713 µs/cm à 3720 µs/cm comme valeur maximale. Tous les points sont dans les normes de potabilité à l'exception du forage F10 proche du village de Tamlouka (1338 µs/cm) et le puits P8 au niveau de sidi Maache (3720 µs/cm).

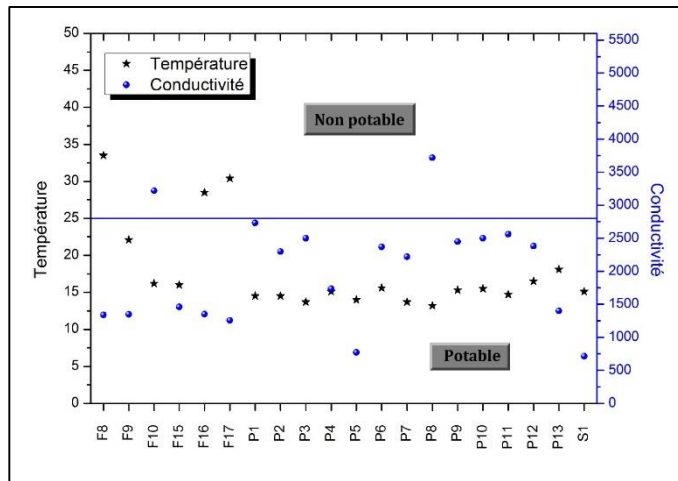


Figure 27. La potabilité des eaux selon la Conductivité et la Température

**d. L'oxygène dissous (O<sub>2</sub>) :**

Les résultats obtenus montrent une moyenne de 3.39 mg/l indiquant que les eaux sont modérément oxygénées. L'écart-type est de l'ordre 0.303 mg/l reflète la variation des valeurs de l'oxygène dissous, qui fluctue de 2.55 à 3.69 mg/l comme valeur maximale

Cette variation est à l'origine des apports d'eau en période des hautes eaux, qui alimentent les réserves souterraines et régénèrent la nappe, aussi la perméabilité des formations géologiques qui fait que la teneur en oxygène dissous diffère d'un point à autre.

**3.1.2. Les éléments majeurs :**

**a. Les cations :**

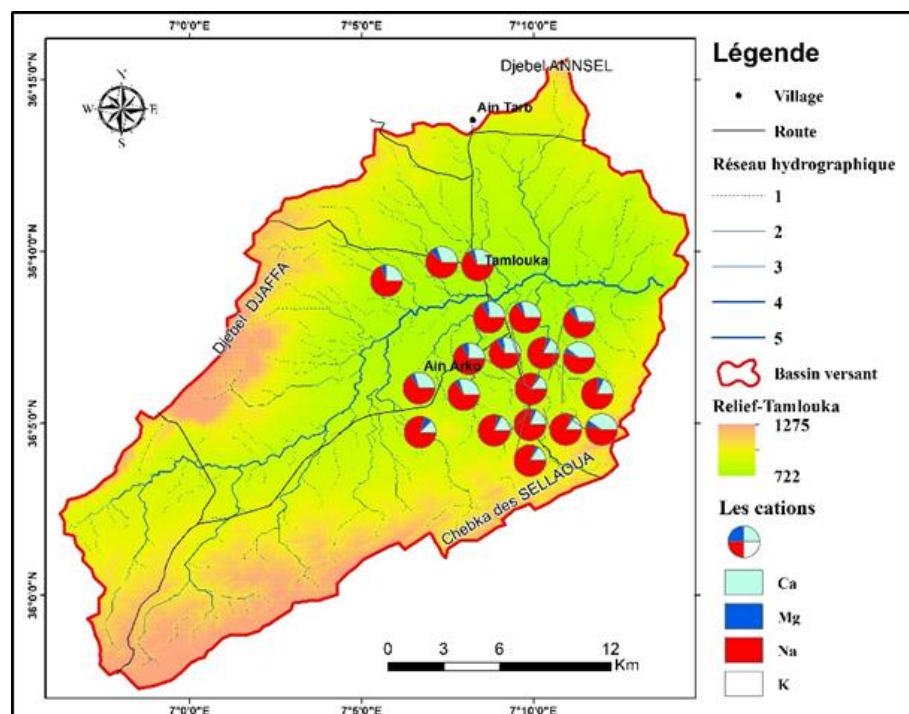


Figure 28. Le taux de répartition spatiale des cations

✓ **Le calcium ( $\text{Ca}^{+2}$ ) :**

Le tableau 24 montre que la moyenne des concentrations dépasse les normes françaises de potabilité de l'eau. Par contre tous les points d'eau présentent des concentrations inférieures à la norme de potabilité algérienne à l'exception du puit P8 avec une valeur de l'ordre de 248.49 mg/l.

✓ **Le magnésium ( $\text{Mg}^{+2}$ ) :**

Les résultats montrent des teneurs en  $\text{Mg}^{+2}$  varie de 12.5 à 35.47 mg/l avec une moyenne de l'ordre de 22.41 mg/l. Ces valeurs sont dans les limites de la norme de potabilité.

✓ **le Sodium ( $\text{Na}^+$ ) :**

Les teneurs du sodium présentent pour la plupart des points, des concentrations variables supérieures aux normes de potabilité avec une moyenne de l'ordre de 363.07 mg/l pour le sodium. Ces valeurs élevées sont traduite par les échanges de bases entre l'eau et les formations argileuses existantes au niveau des aquifères ainsi que les passages évaporitiques.

✓ **Le Potassium ( $\text{K}^+$ ) :**

Les valeurs observées montrent que tous les points ont des concentrations inférieures à la limite de potabilité, avec un maximal de 5.67 mg/l atteint au niveau du puits P6.

