



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Larbi Tébessi –Tébessa-
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : Sciences de la Terre et de l'univers



MEMOIRE DE MASTER
Domaine : Sciences de la terre et de l'univers
Filière : Géoscience
Option : HYDROGEOLOGIE

Thème :

**Calcul des périmètres de protection d'un
champ de captage dans une région semi-
aride (Tébessa)**

Présenté par :

TRIKI Ridha
ZERFAOUI Oussama

Devant le jury :

Pr.BAALI Fathi	Professeur	Université Laarbi Tébessi	Président
Dr. SEGHIR Karima	MCA	Université Laarbi Tébessi	Encadreur
Mr. SAADOUNE N	MAA	Université Laarbi Tébessi	Examineur

Année Universitaire 2018/2019

Table des matières

Remerciement	I
Dédicace	II
Liste des figures	III
Liste des tableaux	IV
Résumé	V
Introduction Générale	1
Chapitre I : Notions des périmètres de protection	2
1. Définition des périmètres de protection	2
1.2. Aspect législatif de la protection des eaux en Algérie	2
1.2.1 Article 38	3
1.2.2 Article 39	4
1.2.3 Article 41	4
1.2.4 Article 42	5
2. Type des Périmètres	5
2.1. Périmètre de Protection Immédiate (PPI)	6
2.2. Périmètre de Protection Rapprochée (PPR)	6
2.3. Périmètre de Protection Eloignée (PPE)	6
3-Méthodes de calcul	6
3.1. Méthode utilisées pour le dimensionnement des zones de protection	6
3.1.1. Pouvoir épurateur des terrains traversés	6
3.1.2. La zone d'appel du captage	8
3.1.3. Temps de transfert	8
3.1.3.1. Méthode de Hofmann et Lillich	8

3.1.3.2. Méthode de Wyssling	9
3.1.3.3. Méthode utilisée par EPA (Environnement Protection Agency).....	11
4. Critères de délimitation des zones de protection	11
4.1. Pouvoir épurateur du sol	12
4.2. Rabattement	12
4.3. Temps de transfert	13
4.4. Distance	13
4.5. Limites d'écoulement	13
5. L'élaboration des périmètres de protection	13
5.1. Démarche à suivre	13
5.2. Organigrammes pour l'élaboration des périmètres de protection des ressources en eaux souterraines	14
6. Les activités interdites au niveau de chaque périmètre	17
7. Dossier technique relatif à la protection des champs de captage des eaux souterraines	18
Chapitre II : Généralité de la région d'étude	
1. Situation Géographique	20
2. Réseau hydrographique	22
3. Géomorphologie de la zone d'étude	23
3.1 La plaine de Tébesa	23
3.2 La plaine de Hammamet	24
4. Aperçue géologique	25
4.1 Stratigraphie	26
4.1.1 Secondaire	27
a- Trias	27

b- Crétacé inférieur et moyen	28
b.1- Aptien	28
b.2- Albien	28
b.3- Vraconien	28
c- Crétacé Supérieur	29
c.1- Cénomaniens	29
c.2- Turonien	29
c.3- Emschérien (Santonien et Coniacien)	29
c.4- Campanien	29
c.5- Maestrichtien	29
4.1.2 Tertiaire	30
a- Pliocène inférieur	30
a.1- Paléogène : (Dano-Montien et Tanetien)	30
b- Paléogène supérieur	30
b.1- Éocène	30
c- Néogène	30
c.1- Miocène	30
d- Néogène supérieur	30
d.1- Pliocène	30
4.1.3 Quaternaire	31
a- Villafranchien supérieur (Pléistocène inférieur)	31
b- Pléistocène moyen	31
c- Pléistocène supérieur	31
e- Eboulis actuels	31

d- Holocène	31
5. Conditions climatiques de la région d'étude	33
5.1 Station métrologique dans la région d'étude	33
5.2 La précipitation	34
5.2.1 Variations moyennes mensuelles des précipitations	34
5.2.2 Variations interannuelles des précipitations	34
5.3 La température	35
5.3.1 Température moyenne mensuelle	35
5.3.2 Température moyenne annuelle	36
5.4 L'humidité	37
5.5 Le vent	37
5.6 Diagramme Ombrothermique sur une période de 20ans (1999 à 2018)..	38
6. Bilan hydrologique et ses composantes	38
6.1 L'évapotranspiration	39
6.1.1 L'évapotranspiration potentielle(ETP)	40
6.1.2 L'évapotranspiration réelle (ETR)	40
6.2 Estimation des réserves facilement utilisées R.F.U	41
6.3 Interprétation du Bilan hydrique	42
7. Aperçue Hydrogéologique	43
7.1 La carte piézométrique	43
7.2 La carte des conditions aux limites	44
8. Détermination des paramètres hydrodynamiques de la nappe profonde	44
8.1 Cartographie des paramètres hydrodynamiques	45
a- Carte de transmissivité	45

b- Carte de perméabilité	46
c- Carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la région d'étude	46
Chapitre III : Matériels et Résultats	
I MATERIELS	48
I.1. les données des forages de la région d'étude	48
I.2 la cartographie	50
I.2.1. la carte piézométrique	50
I.2.2 La carte de la vitesse réelle	51
I.2.3 la carte de vitesse réelle	52
I.3 Délimitation des zones de protection	52
I.3.1 Zone de protection immédiate	52
I.3.2 Zone de protection rapprochée	53
II. RESULTATS	53
II.1 Dimensionnement du périmètre de protection	53
II.1.2 Temps de transfert	53
II.1.3 La zone de protection éloignée	55
II.1.3.1 Tableau du calcul de l'air de recharge	56
II.2 Schéma des périmètres de protection des forages de la zone d'étude	56
Conclusion Générale	60
Bibliographie	61
ANNEXE A	63
ANNEXE B	69
ANNEXE C	75



Remerciements

C'est une tâche 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 professeur **SEGHIR KARIMA** pour son soutien moral, sa gentillesse et ses conseils judicieux. Il nous a pas ménagé son aide, nous lui en sont profondément reconnaissants.*

Nous adressons aussi nos sincères remerciements à tous les enseignants du département de STU.

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 aidés et les auteurs dont on a utilisés les documents sans les avoir citer dans les remerciements ou dans la bibliographie.

Enfin, nous remerciant tous les personnes du département de géologie de l'université de Tébessa.

Merci à tous.....



Dédicace

En l'honneur de mon père qui était fier de ce travail, qui est toujours dans mon esprit et dans mon cœur.

À ma mère qui a tout sacrifié pour m'offrir tout ce qui pouvait être bon et que je n'ai jamais expérimenté la moindre amertume d'être à mes côtés jusqu'à ce que je voie le succès, Merci beaucoup que "Dieu" vous protège et vous donne tout ce qui est bon dans la vie;

À mon professeur Mme SEGHIR KARIMA, Ce qui m'a beaucoup aidé tout au long du travail, c'est que Dieu te donne tout le bonheur de la vie;

À mes chers professeurs de l'Université de Tébessa, resteront toujours dans nos cœurs.

À mes chers frères et sœurs qui m'ont toujours aidé et encouragé durant cette thèse, en particulier mon frère TAHER Merci beaucoup, je vous souhaite du bonheur et de la victoire.

À tous mes chers amis, en particulier RAOUF, SOHAIB, TAJ ELDDINE, OUSSAMA, HOUSSAM et mon ami SAYED Allah Yerahmo.

À tous mes professeurs du primaire à ceux qui ont su me guider et me guider vers le droit chemin de la connaissance, de tout mon cœur merci, que Dieu soit miséricordieux envers vous, envers tous les personnels de la DRE de Tébessa, qui vous en est très reconnaissant, merci à tous ceux qui ont contribué à ce travail de près ou de loin.

RIDHA....



Dédicace

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à ma directrice de mémoire, Madame SEGHIR Karima. Je la remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

Je remercie mes très chers parents, qui ont toujours été là pour moi. Je remercie mes sœurs, et mon frère Anas, pour leurs encouragements.

Enfin, je remercie mes amis TRIKI Ridha et MENAS Raouf qui ont toujours été là pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

Oussama...

Liste des figures

Fig.N ⁰	Titre	Page
01	Schéma représentatif des périmètres de protection (source : Google image)	05
02	Détermination des isochrones (Méthode de Wyssling) (Source : Guide National d'Eau destinée à la Consommation Humaine)	10
03	Zone d'appel, zone d'influence et zone d'alimentation d'un captage. (BOUZARA –ENSAAD.2018)	12
04	Organigramme d'élaboration de la zone de protection immédiate (source : Nassah – Omdi 2011)	14
05	Organigramme d'élaboration de la zone de protection rapprochée (Source : Nassah – Omdi.2011)	15
06	Organigramme d'élaboration de la zone de protection éloignée (Source : Nassah – Omdi.2011)	16
07	Les zones de protection d'un captage d'eau (instruction pratique des périmètres de protection des eaux souterraines) (Source : Nassah – Omdi.2011)	18
08	Situation géographique de la région d'étude	20
09	Réseau hydrographique de la région d'étude (SEGHIR, 2008)	23
10	la carte Géologique de la région de Tébessa (Durozoy 1956. DHW Tébessa) (BOUTERAA Moufida)	27
11	Coupe géologique schématique au pied de Belkif (Chikha- Debbar 2017)	31
12	Carte schématique représentant la tectonique affectant la région d'étude (Chikha- Debbar 2017)	32
13	Variation des Précipitations moyennes mensuelles pour la station de Tébessa la période (1999-2000 à 2017-2018) (mm)	34
14	Variation interannuelles des précipitations pour la station de Tébessa la période (1999-2000 à 2017-2018) (mm)	35
15	Variation des Températures moyennes mensuelles pour la période (1999- 2000 à 2017-2018)	36
16	Variation des Températures moyennes annuelles station de Tébessa pour la période (1999-2000 a 2017-2018)	37
17	Diagramme Ombrothermique station de Tébessa (1999-2018)	38
18	la carte piézométrique de la nappe de Tebessa (juin 2017)	43
19	Carte des conditions aux limites. (In Djabri 1987)	44
20	la carte de transmissivité ($\times 10^{-3}$) (Chikha-Debbar .2017)	45
21	la carte de perméabilité ($\times 10^{-5}$) (Chikha-Debbar .2017)	46
22	Carte de Vulnérabilité de la nappe alluviale Tébessa-Bekkaria-Hammamet selon la méthode DRASTIC (Lakhal KH, 2018)	47
23	la carte piézométrique de Tebessa	49
24	carte d'inventaire des points d'eau et des forages dans la région d'étude	50
25	carte de vitesse réelle	51
26	Schéma représentatif des périmètres de protection du champ captant Bekkaria	56
27	Schéma représentatif des périmètres de protection du champ captant Tebessa	57
28	Schéma représentatif des périmètres de protection du champ captant Hammamet	58

Liste des tableaux

Tab N ⁰	Titre	Page
01	cordonnée Lambert de station de mesure	33
02	Précipitations moyennes mensuelles pour la station de Tébessa Sur la période (1999-2000 à 2017 -2018) (mm)	34
03	(selon la période d'observation du 1973-2004)	36
04	la moyenne mensuelle de la force du vent en m/s	37
05	Bilan hydrique de la période (1980-1981 à 2014 -2015) d'après la méthode de Thornthwaite, station de Tébessa	41
06	les forages de la région de Bekkaria (source : l'hydraulique de Tébessa)	47
07	les forages de Tébessa et Hammamet (source : l'hydraulique de Tébessa)	48
08	résultats obtenus par la méthode de Wyssling (Forages de Bekkaria)	53
09	résultats obtenus par la méthode de Wyssling (Forages de Tébessa et Hammamet)	53
10	les résultats de la zone de protection éloignée	55

Liste des symboles

PPI : Périmètre de protection immédiat.

PPR : Périmètre de protection rapproché.

PPE : Périmètre de protection éloigné.

H : épaisseur en mètres sur la tranche verticale.

H : longueur en mètre du trajet horizontal dans la nappe.

M_x : pouvoir épurateur sur la totalité du transfert.

M_d : pouvoir épurateur sur le trajet vertical.

M_r : pouvoir épurateur sur la distance horizontale.

h₁, h₂, h₃ : hauteurs des différentes catégories de terrains rencontrées.

I₁, I₂, I₃ : index correspondants.

e : épaisseur de l'aquifère.

n : Porosité équivalente.

s : rabattement (en m) à distance /du forage ou du puits (m) au temps (en s).

Q : débit constant du forage (m³/s).

T : transmissivité (m²/s).

S : coefficient d'emménagement.

W : fonction tabulée.

h : hauteur du niveau piézométrique, rabattu, par rapport à un niveau de référence, en un point donné.

l : distance de ce point par rapport au puits (en m).

h_w : hauteur du niveau d'eau dans le puits, par rapport à un niveau de référence (en m).

h_o : hauteur de niveau piézo, au repos, par rapport au niveau de référence (en m).

R : rayon d'influence (distance où le rabattement est nul) (en m).

r : rayon du puits (en m).

K : perméabilité (en m/s).

i : gradient hydraulique.

ω : Porosité efficace.

Q : débit du puits (en m³/s).

S₀ : distance en amont du captage (en m).

S_a : distance en aval du captage (en m).

t : Temps de transfert depuis un point P donné au forage

x_0 : Le rayon d'appel du forage (m)

x : Distance d'un point P aux puits de pompage (m)

U : La vitesse effective (m/s)

a : Indice lié à la température.

T : Température moyenne mensuelle en °C

ETP : Evapotranspiration potentielle en mm.

i : Indice thermique mensuel

Da : Densité apparente du sol.

He : L'humidité équivalente du sol (capacité de rétention).

ETR : L'évapotranspiration réelle.

RFU : Réserve en eau facilement.

Vr : Vitesse réelle m/s

i : Gradient hydraulique

S : Coefficient d'emménagement

B : la largeur du front

I : infiltration (mm)

SR : surface de recharge ou Air de recharge autour du forage

Résumé

La nappe phréatique de la zone d'étude est menacée par des activités humaines multiples et non contrôlées qui présentent des sources de pollution ponctuelles et potentielles (agriculture, assainissement individuel, décharges vulgaires, des eaux usées non traitées, centre de stockage des déchets etc.).

L'objectif général de cette étude est de contribuer à protéger le champ captant d'approvisionnement en eau potable de la région Tébessa-Bekkaria et Hammamet (Nord est Algérien). Pour atteindre cet objectif, nous avons procédé à une recherche documentaire, et une analyse géomorphologique, hydrogéologique et hydrodynamique de la zone de captage. Les calculs des périmètres de protection par la méthode de Wyssling a permis de délimiter les périmètres de protection autour de quelques forages destinés à l'alimentation en eau potable.

Comme résultat, un périmètre de protection rapproché au tour du champ de captage en question est mis en place et autour de chaque forage d'exploitation un périmètre de protection immédiat de 10 m de rayon est mis en place et clôturé.

Les résultats obtenus peuvent être utilisés comme dispositif d'aide à la décision dans la mise en place et l'amélioration d'aménagements visant à une meilleure protection des ressources hydriques dans la région de Tébessa-Bekkaria et Hammamet.

Mots-clés : protection, pollution, vulnérabilité, périmètres rapproché, nappe alluviale, Tébessa-Bekkaria, Hammamet, périmètre immédiat.

Abstract

The water table of the study area is threatened by multiple and uncontrolled human activities that present point and potential pollution sources (agriculture, individual sanitation, vulgar dumps, untreated wastewater, waste storage center etc.).

The general objective of this study is to help protect the drinking water supply field of the Tebessa-Bekkaria and Hammamet region (Northeast Algeria). To achieve this goal, we conducted a literature search, and a geomorphological, hydrogeological and hydrodynamic analysis of the catchment area. Calculations of protection perimeters by the Wyssling method made it possible to delimit the protection perimeters around some boreholes intended for the supply of drinking water.

As a result, a close protection perimeter around the catchment field in question is put in place and around each drilling operation an immediate protection perimeter of 10 m radius is set up and fenced.

The results obtained can be used as a decision-making aid in the establishment and improvement of development aimed at better protection of water resources in the region of Tebessa-Bekkaria and Hammamet.

Key-words: protection, pollution, vulnerability, close perimeters, alluvial aquifer, Tebessa-Bekkaria, Hammamet, immediate perimeter.

Arabe

تتعرض المياه الجوفية في منطقة الدراسة للتهديد من جراء الأنشطة البشرية المتعددة وغير الخاضعة للرقابة والتي تمثل مصادر التلوث المحتملة (الزراعة ، والصرف الصحي الفردي ، ومقالب المبتذلة ، ومياه الصرف الصحي غير المعالجة ، ومركز تخزين النفايات ، ... إلخ)

الهدف العام من هذه الدراسة هو المساعدة في حماية حقل إمداد مياه الشرب في منطقة تبسة بكارية والحمامات (الواقعة شمال شرق الجزائر). لتحقيق هذا الهدف ، أجرينا بحثاً في المستندات و تحليلاً جيومورفولوجياً وهيدروجيولوجياً وهيدروديناميكياً لمنطقة مستجمعات المياه. أتاحت حسابات محيط الحماية باستخدام طريقة (Wissling) تعيين حدود الحماية حول بعض الآبار المعدة لتوفير مياه الشرب.

نتيجة لذلك ، تم وضع محيط حماية قريب حول حقل المستجمع المعني ، وحول كل عملية حفر ، تم إعداد محيط حماية فوري يبلغ قطره 10 أمتار وتسيبجه.

يمكن استخدام النتائج التي تم الحصول عليها كأداة مساعدة في صنع القرار في إنشاء وتحسين التنمية التي تهدف إلى حماية أفضل للموارد المائية في منطقة تبسة – بكارية والحمامات.

الكلمات المفتاحية: الحماية ، التلوث ، القابلية للتأثر ، المحيط القريب ، المياه الجوفية الغرينية ، تبسة – بكارية ، الحمامات ، محيط فوري.

Introduction Générale

Introduction Générale

Les ressources en eau souterraines dans le nord de l'Algérie sont évaluées à plus de 2 milliards de m³ et sont exploitées à plus de 90% ; mettant ainsi les nappes en situations de sur-exploitation. [BOUZARA - ENSAAD 2018].

Dans la région de Tébessa (Nord-Est Algérie), les dépôts détritiques plio-quadernaires forment, principalement, l'aquifère de la zone d'étude. L'approvisionnement en eau potable de la région est principalement basé sur les eaux souterraines de cette nappe stratégique. Malheureusement, la protection de cette ressource est encore peu répandue au Tébessa, Pour garantir un approvisionnement en eau potable de bonne qualité à la population de la région de Tébessa, il est indispensable d'établir des périmètres de protection, comme le prévoit le Code de l'Eau National. Ce code prévoit en son article 38 la mise en place sur chaque captage de trois périmètres de protection : Un périmètre de protection immédiat, un périmètre de protection rapproché, un périmètre de protection éloigné.

Pour cela, l'établissement des périmètres de protection autour des captages d'eau est indispensable pour la préservation des réserves en eau contre les différents types de pollution.

L'objectif de notre travail consiste à élaborer les périmètres de protection du champ de captage de la région d'étude. En se basant sur des critères géologiques, hydrogéologiques et environnementaux.

Le présent travail est structuré en trois chapitres :

Le premier chapitre propose une synthèse bibliographique sur les processus de la pollution des eaux souterraines.

Dans le deuxième chapitre, nous présenterons la zone d'étude, par les principales caractéristiques géographiques, géologiques, hydrogéologiques.

Le troisième chapitre sera réservé au calcul des périmètres de protection selon la méthode possible et à leur présentation cartographique.

Chapitre I

Notions des périmètres de protection

Chapitre I : Notions des Périmètres de Protection

1. Définition des périmètres de protection

Le périmètre de protection est une zone particulière autour d'un captage d'eau potable (source ou forage) où des prescriptions sont établies pour limiter les risques de pollution de l'eau captée. Les périmètres de protection des champs de captage des eaux souterraines sont définies comme autant un outil idéal pour aviser et réduire toute cause de pollution susceptible de nuire à la qualité des eaux destinées à l'alimentation en eau potable. **[Guide National de Détermination des Périmètres de Protection des Captages d'Eau destinée à la Consommation Humaine].**

Loi du 16 juillet 1983 porte de code des eaux définit « le périmètre de protection comme contour délimitant un domaine géographique et les activités à l'intérieur sont interdites ou réglementées. »

Généralement, quand il s'agit de la protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine, trois périmètres différents sont définis: le périmètre de protection immédiat, le périmètre de protection rapproché et le périmètre de protection éloigné. **[Guide National de Détermination des Périmètres de Protection des Captages d'Eau destinée à la Consommation Humaine].**

Les périmètres de protection immédiats et rapprochés sont obligatoires pour tous les captages. En revanche, le périmètre de protection éloigné est nécessaire seulement dans des cas spécifiques et sur demande du Ministère ayant l'eau dans ses attributions. **[Guide National de Détermination des Périmètres de Protection des Captages d'Eau destinée à la Consommation Humaine].**

1.2. Aspect législatif de la protection des eaux en Algérie

La protection de l'eau se fait tout d'abord par l'établissement de textes législatifs qui réglementent et organisent le secteur de l'eau dans sa globalité. Ainsi des lois et des décrets sont mis en place pour protéger les ressources en eau mobilisées et destinées vers la consommation humaine. Dans ce qui suit nous passons en revue les différents textes législatifs qui ont touché le secteur l'eau.

- ✓ Loi du 16 juillet 1983 porte de code des eaux définit le périmètre de protection comme contour délimitant un domaine géographique et les activités à l'intérieur sont interdites au réglementées.
- ✓ Loi du 4 août 2005 relative à l'eau fixe les principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau et montre la nécessité des périmètres de protection contre la pollution. la protection et la préservation des ressources en eau sont assurés par :
 - ✓ Des périmètres de protection quantitative.
 - ✓ Des plans de lutte contre l'érosion hydrique.
 - ✓ Des périmètres de la protection qualitative.
 - ✓ Des mesures de prévention et de protection contre la pollution.
 - ✓ Des mesures de prévention de risque d'inondation.
- ✓ Décret du 23 décembre 2007 relatif aux périmètres de protection qualitative des ressources en eau, cette protection est assurée par trois types de protection.
 - ✓ Le périmètre de protection immédiate.
 - ✓ Le périmètre de protection rapprochée.
 - ✓ Le périmètre de protection éloignée.
- ✓ Décret du 6 février 2010 fixant modalités de délimitation de périmètre de protection quantitative des nappes aquifères ainsi que les conditions spécifiques d'utilisation de leurs ressources en eau.
- ✓ Décret du 25 avril 2012 relatif à l'exploitation et à la protection des eaux minérales naturelle et des eaux de source par l'évaluation du périmètre de protection de la ressource.
- ✓ Décret du 28 août 2013 relatif aux programmes d'action à mettre en œuvre en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole ;
- ✓ Décret du 4 mars 2014 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine fixe les valeurs pour certain paramètre physico-chimique ;

En Algérie, la législation dans le domaine est prise en charge par les textes suivants (JORADP N°60 du 04 août 2005 relatif à la loi de l'eau) :

1.2.1 Article 38

Il est établi autour des ouvrages et installations de mobilisation, de traitement et de stockage d'eau souterraine ou superficielle ainsi que de certaines parties vulnérables des

nappes aquifères et des oueds, une zone de protection qualitative comprenant, selon les nécessités de prévention des risques de pollution :

Un périmètre de protection immédiate dont les terrains doit être acquis par l'Etat et protégés par une personne physique ou morale chargée de l'exploitation des ouvrages et installations concernés ;

Un périmètre de protection rapprochée à l'intérieur duquel sont interdits ou réglementés les dépôts, activités ou installations susceptibles de polluer les eaux, de façon chronique ou accidentelle ;

Un périmètre de protection éloignée à l'intérieur duquel sont réglementés les dépôts, activités ou installations visés à l'alinéa précédent.

1.2.2 Article 39

A l'intérieur des périmètres de protection qualitative, l'ensemble des activités, y compris les activités agricoles ou industrielles, peuvent être réglementées ou interdites. Peuvent faire l'objet de mesures particulières de contrôle, de restriction ou d'interdiction, les activités concernant notamment :

- ✓ L'installation de canalisations d'eaux usées.
- ✓ L'installation de canalisations, réservoirs et dépôts d'hydrocarbures, de stations-service de distribution de carburant.
- ✓ L'installation de centrales d'asphalte.
- ✓ L'établissement de toutes constructions à usage industriel.
- ✓ Le dépôt de déchets de toutes natures.
- ✓ L'épandage d'effluents et, d'une manière générale, tous produits et matières susceptibles d'altérer la qualité de l'eau, y compris, le cas échéant, les produits destinés à l'agriculture.
- ✓ L'installation et l'exploitation de carrières.

1.2.3 Article 41

A l'intérieur des périmètres de protection qualitative, l'administration chargée des ressources en eau se réserve le droit d'effectuer, à tout moment et en tout lieu, toute observation, mesure et/ou contrôle destinés à suivre l'évolution qualitative des ressources en eau.

1.2.4 Article 42

Les indemnités dues aux propriétaires de terrains compris à l'intérieur des périmètres de protection qualitative sont fixées selon les règles applicables en matière d'expropriation pour cause d'utilité publique. A titre comparatif, le Tableau 2 donne les différentes procédures établies dans différents pays dans le domaine de la protection des captages d'eau souterraine.

2. Type des Périmètres

Généralement, quand il s'agit de la protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine, trois périmètres différents sont définis: le périmètre de protection immédiat, le périmètre de protection rapproché et le périmètre de protection éloigné. (Figure 01)



Figure 01 : Schéma représentatif des périmètres de protection (source : Google image)

2.1. Périmètre de Protection Immédiate (PPI)

Premier niveau de protection, obligatoire, il comprend le terrain directement adjacent au point de captage et a pour objet d'éviter les injections directes de polluants dans les eaux exhaures. Ce terrain doit être entièrement clôturé. Aucune activité n'est tolérée à l'intérieur, à l'exception de celles qui sont liées à la maintenance des ouvrages. La zone de protection immédiate englobe le point de prélèvement où les contraintes de pollution sont fortes. [Nassah et Omdi, 2001].

2.2. Périmètre de Protection Rapprochée (PPR)

Il délimite le secteur dans lequel toute pollution ponctuelle à l'accidentel est susceptible d'attendre rapidement le captage, soit par ruissellement superficiel, soit par migration souterraines des substances polluantes. [BOUZARA - ENSAAD 2018].

Le périmètre de protection rapprochée est déterminé en prenant notamment en compte :

- La vulnérabilité
- Les caractéristiques physiques de l'aquifère et de l'écoulement souterraines.
- Le débit maximal de pompage.
- L'origine et la nature des pollutions.

2.3. Périmètre de Protection Eloignée (PPE)

Le niveau de protection, non obligatoire. Lorsqu'il est mis en œuvre, ce périmètre est souvent d'une relativement grande étendue autour et en amont du point de captage. Le périmètre de protection éloignée correspond théoriquement à la totalité de l'aire ou zone d'alimentation de l'ouvrage. Sa définition repose sur la délimitation de l'aire d'alimentation de captage à l'intérieur de laquelle les lignes de courant sont orientées vers l'ouvrage utilise [Marchal, 2007].

3-Méthodes de calcul

3.1. Méthode utilisées pour le dimensionnement des zones de protection

3.1.1. Pouvoir épurateur des terrains traversés

Pour détermine le pouvoir épurateur du sol lors du transfert d'un polluant de la surface du sol jusqu'à l'aquifère et par circulation verticale, par écoulement horizontal dans l'aquifère jusqu'au captage. Pour cela nous allons utiliser **la méthode empirique de Rehse**.

Pour ce faire, les sols qui peuvent être rencontrés sont classés en fonction de la granulométrie.

Chaque catégorie de matériau est affectée d'un index qui permet de calculer le pouvoir épuratoire de ce matériau : [Moulaye OULD GUEWAD, 2009].

$$I = \frac{1}{H} \quad H : \text{épaisseur en mètres sur la tranche verticale}$$

$$I = \frac{1}{H} \quad H : \text{longueur en mètre du trajet horizontal dans la nappe}$$

Le pouvoir épurateur des terrains, est calculé par :

$$M_x = M_d + M_r$$

M_x : pouvoir épurateur sur la totalité du transfert

M_d : pouvoir épurateur sur le trajet vertical

M_r : pouvoir épurateur sur la distance horizontale

L'épuration est complète si : $M_x = 1$

Sur le trajet vertical, le pouvoir épurateur est égal à :

$$M_d = h_1 I_1 + h_2 I_2 + h_3 I_3 \dots h_n I_n = \sum_{i=0}^n h_i I_i$$

h_1, h_2, h_3 : hauteurs des différentes catégories de terrains rencontrées.

I_1, I_2, I_3 : index correspondants.

- Si $1 > M_x$, cela signifie que l'épuration est totale dans les couches de couverture. Selon Rehse, la délimitation d'un périmètre rapprochée n'est pas nécessaire dans ce cas.
- Si $1 < M_x$, la dépollution n'est pas totale. Elle doit se poursuivre dans la roche aquifère lors du transfert horizontal.
- Soit $M_d = M_r = 1$, pouvoir épurateur horizontal dans l'aquifère

La distance L à parcourir horizontalement pour une épuration totale sera donc :

$$L = \frac{M_r}{I_a}$$

(Avec I_a = index correspondant aux matériaux aquifère)

L correspond dans cas à la limite de la zone de protection rapprochée. S'il n'y a pas de couverture, toute l'épuration doit se faire horizontalement.

M_r doit être égal à 1, et on aura alors :

$$L = \frac{1}{1a}$$

L : la limite de la zone de protection rapprochée est calculée par la formule :

$$L_{\min} = \sqrt{\frac{Q50}{bn\pi}} \quad \text{Avec } Q50 \text{ le débit à la source en m}^3 \text{ pour 50 jours}$$

b : épaisseur de l'aquifère

n : Porosité équivalente

3.1.2. La zone d'appel du captage

Dans ce cas, il faut distinguer 2 zones : la zone d'influence et la zone d'appel.

La zone d'influence est la zone dans laquelle les niveaux sont influencés, c'est-à-dire rabattus par le pompage.

La zone d'appel est la partie de la zone d'influence d'où provient l'eau captée. Sur cette zone, l'ensemble des lignes de courant se dirigent vers le forage en pompage.

Cette zone d'appel a une importance considérable parce que les pollutions introduites dans cette zone sont susceptibles d'aboutir au forage en pompage. [Moulaye OULD GUEWAD, 2009]

La méthode utilisée pour déterminer cette zone est basé sur la formule de Theis, cette formule donne un état de la nappe en régime pseudo-permanent.

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad u = \frac{l^2 S}{4Tt}$$

s : rabattement (en m) à distance /du forage ou du puits (m) au temps (en s)

Q : débit constant du forage (m3/s)

T : transmissivité (m2/s)

S : coefficient d'emménagement

W : fonction tabulée

3.1.3. Temps de transfert

3.1.3.1. Méthode de Hofmann et Lillich

Cette méthode itérative initialement développée par Lillich et Lütting a été reprise par Hofmann et Lillich. [Andrée LALLEMAND-BARRES et Jean-Claude ROUX]

Le rabattement au voisinage du puits peut être appréhendé par l'équation suivante. [Todd, 1964]

$$(h-hw) = (ho-hw) = \frac{\ln(l/r)}{\ln(R/r)} \quad (1)$$

h : hauteur du niveau piézométrique, rabattu, par rapport à un niveau de référence, en un point donné.

l : distance de ce point par rapport au puits (en m)

hw : hauteur du niveau d'eau dans le puits, par rapport à un niveau de référence (en m)

ho : hauteur de niveau piézo, au repos, par rapport au niveau de référence (en m)

R : rayon d'influence (distance où le rabattement est nul) (en m)

r : rayon du puits (en m)

Cette équation est valable pour les aquifères captifs.

Dans le cas d'une nappe libre on écrit :

$$(h-hw)^2 = (ho-hw)^2 \frac{\ln(l/r)}{\ln(R/r)} \quad (2)$$

Dans le cas où le rabattement ne dépasse pas $1/10^e$ de la puissance de l'aquifère on peut utiliser l'équation (1)

3.1.3.2. Méthode de Wyssling

Cette méthode est simple à utiliser. Elle demande un pompage d'essai et les données exposées précédemment. Elle suppose le milieu homogène.

Les données utilisées sont les suivantes (Figure 02) :

e : épaisseur de l'aquifère (en m)

K : perméabilité (en m/s)

i : gradient hydraulique

ω : Porosité efficace

Q : débit du puits (en m^3/s)

On détermine d'abord la zone d'appel. Dans une nappe libre, si B est la largeur du front d'appel :

$$Q = KB bi \qquad B = \frac{Q}{Kei}$$

Le rayon d'appel est : $x_0 = \frac{Q}{2\pi Kei}$

La vitesse efficace est égale a : $U = \frac{Ki}{\omega}$

Dans ce cas la longueur limite L est donnée par la formule suivant : $L = U \times t$

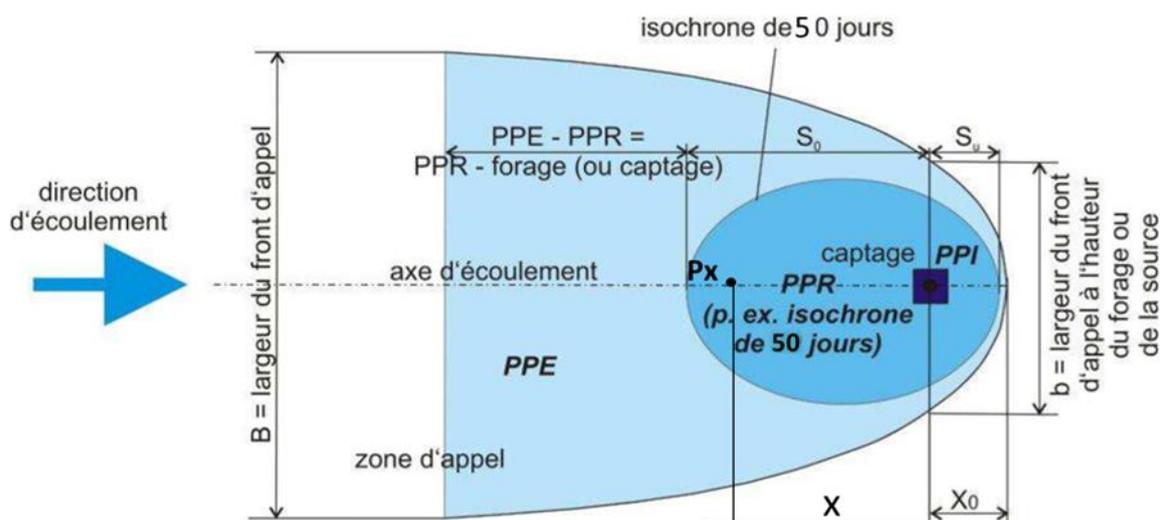


Figure 02 : Détermination des isochrones (Méthode Wysling)

(Source : Guide National d'Eau destinée à la Consommation Humaine)

Dans la plupart des pays ce temps est choisi égal à 50 jours, comme critère de délimitation du périmètre de protection rapproché : c'est le temps minimal nécessaire à l'élimination d'une pollution bactériologique et permettant un délai d'intervention suffisant en cas de pollution chimique accidentelle. [Moulaye OULD GUEWAD, 2009].

Les distances en amont et en aval sont calculées par les formules suivantes :

$$S_0 = \frac{L + \sqrt{L(L + 8x_0)}}{2} \quad S_u = \frac{-L + \sqrt{L(L + 8x_0)}}{2}$$

S_0 : distance en amont du captage depuis le forage jusqu'à la distance correspondant au temps t souhaité (en m).

S_u : distance en aval du captage, sur l'axe d'écoulement depuis le puits jusqu'à la distance correspondant au temps t souhaité.

3.1.3.3. Méthode utilisée par EPA (Environment Protection Agency)

L'EPA aux USA a utilisé une méthode très comparable de la méthode de Wyssling pour déterminer le temps de transfert des polluants à la roche. La formule donnée comme suit :

$$t = \frac{\omega}{u} [\pm (x - r) + x_0 \cdot \ln \left[\frac{(x_0 \pm r)}{(x_0 \pm x)} \right]]$$

$$\text{Avec : } x_0 = \frac{Q}{2\pi Kbi}$$

t : Temps de transfert depuis un point P donné au forage

ω : La porosité efficace

u : La vitesse effective (m/s)

x : Distance d'un point P aux puits de pompage (m)

x_0 : Le rayon d'appel du forage (m)

r : rayon du puits (m)

K : Coefficient de perméabilité (m/s)

b : Épaisseur de l'aquifère (m)

i : Gradient hydraulique

Q : Débit de pompage (m³/h)

Cette dernière relation caractérisant le temps de transfert d'une pollution dans l'espace permet de déduire la zone de protection éloignée d'un champ captant. Le résultat est illustré sous forme graphique.

Toujours en restant dans l'hypothèse que 50 jours sont nécessaires pour l'épuration d'une pollution biologique, le graphique obtenu de cette dernière relation donne la distance nécessaire à l'amont des forages afin que le pouvoir épuratoire du recouvrement puisse éliminer totalement toute pollution de nature accidentelle. [Moulaye OULD GUEWAD, 2009]

4. Critères de délimitation des zones de protection

L'analyse des réglementations existantes, notamment en Europe, met en évidence certains critères qui sont utilisés pour délimiter les zones de protection. Les valeurs attribuées aux

critères représentent des limites au-dessus et au-dessous desquelles le critère considéré cesse de fournir le degré de protection souhaité. Ces critères sont au nombre de cinq. [Lallemand Barres et Roux, 1999] :

- ✓ Pouvoir épurateur du sol.
- ✓ Rabattement.
- ✓ Temps de transfert.
- ✓ Distance.
- ✓ Limites d'écoulement

4.1. Pouvoir épurateur du sol

Le pouvoir épurateur du sol puis de la zone saturée est important pour éviter la propagation d'une pollution en direction de la nappe. La concentration du polluant peut avoir considérablement diminué à son entrée dans la nappe si le pouvoir épurateur du sol et de zone non saturée est efficace. [BOUZARA –ENSAAD.2018].

4.2. Rabattement

Un rabattement de nappe est une baisse du niveau piézométrique zéro (plafond) d'une nappe phréatique induit par un pompage ou une vidange naturelle ou accidentelle de la nappe. C'est un critère lié aux concepts de la zone d'influence (zone où le niveau de la nappe est rabattu par pompage) et la zone d'appel (zone où l'ensemble des lignes de courant se dirigent vers le captage). (Figure 03). [BOUZARA –ENSAAD.2018].

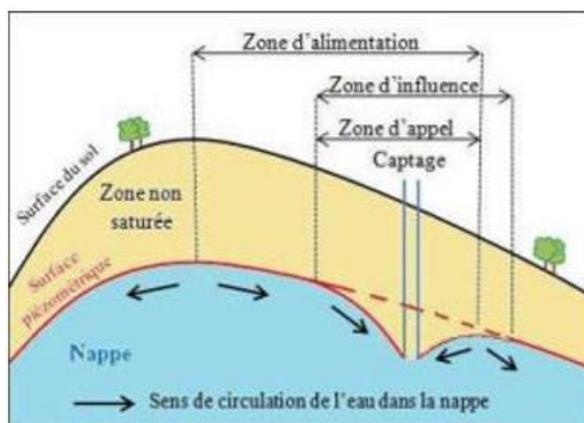


Figure 03 : Zone d'appel, zone d'influence et zone d'alimentation d'un captage.

(BOUZARA –ENSAAD.2018).

4.3. Temps de transfert

Le temps de transfert est un critère basé sur le temps qu'il faut à un polluant pour se déplacer du point d'entrée de la nappe jusqu'à l'arrivée au captage. Il faut également tenir compte du transfert en zone non saturée à l'intérieur de l'aire d'alimentation du captage, on définit alors des courbes d'égalité de temps de transfert, ou isochrones. [BOUZARA – ENSAAD.2018]

4.4. Distance

La délimitation des périmètres de protection repose dans ce cas sur la détermination d'un rayon ou d'une distance mesurée entre le puits de pompage et un point concerné. La délimitation d'une distance est possible si l'on connaît l'épaisseur de l'aquifère, la porosité, l'infiltration efficace et la vitesse effective. [BOUZARA – ENSAAD.2018]

4.5. Limites d'écoulement

Une délimitation des périmètres de protection basée sur des critères à utiliser tels que les caractéristiques physiques, topographiques ou hydrogéologiques qui contrôlent l'écoulement. Les limites peuvent être, par exemple, un canal, une ligne de partage des eaux souterraines, les limites d'alimentation ou encore une limite étanche. [BOUZARA – ENSAAD.2018].

5. L'élaboration des périmètres de protection

5.1. Démarche à suivre

L'établissement de périmètres de protection suit une procédure très précise. La phase préparatoire comprend : [Nassah – Omdi.2011]

- Une étude technique (enquêtes de terrain, analyse de la qualité de l'eau) ;
- La consultation d'un hydrogéologue agréé ;
- L'élaboration des dossiers réglementaires

Une fois élaborés, ces éléments sont remis aux pouvoirs publics qui les instruisent puis organisent une enquête publique. Les périmètres font ensuite l'objet :

- D'une déclaration d'utilité publique, c'est à dire d'un arrêté préfectoral qui les institue
- Eventuellement de servitudes : elles réglementent les activités agricoles ou industrielles dans ces périmètres pour aboutir à une meilleure protection de la ressource en eau ;
- D'une acquisition foncière pour le périmètre de protection immédiat.

5.2. Organigrammes pour l'élaboration des périmètres de protection des ressources en eaux souterraines

Pour l'élaboration du périmètre de protection immédiate on a besoin de la carte de situation de l'ouvrage (Figure 04).

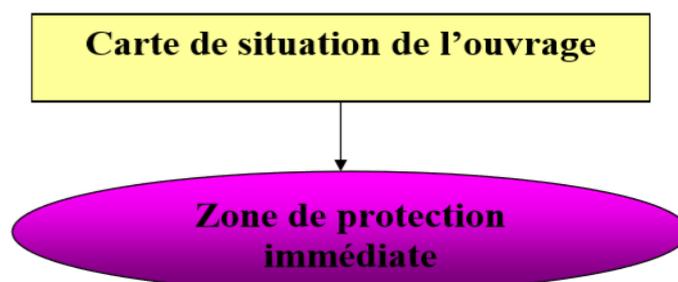


Figure 04 : Organigramme d'élaboration de la zone de protection immédiate (source : Nassah – Omdi 2011)

Pour l'élaboration des périmètres de protection rapprochée on aura besoin des données telles que le réseau hydrographique, données climatiques, carte de qualité d'eau, occupation du sol, carte géologique et essais de pompage (Figure 05).

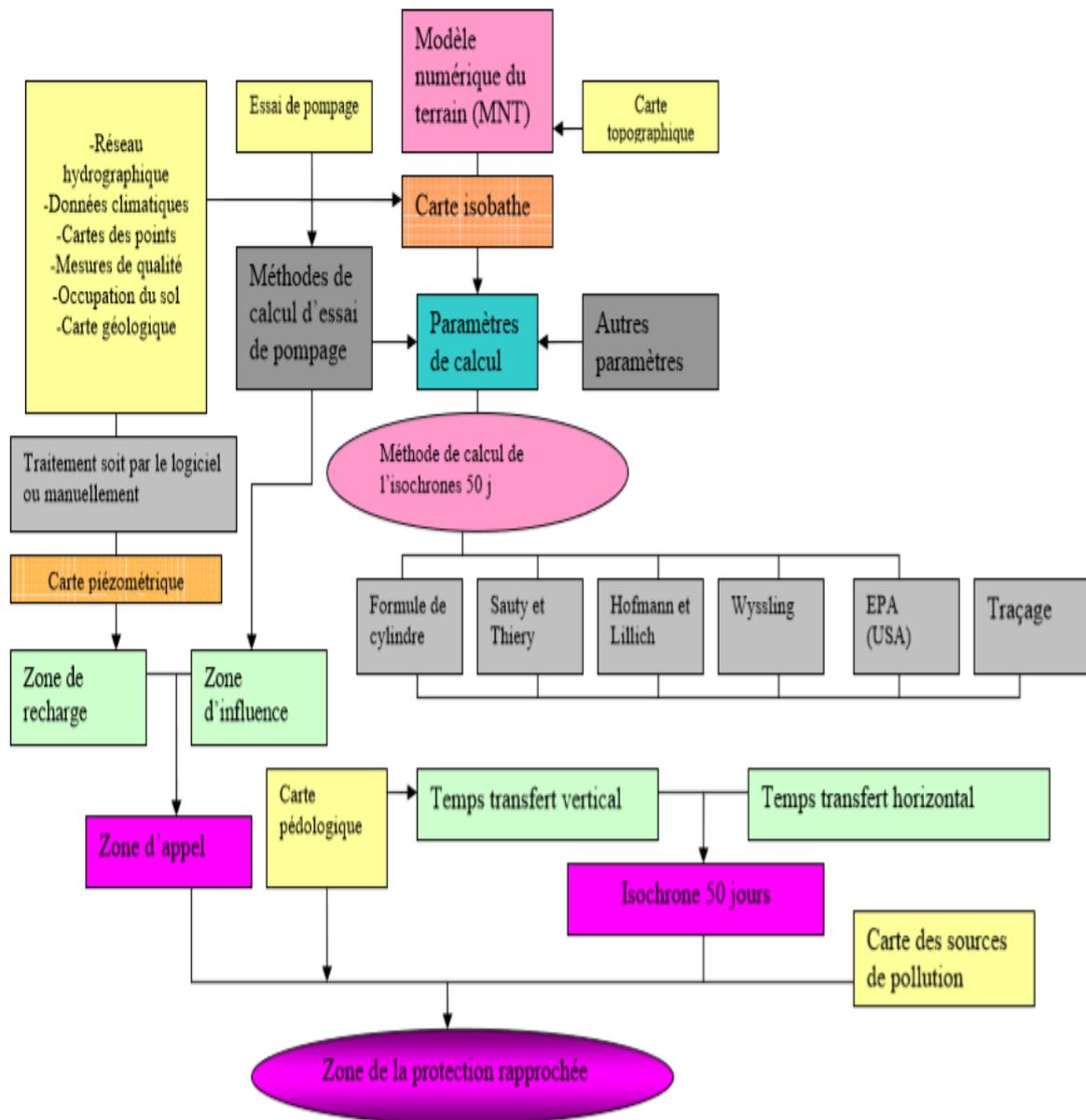


Figure 05 : Organigramme d'élaboration de la zone de protection rapprochée

(Source : Nassah – Omdi.2011).

La méthode de délimitation de la zone de protection éloignée est expliquée par le schéma suivant (Figure 06) :

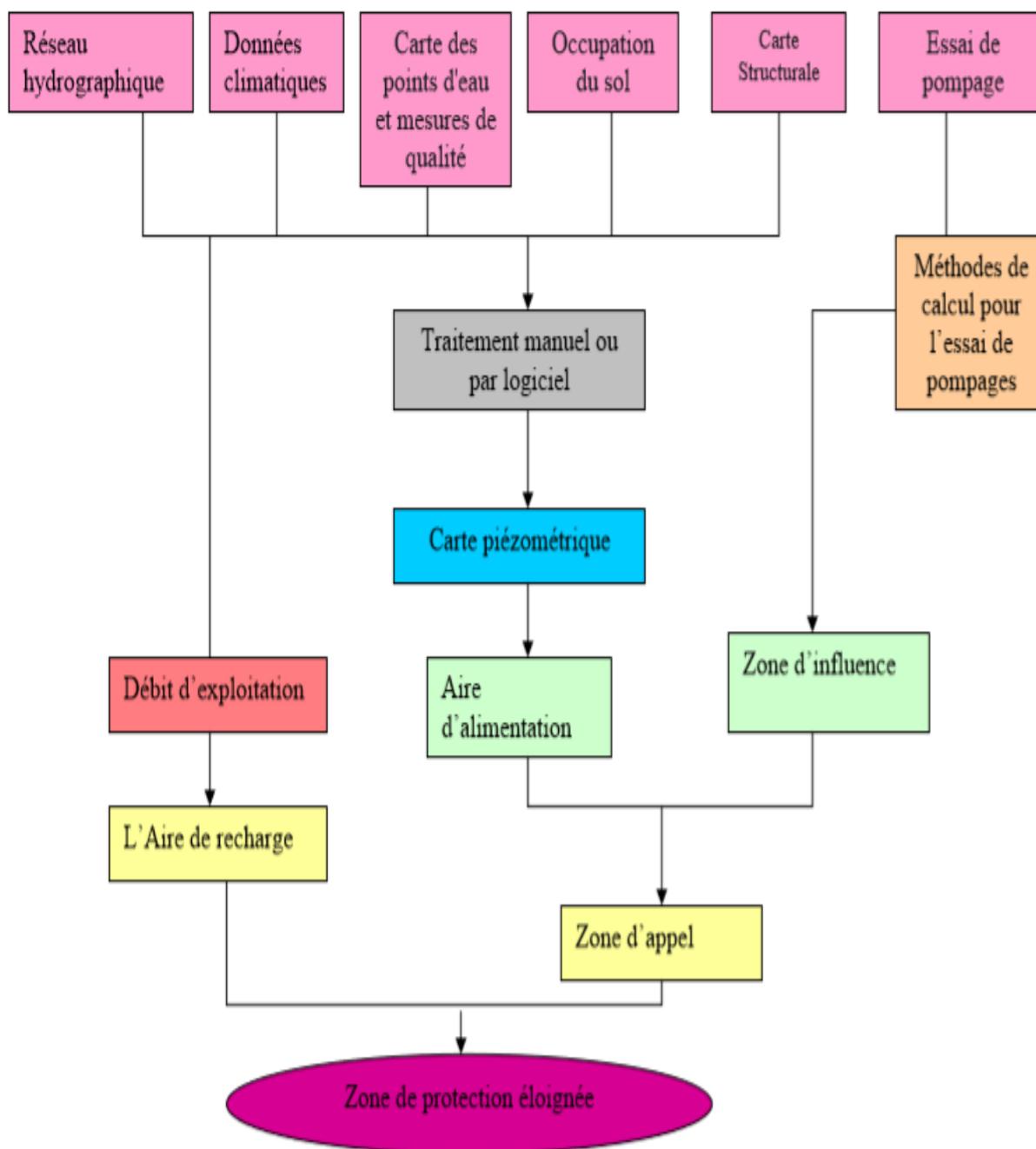


Figure 06 : Organigramme d'élaboration de la zone de protection éloignée

(Source : Nassah – Omdi.2011).