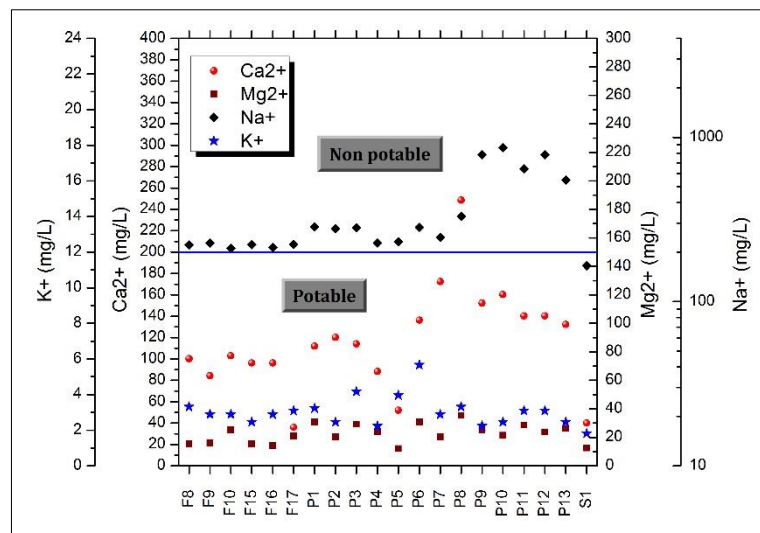


Figure 29. La potabilité des eaux selon les cations

**b. Les anions :**

✓ **Les Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) :**

Les concentrations en bicarbonates sont très variables, elles varient de 85.4 à 329 mg/l considéré comme valeur maximale enregistrée au niveau du forage F8 située à Ain Arko au Sud-Ouest de la plaine. Ces teneurs provenant probablement de la dissolution des formations calcaires caractérisant la partie occidentale de la plaine au niveau du djebel Djaffa et djebel Ain Arko.

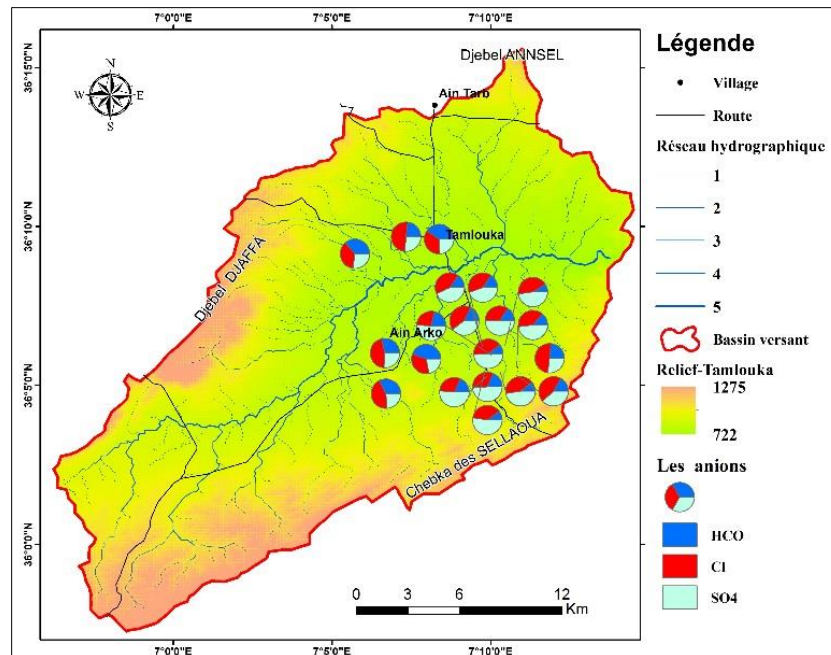


Figure 30. Le taux de répartition spatiale des anions

✓ **Les Chlorures (Cl<sup>-</sup>) :**

Les teneurs en chlorures présentent pour la plupart des points, des concentrations variables supérieures aux normes de potabilité avec une moyenne de l'ordre de 325.85 mg/l pour les chlorures. Ces valeurs élevées proviennent de la dissolution des sels par lessivage de terrains, vu leurs forte solubilité.

✓ **Les Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) :**

Les teneurs moyennes 340.49 mg/l de cet élément dans les eaux de la plaine de Tamlouka dépassent les normes de potabilité. Cependant des variations (l'écart type est de l'ordre 143,7 mg/l) sont enregistrées autour des valeurs moyennes, allant d'un minimum de 97.8 mg/l au point S1 à un maximum de 547 mg/l au niveau du puit P9. Ces fortes concentrations dans la majorité des puits peuvent être liées à la dissolution des formations gypseuses par lessivage des évaporitiques d'une part ou/et les apports anthropiques par les engrais chimiques sulfatés d'autre part.