6. Les activités interdites au niveau de chaque périmètre

- Dans la zone S1, seuls les travaux de construction et les activités servant à l'approvisionnement en eau potable sont autorisés ; une exception est consentie pour l'herbe fauchée laissée sur place. (Figure 07). [Nassah – Omdi.2011]

Au niveau de la zone S2, les activités non autorisées sont :

- ✓ La construction d'ouvrages et d'installations (l'autorité peut accorder des dérogations pour des motifs importants si toute menace pour l'utilisation d'eau potable peut être exclue)
 - ✓ Les travaux d'excavation altérant les couches de couverture protectrices ;
 - ✓ L'infiltration des eaux à évacuer ;
 - ✓ Les autres activités susceptibles de réduire la quantité d'eau potable et d'altérer sa qualité.
- ❖ En ce qui concerne la zone S3, les activités interdites sont :
- Les exploitations industrielles et artisanales impliquant un risque pour les eaux du sous-sol ;
 - ✓ Les constructions diminuant le volume d'emménagement ou la section d'écoulement de l'aquifère ;
 - ✓ L'infiltration des eaux à évacuer, à l'exception des eaux non polluées s'écoulant des toits à travers une couche recouverte de végétation ;
 - ✓ La réduction importante des couches de couverture protectrices ;
 - ✓ Les circuits thermiques qui prélèvent ou rejettent de la chaleur dans le sous-sol ;
 - ✓ les réservoirs contenant des liquides de nature à polluer les eaux, dont le volume utile dépasse 450 l par ouvrage de protection, à l'exception des réservoirs non enterrés pour huile de chauffage et huile diesel destinés à l'approvisionnement en énergie de bâtiments ou d'exploitations pour deux ans au maximum ; le volume utile total de ces réservoirs ne doit pas dépasser 30 m³ par ouvrage de protection ;
 - ✓ Les installations d'exploitation contenant des liquides de nature à polluer les eaux, dont le volume utile dépasse 2000.

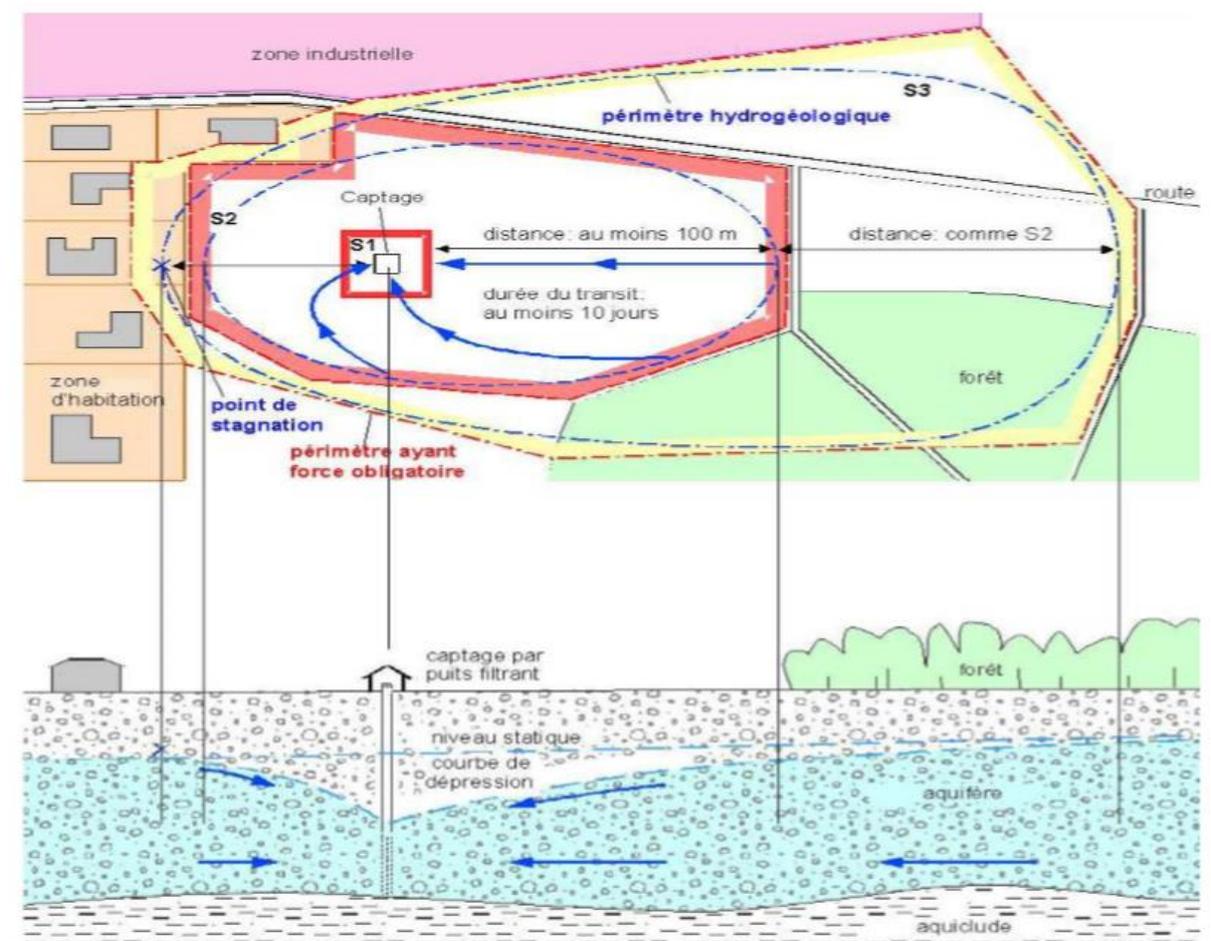


Figure 07 : Les zones de protection d'un captage d'eau (instruction pratique des périmètres de protection des eaux souterraines)

(Source : Nassah – Omdi.2011).

7. Dossier technique relatif à la protection des champs de captage des eaux souterraines

Le dossier de technique comprend un certain nombre de données multidisciplinaires :
[\[Nassah – Omdi.2011\]](#)

- Une description des caractéristiques des ouvrages et des contraintes de la situation :
 - ✓ Caractéristiques du captage
 - ✓ Terrains traversés par le captage
 - ✓ Environnements du captage et occupation du sol
- Un rapport géologique et des analyses de l'eau brute ;

- ✓ Données géologiques
 - ✓ Données pédologiques
 - ✓ Données climatologiques
 - ✓ Données hydrologiques
 - ✓ Données hydrogéologiques
 - ✓ Qualité de l'eau
- Des informations sur la vulnérabilité des ressources et les risques de pollution ;
 - ✓ Inventaire des sources et foyers de pollution
 - ✓ Vulnérabilité de l'aquifère
- Une analyse des conséquences du prélèvement sur le milieu naturel

Chapitre II

Généralité de la région d'étude

Chapitre II : Généralité de la région d'étude

1. Situation Géographique

La wilaya de Tébessa est située au Nord-est de l'Algérie, sur les Hauts plateaux, elle a une frontière de 300km avec la Tunisie avec une altitude qui varie entre 800m et 1750m.

Les wilayas limitrophes sont :

- Souk-Ahras au Nord.
- El-Oued Souf au Sud.
- Oum-El Bouaghi et Khenchela à l'Ouest.
- La Tunisie à l'Est.

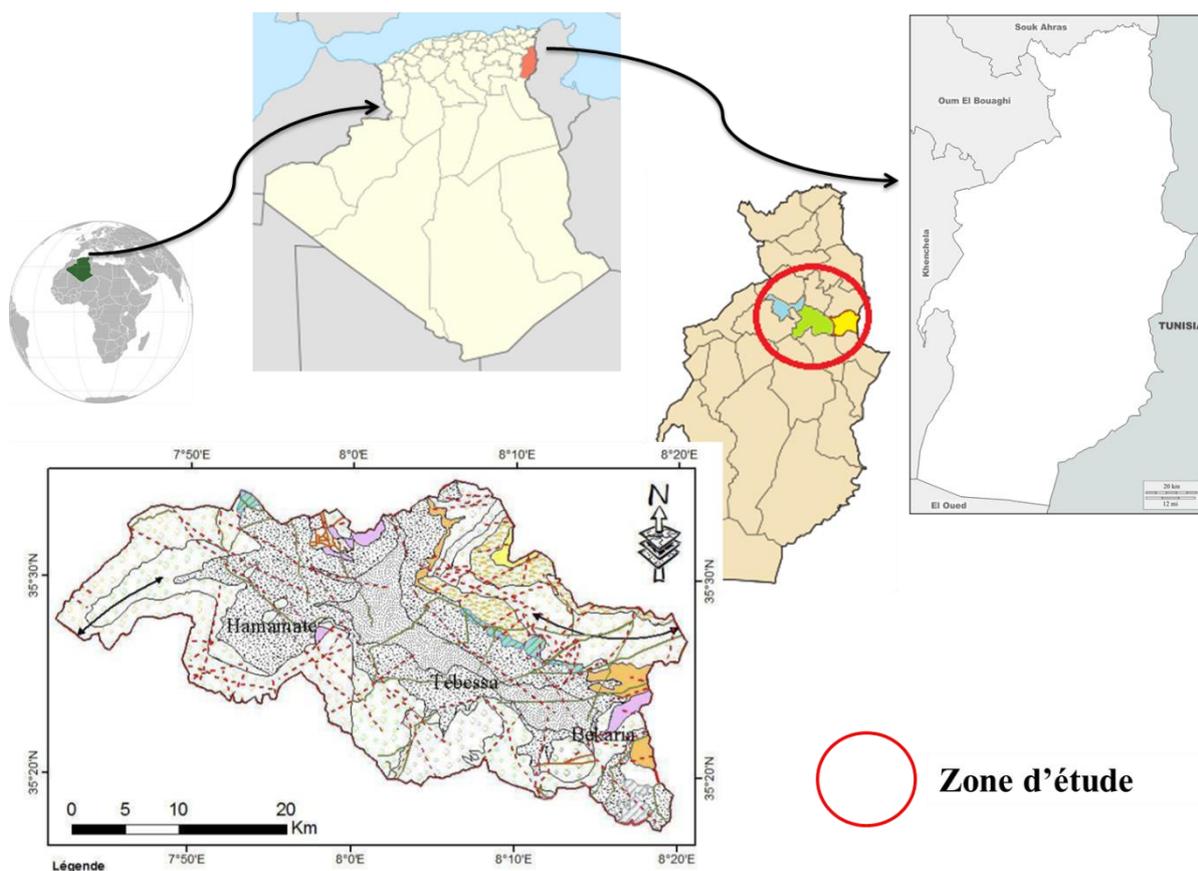


Figure 08 : Situation géographique de la région d'étude

Le choix de la zone d'étude à savoir la nappe alluviale de Tébessa-Bekkaria-Hammamet a été motivée par l'importance de leur réservoir dans l'alimentation de la wilaya en eau potable.

✓ La ville de Tébessa

La ville de Tébessa, chef-lieu de la wilaya est située au Nord-est algérien, à environ 230km au Sud de la méditerranéenne. Elle est située à l'Est de l'Atlas Saharien, entre 35°22'/35°26' Nord et 08°03'/08°09' Est [TOUAHRIA Khedidja 2013].

Les limites communales de la ville de Tébessa sont comme suit :

- au nord : par la commune de BoulhefDyr ;
- au sud : par la commune d'El Malabiod ;
- à l'est : par la commune de Bekkaria ;
- à l'ouest : par les communes de BirMokkaddem et El Hammamet.

✓ La commune de Hammamet

La commune de Hammamet se situe à l'extrémité Nord-ouest de la W. de Tébessa, et elle appartient au domaine de l'Atlas Saharien Oriental, aux confins Algéro-Tunisiens, précisément, aux monts de Tébessa, qui constitue la partie orientale des monts de Nemmemcha. Dont les limites administratives peuvent être définies comme suit [TOUAHRIA Khedidja 2013] :

- au Nord-Ouest : par la ville de Meskiana (Willaya de Oum el Bouaghi) ;
- au sud-Est : par la ville de Tébessa ;
- à l'Ouest : par la daïra de Cheria et BirMokaddem.

Concernant les limites géomorphologiques, on peut citer :

- au Nord-Ouest : Dj.belkif.
- au Sud : Dj. Gaaga, DjBouzian, Dj. Mestiri, et Dj.Tazbent ;
- à l'Est : Dj. Guenifida, Dj ezitouna ;
- à l'Ouest : Dj. Troubia, Dj Essen ;

La commune de Hammamet est comprise entre les coordonnées géographiques suivantes :

- Longitude 7° 50- 8° 10 Est ;
- Latitude 35° 24 – 35° 35 Nord.

✓ **Commune de Bekkaria**

La commune de Bekkaria est liée par la route nationale n° 01, cette commune s'inscrit entre les coordonnées suivantes : 35° 25' N et 8° 15' E à altitude moyenne de 875 m.

Elle est limitée comme suit :

- au Nord par la commune d'El Kouif,
- au Sud par la commune d'El Houdjbet,
- à l'Ouest par le chef-lieu wilaya de Tébessa.
- à l'Est par la frontière Tunisienne

2. Réseau hydrographique :

La région d'étude est marquée par un réseau hydrographique bien développé avec de nombreux oueds (Figure 09), dont l'écoulement est temporaire. Ces oueds sont les suivants : oued Serdiess, oued Ksob, oued Boudiss, oued Bouakous et oued Chabro, ces deux derniers sont les plus importants oueds caractérisant la région. L'oued Bouakous rejoint l'oued Ksob qui se jette dans oued Méllégue, lequel s'inscrit dans le grand bassin de Medjerda. [Chikha-Debbar 2017]

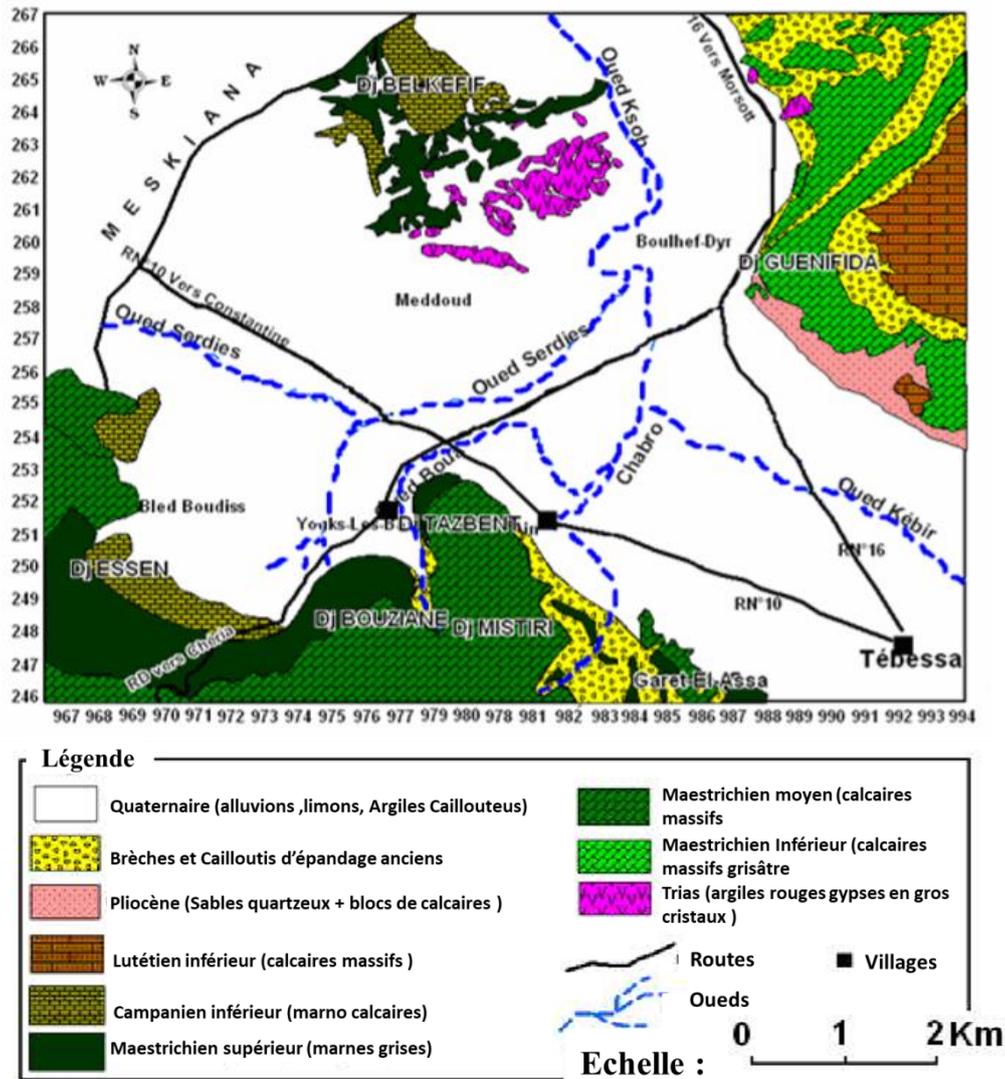


Figure 09: Réseau hydrographique de la région d'étude (SEGHIR, 2008)

3. Géomorphologie de la zone d'étude:

La zone d'étude se présente sous forme de dépressions juxtaposées plus ou moins marquées séparées par d'importants massifs calcaires, qui forment des limites naturelles [TOUAHRIA Khedidja 2013].

3.1 La plaine de Tébessa:

La plaine de Tébessa fait partie du bassin versant de Medjerda et du sous bassin d'Oued Mallégué. C'est une vaste plaine de forme grossièrement allongée de direction NW-SE, elle à une topographie plus ou moins plate, l'altitude y varie de 800m, à l'intersection d'oued bouakous et d'Oued Chabro, à 850 m aux pieds des montagnes qui la bordent. La

commune s'étend sur 184 km² [TOUAHRIA Khedidja 2013] .Elle est entourée par les monts de :

- Dj. Dyr et Dj. Bou-Rebaia au Nord ;
- Dj. Bouroumane, Dj. Doukkane, Dj. Anoual, et Dj. Ozmor au Sud, - Dj. Doukkane à l'Ouest ;
- Dj. Cherab, Dj. Djebissa, Koudiat El -Goussa, Koudiat El-Mouhad et Draa Snoubar à l'Est.

3.2 La plaine de Hammamet:

La plaine de Hammamet est située à une quinzaine de kilomètres au Nord- Ouest de la ville de Tébessa. Elle est plate, dont la commune s'étend sur 88 Km².

Elle est limitée par [TOUAHRIA Khedidja 2013] :

- La localité de Birdh'hab Nord,
- Dj. Mestiri et la route nationale 10 à l'Est,
- Dj. Gaagaa à l'Ouest et,
- Dj. Tazbent au Sud.

4. Aperçue géologique :

La géologie est un moyen d'investigation très utile en hydrogéologie, car elle permet le repérage des formations susceptibles d'être aquifères, et de suivre leur évolution dans l'espace et dans le temps. En se basant aux anciens travaux géologiques régionaux de nombreux auteurs, le bassin étudié correspond à des formations autochtones constituée essentiellement de [Chikha- Debbar 2017]:

- très importantes assises carbonatées d'âge campanien ;
- divers recouvrement marquant le quaternaire.

Il faut signaler que la région de Hammamet n'a jamais fait l'objet de levés géologiques détaillés sauf sa partie Nord qui est couverte par la feuille de Meskiana n° 204. Le seul travail connu remonte à l'époque coloniale avec la Carte Topographique de Hammamet n° 205 (échelle 1/50000) que l'Institut de Géologie National a publié en 1950. On peut citer les références suivantes :

-Durozoy et Dubourdiou (1951) ont décrit le fossé d'effondrement de Tébessa et le fossé de Hammamet ;

- Durozoy (1956) a établi la stratigraphie de la région et a donné les premiers rapports descriptifs de la tectonique Plio-quaternaire ;

- Kowalski, Boudoukha, Hemila et Pharizat (1997), ont contribué à la reconnaissance du fossé d'effondrement de Tébessa dont l'objectif principal était de montrer les différents stades d'effondrements du graben de Tébessa (confins algéro-tunisiens) et la tectonique de la phase pliocène et plio-quaternaire.

L'étude lithologique et stratigraphique des faciès permet de donner plusieurs informations sur :

-La description des différents faciès et l'établissement d'une colonne stratigraphique synthétique des différentes strates ;

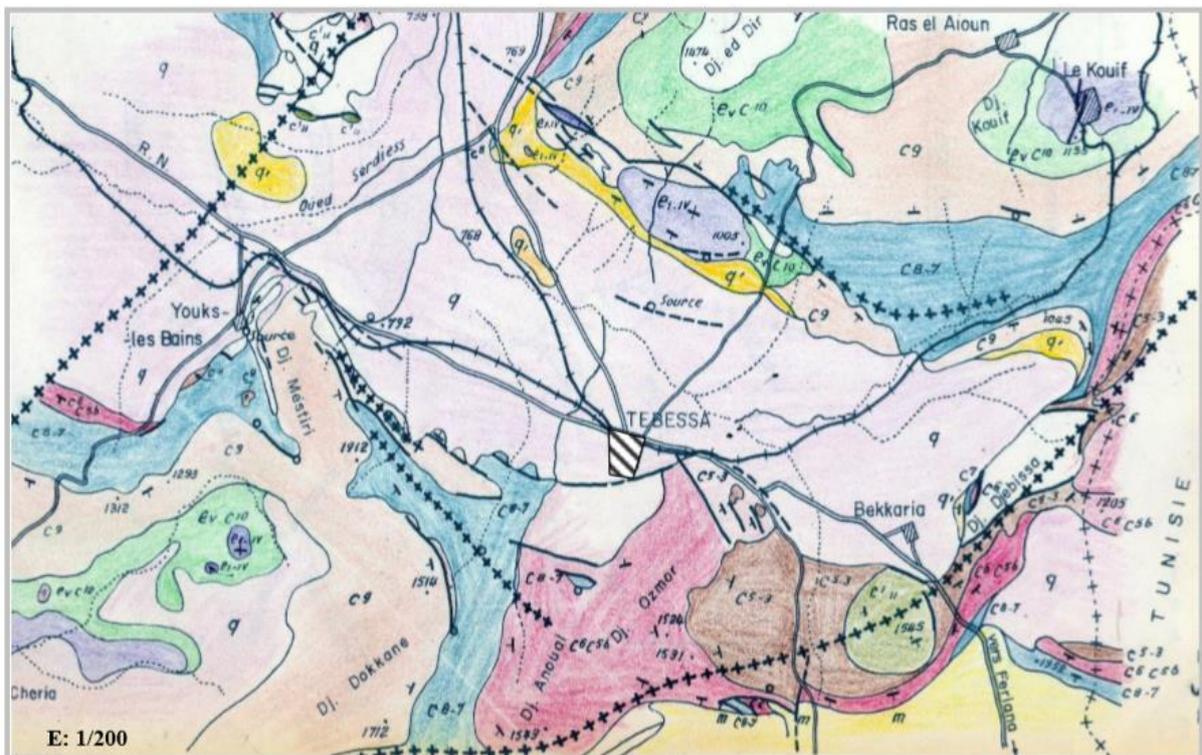
-La description des formations géologiques susceptibles d'être aquifères.

Pour cela, on distingue :

- ✓ Un milieu poreux, composé de sables et graviers qui correspondent généralement aux nappes d'eaux superficielles (nappes phréatiques) ;
- ✓ Un milieu fracturé rencontré dans les formations carbonatées (d'âge Mæstrichtien et Turoniens) qui correspond aux nappes d'eaux profondes.
- ✓ Généralement la zone d'étude est caractérisée par une stratigraphie allant du trias au quaternaire, comme on va le montrer dans les paragraphes suivants (Durosoy, 1956) :

4.1 Stratigraphie :

La description stratigraphique et lithologique de la région d'étude se présente de bas en haut comme suit (Figure 10). [Chikha- Debbar 2017] :



Légende :

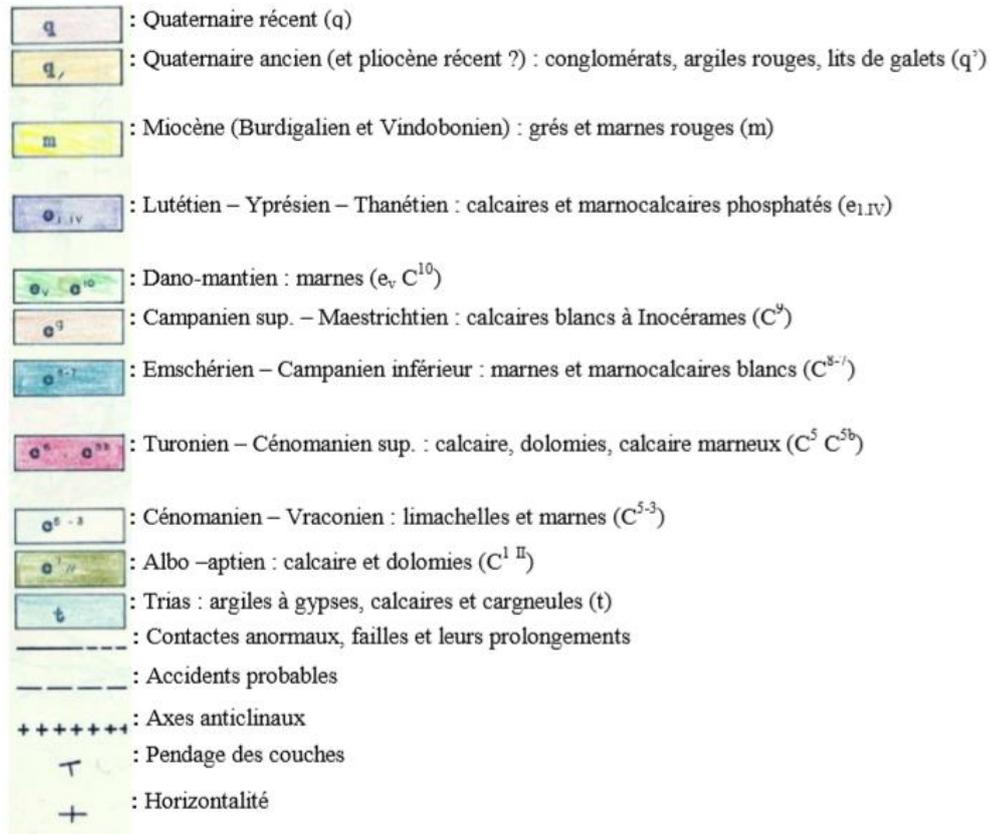


Figure 10 : la carte Géologique de la région de Tébessa (Durozoy 1956. DHW Tébessa)

[BOUTERAA Moufida]

4.1.1 Secondaire

a- Trias :

Généralement, les formations de cet étage n'affleurent pas dans la zone d'étude ; mais existent probablement en grande profondeur, comme cela est prouvé par l'inclinaison remarquable des calcaires du Turonien de Dj. Es. Senn. Elles sont probablement poussées du côté oriental par le diapir triasique. Des roches gypseuses du Trias sont observables au côté sud de Dj. Belkfif et Bouhalala, ce Trias étant caractérisé par la présence des argiles rouges, des gypses fragmentés en gros cristaux avec des lentilles de calcaire et de dolomie. Dans la zone d'étude le trias affleure au Hammamet Sud et Nord. Il affleure largement aux pieds de Dj. Belkfif à l'ouest d'un oued, puis encore plus à l'ouest à 400 m au Nord-Est de koudiat El-Alia. Tous ces affleurements sont assez réduits, le plus important étant celui situé à l'ouest de

koudiat El-Gada. Il est allongé NE-SW sur 300m et 50m de large, et est constitué d'un ensemble de 30 à 40 m d'épaisseur surmonté de dolomies bréchiques en bancs sub-verticaux (Morel, 1955 ; Othmamime, 1987). [Chikha- Debbar 2017]

Les meilleurs affleurements se situent aux sud des collines de koudiat El-Alia Sidi Yahia, dans la plaine, qui semble correspondre au cœur de diapir Hammamet-Belkif, dont l'extrémité SW se situerait à Youkous - les bains (un affleurement de trias est signalé aux environs de Youkous - les bains sur la carte géologique au 1/50000 (Othmamime, 1987). Le trias est représenté par de grandes masses de gypses gris - bleuté et parfois rougeâtre, et par des argiles vertes et bariolées. Ce faciès, indique l'existence d'importantes lagunes où se sont déposées de grandes quantités de marnes, de gypse et probablement de sel (Morel, 1955 ; Buisson, 1974). [Chikha- Debbar 2017]

b- Crétacé inférieur et moyen

b.1- Aptien :

Il est formé par des bancs de calcaires à Orbitolines, souvent bréchiques à ciment dolomitique ou calcique. Dans la partie méridionale du Dj. Belkif, ces calcaires sont englobés dans le Trias diapirique, avec une épaisseur qui dépasse 100 m. [Chikha- Debbar 2017]

b.2- Albien :

Il affleure près de Dj. Bouroumane où il est formé par des calcaires en bancs bruns épais sur une épaisseur de 90 m. Ces assises forment une grande partie des pentes moyennes du versant Ouest de Bouroumane. Cet étage ne se trouve pas dans la zone d'étude, peut-être à cause du diapirisme accentué lors de cette période, cependant selon le dernier article de J-M. VILLA (2001) il existe près de Dj. Belkif. [Chikha- Debbar 2017]

b.3- Vraconien :

Il est bien développé dans la zone de Bouroumane et Hammamet, et il existe probablement en profondeur dans le fossé de Hammamet. Cet étage est caractérisé par un ensemble de calcaires et de marnes calcaires grisâtres en plaquettes, renfermant des empreintes d'Ammonites. [Chikha- Debbar 2017]

c- Crétacé Supérieur

c.1- Cénomaniens :

Il affleure dans la partie Nord-ouest du fossé de Hammamet à l'Est de Dj. Essen, sous la forme de marnes bleues violettes à intercalation de lumachelles. Ces marnes sont connues aussi au sud de Dj. Belkfif dans l'anticlinal de Haméimat et dans la zone orientale du Dj. Ozmor (Tella). [Chikha- Debbar 2017]

c.2- Turonien :

Il se subdivise en deux parties, le turonien inférieur et le turonien supérieur. La base du Turonien inférieur est représentée par des marnes calcaires grisâtres, dont l'épaisseur est de l'ordre de 60 m. Le sommet du Turonien inférieur est représentée par des calcaires beiges qui constituent les falaises du Dj. Essen ; Dj. Belkfif, kefDaheche, Dj. Tella (chaîne d'Ozmor). Le Turonien supérieur se présente en marnes grises, alternées avec des marnes vertes d'une épaisseur d'environ 150 m. [Chikha- Debbar 2017]

c.3- Emschérien (Santonien et Coniacien) :

C'est une série épaisse et monotone de marnes grises ou vertes, contenant dans sa partie supérieure des niveaux de calcaires lumachelliques sur une épaisseur de 250 m. [Chikha- Debbar 2017]

c.4- Campanien :

Le Campanien (inférieur et supérieur) est caractérisé par une série des marnes grises ayant une épaisseur de 200 m. Le Campanien moyen présente dans le relief une nouvelle corniche entre celle du Turonien et du Maestrichtien, il passe sensiblement aux formations marneuses qui font le passage entre Campanien supérieur et Maestrichtien inférieur. [Chikha- Debbar 2017]

c.5- Maestrichtien :

Le Maestrichtien inférieur est représenté par des éboulis au pied des reliefs. Le Maestrichtien supérieur est une formation puissante de calcaires massifs blancs bien lités

renfermant de nombreuses empreintes d'Inocérames. Leur épaisseur est de l'ordre de 80 à 100 m, mais atteint 200 m au sud-ouest de Youkous (Hammamet). [Chikha- Debbar 2017]

4.1.2 Tertiaire

a- Pliocène inférieur

a.1- Paléogène : (Dano-Montien et Tanetien) :

Il se caractérise par une formation marneuse couverte au sommet par des marno-calcaires, refermant plusieurs couches phosphatées sur une épaisseur de 10 à 15m. [Chikha- Debbar 2017]

b- Paléogène supérieur

b.1- Éocène :

Il est caractérisé par des formations calcaireuses très épaisses à rognons de silex et de boules de lumachelles. Il affleure dans les parties Nord-ouest (Gourigeur) et au sud-Est de Hammamet (Tazbent). De l'autre côté du fossé de Tébessa il apparaît à Dj. Dyr-Gastel. [Chikha- Debbar 2017]

c- Néogène

c.1- Miocène:

Il n'affleure ni dans la région d'étude (Hammamet), ni dans ses environs les plus proches.

d- Néogène supérieur

d.1- Pliocène :

Il est composé par des argiles et des conglomérats, et il affleure près de Dj. Belkif, et dans la partie orientale du fossé de Morsott, ainsi que dans la partie orientale du fossé de Hammamet au sud de l'embranchement de la route vers Bir D'heb. (Figure 11). [Chikha- Debbar 2017]

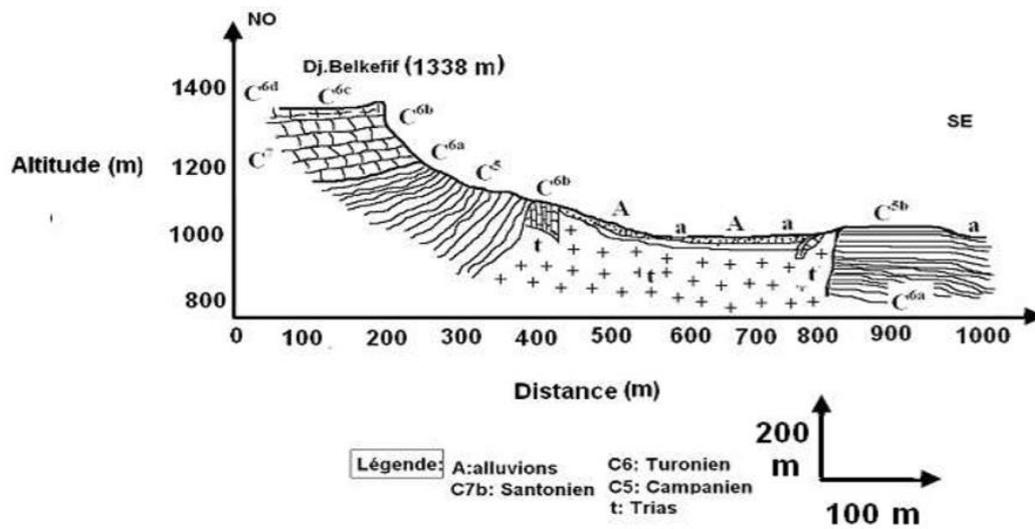
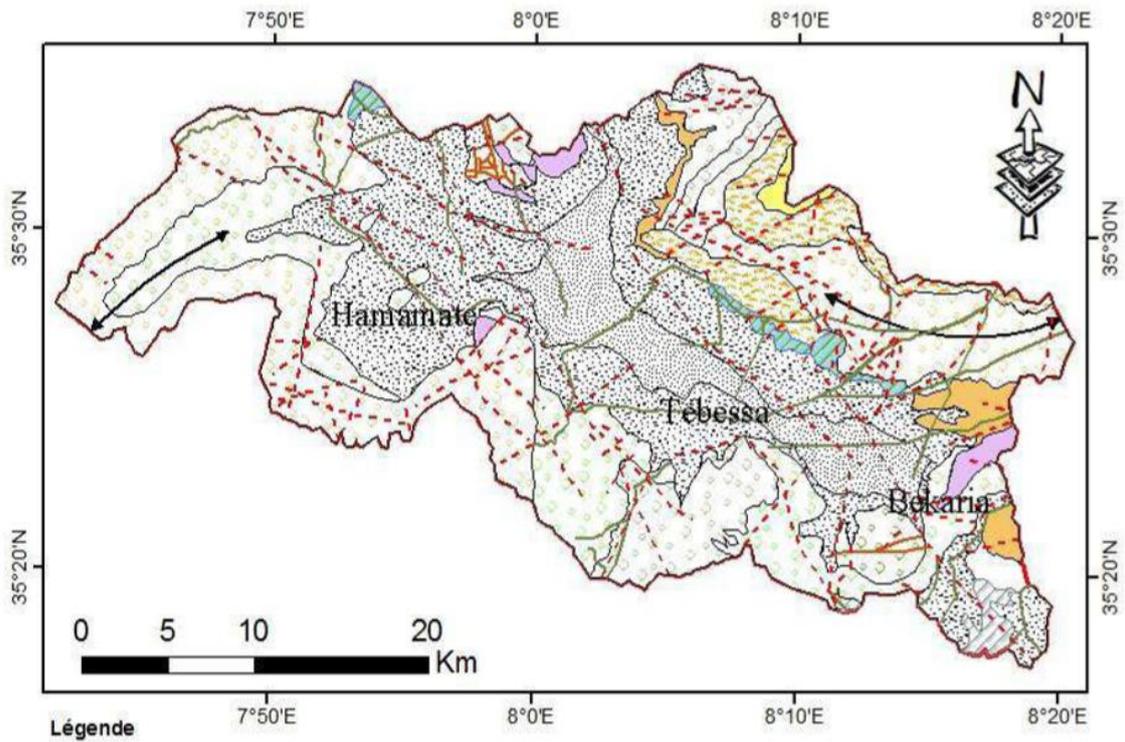


Figure 11 : Coupe géologique schématisée au pied de Belkif [Chikha- Debbar 2017]

4.1.3 Quaternaire

Il est représenté par le remplissage du fossé de Hammamet et de Tébessa, et occupe une surface importante principalement dans les plaines et aux pieds des montagnes. Il s'agit de :

- a- **Villafranchien supérieur (Pléistocène inférieur)**, qui se caractérise par des galets ;
- b- **Pléistocène moyen**, représenté par des argiles sableuses ;
- c- **Pléistocène supérieur**, formé par des galets et des graviers ;
- d- **Holocène**, composé essentiellement par des matériaux visibles dans les vallées de Youkous
- e- **Eboulis actuels**, qui se trouve aux pieds des reliefs calcaires avec un épandage important. Ces dépôts sont, en majeure partie, déposés sur les séries marneuses du Crétacé supérieur.



- Légende**
- Toutes les autres valeurs
 - ↔ Anticlinal
 - Chevauchement au contact anormal – déterminée
 - - - Chevauchement au contact anormal - supposée
 - Faille déterminer
 - - - Faille supposée
 - Limite géologique – déterminée
 - Trace de stratification

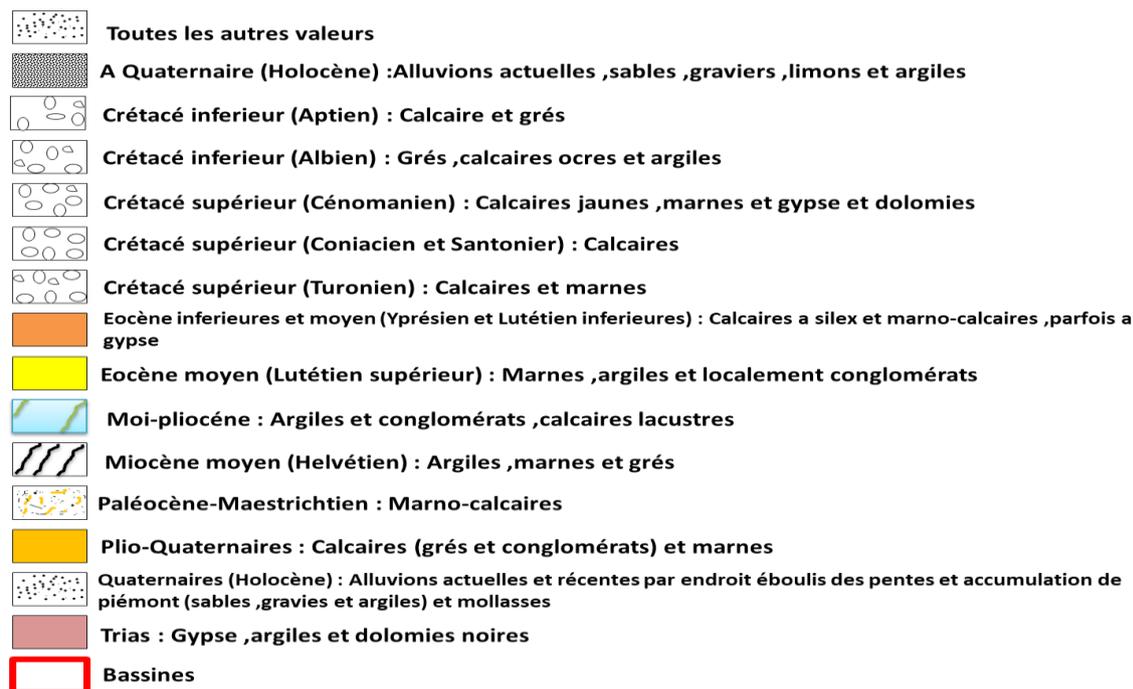


Figure 12 : Carte schématique représentant la tectonique affectant la région d'étude

[Chikha- Debbar 2017]

5. Conditions climatiques de la région d'étude

Les conditions climatiques jouent un rôle déterminant dans le régime d'écoulement superficiel et souterrain. L'établissement de bilan hydrique est important pour comprendre le fonctionnement et les influence d'un système hydraulique de surface et souterrain.

5.1 Station métrologique dans la région d'étude:

Station de Tébessa : Tableau 01 : cordonnée Lambert de station de mesure •

Station	X(Km)	Y(Km)	Z(Km)	Période d'observation	Code de la station
Tébessa	991.9	247.2	810	1999-2018	12301

5.2 La précipitation

La précipitation est la quantité d'eau météorologique, totale, liquide ou solide qui tombe sur une surface horizontale déterminée, appelée "section pluviométrique". L'étude Pluviométrique présente un intérêt considérable en hydro climatologie, car elle permet de décrire le régime d'écoulement.

5.2.1 Variations moyennes mensuelles des précipitations

**Tableau 02 : Précipitations moyennes mensuelles pour la station de Tébessa
Sur la période (1999-2000 à 2017 -2018) (mm)**

Mois	Sep	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	jui	juil	aout
P moyennes (mm)	46.4	38.6	33.7	33.4	32.9	22.2	31.7	37.6	47.3	26.1	15.9	28.5

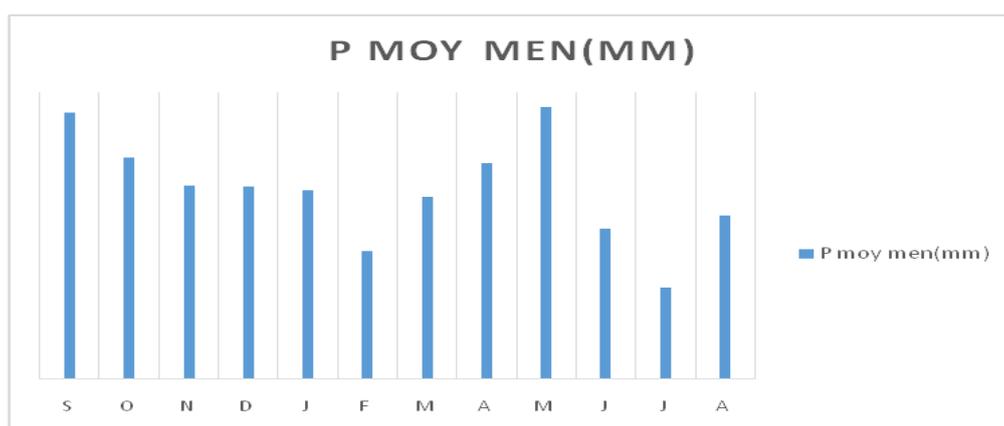


Figure 13 : Variation des Précipitations moyennes mensuelles pour la station de Tébessa la période (1999-2000 à 2017-2018) (mm)

Une moyenne mensuelle des précipitations a été calculée sur une série des 20 ans pour la région de Tébessa, L'étude de l'évolution des précipitations mensuelles nous ont permis de mettre en évidence d'une part une moyenne mensuelle avec des maximums de **47.36** mm au mois de Mai et un minimum au mois de Juillet **15.94** mm.

5.2.2 Variations interannuelles des précipitations

Elles conditionnent l'écoulement saisonnier et par conséquent le régime des cours d'eau ainsi que l'alimentation des aquifères et des sources. Le graphe de variation de hauteur interannuelle de précipitation pour la station de Tébessa montre que la variation de hauteur de

pluie d'une année à une autre est très grande pendant la période d'observation **1999-2000/2017-2018** :

- La valeur minimum pour la station de Tébessa est observée à l'année **2012-2013** c'est l'année la plus sèche avec une hauteur **249.6** mm/an.
- La valeur maximum est observée à l'année **2008-2009** c'est l'année la plus humide avec une hauteur **591.8** mm/an.

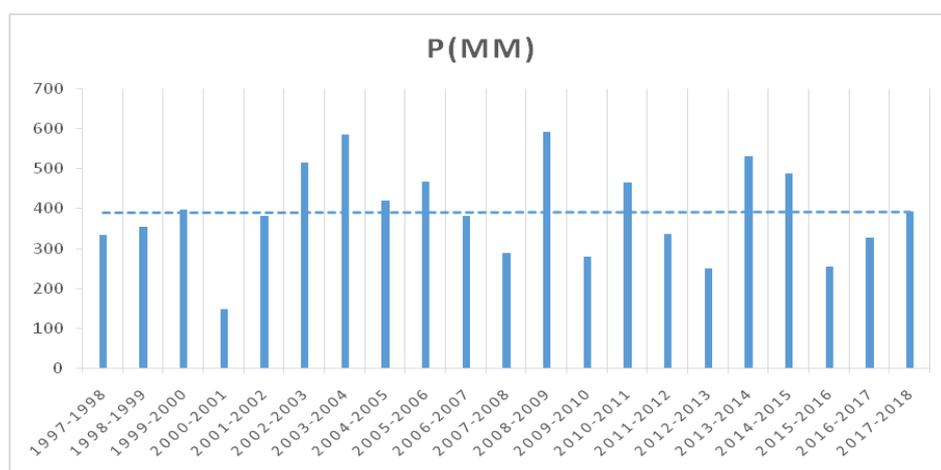


Figure 14 : Variation interannuelles des précipitations pour la station de Tébessa la période (1999-2000 à 2017-2018) (mm)

5.3 La température

La température est un facteur influant sur la végétation, vu qu'il rend compte de son apport d'énergie à la végétation, de son pouvoir évaporateur qu'il exerce sur les surfaces mouillées, et le bilan hydrique du fait qu'il conditionne l'évapotranspiration. Les moyennes calculées sur une période de 20 ans 1999-2000 à 2017 -2018.

5.3.1 Température moyenne mensuelle

Les températures se caractérisent par une amplitude thermique accentuée entre le jour et la nuit. Le mois le plus froids est janvier avec une moyenne mensuelle de **6.1°C** et le mois le plus chaud est juillet avec une moyenne mensuelle de **26.8 °C** La température moyenne annuelle est de **26.8 °C** (selon la période d'observation du 1973-2004)

Le tableau suivant donne la moyenne thermique annuelle et mensuelle (°C)

Tableau 03 : (selon la période d'observation du 1973-2004)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
T moy	6.1	7.5	10.4	14.1	18.3	23.6	26.8	26.3	22.6	16.5	11.4	7.3	15.9

(Station de Tebessa : Atlas des températures et des évapotranspirations ANRH 2002)

Pour la période (1999-2000 à 2017-2018) nous avons constaté un changement climatique très marqué par :

- Le mois de Janvier est le mois le plus froid avec une valeur de 10.17 °C.
- Le mois de Juillet est le mois le plus chaud avec une valeur de 35.19°C

Années/mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T (°C) moy mensuelle	28,12	23,38	15,97	10,47	10,17	10,46	15,14	19,26	24,79	31,25	35,19	33,63

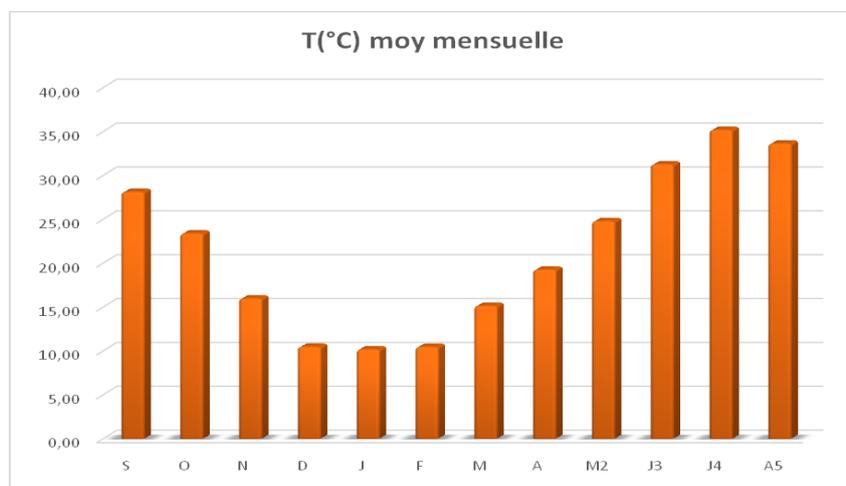


Figure 15 : Variation des Températures moyennes mensuelles pour la période (1999-2000 à 2017-2018)

5.3.2 Température moyenne annuelle

- L'année la plus chaude est l'année 2015-2016 avec une valeur maximale de 30.05°C.
- L'année la plus froide est celle de 2014-2015 avec une valeur minimale de 3.18°C.