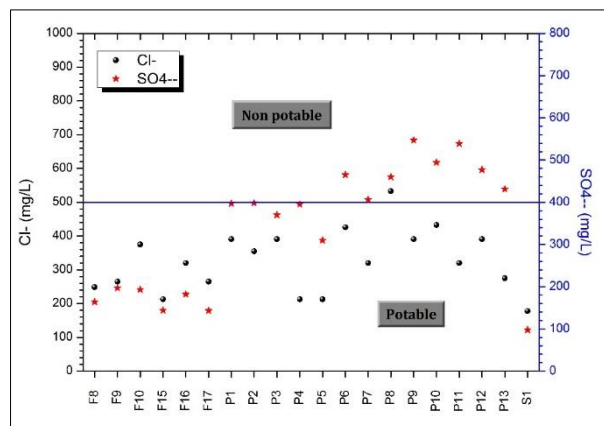


Figure 31. La potabilité des eaux selon les anions

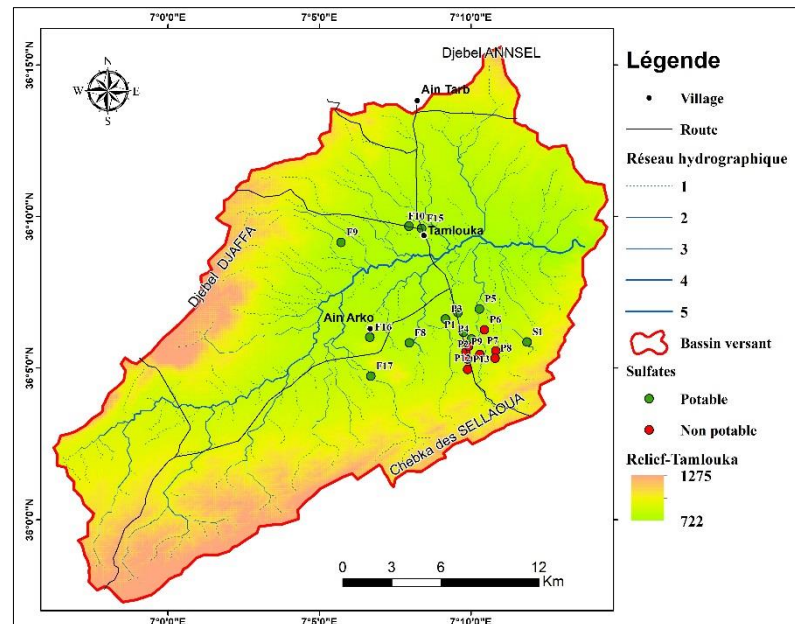


Figure 32. Carte de pollution des eaux par les Sulfates ( $SO_4^{2-}$ )

### 3.1.3. Les nutriments

#### a. Les nitrates ( $NO_3^-$ ) :

Parmi les vingt échantillons analysés, on note que 65 % présentent des concentrations élevées dépassant les normes de potabilité avec une valeur maximale de l'ordre de 88.2 mg/l enregistrée au puits P1. Ce qui indique une pollution de cet eau qui est liée à plusieurs facteurs dont le plus important est l'activité agricole où l'utilisation excessive des engrais contribue à l'augmentation des teneurs des nitrates, sachant que 90 % de la superficie de la plaine est cultivable. D'autres facteurs peuvent influencer d'une manière à une autre tel que l'activité pastorale, la mauvaise protection des puits et l'absence de réseaux d'assainissement.

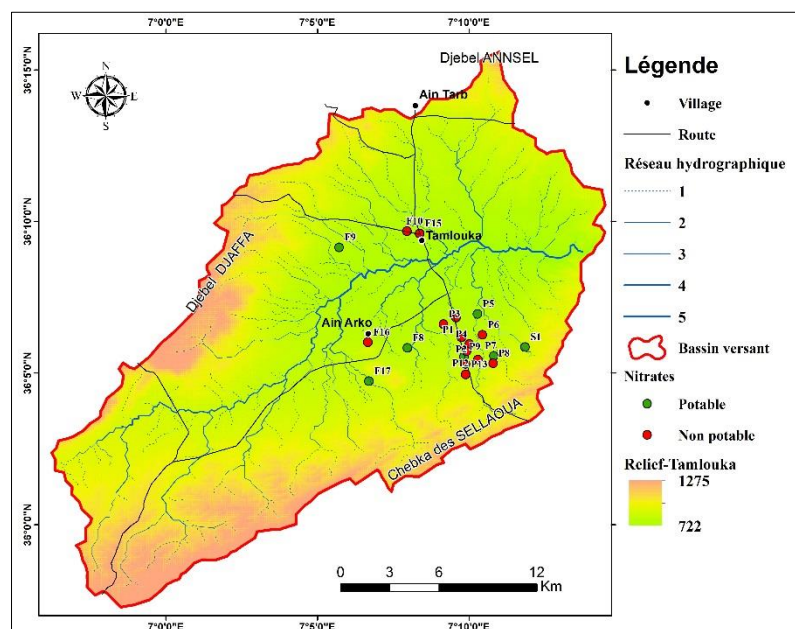


Figure 33. Carte de pollution des eaux par les Nitrates ( $NO_3^-$ )

**b. Les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) :**

Les valeurs moyennes observées (0,48 mg/l) dépassent les normes de potabilité algériennes et françaises. Ces fortes concentrations peuvent être dues à l'effet de l'oxydation de l'ammonium ou la réduction des nitrates.

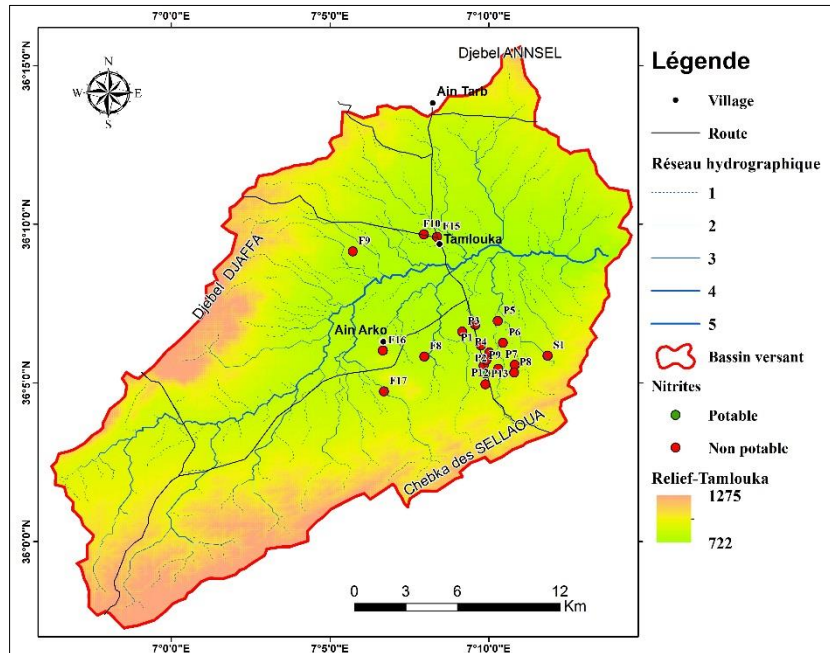


Figure 34. Carte de pollution des eaux par les Nitrite ( $\text{NO}_2^-$ )

**c. L'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) :**

Dans les eaux souterraines de la plaine de Tamlouka les valeurs de concentration varient de 0.087 à 0.129 mg/l comme valeur maximale sont dans les normes de potabilité.