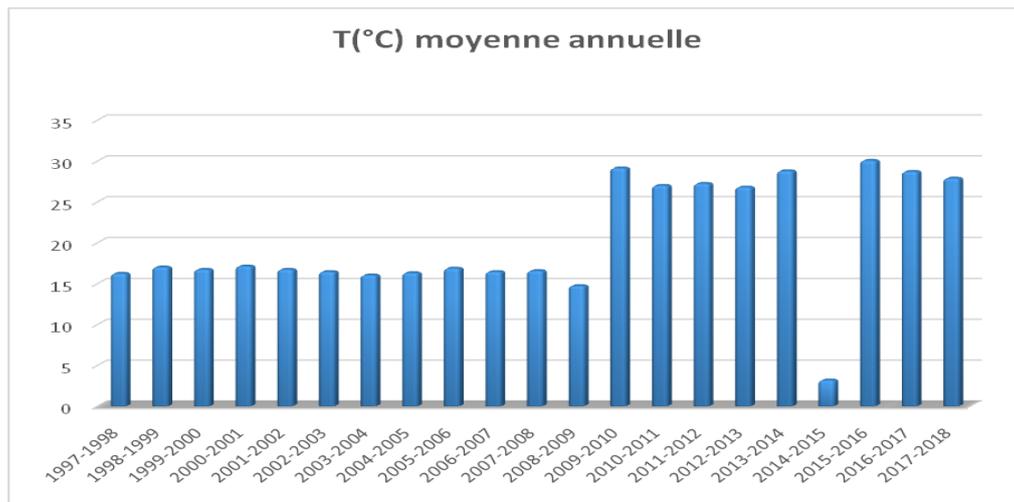


Figure 16 : Variation des Températures moyennes annuelles station de Tébesa pour la période (1999-2000 a 2017-2018)

5.4 L'humidité

L'humidité représente la quantité d'eau retenue dans l'air, il a été pris en considération une série de 20 ans (1999-2000 à 2017-2018). D'après cette série, le mois de juillet étant le mois le plus sec le mois le plus humide c'est le mois de janvier.

5.5 Le vent

Les vents sont caractérisés par leur vitesse et leur intensité. Les vents prédominant sont de direction Sud Est – Nord Ouest et jouent un rôle important dans les précipitations en Hiver. Les vents du Nord Ouest sont souvent secs et froids. En été les vents du Sud sont fréquents (le sirocco) qui peuvent être chaud et sec d'où l'augmentation de l'évaporation, et une sécheresse qui diminue l'humidité et augmente le déficit d'écoulement.

Dans la région les vents dominants sont de direction Sud-Ouest. L'intensité maximale à la station de Tébesa est observée durant les mois d'automne. La vitesse moyenne annuelle des vents est plutôt modérée avec une valeur voisinant 2.6m/s Le tableau suivant donne la moyenne mensuelle de la force du vent en m/s.

Tableau 04 : la moyenne mensuelle de la force du vent en m/s.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
U (m/s)	1.8	1.9	1.9	2.8	2.0	2.3	2.1	2.1	2.1	2.0	2.1	1.7	2.60

N de jour de vent	3	3	5	6	6	7	6	7	5	4	6	5	63
-------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

5.6 Diagramme Ombrothermique sur une période de 20ans (1999 à 2018)

Ce diagramme est le mieux placé pour visualiser les mois humides et les mois secs. Selon (Bagnouls et Gaussen, 1953, 1957) le mois le plus sec est celui où le total moyen des précipitations (moyenne en millimètres) est inférieur ou égal au double de la température moyenne ($P \leq 2T^\circ$).

Ainsi, on constate que la saison sèche est formée par plusieurs mois secs consécutifs. Le diagramme de Gaussen permet de mettre en évidence une saison humide débutant au mois de Novembre qui se termine au mois d'Avril, et une saison sèche qui s'étale du mois de Mai jusqu'au mois d'Octobre.

Années/mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T (°C) moy mensuelle	28,12	23,38	15,97	10,47	10,17	10,46	15,14	19,26	24,79	31,25	35,19	33,63
P moyen (mm)	46,44	38,64	33,75	33,49	32,94	22,28	31,75	37,68	47,36	26,15	15,94	28,56

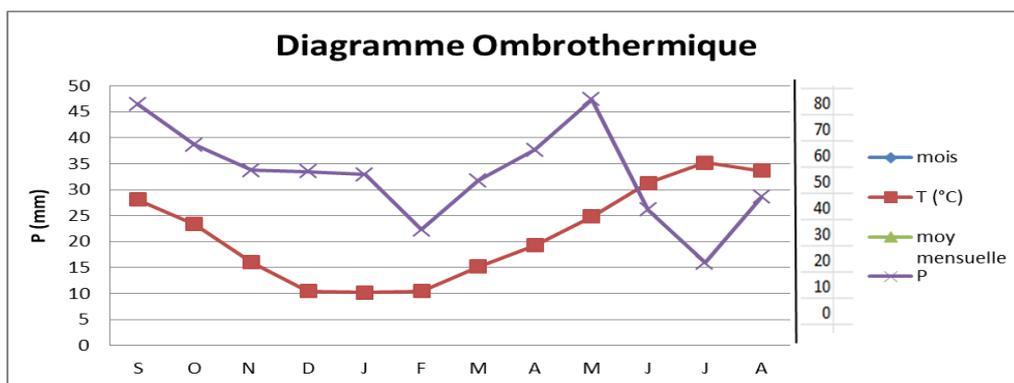


Figure 17 : Diagramme Ombrothermique station de Tébessa (1999-2018)

6. Bilan hydrologique et ses composantes

Le concept de « bilan » permet de tracer un plan logique pour étudier les phénomènes concernant les relations du sol et de l'eau dans le milieu naturel. La notion de « bilan de

l'eau » à l'échelle annuelle peut se résumer en confrontation entre les gains et les pertes en tenant compte des réserves du sol.

Nous pouvons le définir aussi comme l'évaluation des ressources en eau superficielles pour la détermination des éléments du bilan hydrologique d'un bassin versant, pluie, températures, évapotranspiration, ruissellement.

Les composantes du bilan hydrologique sont déterminées par différentes méthodes empiriques, dans notre cas nous allons utiliser la méthode de calcul de THORNTHWAITE qui est valable uniquement pour des régions où les températures sont inférieures ou égales à 26 ° C.

Pour le calcul de ce bilan nous utilisons les températures et les précipitations moyennes mensuelles calculées pour la période 1999-2000/2017/2018.

6.1 L'évapotranspiration

Elle est définie comme l'ensemble des phénomènes d'évaporation à partir d'un plan d'eau (processus physique) et de la transpiration des plantes (phénomène biologique)

Les facteurs qui conditionnent l'évapotranspiration sont nombreux et mal connus ; on citera quelques uns, à savoir :

✓ **Les facteurs physiques**

- la température de l'air
- la vitesse et turbulence du vent
- le degré d'insolation
- la pression atmosphérique

✓ **Les facteurs géographiques**

- L'état de la surface évaporant du sol
- L'humidité relative de l'air

✓ **Les facteurs biologiques :**

- Les espèces végétales
- La profondeur des racines.

Nous distinguons deux notions différentes :

- L'évapotranspiration potentielle (**E.T.P**)

- L'évapotranspiration réelle (**E.T.R**)

6.1.1 L'évapotranspiration potentielle(ETP)

Elle est définie comme étant la somme des quantités d'eau pouvant s'évaporer et être transpirée sur une surface donnée et pendant une période bien définie en considérant les apports d'eau suffisants. Elle peut être définie aussi comme étant l'ensemble des pertes par transformation de l'eau en vapeur, autrement dit, c'est la somme de l'évaporation (phénomène physique), et la transpiration de la couverture végétale (phénomène biologique).

Pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle nous avons utilisé la formule de Thornthwaite qui a établi une correction entre la température moyenne mensuelle et l'évapotranspiration mensuelle, cet auteur définit d'abord un indice thermique mensuel (i), où :

$$ETP = 16 (10 T / I)^a K$$

Avec :

ETP : Evapotranspiration potentielle en mm.

T : Température moyenne mensuelle en °C

K : Coefficient d'ajustement.

a : Indice lié à la température.

$$a = (1.6/100). I + 0.5$$

I : Indice thermique annuel obtenu à partir de la somme de deux valeurs mensuelles de températures.

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

$$i = (T / 5)^{1.514}$$

i: Indice thermique mensuel

6.1.2 L'évapotranspiration réelle (ETR)

Par définition on appelle évapotranspiration réelle la somme des effets d'une évaporation réelle des plantes sur une surface donnée et pour une période définie.

Pour l'estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR), nous avons utilisé la méthode de Thornthwaite où on distingue deux cas principaux :

$$\text{Si : } P - ETP > 0 ; \text{ c'est - à - dire } P > ETP \Rightarrow ETR = ETP.$$

Si : $P - ETP < 0$; c'est - à - dire $P < ETP$; ce cas est subdivisé en deux cas :

- Si : $P + RFU > ETP \Rightarrow ETR = ETP$.
- Si : $P + RFU < ETP \Rightarrow ETR = P + RFU$.

6.2 Estimation des réserves facilement utilisées R.F.U

Elle présente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol donnée par la formule de J.Richard 1979.

$$R.F.U = I/3(Da. He. P).$$

D'où/ **R.F.U** : Réserve facilement utilisable.

Da : Densité apparente du sol.

He : L'humidité équivalente du sol (capacité de rétention).

P : Profondeur de la couche de la terre par couriez par les racines en (mm).

Application numérique :

$$Da = 14 \quad He = 0.25 \quad P = 25 \text{ mm.}$$

$$D'où: \quad RFU = I/3 (14. 0.25 .25) = 29.0 \text{ mm}$$

Tableau 05 : Bilan hydrique de la période (1980-1981 à 2014 -2015) d'après la méthode de Thornthwaite, station de Tébessa

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Ma rs	Avr i	Mai	Jui	Juil	Aou t	Tota le
i	13.66	10.33	5.80	3.06	2.92	3.05	5.35	7.7 0	10.9 4	16.0 3	19.1 8	17.9 1	9.66
I	93.62												
a	1.99												
P (mm)	46,44	38.64	33.7 5	33.49	32.9 4	22.2 8	31.7 5	37. 68	47.3 6	26.1 5	15.9 4	28.5 6	394.9 8
T	28.12	23.38	15.9 7	10.47	10.1 7	10.4 6	15.1 4	19. 26	24.7 9	31.2 5	35.1 9	33.6 3	257.8 3
K	1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	0.85	1.03	1.0 9	1.21	1.21	1.23	1.16	/
ETP _c	99.41	77.12	46.7 0	30.26	30.0 9	30.2 3	53.0 3	71. 39	102. 01	128. 59	147. 20	132. 67	948.7
P- ETP	- 52.97	- 38.48	- 12.9 5	3.23	2.85	- 7.95	21.2 8	33. 71	54.6 5	102. 44	131. 26	104. 11	/
ETR (mm)	46.44	38.64	33.7 5	30.26	30.0 9	22.2 8	31.7 5	37. 68	47.3 6	26.1 5	15.9 4	28.5 6	383.9
RFU (29m m)	0.00	0.00	1.80	15.78	29.0 0	29.0 0	29.0 0	12. 89	0.00	0.00	0.00	0.00	117.4 7
EXE	0.00	0.00	0.00	0.00	7.40	7.80	0.02	0.0 0	0.00	0.00	0.00	0.00	15.22

DA	52.97	38.48	12.9 5	0.00	0.00	7.95	21.2 8	33. 71	54.6 5	102. 44	131. 26	104. 11	559.8
R (mm)	2.139	2.317	11.1 39	35.68 3	90.1 89	17.8 20	10.6 06	5.1 47	2.03 1	0.34 3	0.02 4	0.18 2	177.6 20

- Estimation de l'infiltration I : Selon la méthode de Thornthwaite

$$\text{EXE} = \text{R} + \text{I} \Rightarrow \text{I} = \text{EXE} - \text{R}$$

$$\text{I} = 0$$

Selon la méthode rationnelle :

$$\text{P} = \text{ETR} + \text{R} + \text{I} \Rightarrow \text{I} = \text{P} - (\text{ETR} + \text{R})$$

$$\text{I} = 351.56 - (323.44 + 177.62)$$

- Estimation du bilan hydrique

La formule de vérification du bilan :

$$\sum \text{P} = \sum \text{ETR} + \sum \text{EXE} \Rightarrow$$

$$\sum \text{ETP} = \sum \text{ETR} + \sum \text{Da} \Rightarrow$$

Nous constatons que les résultats issus du bilan hydrique sont vérifiés

6.3 Interprétation du Bilan hydrique

L'établissement du bilan hydrique tableau N° (5) a pour but, de connaître des différents paramètres (ETP, ETR, RFU, Da, Ex) figure (N°00), qui nous aide à comprendre le fonctionnement des aquifère (débit entrant - sortant).

On remarque que :

Les réserves facilement utilisables se constituent à partir du mois de Décembre et s'étalent jusqu' au mois d'Avril.

- La saturation de ces dernières est atteinte durant les mois de Janvier et Février.
- L'excédent est enregistré au mois de Décembre et Janvier.
- Le déficit agricole est enregistré durant les mois de Septembre, Octobre et Novembre ; et à partir du mois de Mai jusqu' au mois d'Aout.

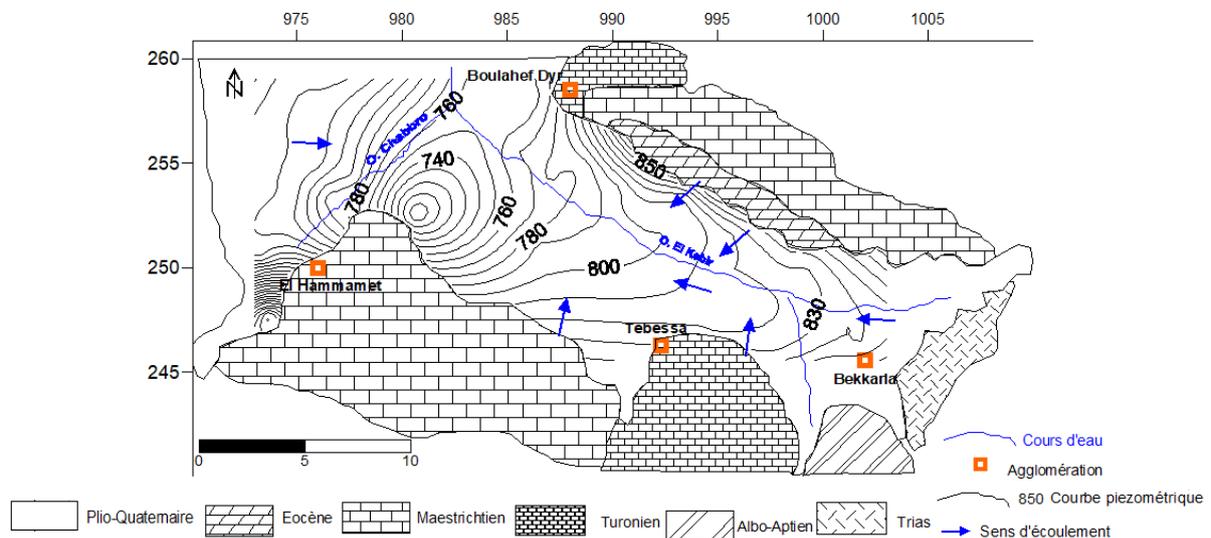
7. Aperçue Hydrogéologique

L'hydrogéologie constitue un outil de base pour la connaissance des éléments permettant la définition des caractéristiques d'une nappe. L'interprétation piézométrique nous permet la détermination du sens de l'écoulement des eaux et ainsi définir les relations existant entre les différents systèmes. La détermination des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère (transmissivité et perméabilité) renseigne sur les caractéristiques de la nappe.

7.1 La carte piézométrique

Les cartes piézométriques réalisées montrent un sens d'écoulement général dirigé de Sud-Est vers le Nord-Ouest conformément à la topographie. Un sens d'écoulement secondaire est confirmé dans la zone de Hammamet dirigé vers la plaine de Tébessa selon une direction Ouest-Est. Le gradient hydraulique est variable allant du 0,02 dans la partie Sud-Est (Bekkaria) à 0,008 dans la partie Nord-Ouest (Tebessa).

La perméabilité et la transmissivité de la nappe en question sont généralement importantes et ont une influence sur les modes d'alimentation naturelle de la nappe.



soit par des calcaires fissurés (Z1 Bis), soit par des sables (A89), alluvions (W2bis). Il en est de même pour les autres zones (Tébessa et Hammamet).

8.1 Cartographie des paramètres hydrodynamiques

a- Carte de transmissivité :

Elle présente une morphologie variable due à l'hétérogénéité de la nappe aquifère. Cette variation révèle trois secteurs : À l'ouest secteur de Hammamet; la transmissivité est importante elle atteint $3,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, ceci est due à la présence de gros graviers (cailloutis de calcaire qui caractérise l'aquifère). Au secteur de Tébessa, la transmissivité connaît une diminution remarquable (Figure 20).

Au centre de la plaine les valeurs sont faibles, de l'ordre de $0,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ résultant des formations argileuses et marneuses. Sur les bordures méridionales calcaires, les valeurs deviennent plus importantes atteignant $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

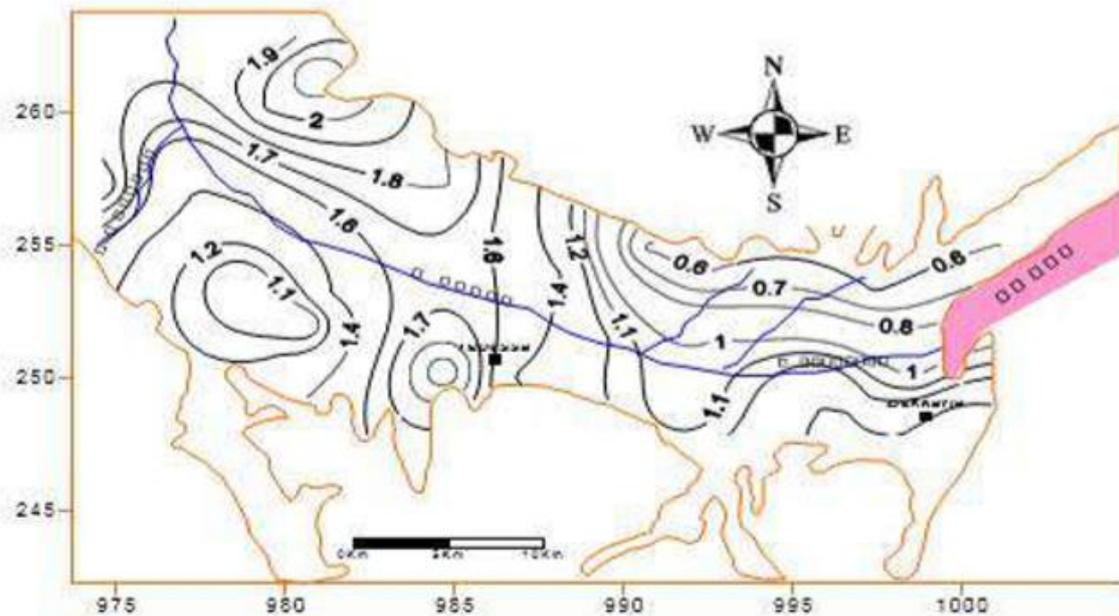


Figure 20 : la carte de transmissivité ($\times 10^{-3}$) (Chikha-Debbar .2017)

b- Carte de perméabilité

- ✓ Secteur de Hammamet : Caractérisé par des valeurs élevées, pouvant atteindre 4.10^{-5} m/s.
- ✓ Secteur de Tébessa : Les valeurs deviennent faibles au centre de la plaine à cause de la présence des formations imperméables (argile et marne), elles sont de l'ordre de 6.10^{-6} m/s.
- ✓ La bordure méridionale est caractérisée par des valeurs élevées dues à l'influence des calcaires de bordure alimentant la nappe latéralement. Les valeurs peuvent atteindre 3.10^{-5} m/s, cette variation est due à l'hétérogénéité de la géologie au niveau de ce secteur.
- ✓ Secteur de Bekkaria : Les valeurs sont relativement importantes dans cette zone, elles oscillent entre 6.10^{-6} et $1.4.10^{-5}$ m/s (Figure 21).

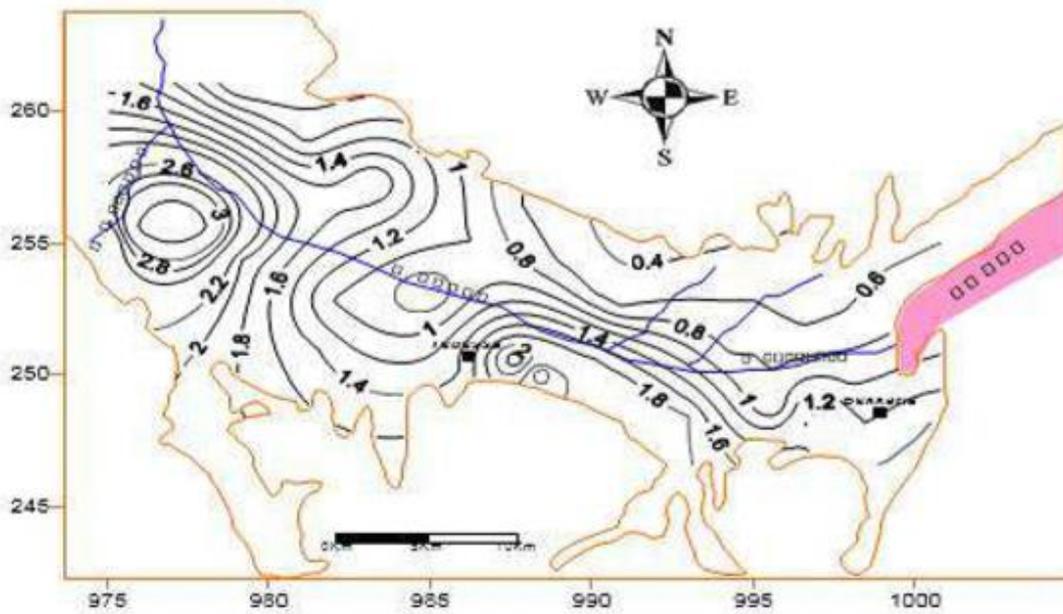


Figure 21 : la carte de perméabilité ($\times 10^{-5}$) (Chikha-Debbar .2017)

c- Carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la région d'étude :

L'intérêt de cette carte réside dans le fait qu'elle présente le champ de vision sur l'ensemble de la région d'étude. Elle permet ainsi la prise des mesures de protection et aide à

la délimitation des périmètres de protection de la nappe. L'analyse de cette carte montre une dominance des aires à vulnérabilité faible et moyenne dans la majorité de la nappe phréatique:

1. Une classe de vulnérabilité faible d'où l'indice (ID) est inférieur à ($ID < 100$) cette classe se localise sur les bordures du terrain et une partie importante de la plaine. Cette zone est l'abri de toute forme de pollution.

2. La deuxième classe est moyenne vulnérabilité où l'indice est compris entre ($100 < ID < 140$) ; cette classe occupe pratiquement la totalité de la zone de Bekkaria et quelques points localisés à Tébessa et Hammamet. Elle est caractérisée par la présence de formations alluvionnaires plus ou moins riches en argiles. L'écoulement se manifeste dans la direction générale Sud-Est/Nord-Ouest et une perméabilité est de l'ordre (10^{-5} m/s).

3- La troisième classe à vulnérabilité élevée, l'indice (ID) est important ($ID > 140$). en extension faible et elle se localise au niveau de la région de Bekkaria et l'Oued Chabro et à l'affleurement de la nappe caractérisés par une perméabilité élevée (10^{-3} m/s).

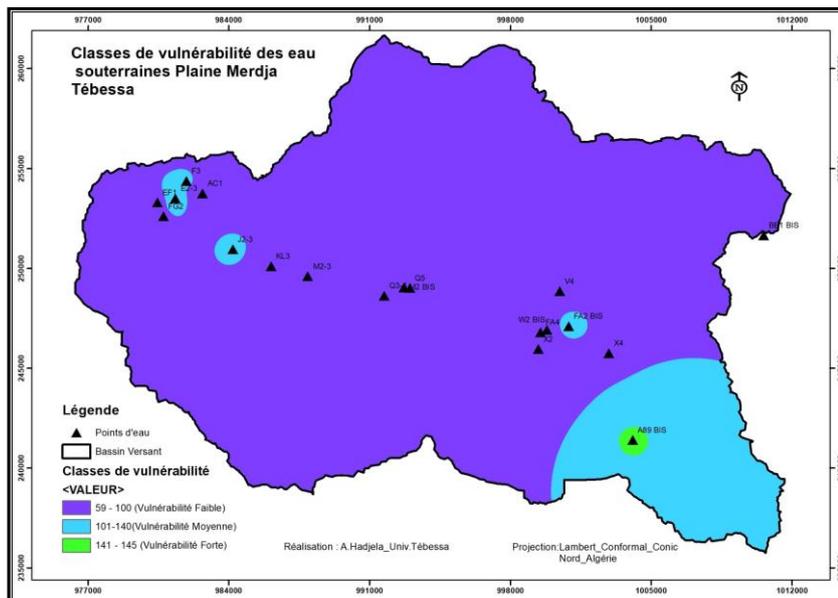


Figure 22 : Carte de Vulnérabilité de la nappe alluviale Tébessa-Bekkaria-Hammamet selon la méthode DRASTIC [Lakhal KH, 2018]

Chapitre III

Matériels et Résultats

Chapitre III : Matériels et Résultats

Les eaux souterraines exploitées dans le champ captant de la région Tébessa-Bekkaria-Hammamet (Tableau 6, 7), sont menacées par les différents types de pollution engendrés par les diverses activités que connaît la région.