**d. L'ortho phosphate ( $\text{PO}_4^-$ ) :**

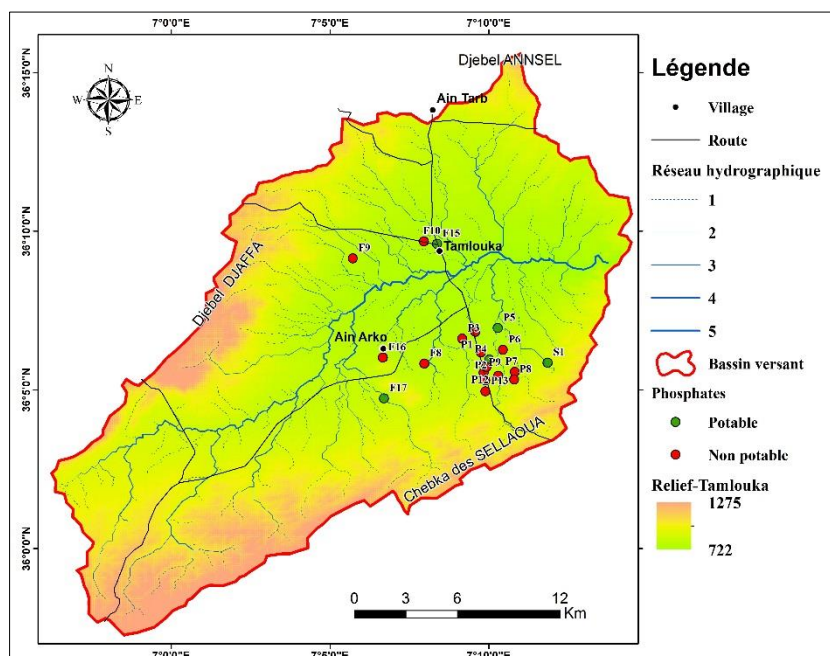


Figure 35. Carte de pollution des eaux par les Phosphates ( $\text{PO}_4^-$ )

Les teneurs en phosphate varie de 0.424 à 0.735 mg/l et dépasse les normes de potabilité des eaux (0.5mg/l). L'origine de cette pollution est liée aux activités agricoles avec l'utilisation excessive des engrais phosphatés.

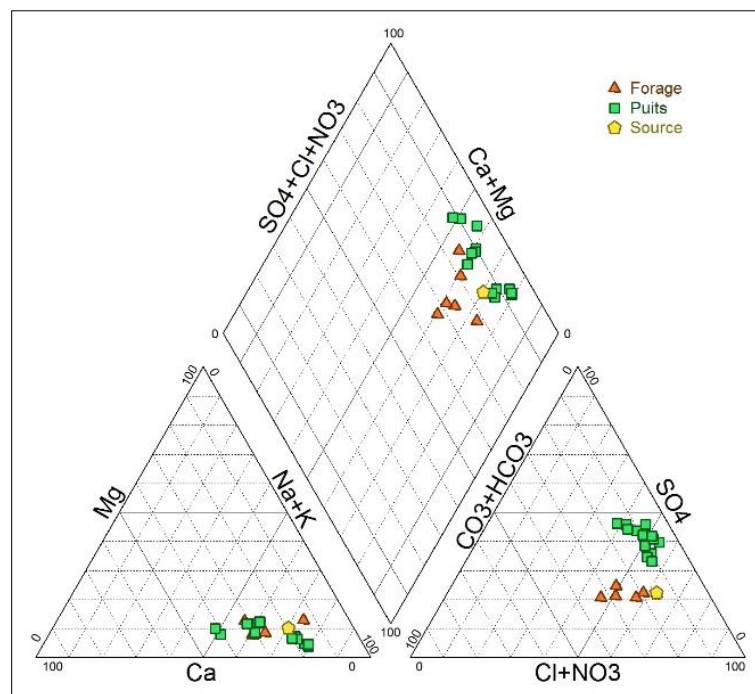
### 3.2. Faciès chimiques des eaux :

La projection des eaux de la plaine de Tamlouka dans le diagramme de piper (Fig.36) appelle les commentaires suivants :

- Le triangle des anions, les eaux se répartissent entre le pôle chloruré caractérisée par une dominance de 65 % des eaux étudiées et le pôle sulfaté avec une dominance de 35 %.
- Le triangle des cations, la plupart des eaux se rapprochent du pôle sodique avec une dominance pour plus de 90 %. On constate toutefois que quelques-unes évoluent vers le pôle calcique avec une dominance de 10 %.

Dans le losange, les eaux se répartissent en deux faciès liés à l'existence des transitions évaporitiques dans les formations calcaires :

- Des eaux *chlorurées et sulfatées sodiques*.
- Des eaux *sulfatées et chlorurées sodiques*



**Figure 36.** Faciès chimique des eaux par le diagramme de Piper

La comparaison des moyennes et des écart-types des éléments chimiques majeurs, pour les 20 échantillons des eaux prélevées (Tab.25), montre que les chlorures et les sulfates ont des valeurs moyennes plus importantes, comparativement aux autres éléments majeurs, ce qui confirme la prédominance du faciès chloruré et sulfaté.

**Tableau 24.** Variation des éléments majeurs des eaux de la plaine de Tamlouka (2012-2013)

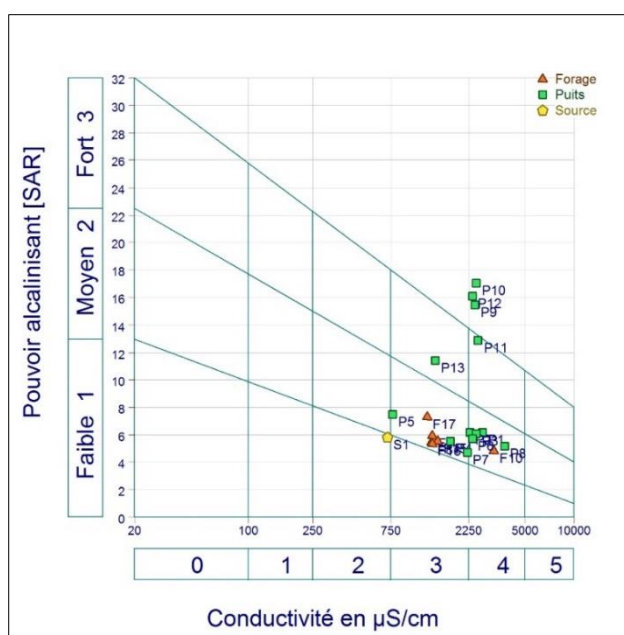
Paramètres	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Moyenne (mg/l)	116,247	22,418	363,07	3,034	163,41	325,85	340,49
Ecart-type (mg/l)	47,50	6,5	218,65	0,82	62,83	89,65	143,7
Minimum (mg/l)	36,07	12,15	165	1,82	85,4	178	97,8
Maximum (mg/l)	248,49	35,47	866	5,67	329	533	547