A cet effet, il est nécessaire de prendre des mesures adéquates afin de réduire le risque de contamination de ces ressources. Ce qui rend la construction des périmètres de protection une priorité.

Dans ce chapitre, nous exposerons la méthodologie adoptée pour répondre aux différents objectifs de ce travail. Nous avons suivi une démarche décomposée en deux parties :

- Une première partie dans laquelle nous avons procédé à la cartographie de la piézométrie et perméabilité et les données des forages de la région d'étude.
- Une seconde partie dans laquelle nous avons sélectionné quelques forages appartenant au champ captant de la nappe de la région d'étude en vue de délimiter les périmètres de protection immédiate, rapprochée et éloignée.

I MATERIELS

I.1. les données des forages de la région d'étude

A partir des fiches forages (Annexe A et B) et les tableaux (Annexe C), nous avons obtenu les informations suivantes :

Tableau 06 : les forages de la région de Bekkaria (source : l'hydraulique de Tébessa)

N ^o	Nom	X (km)	Y (km)	K (m/s)	e(m)	I	Q (m3)	Porosité %
F1	FA2bis	1000.850	247.100	0,002	129	0,02	0,012	0,34
F2	V4	1000.420	248.650	0,0006	84,75	0,02	0,012	0,25
F3	Z1bis	1002.450	244.200	0,02	164,02	0,024	0,018	0,19
F4	X2	999.400	245.950	0,0006	82,75	0,02	0,006	0,19
F5	X4bis	1002.104	246.850	0,0006	137,2	0,02	0,015	0,32
F6	FA4	999.500	246.800	0,0007	182	0,02	0,006	0,47
F7	FA5	1000.100	247.600	0,002	85,18	0,02	0,02	0,3
F8	FA1	998.900	247.650	0.006	74	0.02	0.01	0.22
Moyenne				0.00338	117.36	0.0205	0.0123	0.285

Tableau 07 : les forages de Tébessa et Hammamet (source : l'hydraulique de Tébessa)

	N° de forage	Nom de forage	X (km)	Y (km)	K (m/s)	e (m)	Porosité (W) %	Q (m ³ /s)	I
TEBESSA	T1	Q5	993,000	249,010	0,000034	125	0,24	0,010	0,008
	T2	Q5-6 bis	990,830	247,650	0,000092	207	0,31	0,013	0,010
	T3	Q3-4 bis	991,730	249,750	0,00025	220	0,28	0,014	0,008
	T4	M2-3	987,925	249,600	0,000033	152	0,22	0,006	0,008
	T5	FTA1	991,900	249,600	0,000095	110	0,20	0,025	0,008
	T6	T3	990,325	247,625	0,00024	180	0,22	0,032	0,010
	T7	J2-3	986,200	250,950	0,00040	167	0,18	0,016	0,010
	T8	M2	992,860	249,900	0,00060	145	0,27	0,050	0,008
	T9	FTA2	990,750	250,000	0,00025	130	0,17	0,010	0,008
Moyenne					0,00022	159,55	0,23	0,019	0,0086
HAMMAMET	H1	F2-3	981,35	253,5	0,00006	178	0,24	0,035	0,010
	H2	FG1 bis	980,482	252,55	0,00030	70	0,34	0,044	0,010
	H3	EF1	980,45	253,3	0,00020	220	0,30	0,040	0,010
Moyenne					0,00018	156	0,29	0,039	0,010

Les tableaux ci-dessus nous permettent d'observer qu'une convergence des perméabilités et de gradient hydraulique dans cette partie de la nappe, cela peut être expliqué par les formations de remplissage plio-quadernaires qui dominent dans le centre de la plaine avec une épaisseur très importante et qui ont doté de caractéristiques hydrodynamiques très importantes et très favorable à la constitution des aquifères à réserves importantes en eaux souterraine.

Dans les forages de la région de Tébessa, nous avons observé une différence de perméabilité, Malgré la présence de forage proches les uns des autres, ceci est dû à la formation géologique et la lithologie de la région.

Dans les forages de Hammamet : Le premier forage (F 2-3) il est différent que les deux autres forages en termes de perméabilité, et cela parce qu'il contient des proportions

importantes en argiles avec des sable gros, gravier et calcaire. Le gradient hydraulique est presque le même dans tous les la région dans sa partie Ouest.

Ces observations nous ont encouragés de calculer une valeur moyenne des paramètres hydrodynamiques, pour chaque partie de la région d'étude.

I.2 la cartographie

I.2.1. la carte piézométrique

Pour établir la carte piézométrique de la zone d'étude, nous avons utilisée logiciel de Surfer8 : A partir logiciel de Surfer8 nous obtient :

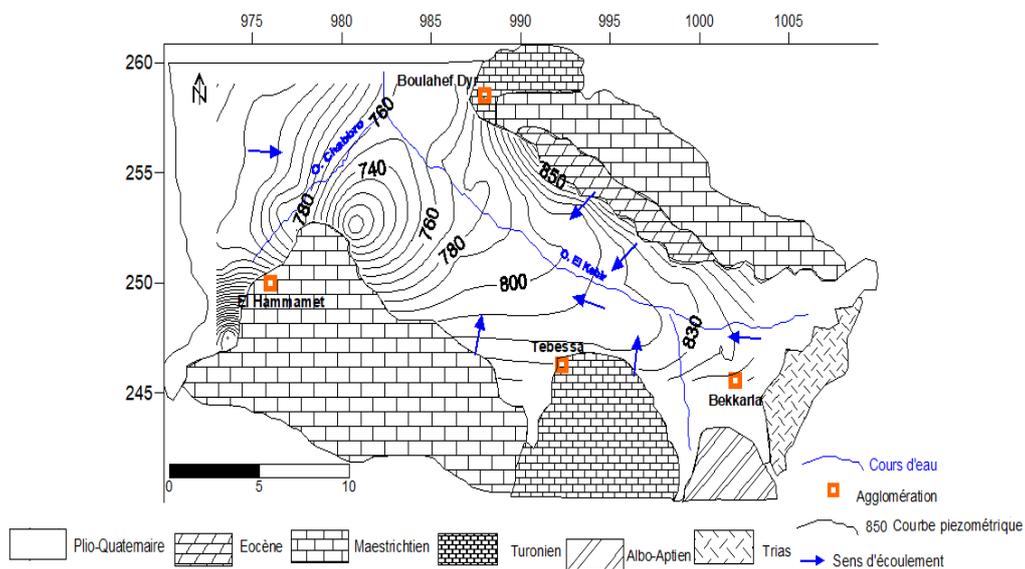


Figure 23 : la carte piézométrique de Tebessa

La carte piézométrique réalisée montre une direction générale de l'écoulement des eaux souterraines allant de Sud-Est vers le Nord-Ouest conformément à la topographie, en effet la région de Bekkaria est située à 830-870m d'altitude par rapport à la région de Tébessa est 770-810m et Hammamet, se situe à moins de 780 m d'altitude.

Dans cette carte nous avons localisé les forages précédents :

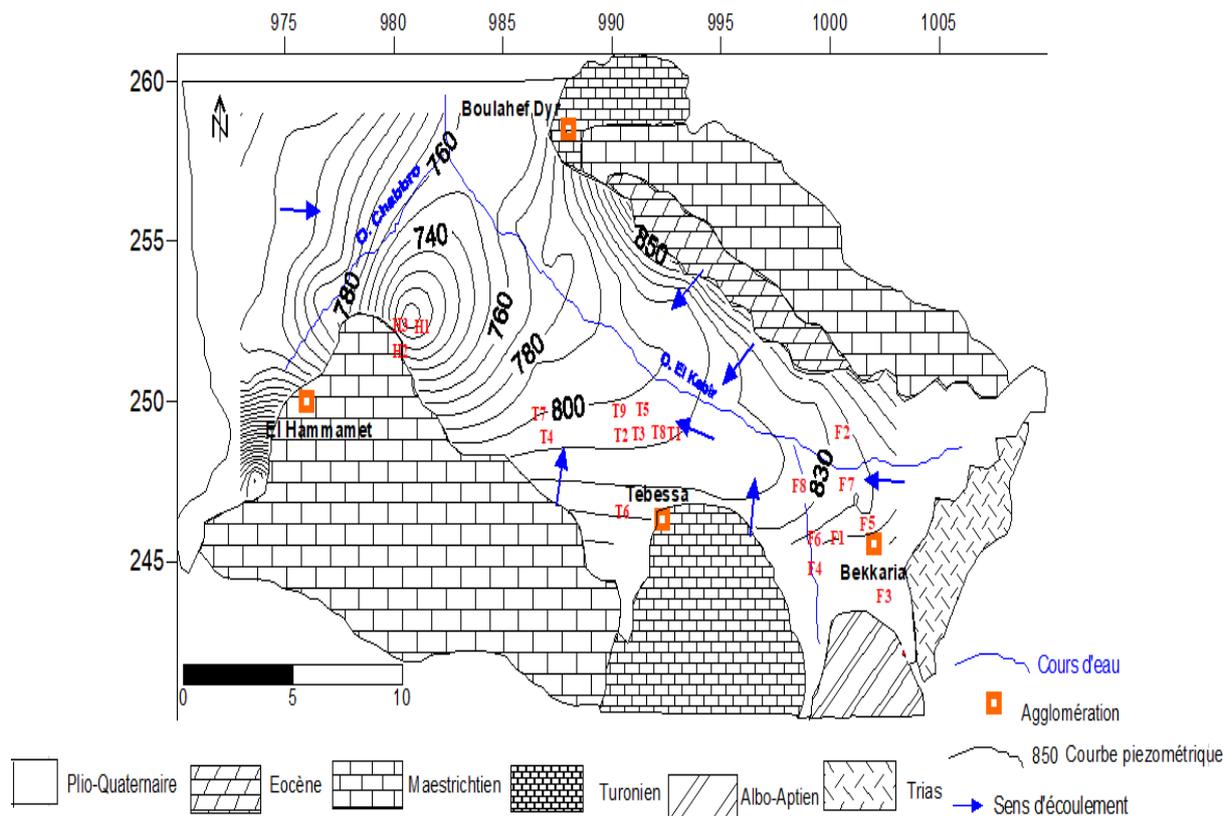


Figure 24 : carte d'inventaire des points d'eau et des forages dans la région d'étude

Nous avons localisé seulement quelques forages selon la disponibilité des données car il est difficile de l'obtenir facilement et ils ne sont pas à la disposition des étudiants en phase de recherche et élaboration des mémoires.

Pour ces raisons nous avons étudié quelques forages dans chaque partie de la région d'étude comme la montre la figure ci-dessus.

I.2.2 La carte de la vitesse réelle

A l'aide du logiciel Surfer on a calculé les vitesses réelles au niveau du champ en appliquant la relation suivante :

$$V_r = K_i/w \quad w = S$$

Avec :

V_r : Vitesse réelle m/s

K : Perméabilité en m/s

i : Gradient hydraulique

S : Coefficient d'emmagasinement

W : porosité efficace

Les résultats des vitesses réelles montrent une variabilité de cette dernière (carte de vitesse réelle). Le paramètre de la vitesse réelle est indispensable pour le calcul des isochrones 50 jours et par la suite l'élaboration des périmètres de protection rapprochée.

I.2.3 la carte de vitesse réelle

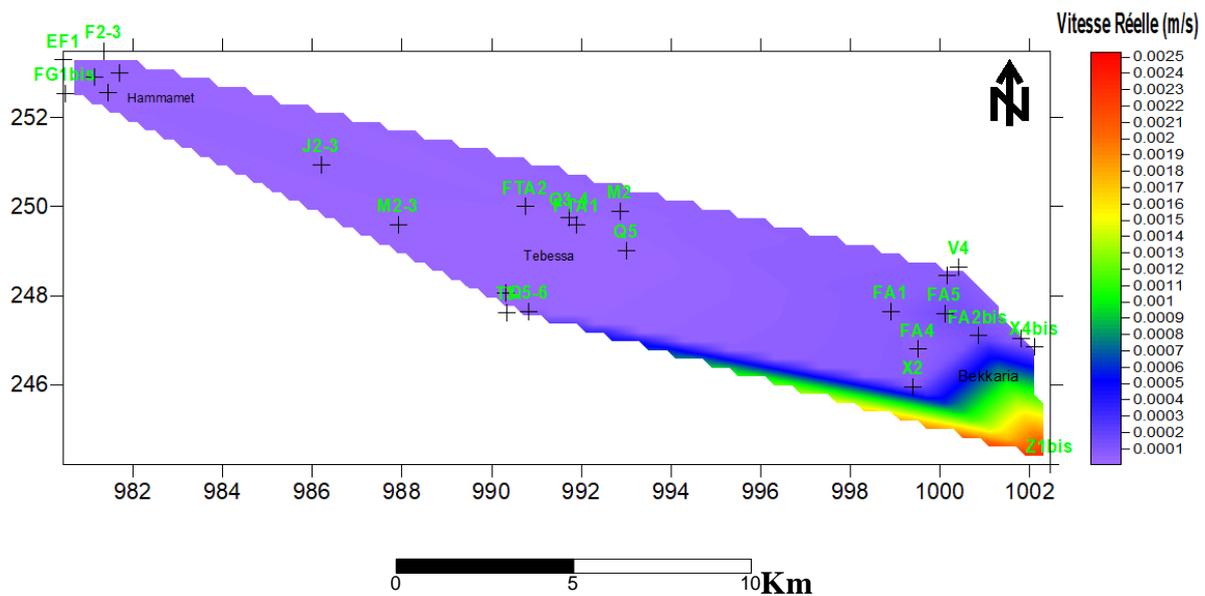


Figure 25 : carte de vitesse réelle

L'analyse de la carte des vitesses réelles d'écoulement réalisée confirme bien ce qui a déjà trouvé dans la carte piézométrique et indique bien le sens d'écoulement des eaux souterraines qui commence avec une vitesse forte dans la partie Sud-Est de la région de Bekkaria, cette vitesse est ensuite devient moyenne et faible dans la région de Tébéssa et Hammamet.

I.3 Délimitation des zones de protection

I.3.1 Zone de protection immédiate

Dans un milieu poreux comme le cas de notre région la zone de protection immédiate varie entre 10 à 20 m autour du captage. En ce qui concerne les puits et forage du champ captant du bassin d'effondrement de la région Tébéssa-Bekkaria-Hammamet la zone de protection immédiate présentera un carré de 10 m de côté.

I.3.2 Zone de protection rapprochée

Pour la délimitation du périmètre de protection rapproché, il faut calculer la zone d'appel et l'isochrone 50 jours pour cela on va utiliser la méthode Wyssling, car les données sont disponibles selon les fiches forages de la direction de l'hydraulique de la wilaya de Tébessa et l'écoulement de la nappe n'est pas uniforme et le milieu est hétérogène.

II. RESULTATS

II.1 Dimensionnement du périmètre de protection

II.1.2 Temps de transfert

Nous allons tenter d'utiliser la méthode Wyssling. Les données qu'on va utiliser sont :

(L'exemple de (Q5) forage dans Tébessa).

e = épaisseur de l'aquifère en m = 125m

K = perméabilité en m/s = 0.34×10^{-4} m/s

i = gradient = 0.008

w = porosité efficace = 0.24

Q = débit en m³/s = 10 l/s = 10 /1000 = 0.01 m³/s

- On détermine d'abord la largeur du front d'appel pour un forage: ex (Q5)

$$B = \frac{Q}{Kei} = \frac{0.01}{0.000034 \times 125 \times 0.008} = 294.11\text{m}$$

➤ Le rayon d'appel est :

$$X_0 = \frac{Q}{2\pi Kei} = \frac{0.01}{2 \times 3.14 \times 0.000034 \times 125 \times 0.008} = 46.83\text{m}$$

➤ La vitesse effective est :

$$U = \frac{Ki}{w} = \frac{0.000034 \times 0.008}{0.24} = 1.13 \times 10^{-6} \text{m/s}$$

➤ La longueur limite est :

$$L = U \times t = 1.12 \times 10^{-8} \times 50 \text{ j} \times 24 \text{ h} \times 3600 \text{ s} = 4.89\text{m}$$

➤ La distance en amont du captage est :

$$S_0 = \frac{L + \sqrt{L(L+8X_0)}}{2} = \frac{0.048 + \sqrt{0.048(0.048 + 8 \times 46.83)}}{2} = 414.63\text{m}$$

➤ La distance en aval du captage est :

$$S_u = \frac{-L + \sqrt{L(L+8X_0)}}{2} = \frac{-0.048 + \sqrt{0.048(0.048 + 8 \times 46.83)}}{2} = 409.73\text{m}$$

- Résultats obtenus par la méthode de Wyssling

Tableau 08 : résultats obtenus par la méthode de Wyssling (Forages de Bekkaria)

N ⁰	Nom	B (m)	X ₀ (m)	U (m/s)	L (m)	S ₀ (m)	S _u (m)
F1	FA2bis	2,325	0,370	0,00011	508,23	867,61	359,37
F2	V4	11,799	1,878	0,00004	207,36	353,98	146,62
F3	Z1bis	0,228	0,0364	0,00252	10913,68	18630,83	7717,14
F4	X2	6,042	0,962	0.00006	272,84	465,77	192,92
F5	X4bis	9,110	1,450	0,00003	162	276,55	114,55
F6	FA4	2,354	0,374	0.000029	128,68	2196,72	2068,03
F7	FA5	5,869	0,934	0,00013	576	983,29	407,29
F8	FA1	11,261	1,793	0.000054	235,63	402,25	166,62
Moyenne		1.512	0.240	0.00024	1049.76	1575.12	525.36

Tableau 09: résultats obtenus par la méthode de Wyssling (Forages de Tebessa et Hammamet)

	N ⁰	Nom	B (m)	X ₀ (m)	U (m/s)	L (m)	S ₀ (m)	S _u (m)
TEBESSA	T1	Q5	294,117	46,834	1,1×10 ⁻⁶	4,896	414,63	409,73
	T2	Q5-6	68,262	10,869	2,9×10 ⁻⁶	12,820	191,3	178,47
	T3	Q3-4	31,818	5,066	7,1×10 ⁻⁶	30,857	228,94	198,08
	T4	M2-3	149,521	23,809	1,2×10 ⁻⁶	5,184	227,74	222,55
	T5	FTA1	299,043	47,618	3,8×10 ⁻⁶	16,416	821,10	804,69
	T6	T3	74,074	11,795	1,09×10 ⁻⁵	47,127	532,57	485,44
	T7	J2-3	23,952	3,814	2,2×10 ⁻⁵	96	715,62	619,62
	T8	M2	71,839	11,439	1,7×10 ⁻⁵	76,8	813,99	737,19
	T9	FTA2	38,461	6,124	1,1×10 ⁻⁵	50,823	406,47	355,64

Moyenne			122.053	9.4×10^{-6}	$8,2 \times 10^{-6}$	35,720	55.47	19.75
HAMMAMET	H1	F2-3	317,143	50,500	$2,5 \times 10^{-6}$	11,16	704,61	693,45
	H2	FG1 bis	209,523	33,363	$8,8 \times 10^{-6}$	38,117	979,51	941,39
	H3	EF1	90,909	14,475	$6,6 \times 10^{-6}$	28,8	416,69	387,89
Moyenne			330.320	1.82×10^{-5}	$6,3 \times 10^{-6}$	27,580	41.38	13.79

Interprétation :

Dans la partie Est de la région (Bekkaria), nous avons remarqué que le forage Z1bis présente des caractéristiques hydrodynamiques importante et par conséquent, la valeur de L devient très importante, il est localisé à l'amont et décrit une forte perméabilité et un fort gradient hydraulique par rapport aux autres forages, ainsi qu'une faible porosité efficace (équivalent du coefficient d'emménagement). C'est pour cette raison qu'il présente l'isochrone le plus élevé avec une valeur de l'ordre 1700m. Le puits 7 situé en aval, présente une faible perméabilité et un fort coefficient d'emménagement, définit l'isochrone le plus faible au niveau du champ captant.

Par contre, dans la région de Tébesa et Hammamet, les isochrones deviennent moins importants et cela est dû à la perméabilité de terrain qui deviennent moyenne à faible.

II.1.3 La zone de protection éloigne

La délimitation des périmètres de protection éloignée des puits du champ captant est déterminée en calculant l'aire de recharge de la nappe par la formule suivante qui prend en compte le débit et l'infiltration [BOUTERAA Moufida Annexe C], cette dernière définit l'alimentation verticale qui présente 3% de la moyenne des précipitations annuelles (350mm par an).

$$SR = \frac{Q \times 10^3}{I}$$

SR: surface de recharge ou Air de recharge autour du forage

Q : débit maximal (m³ /an)

I : infiltration (mm)

A partir la mémoire de BOUTERAA Moufida nous obtient :

$$I = 11.92 \text{ mm} = 0.0119 \text{ m}$$

$$SR = \frac{0.0123 \times 10^9}{0.0119} = 1033.61 \text{ m}^2$$

$$SR = \frac{0.019 \times 10^9}{0.0119} = 1596.63 \text{ m}^2$$

$$SR = \frac{0.039 \times 10^9}{0.0119} = 3277.31 \text{ m}^2$$

II.1.3.1 Tableau du calcul de l'aire de recharge.

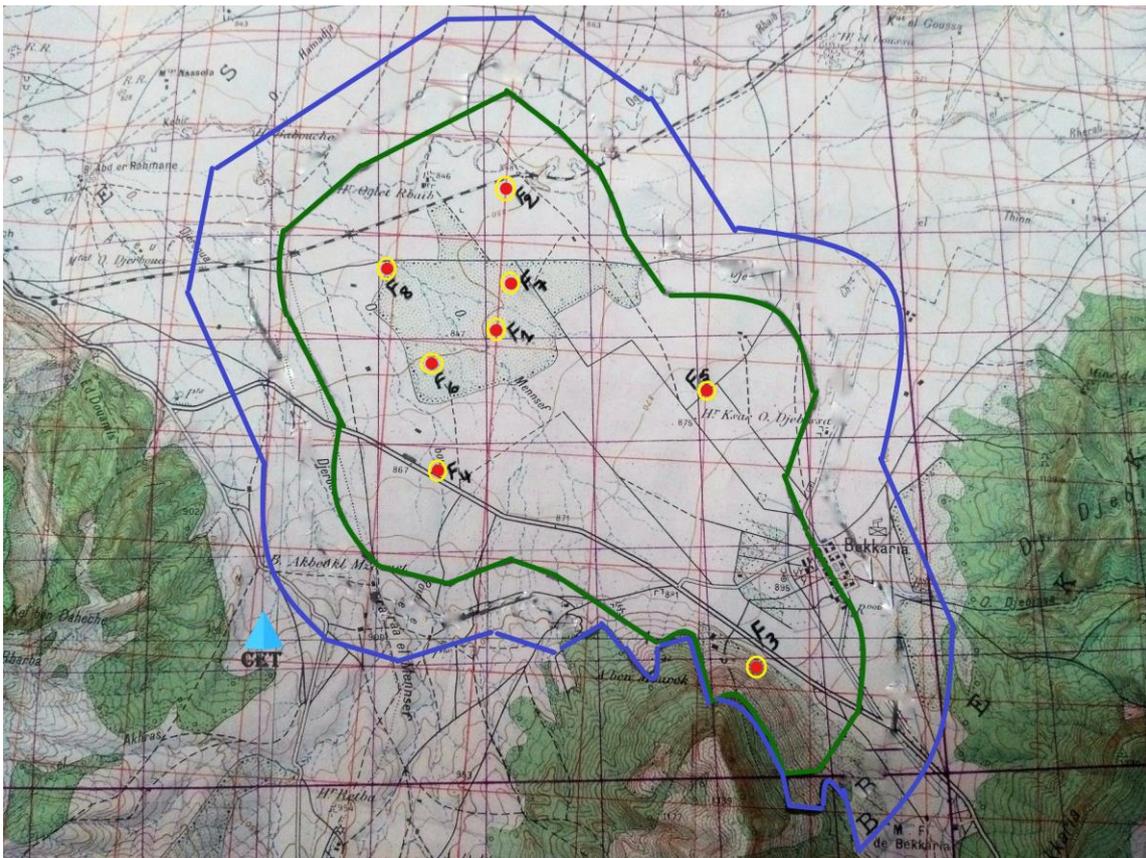
En ce qui concerne le périmètre de protection éloignée. Il est délimité par le calcul de la surface de recharge de chaque puits en se basant sur le débit maximal et la vitesse d'infiltration (Tableau 10).