### 3.3. Aptitude des eaux à l'irrigation :

La plaine de Tamlouka s'étale sur une superficie de plus de 471,53 km, dont la plus grande partie est à vocation agricole. Cette activité agricole demande beaucoup d'eau afin de subvenir aux besoins des diverses cultures.

Une étude chimique détaillée des eaux pour l'irrigation est nécessaire pour mettre en évidence le danger que présente certains éléments chimiques pour les plantes tiennent compte non seulement des caractères chimiques de l'eau, mais également de la nature des cultures, du type de sols, du climat, des méthodes d'irrigation et des propriétés de drainage du sol

On a représenté les eaux des périodes avril 2012 sur le diagramme de Wilcox, qui nous a permis de déduire que les eaux de la région, appartiennent généralement à la troisième et quatrième classe dont le risque de salinisation est moyen à fort. Il ressort de cette classification que dans l'ensemble, les eaux sont d'une bonne qualité pour quelques points (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, F8, F9, F10, F15 ,F16 ,F17) et admissible pour d'autres points (P11, P13) et mauvaise pour les puits (P9, P10 et P12) mais pour la plupart des eaux de la plaine de Tamlouka sont très chargées et sont donc de qualité médiocre mais pouvant être utilisées sous certaines conditions : sols très perméable, bon lessivage, plantes tolérantes très bien le sel...



**Figure 37.** Classification des eaux à l'irrigation en fonction du SAR (diagramme de Wilcox)



### 3.4. L'indice de saturation

D'après les indices de saturation vis-à-vis des minéraux considérés on a remarqué que :

- ✓ Le groupe des carbonates présente des degrés de saturation différents : la *Dolomite* est souvent à l'état de sous saturation avec quelques points (P2, P3, P4, P8, P11, P13, F16, F17) qui sont à l'équilibre. Cependant, pour la *Calcite* et l'*Aragonite*, on remarque que tous les points d'eaux sont à l'état d'équilibre à l'exception de la source qui est à l'état de sous-saturation.
- ✓ Le groupe des évaporites : les eaux sont sous-saturées par rapport à l'*Anhydrite*, le Gypse et largement sous-saturées vis à vis de la *Halite* et la *Sylvite* (Fig. 38). Les minéraux évaporitiques présentent toujours un état de sous-saturation même si les ions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  sont à forte concentration.

L'indice de saturation montre que les minéraux carbonatés tendent à précipiter sous la forme de dolomite, de calcite et aragonite. Par contre, les minéraux évaporitiques, cas des Gypses, de l'*Anhydrite*, de la *Halite* et de la *Sylvite*, tendent à la dissolution.

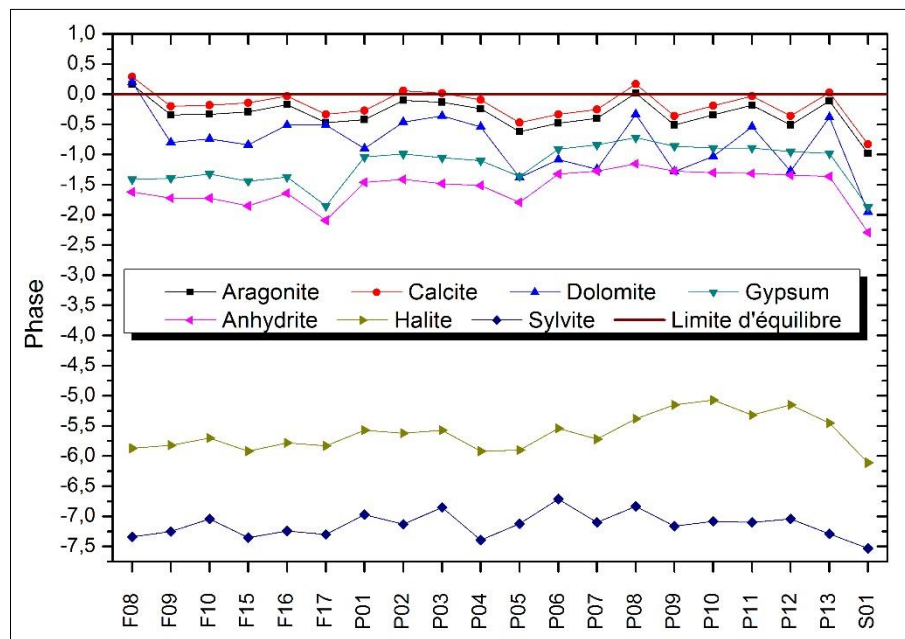


Figure 38. Variation de l'indice de saturation

## 4. Conclusion :

Dans cette partie La délimitation du bassin versant et l'extraction du réseau hydrographique ainsi que la réalisation de la carte des pentes par utilisation des images MNT, ont pu quantifier le drainage des eaux de surface et leurs parcours dans la cuvette, nous avons en premier lieu réalisé des cartes du couvert végétal de la région de Tamlouka, avec la classification supervisée par arbre de décision. Cette dernière a montré une bonne correspondance entre les classes et les vérités terrain, surtout

dans un terrain avec de nombreuses parcelles éparpillées, ce qui rend difficile de réaliser la classification supervisée par échantillonnage (ROI).

Les cartes de classifications des dates 4-2014 ,9-2014 et 4-2015, nous a donné deux types de résultats qui sont la matrice de changement quantifiant les surfaces d'occupation du sol et leurs évolutions spatio-temporelles et la cartographie pour identifier les zones de diminution.