Tableau 10 : les résultats de la zone de protection éloigne

	Q_{Moy} (m ³ /an)	I (mm)	I (m)	I (%)	Surface de recharge (m ²)	Périmètre éloigne (m)	Périmètre éloigne (km)
Bekkaria	382579.2	11.9	0.019	3	20135747.36	4487.28	4.48
Tebessa	590976	11.9	0.019	3	31104000	5577.09	5.57
Hammamet	1213056	11.9	0.019	3	63845052.63	7990.30	7.99

II.2 Schéma des périmètres de protection des forages de la zone d'étude :

Les cartes ci-dessous définissent une représentation schématique des périmètres de protection de la zone d'étude (Bekkaria, Tebessa, et Hammamet).



Légende

-  **Périmètre de protection éloigné**
-  **Périmètre de protection rapproché**
-  **Périmètre de protection immédiat**
-  **Center d'enfouissement Technique**

Figure 26 : Schéma représentatif des périmètres de protection du champ captant Bekkaria



Légende

-  Périètre de protection éloigné
-  Périètre de protection rapproché
-  Périètre de protection immédiat

Figure 28 : Schéma représentatif des périmètres de protection du champ captant Hammamet

Conclusion Générale

L'élaboration des périmètres de protection du champ captant de la région de Tébessa-Bekkaria-Hammamet présente une tâche primordiale pour assurer la préservation de la qualité et la quantité de ces eaux destinées à l'alimentation en eau potable.

Cette tâche s'effectue en principe en trois phases successives:

- La phase technique : qui consiste à établir le dossier technique en rassemblant tous les données nécessaires pour le calcul des périmètres de protection citant les caractères hydrodynamiques de la nappe et sa vulnérabilité, ainsi que les critères géologiques et environnementaux.
- La phase administrative : cette phase exige la consultation des administrations et les services concernés pour la mise en place des périmètres de protection.
- La phase de surveillance : il s'agit d'un suivi et gestion de ces périmètres. Elle présente la phase la plus délicate surtout au niveau de la zone de protection rapproché suite aux Contraintes imposées par les occupants de la zone.

La réussite de ces trois phases va garantir une bonne conservation de ces ressources souterraines qui deviennent de plus en plus rares.

Notre travail est limité au niveau de la phase technique, cette dernière se traduit en traitant les données (Fiches forage fourni par l'ADH W. Tébessa) en utilisant les logiciels Surfer qui nous a permet d'établir des diverses cartes telles que la carte piézométrique, la carte de perméabilité et celle du coefficient d'emmagasiner, ainsi que la détermination du gradient hydraulique et la vitesse réelle qui sont nécessaires pour le calcul du rayon d'appel, la largeur du front d'appel et l'isochrone 50 jours afin de délimiter le périmètre de protection rapproché.

Les périmètres calculés sont cartographiés sur un fond topographique de la région.

En ce qui concerne le périmètre de protection éloignée, nous avons calculé la surface de recharge de chaque puits en se basant sur le débit maximal et la vitesse d'infiltration.

Bibliographie

- **Andrée LALLEMAND-BARRES et Jean-Claude ROUX**, (Manuels et méthodes n° 33), PERIMETRES DE PROTECTION DES CAPTAGES D'EAU SOUTERRAINE DESTINEE A LA CONSOMMATION HUMAINE, Guide méthodologique et réglementaire, Editions BRGM, 3, Avenue Claude Guillemin, 45060 ORLEANS Cedex 2, France.
- **BOUTERAA Moufida**, Risque de contamination des eaux souterraines par les eaux usées urbaines en zones semi-aride. Exemple des rejets de la ville de Tébessa.
- **BOUZARA Chahrazed, ENSAAD Rachida**, (2018), Contribution à la protection des eaux souterraines soumises aux pressions agricoles - Cas de la plaine du Haut Cheliff –
- **Chikha Belgacem Bilal Debbar Hocine**, (2017), Etude Hydrologique et Hydrogéologique de la région de Tébessa par application de la télédétection et SIG.
- **Guide National de Détermination des Périmètres de Protection des Captages d'Eau destinée à la Consommation Humaine** : Annexe au Décret N°100/189 du 25 août 2014 portant modalités de détermination et d'instauration des périmètres de protection des captages d'eau destinés à la consommation humaine, Auteur : Sara Vassolo, Avec des contributions de Prosper Bonja, Melchior Ryumeko, Christian Tiberghien et Stephan Valley
Financement : Coopération Allemande / Institut Fédéral des Géosciences et Ressources Naturelles (BGR) / GPES Gestion et Protection des Ressources en Eau Souterraine au Burundi.
- **Jean-Marc Stébé, Hervé Marchal**, (2007), EDITEUR : Presses Universitaires de France.
- **JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 60 30** : Rajab 1426 4 septembre 2005, Loi n° 05-12 du 28 Jomada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005 relative à l'eau.
- **Lakhal KH**, (2018), Mémoire de fin d'étude.
- **Melle TOUAHRIA Khedidja**, (2013), EVALUATION DE LA QUALITE DES EAUX DE FORAGES PAR COMPARAISON DE LEURS CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES (REGION DE TEBESSA).
- **Moulaye OULD GUEWAD**, (2009), ETUDE DE MISE EN PLACE DE PERIMETRES DE PROTECTION AUTOUR DES CHAMPS DE CAPTAGE D'AEP DE LA VILLE D'IDINI,
- **Nassah Houda, Omdi Fatima Ezzahra**, (2011), Les périmètres de protection des champs de captage des eaux souterraines Cas du champ captant du N'Fis (Maroc).

Web Site

- www.geothermie-perspectives.fr/articale/perimetres-protection-lies-prelevement-deau-destine-consommation-humaine

- www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Perimetre-protection-cle7da1ee.pdf&ved=2ahUKEwilmJ-dgeziAhWF2-AKHS1pCUKQFjAHegQIARAB&usg=AOvVaw0f9wdvF5Yx-efFHUWVevhp

- <http://sigessn.brgm.fr/spip.php?artical82>

ANNEXES

ANNEXE A

Les fiches forages de Bekkaria

Fiche forage (A89)

SONDAGE AIN BEKKARIA A.89
 Carte au 1/50.000 TEBERAS N° 206
 Date des travaux : du 31.8.75 au 26.9.75
 Echelle de la coupe : vert. 1/1000

N° **536 206**
 Long. : X1004.900
 Latit. : Y 241.400 Z 1060 m

Bibliographie, Renseignements divers
 Entreprise : SOUMATPAC - Chef de chantier
 SOUMAT ALI MANSOUR - Responsable Forage
 27-10-1988 - El-Berg - en zone hydrogéologique
 Carrière : Abou Touqan - 2 km de El-Berg - 1975
 6' latitude, gamma (log) base à 10 cm - m
 2' 35" C. altitude de 488-75.
 Densité : 2,65 g/cm³
 2. Hauteur : 100 m

Essai de pompage : N.S. 424 m
 1^{er} jour : Q = 488 l/s, N.S. 488, S = 46.
 2nd jour : Q = 488 l/s, N.S. 488, S = 46.
 3rd jour : Q = 488 l/s, N.S. 488, S = 46.
 TRANSMISSIVITE : T = 3,5 · 10⁻⁴ m²/s

Prof. de la nappe	Niveau piéz.	TENEUR EN MG PAR LITRE	CO ₂	PH	R.S.	DÉBIT	Robot	T ₁					
		Ca	Mg	K	Na	CL	SO ₄	CO ₂	PH	R.S.	DÉBIT	Robot	T ₁
Sept 75	18 m	Mélange de sable et de graviers											
14-10-75		32	14	4	34	55	116	183	62	8,2	0,3	448	
24-10-75		114	8	4	34	70	106	232	26	8,1	0,7	454	
22-10-75		114	6	4	30	65	116	232	12	8,0	0,7	456	
23-10-75		108	14	4	28	60	112	234	6	8,3	0,7	474	

Extrait de carte 206
 tome 1/50.000

Caractères physico-chimiques

Etude des échantillons prélevés

Catégorie : Graviers et sables

mis à jour par : J. RICARD le Oct 75

N°

Fiche forage (FA1)

Des travaux : du 10.10.75 au 10.10.75
 Echelle de la coupe : ...

N° ...
 Long. : X ...
 Latit. : Y ... Z ...

Bibliographie, Renseignements divers
 ...

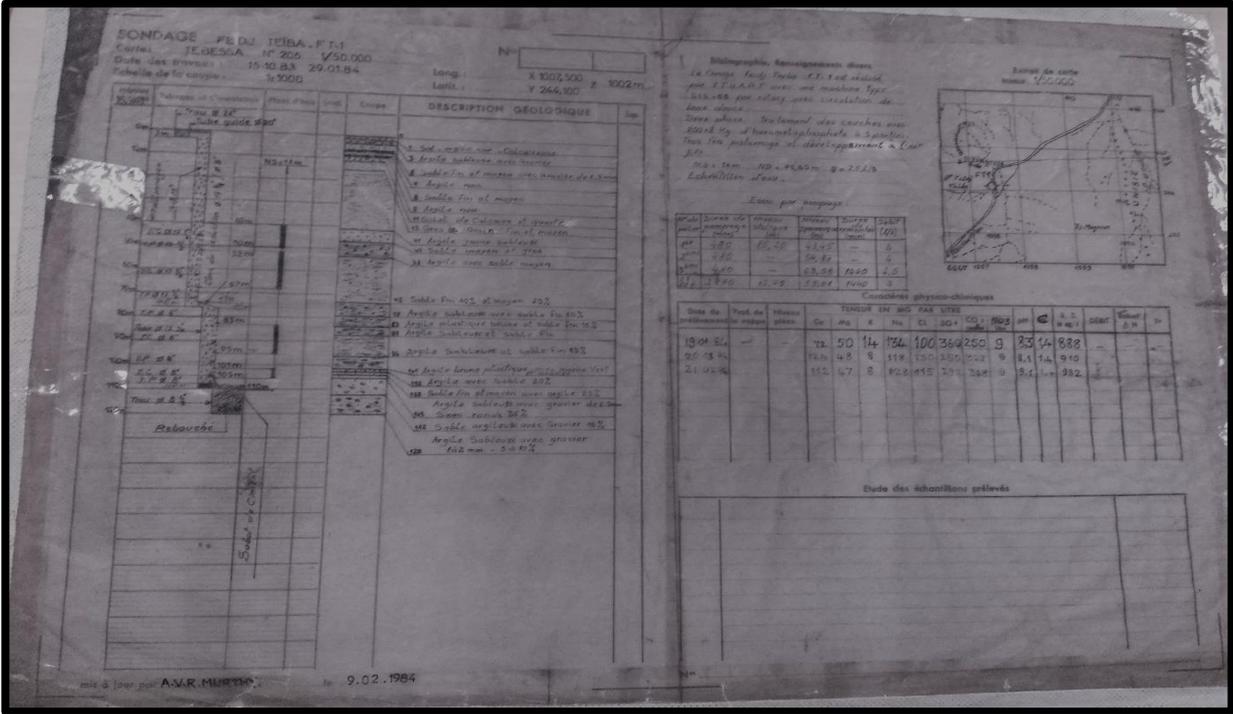
Extrait de carte
 ...

Prof. de la nappe	Niveau piéz.	TENEUR EN MG PAR LITRE	CO ₂	PH	R.S.	DÉBIT	Robot	T ₁					
		Ca	Mg	K	Na	CL	SO ₄	CO ₂	PH	R.S.	DÉBIT	Robot	T ₁
		48	34	0,1	36	65	138	112	0,8	8,2	0,3	448	

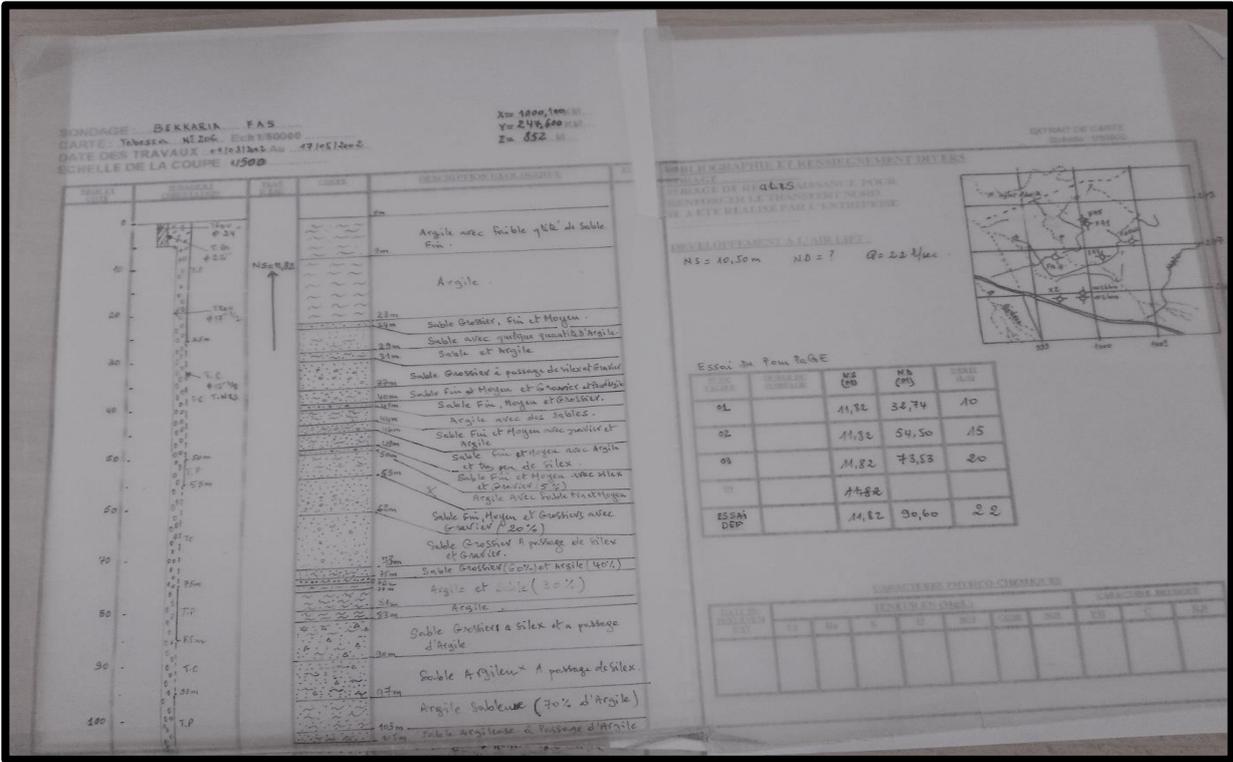
Etude des échantillons prélevés

mis à jour par : le

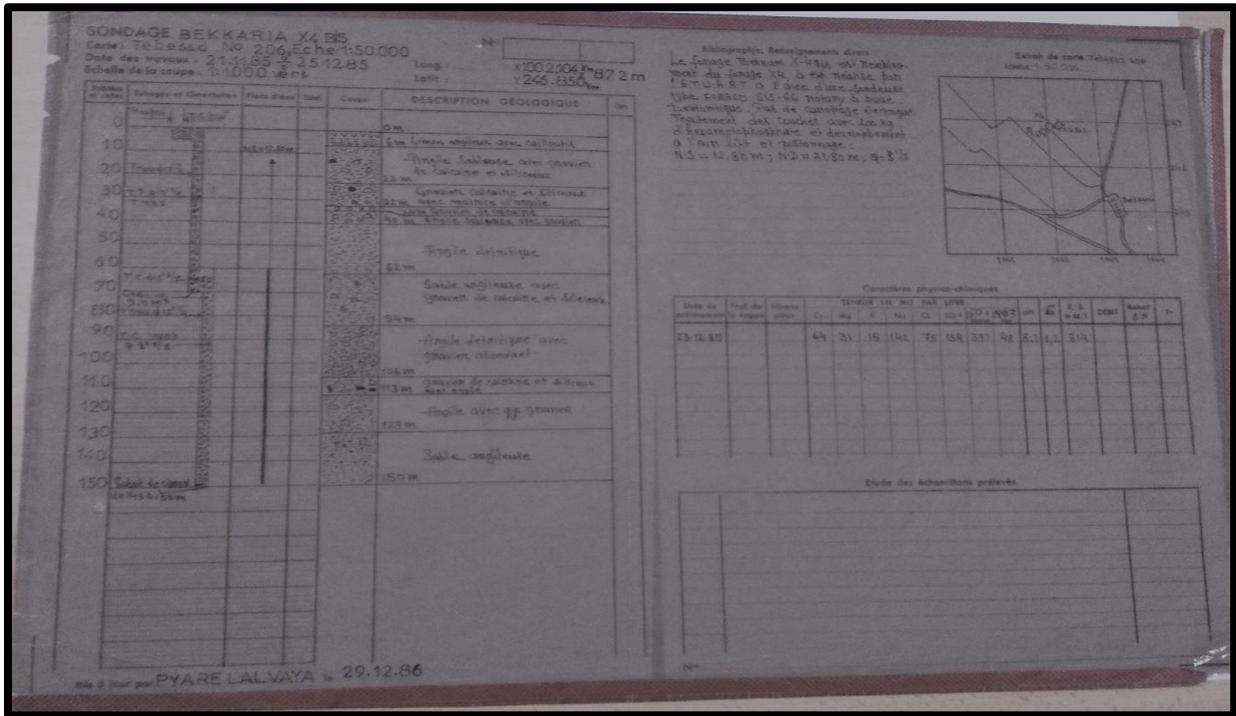
Fiche forage (F.T.1)



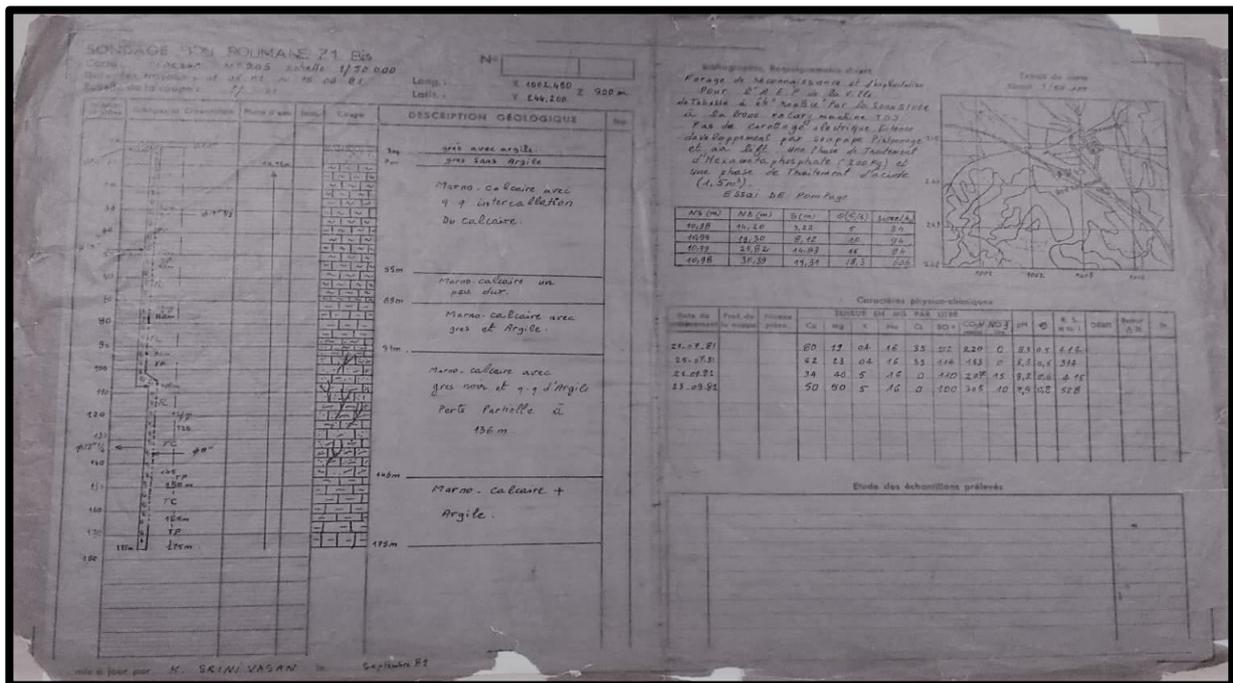
Fiche forage (FA5)



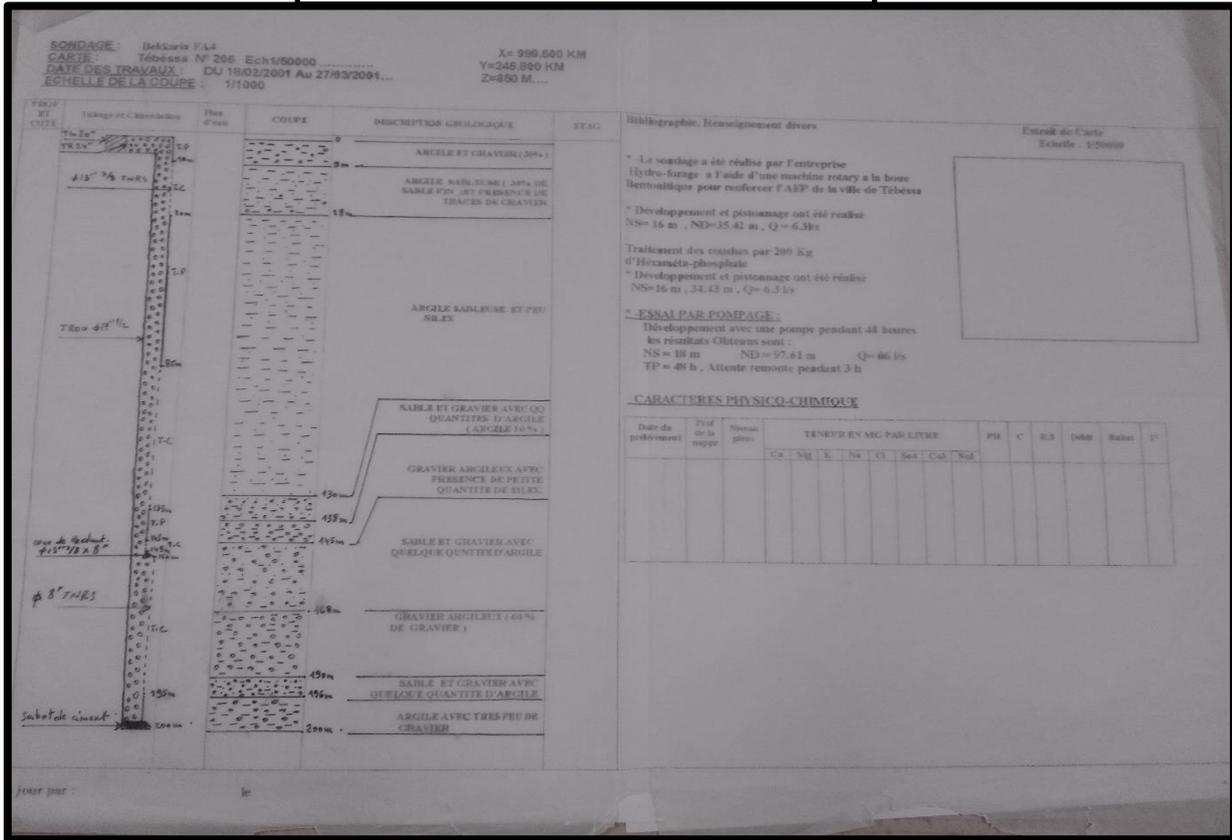
Fiche forage (X4bis)



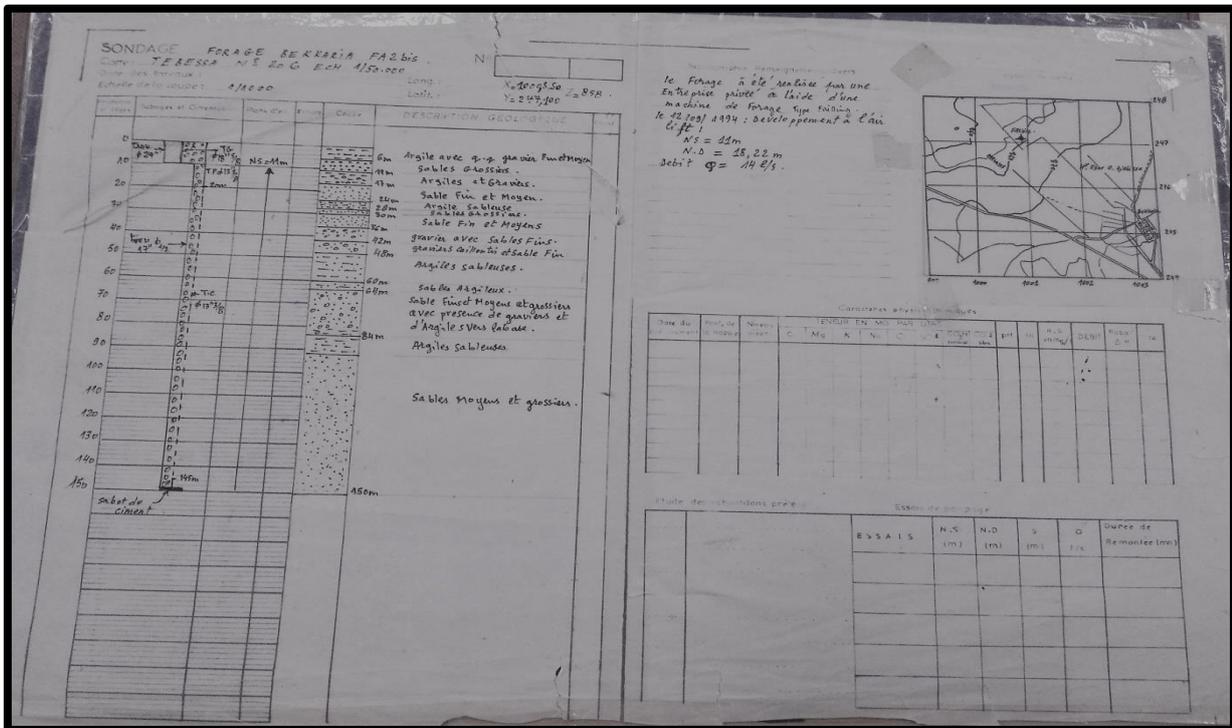
Fiche forage (Z1bis)



Fiche forage (FA4)



Fiche forage (FA2bis)



ANNEXE B
Les Forages De Tébessa &
Hammamet

Fiche forage (FG1bis)

SONDAGE : AIN CHABRO FG1 BIS
CARTE : TEBESSA N 206 : Ech 1/50000
DATE DES TRAVAUX : du 15.02 au 02.05.1997
ECHELLE DE LA COUPE : 1/1000

X = 980,4 P.P.
Y = 252,5 P.P.
Z = 785 M

Bibliographie, Renseignement divers

Le sondage a été réalisé par l'E.T.U.A.R.T à l'aide d'une machine de type speed star SS 40 à la boue bentonitique.

-DEVELOPPEMENT A L'AIR LIFT :
NS = 42.60 m , ND = 43.49m , Q = 7.5 Us

-ESSAIS DE POMPAGE

ESSAI	DUREE (H)	NS (m)	ND (m)	S (m)	Debit (l/s)
E D	48	42.12	42.60	0.48	44

PROF ET COTE	TUBAGE ET CIMENTATION	PLAN D'EAU	COUPE	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	ETAGE
2.0				Cailloutis de calcaire avec qq d'argile	
3.0				Cailloutis de calcaire gris à matrice argileuse	
4.0				Cailloutis de calcaire propre	
5.0				Cailloutis avec qq d'argile	
6.0				Cailloutis à matrice argileuse	
7.0				Cailloutis de calcaire blanc moins argileux	
8.0				Cailloutis de calcaire blanc propre	
9.0				Cailloutis de calcaire avec qq d'argile	
10.0				Cailloutis de calcaire à matrice argileuse	
11.0				Cailloutis de calcaire gros propre	
12.0				(Perte totale à la cote 76 m)	
				Perte totale, probablement des calcaires	

Extrait de Carte
Echelle : 1/50000

CARACTERES PHYSICO-CHIMIQUE

Date du prélèvement	Prof de la nappe	TENEUR EN MG PAR LITRE							PH	C. Matières/cm	R.S	Debit	Rabat
		Ca	Mg	K	N	Cl	S ₄	HCO ₃					

Fiche forage (FTA2)

SONDAGE : AEROPORT TEBESSA FTA2
TEBESSA NT 206
1997
390,750 818m
250,000

Le forage a été réalisé par Siquip de l'ETIERT à l'aide d'une machine de type speed star SS 40 à la boue bentonitique.

-DEVELOPPEMENT A L'AIR LIFT :
NS = 42.60 m , ND = 43.49m , Q = 7.5 Us

-ESSAIS DE POMPAGE

ESSAI	DUREE (H)	NS (m)	ND (m)	S (m)	Debit (l/s)
1 ^{er} Pabeir	25,05	43,35	20,30	10	(BR)
2 ^{em} Pabeir	18,27	48,13	35,86	13	(BR)
3 ^{em} Pabeir	11,45	57,99	46,24	16	(BR)
Essai de Finitif	11,45	64,77	53,32	16	(BR)

PROF ET COTE	TUBAGE ET CIMENTATION	PLAN D'EAU	COUPE	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	ETAGE
10				Argiles	
20				Argiles avec qq de graviers	
30				Argiles	
40				Argiles avec qq de graviers (Tances)	
50				GRAVIERES	
60				Argiles avec qq de graviers	
70				Argiles	
80				Argiles avec traces de graviers à la base	
90				Argiles de l'indurcissement	
100				graviers avec des argiles détrempées	
110				graviers avec des argiles	
120				graviers avec des argiles	

Extrait de Carte
Echelle : 1/50000

CARACTERES PHYSICO-CHIMIQUE

Date du prélèvement	Prof de la nappe	TENEUR EN MG PAR LITRE							PH	C. Matières/cm	R.S	Debit	Rabat
		Ca	Mg	K	N	Cl	S ₄	HCO ₃					
04-07-93		92	48	1	73	170	226	122	40	9,2	1,2		
07-07-93		142	18	7	100	165	166	183	47	7,9	1,2		

Fiche forage (M₂₋₃)

SONDAGE Maison Cantiniere M₂₋₃
 Carte: au 1/50.000 de Tebessa n° 206
 Date des travaux: du 5-6-75 au 22-7-75
 Echelle de la coupe: Vert 1/1000 Horiz 1/15

N° 528 206
 Long: X 987.925
 Latit: Y 249.600 Z 825 m

Bibliographie, Renseignements divers
 Entreprise SOMATHRA. chef de chantier
 Mr. Bekkhouk. Soudouze Fouling 1500 XHB
 W 40 V 1940. Rotary à la terre bentonitique
 Carottage électrique D.C.M.A.H. (46" et 61"
 normale), à l'interale, 15) de 0 à 170m
 incliné de 1-7-1975. Boue 5,35 ohm. a 24,5.
 Essai de pompage par SOMATHRA (CARRIE 110")
 1° palier L=42h Q=5,40/2s L=26,35m
 non stabilisé.
 2° palier L=42h Q=9,60/2s L=26,35m
 non stabilisé.

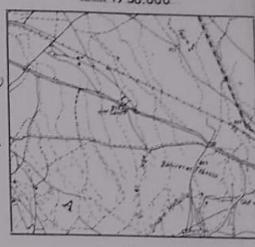
Premontée à 9,15m en dessous du r/s en sécheres

TRANSMISSIVITE: T = 3.10⁻⁴ m²/s

Profondeur et cotes	Tubages et Orientation	Plans d'eau	Écart	Coupe	DESCRIPTION GÉOLOGIQUE		Niveau
					Prof	Top	
15					10	Argile brune	
20					11	gravier (d=1cm) et argile avec la base (10-12m)	
30					12	Argile brune et graverie	
40					13	graverie (d=1cm)	
50					14	graverie et argile (graverie dominante)	
60					15	graverie et argile	
70					16	Argile brune	
80					17	graverie (d=2cm) - un peu d'argile	
90					18	Argile brune avec graverie peu ou sans abondante	
100					19	graverie (d=1-2cm) avec film ou vein d'argile	
110					20	Argile brune avec peu de graverie	
120					21	graverie (d=2cm) avec argile film ou veines abondante	
130					22	Argile brune et sans graverie	
140					23		
150					24		
160					25		
170					26	Argile brune	

Remarque: Il s'agit d'une argile très blanche. La zéolite est calcinée en gisement

Extrait de carte 206
 feuille 1/50.000



Caractères physico-chimiques

Date de prélèvement	Prof. de la nappe	Niveau piézo.	TENEUR EN MG PAR LITRE										R. S. (mg/l)	DÉBIT	Rabot (m)	T°		
			Ca	Mg	K	Na	Cl	SO ₄	CO ₃	NO ₃	pH	σ _H						
Jul 75		à 23m																
15.7.75			130	35	5	64	80	322	171	34	7,3	1,1	824		6%	20m		
04.11.76			142	28	5	56	60	192	336	24	8,3	1,0	654					
06.03.77			140	19	4	42	50	180	378	6	8,0	1,0	718					
01.03.77			136	17	4	46	40	186	305	42	8,0	1,0	720					
10.03.77			130	35	4	60	75	236	317	42	8,3	0,9	736					

Etude des échantillons prélevés

L'Analyse prélevée tous les mètres. Etude minéralogique et géologique. Les échantillons pour Mr. J. LEROUX (D.C.P.H. Alger).
 170-113 Carte minéralogique.

mis à jour par J. RICARD le 10 Juill 75

N°

Fiche forage (Q5)

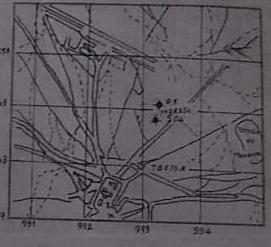
SONDAGE MERDJA Q5
 Carte: TEBESSA NT 206 Ech 1/50.000
 Date des travaux: Du 27.07.81 au 30.07.81
 Echelle de la coupe: 1/1000

N° 528 206
 Long: X 993.000
 Latit: Y 243.000 Z 820m

Bibliographie, Renseignements divers
 Forage d'exploration réalisé par
 SOMATHRA avec sondeuse rotative
 R. de base F 1500 x HD. Pas de
 développement électrique.
 Développement de la LIFE Pistravage 250
 et 2 phases d'Hexameta-phosphate
 (200 Kg x 2). - Résultat final
 NS = 25,70m ND = 30,60m Q = 5 l/s
 Essai de Pompage (Mars 82)

Profondeur et cotes	Tubages et Orientation	Plans d'eau	Écart	Coupe	DESCRIPTION GÉOLOGIQUE		Niveau
					Prof	Top	
0					3m	Argile brune	
10					5m	Argile avec q.g.	
20					25,70m	gravier	
30							
40					4,7m	gravier gros sans	
50						Argile	
60						Argile avec graverie	
70						gravier gros sans Argile	
80						Argile avec graverie	
90						gravier avec q.g. déglés	
100							
110						Argile brune	
120							
130							
140							
150							

Extrait de carte
 feuille Ech. 1/50.000



Caractères physico-chimiques

Date de prélèvement	Prof. de la nappe	Niveau piézo.	TENEUR EN MG PAR LITRE										R. S. (mg/l)	DÉBIT	Rabot (m)	T°	
			Ca	Mg	K	Na	Cl	SO ₄	CO ₃	NO ₃	pH	σ _H					
21.07.81			116	60	5	78	70	306	287	5,6	7,3	1,5	345				
24.09.81			92	72	6	108	143	208	330	1	5,2	1,6	398				
22.07.82			86	50	0,6	106	170	256	322	4,8	8,0	1,6	1045				
24.03.82			86	86	0,6	36	190	280	309	5,0	8,0	1,7	1076				

Etude des échantillons prélevés

mis à jour par M. BRUNHEAN le 30 Octobre 81

N°

Fiche forage (J₂₋₃)

AGE **J₂₋₃** Opération DENRH 20-81
 TOPO 1/50000 TERESSA n° 206
 s travaux : du 15-3-73 au 7-5-73
 la coupe : verticale 1/500 horiz 1/10

N° **515-4 206**
 Long.: X 984 200 Z 795
 Latit.: Y 250 950

Bibliographie, Renseignements divers
*Entreprise INTAFOR-CORDR. L'het de chonier
 172 FRAU Sondesse sur camion 101 275 W
 Rotation circulation à la boue. Corollage élec-
 trique à 304,23 (P.V. L.V. 101 P.S) de 0 à 125 m
 Reconnaissance B.F. de 0 à 281 m. Origines =
 Tube landerri 1°*

Essais de pompage:
 3 heures avec Q=131 l/s → h=10m 05
 8,55 heures avec Q=232 l/s → h=17m
 2 heures avec Q=285 l/s → h=40 m

*3,5/3,5 Essai de 40 heures avec Q=100 l/s → h=44,80 m
 17,5/3,5 Essai de 10 heures Q=50 l/s → h=57,23 m*

Extrait de carte
 ECHELLE 1/50.000

L'Hydrogéologue: J. RICARD

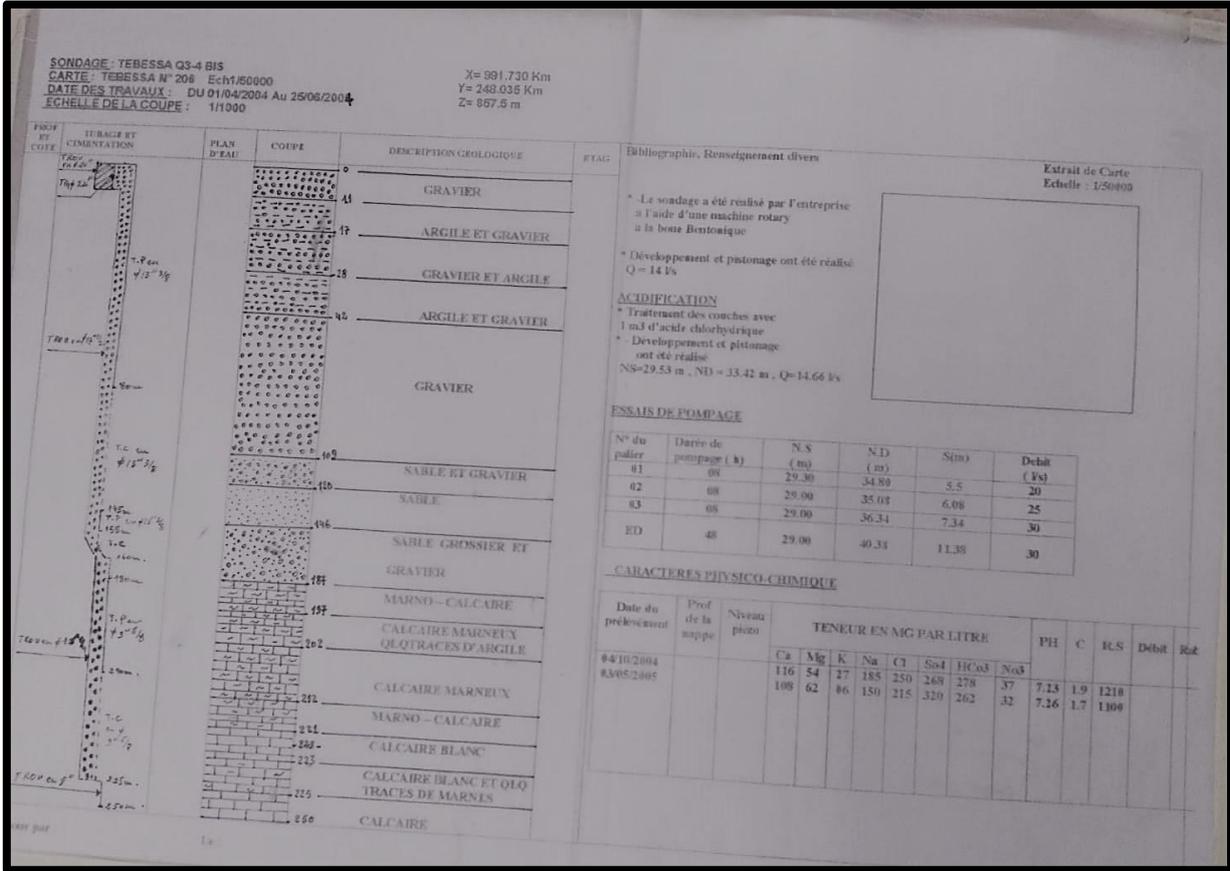
Tubages et Cimentation	Plans d'eau (émet.)	Coupe	DESCRIPTION GÉOLOGIQUE	Épais
	-10,35 m		Sol	
			Calcaire coloré à matrice argilo-sableuse	
			Calcaire coloré S<9<10 mm	
			Calcaire coloré avec matrice argileuse importante	
			Calcaire coloré à matrice argileuse peu importante	
			Calcaire coloré matrice arg. importante	
			Calcaire coloré à matrice argileuse	
			Calcaire coloré à matrice argileuse	
			Calcaire coloré avec matrice argileuse abondante	
			Calcaire coloré très gross. et poros.	
			Calcaire coloré à matrice arg. importante	
			Calcaire coloré très gross. et poros.	
			Calcaire coloré avec matrice argileuse abondante	

Caractères physico-chimiques D.E.H. L.H. Annaba. Dessin. Y. MARZOUK.

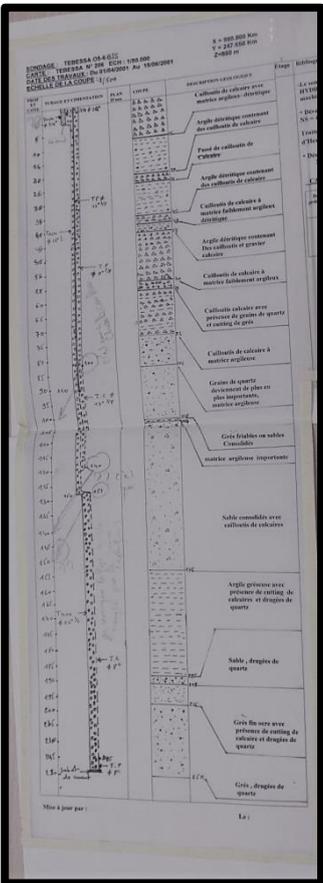
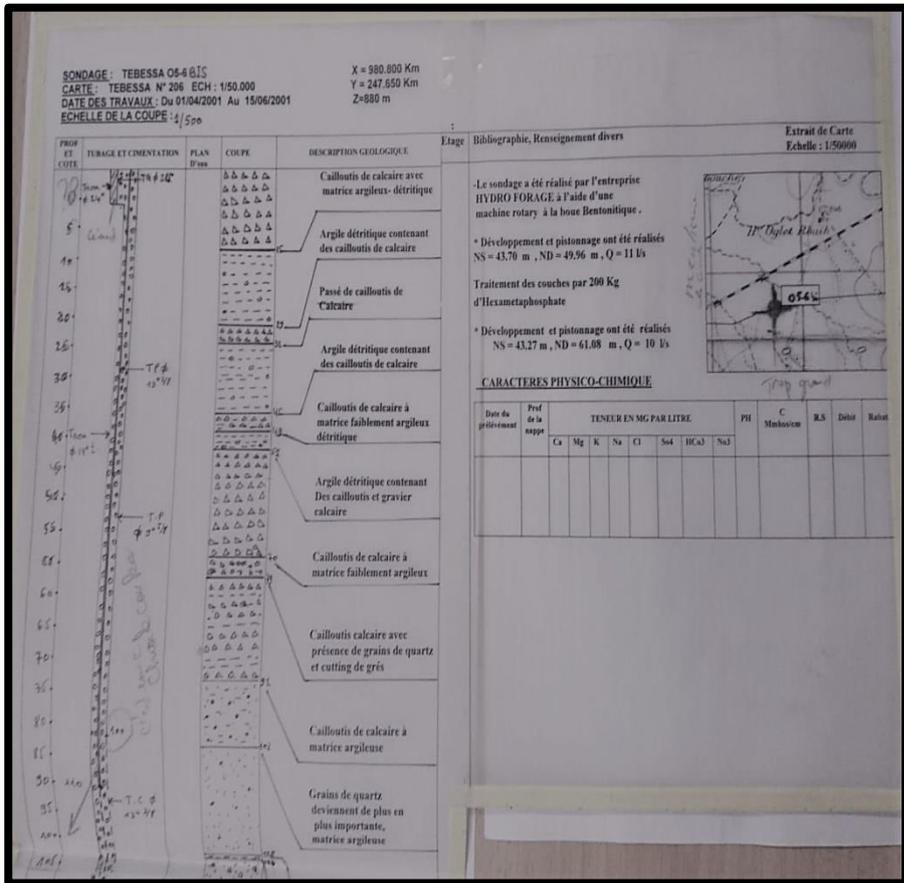
N° Analy.	Date du prélèvement	Prof. de la nappe	Niveau piézo.	TENEUR EN MG PAR LITRE										CO ₂ mmol	CO ₂ litre	pH	dh	R. S. mg/l	DÉBIT	Robot	T°
				Ca	Mg	K	Na	CL	SO ₄												
			4035	16,4	5,1	1,6	1,3	14,6	3,0	8	183	1,6			8,5	55	1016				
4110	4.4.73			12,0	4,3	1,1	1,5	18,0	5,0	180	1,6			7,5		1443	103	2200	1,0		
4108	27.4.73			13,2	5,1	1,0	1,0	18,5	5,4	180	1,6			7,3		1552	103	2200	1,2		
4112	4.5.73			13,0	7,3	1,1	1,1	17,4	5,3	183	1,6			7,4		1512	103	2200	1,30		
4045	8.5.73	2° 15'		15,1	7,0	1,3	1,2	18,1	5,4	184	1,6			7,4		1412	103	2200	1,4		
4051	9.5.73			14,6	7,0	1,1	1,3	18,8	5,0	184	1,6			7,4		1503	103	2200	1,4		
4053	11.5.73			14,3	7,0	1,3	1,2	17,1	5,1	180	1,6			7,4				2200	1,4		

Étude des échantillons prélevés

Fiche forage (Q3-4bis)



Fiche forage (Q5-6bis)



ANNEXE C

Les tableaux

Quelques caractéristiques de sédiments meubles

D'après documents de l'U.S Geological Survey

Types de sédiments	d_{10} mm	n %	n_e %	K m/s
Gravier moyen	2.5	45	40	3.10^{-1}
Sable gros	0.250	38	34	2.10^{-3}
Sable moyen	0.125	40	30	6.10^{-4}
Sable fin	0.09	40	28	7.10^{-4}
Sable très fin	0.045	40	24	2.10^{-5}
Sable silteux	0.005	32	5	1.10^{-9}
Silt	0.003	36	3	3.10^{-8}
Silt argileux	0.001	38	/	1.10^{-9}
Argile	0.0002	47	/	5.10^{-10}

Tableau : caractéristiques et paramètres hydrodynamiques des principaux réservoirs aquifères (Lallemand-Barrès et Roux, 1999

)

Types de réservoirs	Porosité efficace %	Types de réservoirs	Porosité efficace %
Gravier gros	30	Sable gros + silt	5
Gravier moyen	25	Silt	2
Gravier fin	20	Vases	0.1
Gravier + sable	15 a 25	Calcaire fissuré	2 a 10
Alluvions	8 a 10	Craie	2 a 5
Sable gros	20	Grés fissuré	2 a 15
Sable moyen	15	Granite fissuré	0.1 a 2
Sable fin	10	Basalte fissuré	8 a 10
Sable très fin	5	schistes	0.1 a 2

Tableau : Valeurs de porosité efficace moyenne pour les principaux réservoirs (Lallemand-Barrès et Roux, 19

THORNTHWAITE // EVAPOTRANSPIRATION ET BILAN
STATION : TEBESSA LATITUDE : 35 ANNEE : 2000-2010

	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	21,6	9,2	1,03	98,2	48,8	-49,4	-0,5	0,0	0,0	48,8	49,4	0,0
O	18,3	7,1	0,97	69,4	31,3	-38,1	-0,5	0,0	0,0	31,3	38,1	0,0
N	11,6	3,6	0,86	27,9	31	3,1	0,1	3,1	3,1	27,9	0,0	0,0
D	7,2	1,7	0,81	11,5	47,2	35,7	3,1	25,9	29,0	11,5	0,0	9,8
J	7,3	1,8	0,87	12,6	35,6	23,0	1,8	0,0	29,0	12,6	0,0	23,0
F	7,8	2,0	0,85	13,8	15,1	1,3	0,1	0,0	29,0	13,8	0,0	1,3
M	11,6	3,6	1,03	33,4	27,8	-5,6	-0,2	-5,6	23,4	33,4	0,0	0,0
A	14,3	4,9	1,10	51,3	49,5	-1,8	0,0	-1,8	21,6	51,3	0,0	0,0
M	18,2	7,1	1,21	85,7	37,9	-47,8	-0,6	-21,6	0,0	59,5	26,2	0,0
J	24,3	11,0	1,22	142,8	25,4	-117,4	-0,8	0,0	0,0	25,4	117,4	0,0
J	27,7	13,4	1,24	182,1	17,2	-164,9	-0,9	0,0	0,0	17,2	164,9	0,0
A	25,8	12,0	1,16	150,6	30,3	-120,3	-0,8	0,0	0,0	30,3	120,3	0,0
<hr/> MOY (Tp) = 16.3 SOM (ETPC) = 879.4 SOM (Pr) = 397.1 BH = -842.3 SOM (ETPR) = 363.1 SOM (Def) = 516.3 SOM (Exc) = 34 <hr/>												

Tab. - Bilan hydrique à la station de Tébessa (2000-2010)
(BOUTERAA Moufida)

$I = P - (R + ETR) = 397 - (27.19 + 381.73) = 11.92 \text{ mm.}$