Donc la diminution du couvert végétal dans cette plaine montre une diminution importante part sont des nouvelles exploitations agricoles quelle est la principale source de l'économie de la population de la région.

Les résultats obtenus dans la région d'étude montrent que les eaux du la plaine de Tamlouka sont dextrement salées, avec une conductivité très élevées. Le pH varie généralement entre 7.01 et 7,55. La température varie entre 13.2 à 33.5 °C.

Le facies chimique des eaux du la plaine de Tamlouka sont chloruré sulfaté vu les fortes concentrations en chlorure et sulfates.

L'interprétation de l'évolution des teneurs en nitrates, met en évidence une dégradation de l'état naturel des eaux souterraines qui indique la pollution de cette eau.

- La dégradation liée à plusieurs facteurs dont le plus important est l'activité agricole où l'utilisation excessive des engrais contribue à l'augmentation des teneurs des nitrates.
- Les eaux de l'irrigation et celle de la pluie jouent un rôle majeur dans le transport des ions du nitrate du sol vers les nappes.

Malgré cette diversité chimique, les eaux restent généralement aptes à la consommation humaine, excepté les puits se trouvant à proximité d'exploitations agricoles. Aussi pour l'irrigation, elles sont bonnes à admissibles à l'exception des puits (P09, P10 et P12) qui sont mauvaises.



Conclusion

général

## Conclusion général

Les eaux souterraines jouent un rôle fondamental dans la stabilité des populations rurales dans la région de Tamlouka. Elles sont exploitées par des puits, des sources et des forages ; drainées par différentes techniques traditionnelles et modernes utilisées pour extraire les eaux des nappes pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation.


Elles font donc l'objet de notre étude qui porte essentiellement sur le côté quantitative et qualitative des eaux souterraines et le besoin en ses eaux en surface.

L'étude piézométrique de la nappe superficielle a permis de préciser la direction de l'écoulement d'eau souterraine qu'est en général de l'Ouest vers l'Est. Elle montre, également, une alimentation de cette nappe par le massif calcaire de djebel Djahfa à l'ouest et le massif gréseux du djebel El Ansel au Nord, ainsi que par l'infiltration directe des eaux de pluies. Alors que la nappe profonde est alimentée essentiellement par le massif calcaire du djebel Djaffa, et les collines d'Ain Arko, ainsi que par le phénomène de drainance à partir de la nappe superficielle à travers les couches semi-perméables ou les failles.

La délimitation du bassin versant et l'extraction du réseau hydrographique ainsi que la réalisation de la carte des pentes par utilisation des images MNT, ont pu déterminer le drainage des eaux de surface et leurs parcours dans la cuvette. Les cartes de classifications des dates Avril 2014, Septembre 2014 et Avril 2015, nous a permis la quantification des surfaces du couvert végétal. Leurs évolutions temporelles nous a permis l'identification les types de cultures des exploitations agricole pendant l'année 2015. La combinaison des résultats de ces méthodes utilisées et les données de terrain nous a confirmé le besoin de cette région à l'utilisation des eaux souterraines surtout pour l'irrigation, vu la vocation agricole de la région.

L'étude qualitative des eaux souterraine basée sur une illustration graphique (diagrammes de Piper, et Wilcox) et cartographique (cartes hydrochimiques), les eaux souterraines de la plaine de Tamlouka révèlent un des faciès chimique chloruré et sulfaté due à la géologie de l'aquifère et la surface et le temps d'interaction eau-roche.

Malgré cette diversité chimique, les eaux restent généralement aptes à la consommation humaine, excepté les puits se trouvant à proximité d'exploitations agricoles. Aussi pour l'irrigation, elles sont bonnes à admissibles à l'exception des puits (P09, P10 et P12) qui sont mauvaises.

The image features a decorative graphic with a torn paper effect. The text "Références Bibliographiques" is written in a green, serif font with a reflection effect. The background is a soft, yellowish-green color with a subtle floral pattern. A yellow lily flower with green leaves is visible on the right side of the graphic.

**Références  
Bibliographiques**

## Références Bibliographiques

- Anne Chaponnière, (2005), Fonctionnement hydrologique d'un bassin versant montagneux semi-aride Cas du bassin versant du Rehraya (Haut Atlas marocain). Thèse de Doctorat. Institut National Agronomique Paris-Grignon. 181p.
- Aouissi A. et Houhamdi M., (2014), Contribution à l'étude de la qualité de l'eau de quelques sources et puits dans les communes de Belkheir et Boumahra Ahmed (Wilaya de Guelma, Nord-est Algérien). 1er Séminaire National sur la Santé et Bio-Surveillance des Ecosystèmes Aquatiques, Université. Mohamed Chérif Messaadia de Souk-Ahras.12p.
- Archambault C., Combe M. et Ruhard J.P, (1975), Le plateau des phosphates in ressources en eau du Maroc. Notes et Mém. Serv. Géol. Rabat XI 231, 232-25.
- Baali F., (2007), Contribution à l'étude hydrogéologique, hydrochimique et Vulnérabilité d'un système aquifère karstique en zone semi-aride. Cas du plateau de Chéria N. E. Algérien Thèse de Doctorat. Université Badji Mokhtar- Annaba.121p.
- Bagnouls F. et Gaussen H., (1953), Saison sèche et indice thermique xéothermique. Doc.Carte product.Végét, sér . Généralités, 3(1), 47 p.
- Bechiri N., (2011), Evolution du chimisme des eaux de surface et Souterraines dans le bassin versant de Seybouse (Nord-Est Algérien). Mém. de Magister. Université Badji Mokhtar - Annaba.102p.
- Bekkari B., (2015), Evolution des activités anthropiques et leurs influences sur l'environnement de la région d'Oued Souf (sud-est algérien). Mém. de Master. Université. Kasdi Merbah, Ouargla.41p.
- Bemoussat A., (2012), Impact de l'activité agricole sur la qualité des eaux souterraines à travers le bassin de la Tafna. Mém de Magister. Université Abou Bekr Belkaid- Tlemcen. 136p.
- Berregui O., (2014), La détermination des effets naturels et anthropiques sur l'alimentation de la sebkha « Oum Raneb » Ouargla Mém. de Master. Université. Kasdi Merbah, Ouargla. 42p.
- Bilal A., (2011), Caractères du réseau hydrographique à partir d'images satellite : implication pour la gestion des ressources en eaux.Revue scientifique et technique. Lyee N° 19. Université. Damas, Syrie.13p.
- Bouafia I., (2013), Evolution des chotts et des sebkhas de la cuvette d'Ouargla par utilisation des images Landsat multi-dates. Mém. de Master. Université. Kasdi Merbah, Ouargla .67p.

- Boucenna F., (2009), Cartographie par les différentes méthodes de vulnérabilité à la pollution d'une nappe côtière cas de la plaine alluviale de l'oued Djendjen (Jijel, nord-est Algérien). Mém. de Magister. Université Badji Mokhtar-Annaba.115p.
- Chibani S., (2009), Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de surface et souterraine de la région de Ain Makhlouf (Wilaya de Guelma) Mém de Magister. Université 08 Mai 1945- Guelma .106p.
- Dahali S., (2013), Etude hydrogéologique et hydrochimique de la nappe du continentale intercalaire de la région de Touat (wilaya d'Adrar). Mém. de Master. Université. Kasdi Merbah, Ouargla .59p .
- Dajoz R., (1971), précis d'écologie edition. Dunod, paris 434p.
- Debieche T.H., (2002), Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse Nord-Est Algérien. Thèse de Doctorat, Université de Constantine, Algérie. 235p.
- Djediai S., (2015), Etude du cycle hydrologique durant l'année 2013 de sebkhet Safiouna par utilisation des images OLI de Landsat 8.Mém. de Master. Université. kadi Merbah, Ouargla. 46p.
- Djidjel et Djorfi, (1992), Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique de la plaine de Tamlouka. Mémoire d'ingénieur, Université d'Annaba, Algérie. 149p.
- Dreux p., (1980), Précis d'écologie vol 2. Ed .presse . Université de France, paris, 231p.
- Elmeddahi Y., (2009), Contribution à l'étude hydrogéologique des réservoirs aquifères du bassin du Moyen Cheliff. Mém de Magister. Université Hassiba Ben Bouali- Cheliff.138p.
- Gaagai A., (2009), Etude hydrologique et hydrochimique du bassin versant du barrage de Babar sur oued el 'Arabe région est de l'Algérie. Mém de Magistère. Université. Batna. 108p.
- Gramont M. et Lombard J.P., (1966), Observations stratigraphiques et tectoniques dans la région du djebel Djaffa. Publication du service de cartes géologiques, N.S., Alger, Algérie. Bull. No 35:27-49.
- Gouaidia L., (2008), Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico –chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-est Algérien. Thèse de Doctorat. Université Badji Mokhtar- Annaba. 131p.
- Gueroui Y., (2015), Caractérisation Hydrochimique et Bactériologique des Eaux Souterraines de L'aquifère Superficiel de la Plaine de Tamlouka (Nord-Est Algérien), Thèse de Doctorat. Université 08 Mai 1945- Guelma .154p.

- Gueroui Y., Maoui A., et Touati A. S., (2015), Hydrochemical and bacteriological investigation in groundwater of the Tamlouka Plain, north-east of Algeria. *Arab J Geosci* (2015) 8:2417–2432. DOI 10.1007/s12517-014-1393-z.
- Gunie , (2002), Analyse des techniques d'élaboration de Modèles Numériques de Terrains et des méthodes d'extraction automatique du réseau hydrographique pour l'amélioration des études de bassins versants, 52p.
- Heyd C., Alleaume S., et Argillier C., (2012), Méthode de délimitation et extraction des données spatiales. Rapport d'Evaluation de la qualité écologique des écosystèmes plans d'eau – Action 13Partenariat 2011 ONEMA -Irstea.21p.
- Hocine F., Belhadj Aissa M., Haddoud A, et Belhadj Aissa A., (2007),Extraction du réseau hydrologique à partir d'un MNT et utilisation du SIG pour l'étude du bassin versant. Actes des JSIRAUF, Hanoi. 6p.
- Joleaude L.,( 1936) , Etude géologique de la région Bone -la calle. Thèse de doctorat.
- Kamdom Sado Epse Kenmoe Marlene Carole,( 2011), Utilisation d'un modèle numérique de terrain et du réseau hydrographique pour la production d'une carte d'aléas d'inondations : cas de la ville de douala. *Mém. de Master 2 en Informatique Appliqué aux Systèmes d'information Géographique*. Université .Douala. 33p.
- Laouini H., (2012), Caractérisation géochimique des zones humides entre deux climats, méditerranéen et aride par image satellitaire : cas des lacs d'el-Taref et les chott et sebkhas d'Ouargla. *Mém de Magister*. Université. Kasdi Merbah, Ouargla .108p.
- Medjani F.,(2015),Variation des paramètres physicochimiques des eaux des sebkhas de la région Ouargla-Tougourt (sud-est algérien). Thèse de Doctorat. Université Badji Mokhtar-Annaba .109p.
- Nasri A. et Nasri M., (2012), Application de la télédétection pour la classification des sols humides dans la région d'Ouargla. *Mém .d'ing. en géologie*. Université. Kasdi Merbah, Ouargla. 80p.
- Parkhurst D.L et Appelo. C.A.J., (1999), « User's guide to PHREEQC version2: a computer program for speciation, batch-reaction, one dimensional transport and inverse geochemical calculations ». USGS, Water-resources investigations report 994259.
- Rodier J., (2005), « L'analyse de l'eau », 8èmeédition, 120p.
- Rodier J., (2009), L'Analyse de l'eau. 9 ème édition. Dunod, Paris. 1511p.
- Sebagh Imed et Safi Sofiane, (2014), Qualité des eaux souterraines de la plaine de Tamlouka-influence de la lithologie et de la géomorphologie, Mémoire d'ingénieur Université Badji Mokhtar Annaba. 90 p.



- Seltzer P., (1946), Le climat de l'Algérie. Institut de Météorologie et de Physique du Globe de l'Université d'Alger, Algérie. 219p.
- Vila J.M., (1977a.), Carte géologique de l'Algérie au 1/50 000 : feuille no 99, Sédrata (1èreéd.), avec notice explicative détaillée (levés de S. Guellal et J.M. Vila). Service de cartes Géologiques et Sonatrach, Division d'hydrocarbure, Direction des explorations, Alger, Algérie.
- Vila J.M., (1977b.), Carte géologique de l'Algérie au 1/50 000 : feuille no 123, Berriche (Jean Rigal) (1ère éd.), avec notice explicative détaillée (levés de S. Guellal et J.M. Vila). Service de cartes Géologiques et Sonatrach, Division d'hydrocarbure, Direction des explorations, Alger, Algérie.
- Vila J.M., (1980), La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. PhD of Science, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI. 665 p.
- Vilain m., (1987), La production végétale. Edition Tec et Doc /la voisier.460p
- Vôte C., (1957), Notice explicative de la carte géologique au 1/50 000 d'Ain Babouche. No 122. Service de cartes Géologiques, Alger, Algérie.
- Vôte C., (1967), Essai de synthèse de l'histoire géologique des environs d'Ain Fakroun, Ain Babouche et les régions limitrophes. Publication du service de cartes géologiques, N.S., Bull. no 36(3), Alger, Algérie.
- Zouaidia H., (2006), Bilan des incendies de forêts dans l'est Algérien cas de Mila, Constantine, Guelma et Souk-Ahras. Mém de Magistère. Université Mentouri- Constantine.126p.

➤ **Données :**

- Image satellitaire. 2014-04-07/ 2014-09-14/ 2015-04-10 et Images MNT :  
[http: www.google Earth.com](http://www.google Earth.com) / [http: www.landsat.usgs.gov.com](http://www.landsat.usgs.gov.com)

### ملخص:

يقع سهل تاملوكة في الشرق الجزائري وهو ذو طابع زراعي ينتمي الى منطقة المرتفعات القسنطينية. في هذه المنطقة تعتبر المياه الجوفية المصدر الرئيسي للمياه بحيث النمو الصناعي خاصة الزراعي المرتبط بالنمو الديموغرافي يساهم شيئاً فشيئاً في خفض جودة واحتياطيات هذه المصادر. يعتبر سهل تاملوكة منطقة فلاحية باعتبار 90% من مساحة أراضيها زراعية. ونهدف في هذه الدراسة الى تحديد الغطاء النباتي والخصائص والكيميائية للمياه الجوفية واستعمالاتها في هذه السهل. الفيزيائية بهدف الوصول الى هذا المبتغى من الضروري معرفة العوامل الهيدرولوجية والخصائص الصخرية والجيومورفولوجية والهيدرو كيميائية للمنطقة بالاستعانة بعدة وسائل وتقنيات منها معالجة مختلف الصور الفضائية (النموذج الرقمي للأراضي ...)

هذه الدراسة توضح ان سهل تاملوكة يمتاز بمناخ شبه جاف وتعتبر خصائصها المورفولوجية (الحوض) العامل الرئيسي الذي يعكس ظروف التغذية لهذا الحوض

عموما مياه سهل تاملوكة ذات سحنة كيميائية (كلورور- سلفات). صالحة للشرب ومقبولة للري

**الكلمات المفتاح:** حوض هيدروغرافي ، شجرة القرار ، الكشف عن التغيير ، نظام المعلومات الجغرافية ، الامداد بالمياه العذبة ، سهل تاملوكة

### Résumé :

La plaine de Tamlouka est une zone à vocation agricole située à l'Est Algérien ; elle appartient à la région des hautes plaines constantinoises. Dans cette région, les eaux souterraines représentent la principale source d'eau. Le développement industriel et surtout agricole, associé à l'essor démographique réduit de plus en plus la quantité et la qualité et le potentiel de ces réserves.

La plaine de Tamlouka présente une zone agricole socio économiquement importante, avec 90% des terres cultivables. Notre but est l'identification du couvert végétal et la détermination des caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines, et leurs utilisations dans la plaine.

Pour atteindre cet objectif il est indispensable de connaître les conditions hydroclimatiques, lithologiques, géomorphologiques et hydrochimiques de la région, à l'aide de l'utilisation et les traitements des images satellitaires (Landsat8) et des images MNT.

Notre étude montre que la zone d'étude est caractérisée par un climat semi-aride. Cependant, le caractère morphologique (cuvette) est le principal paramètre, ce qui traduit des conditions de drainage du bassin. Les cartes de classifications des 4 saisons en 2014 et leurs évolutions ont permis la quantification et l'identification les types de cultures des exploitations agricole. Généralement les eaux souterraines de la plaine de Tamlouka ont un faciès chimiques chloruré et sulfaté, potables et admissibles à l'irrigation.

**Mots clés :** Bassin versant, Arbre de décision, Change detection, SIG, AEP, plaine de Tamlouka

### Abstract

Plain Tamlouka is an agricultural area located in eastern Algeria; it belongs to the region of the high plains of Constantine. In this region, groundwater is the main source of water. The industrial and especially agricultural development, reduced population growth associated with increasing the quantity and quality and potential of these reserves.

Plain Tamlouka presents a socio economically important agricultural area, with 90 % of arable land. Our goal is the identification of plant cover and the determination of the physicochemical characteristics of groundwater, and their uses in the plain.

To achieve this goal it is essential to know the Hydroclimatic, lithological, geomorphological and water chemistry in the region, with the use and processing of satellite images (Landsat8 and MDG images).

Our study shows that the study area is characterized by a semi- arid climate. However, the morphological character (bowl) is the main parameter, reflecting the basin drainage conditions. Classifications cards 4 seasons in 2014 and their developments have allowed quantification and identification crop types of agricultural farms. Generally groundwater in the plain of Tamlouka have a chlorinated chemical facies and sulfated, drinking and qualify for irrigation.

**Key words:** Watershed, Decision Tree, Change detection, GSI, FWD, plain Tamlouka.